



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

Trabajo Fin de Máster
CURSO 2017/2018

BUQUE BULKCARRIER DE 44.500 T.P.M.

Máster en Ingeniería Naval y Oceánica

ALUMNA

Lucía Cachaza Vázquez

TUTORAS/ES

Luis Manuel Carral Couce

FECHA

SEPTIEMBRE 2018



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

**TRABAJO FIN DE MÁSTER
CURSO 2017/2018**

BUQUE BULKCARRIER DE 44.500 T.P.M.

Máster en Ingeniería Naval y Oceánica

CUADERNO 6

**PREDICCIÓN DE POTENCIA Y DISEÑO DE PROPULSORES Y
TIMONES**

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA NAVAL Y OCEÁNICA
PROYECTO FIN DE MASTER

CURSO 2.017-2.018

PROYECTO NÚMERO 18-03

TIPO DE BUQUE: Bulkcarrier

CLASIFICACIÓN, COTA Y REGLAMENTOS DE APLICACIÓN: ABS SOLAS
MARPOL. DOBLE CASCO

CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA: 44.500 T.P.M. Grano, mineral, carbón

VELOCIDAD Y AUTONOMÍA: 15 nudos en servicio AL 85% MCR +15%. MM
15.000 millas a la velocidad de servicio.

SISTEMAS Y EQUIPOS DE CARGA / DESCARGA: Escotillas de accionamiento
hidráulico.

PROPULSIÓN: Motor diesel acoplado a una hélice de paso fijo

TRIPULACIÓN Y PASAJE: 28 personas

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

Ferrol, Octubre de 2.017

ALUMNO: D^a Lucía Cachaza

ÍNDICE

1	Introducción	5
2	Estimación de la potencia propulsora	6
3	Selección de la planta propulsora.....	15
3.1	Características del motor	15
3.2	Justificación de la potencia	15
4	Cálculo del propulsor	18
5	Claras en el codaste	23
6	Cálculo del timón y de su perfil	25
7	Croquis de la situación del propulsor, timón y codaste.....	34
8	Referencias.....	35
	ANEXO I. Resultados obtenidos del programa NavCad.....	36
	ANEXO II. Características principales del motor propulsor	45
	ANEXO III. Características del turbocompresor	48
	ANEXO IV. Definición de la mecha del timón (ABS)	49

1 INTRODUCCIÓN

El objetivo de este cuaderno es calcular la potencia para la propulsión así como el diseño del propulsor y del timón para el buque en proyecto.

El buque a proyectar tiene las siguientes características principales:

$$DWT = 44.500 \text{ t}$$

$$L_{pp} = 180,14 \text{ m}$$

$$B = 29,66 \text{ m}$$

$$D = 16,13 \text{ m}$$

$$T = 12,07 \text{ m}$$

2 ESTIMACIÓN DE LA POTENCIA PROPULSORA

En este apartado se determina la potencia propulsora del buque. Se estima la potencia de remolque (EHP) y potencia en el eje (SHP) con la ayuda del programa Shipshape. Este cálculo se realiza en base al método Holtrop de 1984 para el cálculo de la resistencia al avance.

Al buque proyecto se le exige como requerimiento una velocidad de 15 nudos a un régimen de servicio del 85% MCR con un 15% de margen de mar.

Estimación de la potencia a través del Shipshape

Éste es un método estadístico, cuyo planteamiento se basa en la teoría de resistencia por formación de olas. Ha sufrido sucesivas adaptaciones, originalmente se incluyeron petroleros, cargueros, pesqueros, remolcadores, portacontenedores, etc. Los análisis de regresión de los resultados de los ensayos de resistencia y propulsión de estos buques, realizados en MARIN, los publicó Holtrop en 1982.

Este método proporciona valores de la resistencia de remolque y de los factores propulsivos, que combinados con un procedimiento para calcular el rendimiento del propulsor en aguas libres, permite determinar el rendimiento propulsivo y la potencia propulsora de una amplia gama de tipos de buque, a diversos calados.

La exactitud que se obtiene en el 95 % de los casos es satisfactoria en la fase del proyecto preliminar si el rango de las variables está dentro de los límites siguientes (rangos especificados en el Shipshape M3):

Tipo de buque	$F_{n_{max}}$	C_p	L/B	B/T
Holtrop	0,45	0,55-0,85	3,9-9,5	2,10-4,0
Buque a proyectar	0,184	0,811	6,07	2,46

Tabla 1 Rango de dimensiones

Como puede observarse en la tabla precedente, las características preliminares del buque están de acuerdo con los rangos en los que el método es aplicable.

Para obtener los resultados sobre la estimación de la potencia del motor de nuestro buque, debemos de introducir previamente una serie de parámetros, muchos de los cuales han sido calculados en cuadernos anteriores, estos parámetros son:

- $L_{wl} \rightarrow 183,488$ m
- $B \rightarrow$ manga de diseño= 29,66 m
- Draught (T) \rightarrow calado de diseño =12,07 m
- Displacement= 52256 t
- Water density \rightarrow densidad del agua de mar = 1,025 kg/m³
- Skin factor \rightarrow en este caso nos quedamos con el valor que nos aporta directamente el programa=0,50%.
- $C_m \rightarrow$ coeficiente de la maestra= 0,980
- Aft body factor \rightarrow este coeficiente evalúa la influencia del aspecto de las secciones transversales de popa sobre el valor de los coeficientes propulsivos del buque, así como sobre el cálculo del factor de formas y por tanto sobre la determinación del diámetro óptimo de la hélice. Los valores de este parámetro vienen en relación con el coeficiente de bloque a partir de la siguiente tabla:

C_B	C_{stern}
$< 0,60$	+5,0
$0,60 < C_B < 0,65$	0,0
$0,65 < C_B < 0,70$	-5,0
$0,70 < C_B < 0,78$	-10,0
$0,78 < C_B < 0,82$	-15,0
$> 0,82$	-20,0

En nuestro caso, de acuerdo con la tabla anterior el valor de $C_{stern} = -15,0$.

- Sec. Bulb area → esta área calculada en el cuaderno 3 tiene un valor de = 28,554 m².
- Bulb area center above base line → este valor corresponde a = 4,019 m
- Half angle of entrance → tomaremos el valor que nos proporciona el programa = 38,3°
- Appendage allowance → tomaremos, al igual que en el anterior caso, el valor que nos da el programa por defecto = 2,0%.

Introducimos entonces esta serie de parámetros:

```

Lwl      183.488 (m)      Cp (Lwl)      0.7746 (-)
B        29.660 (m)      Lcb (Lwl)     3.24 (%)
T        12.070 (m)      Cw (Lwl)     0.8581*(-)
Trim     0.000 (m)      Aft body factor 15.0 (-)
Wake of keel 0.000 (m)  Wet surface  8151.083*(m2)
Displacement 52255.000 (tonnes)  Sec. bulb area 28.554 (m2)
Water density 1.025 (tonnes/m3)  Bulb c.ab. keel 4.019 (m)
Skin factor 0.50 (%)    Subm. tr. stern 0.000 (m2)
Cm       0.9970 (-)    Half angle fore 38.3*(degr.)
Cb (Lwl) 0.7722 (-)    App. allowance 2.00 (%)
    
```

F1 Help page F5 Report to file F6 Report to printer
 PgUp Next Page (Service Speed Calculations) Esc Return

Ahora pasamos a la siguiente hoja de cálculo, donde vamos a estimar además un propulsor adecuado a nuestro buque a proyectar.

En este caso los parámetros a definir son los siguientes:

- Service Speed: corresponde a la velocidad de servicio, lo cual es un requisito del propio proyecto y está fijada en = 15 nudos.
- Service Allowance: el margen de servicio es un requisito del proyecto y es igual en nuestro caso al 15%.
- Numer of propellers: el número de propulsores es un requisito del proyecto y es igual a 1.
- Number of propellers blade: el número de palas del propulsor, tomaremos inicialmente 4 palas.
- Safety Cavitation: si se requiere del programa que controle la cavitación = yes.
- Vertical center propeller draft: la altura del eje del propulsor sobre la línea de base se ha colocado lo más bajo posible ya en el cuaderno N°3 y es igual a = 3,723 m.

- Max propeller diameter: el diámetro máximo calculado ya en el cuaderno 3 corresponde a =6,5 m
- RPM: las revoluciones por minuto a la que va a girar el propulsor y a las que va a girar el motor, al ir directamente acoplados, necesariamente han de ser las mismas. Dejaremos en este caso que lo calcule directamente el Shipshape y posteriormente comprobaremos si esas revoluciones por minuto son válidas o no lo son.

Los resultados obtenidos por el Shipshape, una vez introducidos todos los parámetros que nos piden, son los siguientes:

Service speed	15.00 (knots)	Towing resist	680.323 (kN)
Serv. allowance	0.00 (%)	Effective pow	5249.82 (kW)
Wake fraction	* (-)	Effective pow	7137.76 (HP)
Thrust ded.	* (-)	Wake fraction	0.44084 (-)
Rel. rot. eff.	* (-)	Thrust ded.	0.22441 (-)
No. of prop.s	1 (-)	Rel. rot. eff.	1.00404 (-)
No. of blades	4 (-)	Hull efficiency	1.38706 (-)
Safety cavitat.	Yes	Thrust power	3769.61 (kW)
Axis above keel	3.723 (m)	Thrust power	5125.25 (HP)
Max. prop.diam.	6.500 (m)	Propeller eff.	0.50869 (-)
Prop. diameter	* (m)	Propulsive eff.	0.70843 (-)
Blade area rat.	* (-)	Shaft power	7410.49 (kW)
Pitch ratio	* (-)	Shaft power	10075.46 (HP)
RPM	95 (-)	Prop. diameter	6.500 (m)
		Blade area rat.	0.681 (-)
		Pitch ratio	0.775 (-)
		RPM	95 (-)

F1 Help F2 Calc. F3 Q.Calc. F4 Message F5 Report,file F6 Report,printer
PgUp Next Page (Speed Range Calculations) PgDn Previous Page Esc Return

Speed (Knots)	Wake frac.	Thrust ded.	Rel.rot. eff.	Eff. power (kW)	power (HP)	Shaft power (kW)	power (HP)	RPM	Pitch ratio
13.00	0.442	0.224	1.004	3182	4326	4402	5984	80	0.775
13.50	0.441	0.224	1.004	3608	4905	5008	6809	84	0.775
14.00	0.441	0.224	1.004	4088	5558	5701	7751	87	0.775
14.50	0.441	0.224	1.004	4632	6298	6495	8831	91	0.775
15.00	0.441	0.224	1.004	5250	7138	7410	10075	95	0.775
15.50	0.441	0.224	1.004	5953	8093	8468	11513	99	0.775
16.00	0.440	0.224	1.004	6753	9182	9692	13178	103	0.775
16.50	0.440	0.224	1.004	7667	10425	11115	15113	108	0.775
17.00	0.440	0.224	1.004	8712	11845	12771	17364	113	0.775
17.50	0.440	0.224	1.004	9897	13456	14686	19967	118	0.775

F1 Help F2 Calc. F3 ... F4 Message F5 Report,file F6 Report,printer
F7 Graphics,screen F8 Graphics,printer PgDn Previous Page Esc Return

Estimación de la potencia a través de NavCad

Estimamos ahora la potencia a través del programa NavCad (ANEXO I. Resultados obtenidos del programa NavCad).

Introducción de parámetros:

Al igual que en el caso del programa Shipshape, para obtener los resultados de la potencia del motor de nuestro buque, debemos de introducir previamente una serie de parámetros, estos parámetros son:

- Lwl: eslora en la flotación → 183,488 m
- Max beam on WL= 29,66 m

- Max. Molded draft (T) = 12,07 m
- Displacement= 52256 t
- LCB fwr TR (valor obtenido de las curvas hidrostáticas, calculada en el cuaderno N°5) = 93,654 m
- LCF fwd TR (valor obtenido de las curvas hidrostáticas, calculada en el cuaderno N°5) = 88,870 m
- Bulb section area→ esta área calculada en el cuaderno 3 tiene un valor de = 28,554 m² (calculado en el cuaderno N°3. Definición de formas)
- Bulb ctr below WL= 3,654 m
- Blade count= 4 palas
- Propeller diameter→ diámetro del propulsor= 6,5 m
- Design speed → velocidad de servicio, cuyo valor es proporcionado por los requerimientos del proyecto=15 kt
- Water density→ densidad del agua de mar = 1,025 kg/m³
- Margin→ margen de mar, establecido por los requerimientos del propio proyecto, y en este caso corresponde a un 15%.
- Roghness(mm)→ parámetro que en nuestro caso corresponde a 0,15 ya que se trata de un buque nuevo.

Método utilizado:

El método utilizado en este caso ha sido también Holtrop, ya que nuestro buque cumple con las restricciones que establece dicho método:

Parámetros	FN(design)	C _p	LWL/BWL	BWL/T
Rango	0,06-0,80	0,55-0,85	3,90-14,90	2,10-4,00
Buque a proyectar	0,184	0,811	6,19	2,46
CUMPLE	OK	OK	OK	OK

Obtención de la potencia a través del NavCad:

Resistance

1 ago 2018 10:41

HydroComp NavCad 2014

Project ID Bulkcarrier 44500TPM

Description

File name potencia bulkcarrier 44500tpm.hcnc

Analysis parameters

Vessel drag		ITTC-78 (CT)	Added drag	
Technique:	[Calc]	Prediction	Appendage:	[Calc] Holtrop (Component)
Prediction:		Holtrop	Wind:	[Off]
Reference ship:			Seas:	[Off]
Model LWL:			Shallow/channel:	[Off]
Expansion:		Standard	Towed:	[Off]
Friction line:		ITTC-57	Margin:	[Calc] Hull + added drag [15%]
Hull form factor:	[On]	1,268	Water properties	
Speed corr:	[Off]		Water type:	Salt
Spray drag corr:	[Off]		Density:	1026,00 kg/m3
Corr allowance:		ITTC-78 (v2008)	Viscosity:	1,18920e-6 m2/s
Roughness [mm]:	[On]	0,15		

Prediction method check [Holtrop]

Parameters	FN [design]	CP	LWL/BWL	BWL/T	Lambda
Value	0,18	0,78	6,19	2,46	0,94
Range	0,06-0,32	0,55-0,85	3,90-14,90	2,10-4,00	0,01-1,07

Prediction results

SPEED [kt]	SPEED COEFS		ITTC-78 COEFS						
	FN	FV	RN	CF	[CTLT/CF]	CR	dCF	CA	CT
13,00	0,158	0,351	1,03e9	0,001525	1,268	0,000134	0,000000	0,000373	0,002440
13,50	0,164	0,364	1,07e9	0,001518	1,268	0,000168	0,000000	0,000368	0,002461
14,00	0,170	0,378	1,11e9	0,001511	1,268	0,000210	0,000000	0,000364	0,002490
14,50	0,176	0,391	1,15e9	0,001504	1,268	0,000260	0,000000	0,000360	0,002528
+ 15,00 +	0,182	0,405	1,19e9	0,001498	1,268	0,000320	0,000000	0,000356	0,002576
15,50	0,188	0,418	1,23e9	0,001492	1,268	0,000390	0,000000	0,000352	0,002634
16,00	0,194	0,432	1,27e9	0,001486	1,268	0,000470	0,000000	0,000348	0,002703
16,50	0,200	0,445	1,31e9	0,001481	1,268	0,000562	0,000000	0,000344	0,002783
17,00	0,206	0,459	1,35e9	0,001475	1,268	0,000666	0,000000	0,000340	0,002877
17,50	0,212	0,472	1,39e9	0,001470	1,268	0,000780	0,000000	0,000336	0,002981
SPEED [kt]	RESISTANCE								
	RBARE [kN]	RAPP [kN]	RWIND [kN]	RSEAS [kN]	RCHAN [kN]	RTOWED [kN]	RMARGIN [kN]	RTOTAL [kN]	
13,00	454,07	0,00	0,00	0,00	0,00	68,11	68,11	522,18	
13,50	493,80	0,00	0,00	0,00	0,00	74,07	74,07	567,86	
14,00	537,29	0,00	0,00	0,00	0,00	80,59	80,59	617,88	
14,50	585,15	0,00	0,00	0,00	0,00	87,77	87,77	672,92	
+ 15,00 +	638,05	0,00	0,00	0,00	0,00	95,71	95,71	733,75	
15,50	696,69	0,00	0,00	0,00	0,00	104,50	104,50	801,19	
16,00	761,80	0,00	0,00	0,00	0,00	114,27	114,27	876,08	
16,50	834,36	0,00	0,00	0,00	0,00	125,15	125,15	959,51	
17,00	915,32	0,00	0,00	0,00	0,00	137,30	137,30	1052,62	
17,50	1005,06	0,00	0,00	0,00	0,00	150,76	150,76	1155,82	
SPEED [kt]	EFFECTIVE POWER		OTHER						
	PEBARE [kW]	PETOTAL [kW]	CTLR	CTLT	RBARE/W				
13,00	3036,7	3492,2	0,00196	0,03565	0,00089				
13,50	3429,4	3943,8	0,00246	0,03595	0,00096				
14,00	3869,7	4450,1	0,00307	0,03637	0,00105				
14,50	4364,9	5019,6	0,00380	0,03693	0,00114				
+ 15,00 +	4923,6	5662,1	0,00468	0,03762	0,00125				
15,50	5555,3	6388,6	0,00570	0,03847	0,00136				
16,00	6270,5	7211,1	0,00687	0,03948	0,00149				
16,50	7082,3	8144,6	0,00821	0,04066	0,00163				
17,00	8005,0	9205,8	0,00973	0,04202	0,00179				
17,50	9048,3	10405,6	0,01140	0,04354	0,00196				

ReportID20180801-1041

HydroComp NavCad 2014 14 02 0029 S1002 539

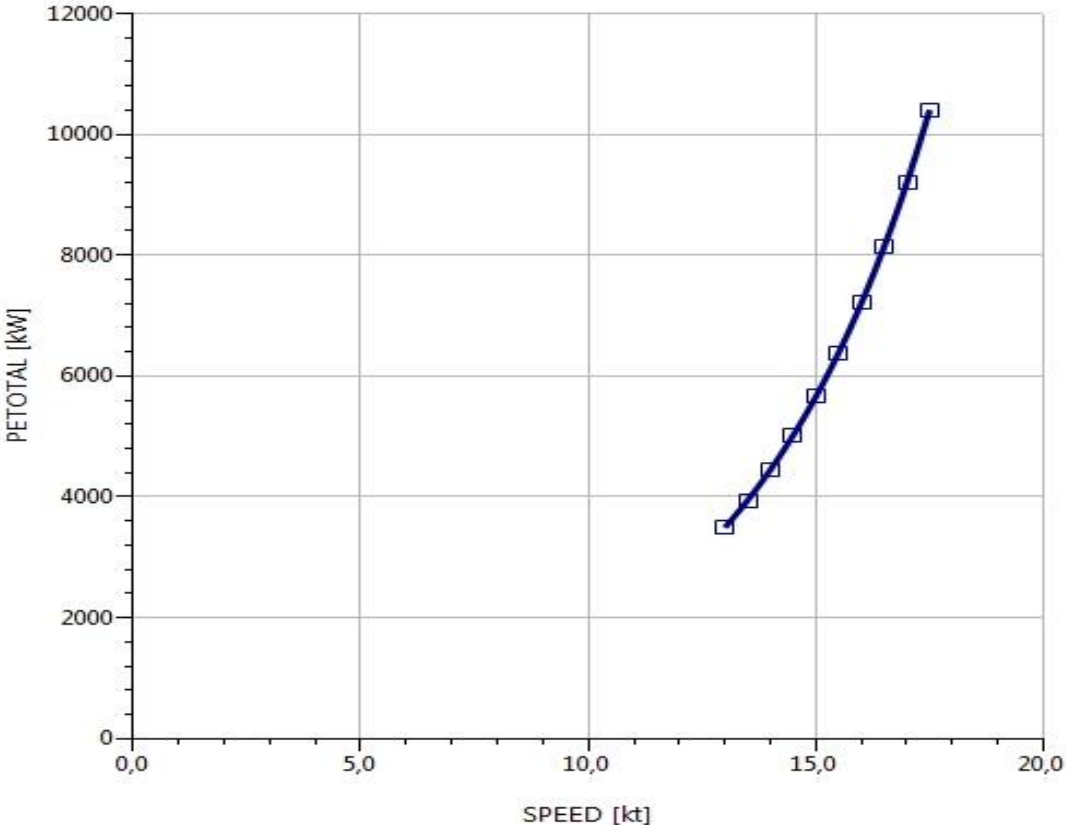


Figura 1 PE total (Kw) vs Speed (Knots)

Una vez calculada la potencia efectiva, podemos calcular la potencia requerida en el eje:

Propulsion

1 ago 2018 10:52
HydroComp NavCad 2014

Project ID Bulkcarrier 44500TPM
Description
File name potencia bulkcarrier 44500tpm.hcnc

Analysis parameters

Hull-propulsor interaction		System analysis	
Technique:	[Calc] Prediction	Cavitation criteria:	Keller eqn
Prediction:	Holtrop	Analysis type:	Free run
Reference ship:		CPP method:	
Max prop diam:	0,0 mm	Engine RPM:	
Corrections		Mass multiplier:	
Viscous scale corr:	[On] Standard	RPM constraint:	
Rudder location:	Behind propeller	Limit [RPM/s]:	
Friction line:	ITTC-57	Water properties	
Hull form factor:	1,268	Water type:	Salt
Corr allowance:	ITTC-78 (v2008)	Density:	1026,00 kg/m3
Roughness [mm]:	[Off] 0,15	Viscosity:	1,18920e-6 m2/s
Ducted prop corr:	[Off]		
Tunnel stern corr:	[Off]		
Effective diam:			
Recess depth:			

Prediction method check [Holtrop]

Parameters	FN [design]	CP	LWL/BWL	BWL/T
Value	0,18	0,78	6,19	2,46
Range	0,06-0,80	0,55-0,85	3,90-14,90	2,10-4,00

Prediction results [System]

SPEED [kt]	HULL-PROPULSOR				ENGINE			
	PETOTAL [kW]	WFT	THD	EFFR	RPMENG [RPM]	PBPROP [kW]	FUEL [L/h]	LOADENG [%]
13,00	3492,2	0,3745	0,1869	1,0306	82	4573,6	---	0,0
13,50	3943,8	0,3743	0,1869	1,0306	85	5176,0	---	0,0
14,00	4450,1	0,3742	0,1869	1,0306	88	5857,5	---	0,0
14,50	5019,6	0,3740	0,1869	1,0306	92	6632,0	---	0,0
+ 15,00 +	5662,1	0,3739	0,1869	1,0306	96	7515,8	---	0,0
15,50	6388,6	0,3738	0,1869	1,0306	100	8527,7	---	0,0
16,00	7211,1	0,3737	0,1869	1,0306	104	9688,7	---	0,0
16,50	8144,6	0,3736	0,1869	1,0306	109	11025,7	---	0,0
17,00	9205,8	0,3735	0,1869	1,0306	113	12569,0	---	0,0
17,50	10405,6	0,3734	0,1869	1,0306	118	14341,0	---	0,0
SPEED [kt]	POWER DELIVERY							
	RPMPROP [RPM]	QPROP [kN.m]	QENG [kN.m]	PDPROP [kW]	PSPROP [kW]	PSTOTAL [kW]	PBTOTAL [kW]	TRANSP
13,00	82	535,43	535,43	4436,4	4573,6	4573,6	4573,6	749,3
13,50	85	581,76	581,76	5020,7	5176,0	5176,0	5176,0	687,6
14,00	88	632,19	632,19	5681,7	5857,5	5857,5	5857,5	630,1
14,50	92	687,37	687,37	6433,0	6632,0	6632,0	6632,0	576,4
+ 15,00 +	96	747,97	747,97	7290,3	7515,8	7515,8	7515,8	526,1
15,50	100	814,73	814,73	8271,9	8527,7	8527,7	8527,7	479,2
16,00	104	888,41	888,41	9398,1	9688,7	9688,7	9688,7	435,4
16,50	109	969,97	969,97	10695,0	11025,7	11025,7	11025,7	394,5
17,00	113	1060,41	1060,41	12192,0	12569,0	12569,0	12569,0	356,6
17,50	118	1160,10	1160,10	13910,7	14341,0	14341,0	14341,0	321,7
SPEED [kt]	EFFICIENCY				THRUST			
	EFFO	EFFG	EFFOA	MERIT	THRPROP [kN]	DELTHR [kN]		
13,00	0,5876	1,0000	0,7636	0,61008	642,23	522,18		
13,50	0,5865	1,0000	0,7619	0,61135	698,42	567,86		
14,00	0,5850	1,0000	0,7597	0,61314	759,94	617,88		
14,50	0,5829	1,0000	0,7569	0,61548	827,63	672,92		
+ 15,00 +	0,5803	1,0000	0,7534	0,61839	902,45	733,75		
15,50	0,5772	1,0000	0,7492	0,62185	985,39	801,19		
16,00	0,5735	1,0000	0,7443	0,62584	1077,49	876,07		
16,50	0,5693	1,0000	0,7387	0,63035	1180,11	959,51		
17,00	0,5646	1,0000	0,7324	0,63536	1294,63	1052,62		
17,50	0,5594	1,0000	0,7256	0,64072	1421,56	1155,82		

En este caso hemos obtenido un valor de *Shaft Power Total* =7515,8 kW.

Análisis de resultados

Establecemos una comparación ahora de los resultados obtenidos con ambos programas.

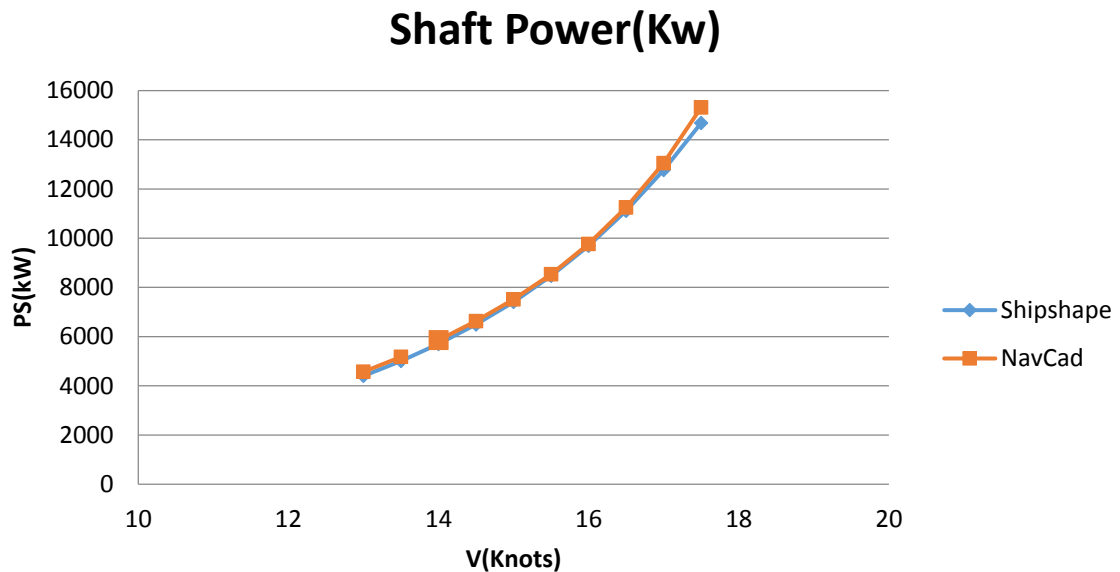


Figura 2 PS (kW) vs V (Knots)

Como podemos observar en la figura, los resultados obtenidos a través de ambos programas son prácticamente iguales. Por lo tanto, calculamos una media entre ambos como sigue a continuación:

ShipShape	7410 kW
Navcad	7515,8 kW
Potencia media	7462,9 kW

ELECCIÓN DEL MOTOR PROPULSOR

Una vez calculada la potencia en el apartado anterior, debemos buscar un motor propulsor que se adapte a dicho resultado.

El procedimiento a seguir es el siguiente:

1. Hemos de hallar la potencia máxima continua especificada (PM), para ello nos basamos en la potencia en el eje y a partir del rendimiento de la línea de ejes ($\eta_m \approx 0,98$) obtenemos el punto de diseño del propulsor del buque (PD). De esta forma obtenemos el siguiente valor:

$$PD = 7462,9 / 0,98 = 7669,18 \text{ kW}$$

2. Después de un tiempo de navegación, la resistencia al avance del buque aumenta, es por ello que la velocidad y las rpm de la hélice disminuirán (hélice pesada). En el diagrama se traduce en el traslado de PD a PD₁.

3. Para hallar la potencia de servicio continuo para la propulsión (PS) hemos de aplicar un 15% de margen de mar, de esta forma obtenemos:

$$PS = 1,15 \cdot 7669,18 = 8819,56 \text{ kW}$$

4. Si a la potencia de servicio continuo le aplicamos el margen del motor (85%) obtenemos la potencia máxima continua especificada (PM):

$$PM = 8819,56/0,85 = 10376 \text{ kW (13914,22 HP)}$$

El punto PM coincidirá con el valor de la potencia motriz que deberá proporcionar el motor propulsor.

A partir del catálogo de fabricantes (MAN B&W) se elige el siguiente motor (*ANEXO II. Características principales del motor propulsor*):

Modelo: 6S60MC

rpm = 105

PM = 12240 kW (16.680 HP)

3 SELECCIÓN DE LA PLANTA PROPULSORA

Como es habitual en este tipo de buques los requerimientos del proyecto fijan que el buque sea propulsado mediante un motor diesel acoplado directamente a una hélice de paso fijo. Además, nos indica que dicho buque ha de navegar a 15 nudos en condiciones de servicio a un régimen del 85% MCR y un margen del 15% y tendrá una autonomía de 15000 millas a la velocidad de servicio.

Cuando hemos de elegir el motor principal debemos tener en cuenta distintos factores: empacho, peso, precio, consumo,... Es usual que el Armador imponga una marca determinada si el resto de la flota que posee es de esa casa y le han dado un resultado satisfactorio.

En este mismo cuaderno se han realizado estudios para estimar la potencia del buque usando el programa *NavCad*, de este se ha obtenido el valor de la potencia máxima continua especificada, 10376 kW (13914,22 HP).

Para la elección del motor propulsor se exige que este valor esté lo más cercano posible del L_1 del motor considerado. Además se descartan todos los motores cuyo número de cilindros sea múltiplo al número de palas con objeto de evitar resonancias en las vibraciones torsionales.

A partir de la información proporcionada por la base de datos de buques parecidos se consideran dos posibles marcas del motor propulsor: Sulzer y MAN B&W. Como la información que se dispone de MAN B&W es amplia vamos a considerar el motor de MAN B&W 6S60MC.

3.1 Características del motor

El 6S60MC es un motor de 2 tiempos directamente acoplado. Posee las siguientes características principales:

Nº de cilindros → 6

Diámetro del pistón → 600 mm

Carrera → 2292 mm

A través del catálogo de MAN B&W obtenemos que el área de trabajo del motor seleccionado es la que sigue:

	POTENCIA (Kw)	POTENCIA (HP)	RPM	PME(bar)	SFOC (g·kW·h)	SFOC (g·kW·h)
Punto L_1	12240	16680	105	18,0	170	125
Punto L_2	7860	10680	105	11,5	158	116
Punto L_3	9180	12480	79	18,0	170	125
Punto L_4	5880	7980	79	11,5	158	116

Tabla 2 Características MAN B&W 6S60MC

3.2 Justificación de la potencia

Como decíamos en el apartado anterior nuestro motor elegido es el MAN B&W 6S60MC, por lo tanto, a continuación justificamos esta selección comprobando el valor de la potencia en el punto L_1 a partir de la siguiente expresión:

$$N_i = \frac{p_i \cdot \pi \cdot D^2 \cdot L \cdot n \cdot i}{0,45 \cdot z} \text{ (HP)} \rightarrow N_i = 16330 \text{ HP}$$

Donde:

pi: presión media indicada (bar) → 18 bar

D: diámetro del pistón (m) → 0,6m

L: carrera del pistón (m) → 2,292 m

n: número de rpm → 105rpm

Z: número de revoluciones por ciclo → 1 (para motor de 2 tiempos)

i: número de cilindros → 6

Como hemos comprobado este valor, se aproxima a los 16.680 HP que nos proporciona el fabricante en el Project Guide del motor.

SELECCIÓN DEL TURBOCOMPRESOR

Una vez escogido el motor, procederemos a escoger un turbocompresor adecuado al motor seleccionado. La selección del turbocompresor se realizará con el fin de conseguir un consumo de combustible lo más bajo posible a la MCR nominal del motor así como un alto rendimiento de la misma.

Los motores MC están diseñados para la utilización de turbocompresor MAN B&W, ABB o Mitsubishi (MHI) y adaptadas para cumplir con las limitaciones de NO_x de la IMO, dependientes de la velocidad.

En cuanto al tipo de turbocompresor, existen dos posibles alternativas:

- Turbocompresor convencional
- Turbocompresor de alta eficiencia.

En el caso de disponer de una turbocompresor convencional, la cantidad de aire para la combustión puede ser ajustada para obtener una temperatura más elevada de los gases de exhaustación. Sin embargo esta opción supone un aumento del consumos del motor de 2g/BHP·h frente a si se utiliza un turbocompresor de alto rendimiento, por lo que se seleccionara una turbocompresor de alta eficiencia.

Los principales tipos de turbocompresor de alto rendimiento aplicables a este tipo de motores se muestran en la siguiente tabla:

Nº Cilindros	MAN B&W	ABB	ABB	MHI
4	1xNA57/T9	1xTPL77-B11	1xVTR564D	1xMET53SE
5	1x NA57/T9	1xTPL80-B11	1x VTR714D	1xMET66SE
6	1x NA70/T9	1x TPL80-B12	1x VTR714D	1x MET66SE
7	1x NA70/T9	1x TPL85-B11	1x VTR714D	1x MET71SE
8	1x NA70/T9	1x TPL85-B11	2x VTR564D	1x MET83SE

Tabla 3 Tipos de turbocompresor

La selección del turbocompresor dependerá del punto al cual esté optimizado el motor, para lo cual será necesario ver el diagrama que se adjunta a continuación:

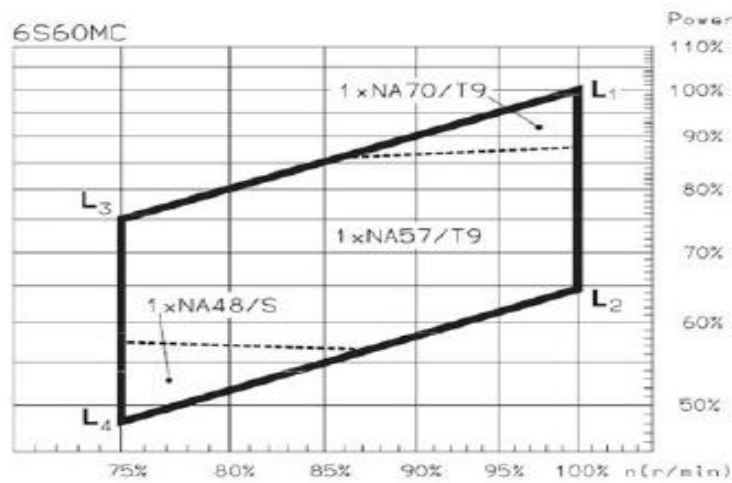


Figura 3 Diagrama de selección del turbocompresor

Según el gráfico anterior instalaremos un turbocompresor NA70/T9 que será el que mejor se adapte a nuestras necesidades.

El turbocompresor NA70/T9 se trata de un turbocompresor axial, que presenta las siguientes ventajas:

- Alto rendimiento
- Bajo nivel de ruido
- Alta fiabilidad y una vida útil elevada.

Las tareas de mantenimiento se pueden llevar a cabo fácilmente debido a que los compresores NA ofrecen importantes ventajas en cuanto a montaje en el motor y capacidad de realizar el mantenimiento de una forma más cómoda y fácil.

4 CÁLCULO DEL PROPULSOR

Las condiciones de servicio de este buque, y a las que el propulsor debe trabajar, son de 15 kn a la potencia de servicio (85 % MCR) y un 15 % de margen de mar, que son las especificadas en los requerimientos de este proyecto.

Lo primero que se ha de considerar es el deterioro que sufren tanto el casco como la hélice con el tiempo debido a la navegación, lo que hace que el coeficiente de estela aumente y el propulsor funcione como hélice pesada. Para corregir este fenómeno lo que haremos es diseñar la hélice con un cierto grado de ligereza, es decir lo diseñaremos para unas revoluciones ligeramente inferiores a las hasta ahora calculadas:

$$n = \text{rpm} \cdot \left[1 - \frac{\%L}{100}\right] = 105 \cdot \left[1 - \frac{\%3}{100}\right] = 102$$

Donde %L es el grado de ligereza, que suele oscilar entre el 2'5% y el 5%. En nuestro caso tomaremos un 3%.

Los datos del propulsor los determinaremos a partir del programa NavCad y se adjuntan a continuación.

Propulsion

1 ago 2018 10:52
HydroComp NavCad 2014

Project ID **Bulkcarrier 44500TPM**
Description
File name **potencia bulkcarrier 44500tpm.hcnc**

Analysis parameters

Hull-propulsor interaction		System analysis	
Technique:	[Calc] Prediction	Cavitation criteria:	Keller eqn
Prediction:	Holtrop	Analysis type:	Free run
Reference ship:		CPP method:	
Max prop diam:	0,0 mm	Engine RPM:	
Corrections		Mass multiplier:	
Viscous scale corr:	[On] Standard	RPM constraint:	
Rudder location:	Behind propeller	Limit [RPM/s]:	
Friction line:	ITTC-57	Water properties	
Hull form factor:	1,268	Water type:	Salt
Corr allowance:	ITTC-78 (v2008)	Density:	1026,00 kg/m3
Roughness [mm]:	[Off] 0,15	Viscosity:	1,18920e-6 m2/s
Ducted prop corr:	[Off]		
Tunnel stern corr:	[Off]		
Effective diam:			
Recess depth:			

Prediction method check [Holtrop]

Parameters	FN [design]	CP	LWL/BWL	BWL/T
Value	0,18	0,78	6,19	2,46
Range	0,06-0,80	0,55-0,85	3,90-14,90	2,10-4,00

Prediction results [System]

SPEED [kt]	HULL-PROPULSOR				ENGINE			
	PETOTAL [kW]	WFT	THD	EFFR	RPMENG [RPM]	PBPROP [kW]	FUEL [L/h]	LOADENG [%]
13,00	3492,2	0,3745	0,1869	1,0306	82	4573,6	---	0,0
13,50	3943,8	0,3743	0,1869	1,0306	85	5176,0	---	0,0
14,00	4450,1	0,3742	0,1869	1,0306	88	5857,5	---	0,0
14,50	5019,6	0,3740	0,1869	1,0306	92	6632,0	---	0,0
+ 15,00 +	5662,1	0,3739	0,1869	1,0306	96	7515,8	---	0,0
15,50	6388,6	0,3738	0,1869	1,0306	100	8527,7	---	0,0
16,00	7211,1	0,3737	0,1869	1,0306	104	9688,7	---	0,0
16,50	8144,6	0,3736	0,1869	1,0306	109	11025,7	---	0,0
17,00	9205,8	0,3735	0,1869	1,0306	113	12569,0	---	0,0
17,50	10405,6	0,3734	0,1869	1,0306	118	14341,0	---	0,0
SPEED [kt]	POWER DELIVERY							
	RPMPROP [RPM]	QPROP [kN-m]	QENG [kN-m]	PDPROP [kW]	PSPROP [kW]	PSTOTAL [kW]	PBTOTAL [kW]	TRANSP
13,00	82	535,43	535,43	4436,4	4573,6	4573,6	4573,6	749,3
13,50	85	581,76	581,76	5020,7	5176,0	5176,0	5176,0	687,6
14,00	88	632,19	632,19	5681,7	5857,5	5857,5	5857,5	630,1
14,50	92	687,37	687,37	6433,0	6632,0	6632,0	6632,0	576,4
+ 15,00 +	96	747,97	747,97	7290,3	7515,8	7515,8	7515,8	526,1
15,50	100	814,73	814,73	8271,9	8527,7	8527,7	8527,7	479,2
16,00	104	888,41	888,41	9398,1	9688,7	9688,7	9688,7	435,4
16,50	109	969,97	969,97	10695,0	11025,7	11025,7	11025,7	394,5
17,00	113	1060,41	1060,41	12192,0	12569,0	12569,0	12569,0	356,6
17,50	118	1160,10	1160,10	13910,7	14341,0	14341,0	14341,0	321,7
SPEED [kt]	EFFICIENCY				THRUST			
	EFFO	EFFG	EFFOA	MERIT	THRPROP [kN]	DELTHR [kN]		
13,00	0,5876	1,0000	0,7636	0,61008	642,23	522,18		
13,50	0,5865	1,0000	0,7619	0,61135	698,42	567,86		
14,00	0,5850	1,0000	0,7597	0,61314	759,94	617,88		
14,50	0,5829	1,0000	0,7569	0,61548	827,63	672,92		
+ 15,00 +	0,5803	1,0000	0,7534	0,61839	902,45	733,75		
15,50	0,5772	1,0000	0,7492	0,62185	985,39	801,19		
16,00	0,5735	1,0000	0,7443	0,62584	1077,49	876,07		
16,50	0,5693	1,0000	0,7387	0,63035	1180,11	959,51		
17,00	0,5646	1,0000	0,7324	0,63536	1294,63	1052,62		
17,50	0,5594	1,0000	0,7256	0,64072	1421,56	1155,82		

Propulsion

1 ago 2018 10:52
HydroComp NavCad 2014

Project ID **Bulkcarrier 44500TPM**
Description
File name **potencia bulkcarrier 44500tpm.hcnc**

Prediction results [Propulsor]

SPEED [kt]	PROPULSOR COEFS							
	J	KT	KQ	KTJ2	KQJ3	CTH	CP	RNPROP
13,00	0,4736	0,1899	0,02435	0,84652	0,22927	2,1556	3,5594	1,88e7
13,50	0,4723	0,1903	0,02439	0,85326	0,23153	2,1728	3,5945	1,96e7
14,00	0,4704	0,1909	0,02444	0,86291	0,23478	2,1974	3,6449	2,04e7
14,50	0,4679	0,1918	0,02450	0,87572	0,23911	2,23	3,7122	2,12e7
+ 15,00 +	0,4649	0,1928	0,02458	0,89193	0,24463	2,2713	3,7978	2,21e7
15,50	0,4613	0,1940	0,02468	0,91173	0,25142	2,3217	3,9032	2,30e7
16,00	0,4571	0,1954	0,02479	0,93527	0,25955	2,3817	4,0295	2,40e7
16,50	0,4523	0,1970	0,02491	0,96286	0,26918	2,4519	4,179	2,50e7
17,00	0,4470	0,1988	0,02505	0,99474	0,28043	2,5331	4,3536	2,60e7
17,50	0,4413	0,2006	0,02519	1,0304	0,29316	2,6239	4,5513	2,71e7

SPEED [kt]	CAVITATION								
	SIGMAV	SIGMAN	SIGMA07R	TIPSPD [m/s]	MINBAR	PRESS [kPa]	CAVAVG [%]	CAVMAX [%]	PITCHFC [mm]
13,00	18,94	4,25	0,84	27,75	0,423	64,51 !!	11,2	11,2	4273,3
13,50	17,56	3,92	0,77	28,91	0,443	70,16 !!	12,6	12,6	4268,8
14,00	16,32	3,61	0,71	30,10	0,464	76,34 !!	14,2	14,2	4262,4
14,50	15,21	3,33	0,66	31,35	0,488	83,14 !!	16,1	16,1	4254,1
+ 15,00 +	14,20	3,07	0,61	32,65	0,514	90,65 !!	18,3	18,3	4243,8
15,50	13,30	2,83	0,56	34,01	0,543	98,99 !!	20,9	20,9	4231,5
16,00	12,47	2,61	0,52	35,43	0,575	108,24 !!	23,9	23,9	4217,3
16,50	11,72	2,40	0,48	36,93	0,611	118,55 !!	27,6	27,6	4201,3
17,00	11,04	2,21	0,44	38,51	0,650	130,05 !!	32,0	32,0	4183,4
17,50	10,42	2,03	0,40	40,16	0,695	142,80 !!	37,3	37,3	4164,3

Report ID:20180801-1052

HydroComp NavCad 2014 14.02.0029.51002.539

Propulsion

1 ago 2018 10:52
HydroComp NavCad 2014

Project ID **Bulkcarrier 44500TPM**
Description
File name **potencia bulkcarrier 44500tpm.hcnc**

Hull data

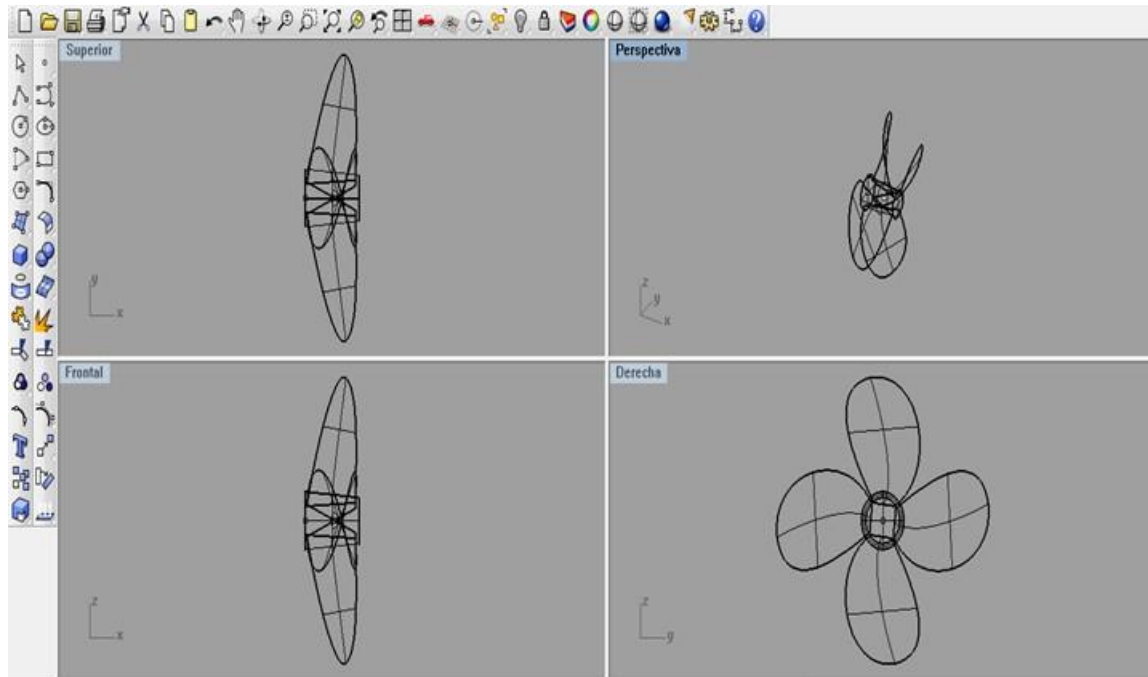
General		Planing	
Configuration:	Monohull	Proj chine length:	0,000 m
Chine type:	Round/multiple	Proj bottom area:	0,0 m2
Length on WL:	183,488 m	LCG fwd TR:	[XCG/LP 0,000] 0,000 m
Max beam on WL:	[LWL/BWL 6,186] 29,660 m	VCG below WL:	0,000 m
Max molded draft:	[BWL/T 2,457] 12,070 m	Aft station (fwd TR):	0,000 m
Displacement:	[CB 0,775] 52255,00 t	Deadrise:	0,00 deg
Wetted surface:	[CS 2,653] 8109,8 m2	Chine beam:	0,000 m
ITTC-78 (CT)		Chine ht below WL:	0,000 m
LCB fwd TR:	[XCB/LWL 0,510] 93,654 m	Fwd station (fwd TR):	0,000 m
LCF fwd TR:	[XCF/LWL 0,484] 88,870 m	Deadrise:	0,00 deg
Max section area:	[CX 0,995] 356,1 m2	Chine beam:	0,000 m
Waterplane area:	[CWP 0,850] 4627,8 m2	Chine ht below WL:	0,000 m
Bulb section area:	28,6 m2	Propulsor type:	Propeller
Bulb ctr below WL:	3,634 m	Max prop diameter:	0,0 mm
Bulb nose fwd TR:	186,782 m	Shaft angle to WL:	0,00 deg
Imm transom area:	[ATR/AX 0,000] 0,0 m2	Position fwd TR:	0,000 m
Transom beam WL:	[BTR/BWL 0,000] 0,000 m	Position below WL:	0,000 m
Transom immersion:	[TTR/T 0,000] 0,000 m	Transom lift device:	Flap
Half entrance angle:	34,70 deg	Device count:	0
Bow shape factor:	[AVG flow] 0,0	Span:	0,000 m
Stern shape factor:	[AVG flow] 0,0	Chord length:	0,000 m
		Deflection angle:	0,00 deg
		Tow point fwd TR:	0,000 m
		Tow point below WL:	0,000 m

Propulsor data

Propulsor		Propeller options	
Count:	1	Oblique angle corr:	Off
Propulsor type:	Propeller series	Shaft angle to WL:	0,00 deg
Propeller type:	FPP	Added rise of run:	0,00 deg
Propeller series:	B Series	Propeller cup:	0,0 mm
Propeller sizing:	By thrust	KTKQ corrections:	Custom
Reference prop:		Scale correction:	Full ITTC
Blade count:	4	KT multiplier:	1,000
Expanded area ratio:	0,3000 [Keep]	KQ multiplier:	1,000
Propeller diameter:	6500,0 mm [Size]	Blade T/C [0.7R]:	0,00
Propeller mean pitch:	[P/D 0,8154] 5300,0 mm [Keep]	Roughness:	0,00 mm
Hub immersion:	7000,0 mm	Cav breakdown:	Off
Engine/gear		Design condition	
Engine data:		Max prop diam:	0,0 mm
Rated RPM:	0 RPM	Design speed:	15,00 kt
Rated power:	0,0 kW	Reference power:	10404,0 kW
Gear efficiency:	1,000	Design point:	1,000
Load correction:	Off	Reference RPM:	102,0
Gear ratio:	1,000 [Keep]	Design point:	1,030
Shaft efficiency:	0,970		

Report ID:20180601-1052

HydroComp NavCad 2014.14.02.0029 S1002.538



Obtengo por lo tanto la hélice de mi buque, que tendrá las siguientes características:

Diámetro=6,5 m

Rpm=96

Expanded area ratio=0,300

P/D=0,8154

5 CLARAS EN EL CODASTE

Una vez definido el propulsor y el timón, comprobamos de nuevo disponer huelgos suficientes para evitar problemas debido a la interacción de la hélice con el casco y el timón. En el *cuaderno 3* se hizo mención a las claras mínimas que debe haber entre el propulsor y el codaste y se calcularon según el Lloyd's Register, el Norske Veritas y el Bureau Veritas, obteniendo los siguientes resultados:

Lloyd's Register:

$$a = A \cdot K_1 \cdot D$$

$$b = 1,5 \cdot a$$

$$c = 0,12 \cdot D$$

$$d = 0,03 \cdot D$$

donde:

$$A = 1,0 \text{ (para } Z=4)$$

$$K_1 = \left[\left(0,1 + \left(\frac{L}{3050} \right) \right) \cdot \left(2,56 C_b \left(\frac{BHP}{L^2} \right) + 0,3 \right) \right] = 0,165$$

Valores obtenidos:

$$a = 1,080 \text{ m}$$

$$b = 1,620 \text{ m}$$

$$c = 0,780 \text{ m}$$

$$d = 0,195 \text{ m}$$

Det Norske Veritas:

$$a = (0,24 - 0,01 \cdot Z) \cdot D$$

$$b = (0,35 - 0,02 \cdot Z) \cdot D$$

$$c = 0,1 \cdot D$$

$$d = 0,035 \cdot D$$

donde:

$$Z = \text{número de palas de la hélice (consideramos una hélice de 4 palas)}$$

Valores obtenidos:

$$a = 1,260 \text{ m}$$

$$b = 1,750 \text{ m}$$

$$c = 0,650 \text{ m}$$

$$d = 0,228 \text{ m}$$

Bureau Veritas:

$$a = A \cdot f \cdot D$$

$$b=1,5 \cdot a$$

$$c \geq 0,12D$$

$$d=0,03 \cdot D$$

Donde:

$$A=0,65 \text{ para hélices de 4 palas.}$$

$$f= ((C_B \cdot BHP)^{2/3}) / B \cdot L_{pp} = 0,0834$$

Valores obtenidos:

$$a=0,353 \text{ m}$$

$$b=0,529 \text{ m}$$

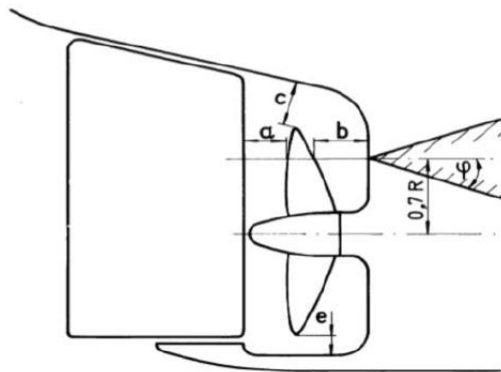
$$c \geq 0,780 \text{ m}$$

$$d= 0,195 \text{ m}$$

	Lloyd's Register	Det Norske Veritas	Bureau Veritas	Máximos
a	1,080	1,260	0,353	1,260
b	1,620	1,750	0,529	1,750
c	0,780	0,650	0,780	0,780
d	0,195	0,228	0,195	0,228

Tabla 4 Resumen vanos del codaste

Dónde los valores de a, b, c y d corresponden a las siguientes medidas:



Aparece en la imagen una nueva medida $0,7 \cdot R$, que para nuestro buque es $= 0,7 \times (6,5/2) = 2,275 \text{ m}$

En el apartado 7 *Croquis de la situación del propulsor, timón y codaste* puede verificarse que las holguras que se obtienen con la hélice de 6,5 m de diámetro son las siguientes:

$$a = 1,295 \text{ m} > 1,260 \text{ m} \rightarrow \text{CUMPLE}$$

$$b = 1,765 \text{ m} > 1,750 \text{ m} \rightarrow \text{CUMPLE}$$

$$c = 0,804 \text{ m} > 0,780 \text{ m} \rightarrow \text{CUMPLE}$$

$$d = 0,516 \text{ m} > 0,228 \text{ m} \rightarrow \text{CUMPLE}$$

6 CÁLCULO DEL TIMÓN Y DE SU PERFIL

Durante la navegación los barcos necesitan modificar o corregir su rumbo. A la entrada o salida de puerto son precisas evoluciones rápidas y eficaces. Por otra parte, aunque el barco es simétrico en su carena con relación al plano longitudinal, existen causas exteriores que tratan de desviar el rumbo rectilíneo, éstas pueden ser, el viento, corrientes de agua, golpes de mar, el empuje lateral de la hélice en determinadas circunstancias, etc. De estas consideraciones se deduce la necesidad de proveer al barco de dispositivos que permitan hacerle girar en un plano horizontal.

El número de timones viene dado por el número de propulsores. Al tener un solo propulsor también tendremos un único timón.

Los parámetros principales que debemos de tener en cuenta para el cálculo de nuestro timón son los que siguen a continuación:

C: cuerda del timón

H: altura del timón

d: posición del centro de presiones.

d_0 : distancia del centro de presiones a la mecha

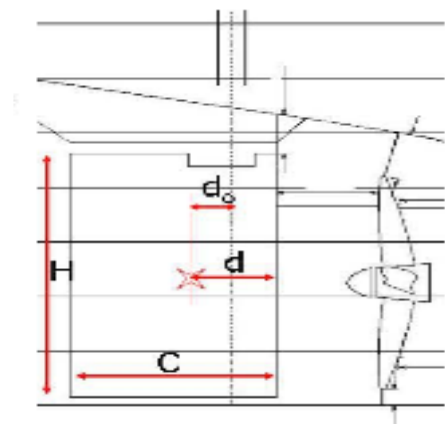


Figura 4 Partes del timón

Tipo de timón

El timón será de tipo semisuspendido, tomando como referencia el del buque “Pacific Endeavor”.

Altura del timón

Generalmente la altura del timón suele coincidir con el diámetro de la hélice, pero en mi caso he utilizado las medidas de mi buque de referencia “Pacific Endeavor”.

Relación de aspecto

En los apuntes de la asignatura *Métodos computacionales aplicados al proyecto de buque*, recojo que la relación de aspecto es el cociente entre la altura y la longitud media del timón. Suele ser 1,6 aproximadamente.

$$\frac{h}{l} \approx 1,6$$

Grado de compensación

El área del timón a proa del eje de giro, que se suele definir cómo % del área total, suele variar entre el 10 y el 20 % del área del timón.

El área proyectada

El área proyectada sobre el plano diametral varía entre el 1,5% y el 2% del producto $L_{pp} \cdot T$, se puede calcular por lo tanto a partir de la siguiente ecuación $\rightarrow A=K \cdot \text{Área deriva} = K \cdot (L_{pp} \cdot T)$.

Para facilitar los cálculos dividimos el área del timón en tres áreas, la A, la B y la C, como podemos ver la *Figura 5 Dimensiones del timón*.

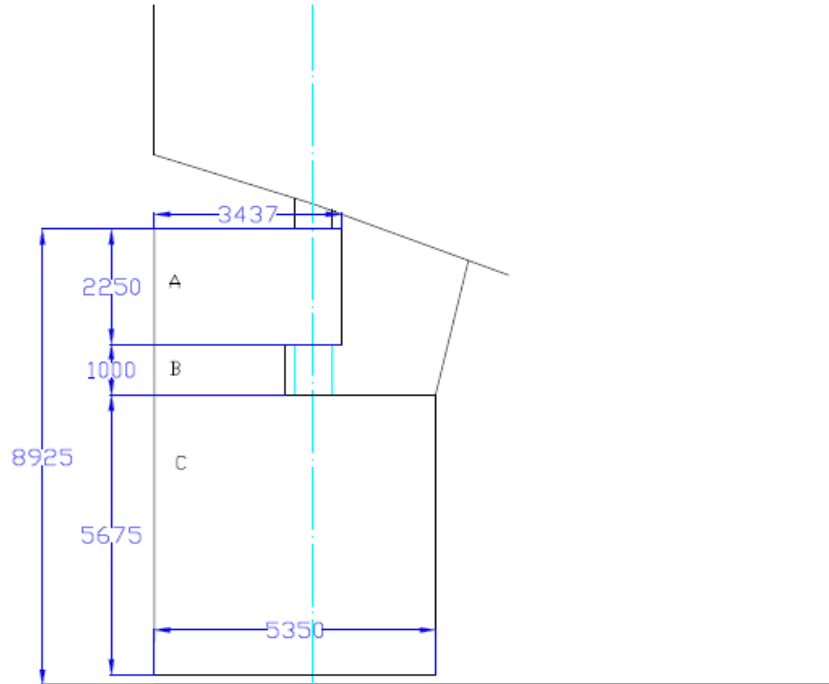


Figura 5 Dimensiones del timón

Las dimensiones obtenidas del timón son por lo tanto:

	y(m)	x(m)	ÁREA(m ²)
ZONA A	2,250	3,437	7,733
ZONA B	1,000	2,600	2,600
ZONA C	5,675	5,350	30,361
TOTAL	8,925		40,700

Tabla 5 Área del timón

Área total del timón = 40,700 m²

Podemos ahora calcular el valor de K:

$$A=K \cdot \text{Área deriva} = K \cdot (L_{pp} \cdot T) = 40,70 = K \cdot (180,14 \cdot 12,07)$$

K=1,88%, por lo tanto para nuestro buque a diseñar el valor de la constante K, se encuentra dentro del rango expuesto (1,5%-2,5%)

donde

$$k=1,5-2,5\%$$

$$L_{pp}: \text{eslora entre perpendiculares} \rightarrow 180,14 \text{ m}$$

$$T: \text{calado de diseño} \rightarrow 12,07 \text{ m}$$

Según la fórmula de Det Norske Veritas (*Rules for Ships, July 2007 Pt.3 Ch.3 Sec.2 – Page 10*) el área del timón del buque no debe ser menor de:

$$A = \frac{L_{pp} \cdot T}{100} \cdot (1 + 50 \cdot C_b^2 \left(\frac{B}{L_{pp}}\right)^2) = 40,60 \text{ m}^2$$

Podemos comprobar que nuestro buque cumple con esta regla impuesta por la Sociedad de Clasificación DNV.

Cálculo del centro de presión, fuerzas y par torsor

Centro de presión

La distancia al centro de presión se calcula a través de la fórmula:

$$D = (0,2 + 0,3 |\sin \alpha|) \cdot l$$

donde

α : 35° según el SOLAS

l: es la longitud media en cada zona del timón

Las longitudes medias de cada una de las zonas son las siguientes:

$$l_A = 3,437 \text{ m}$$

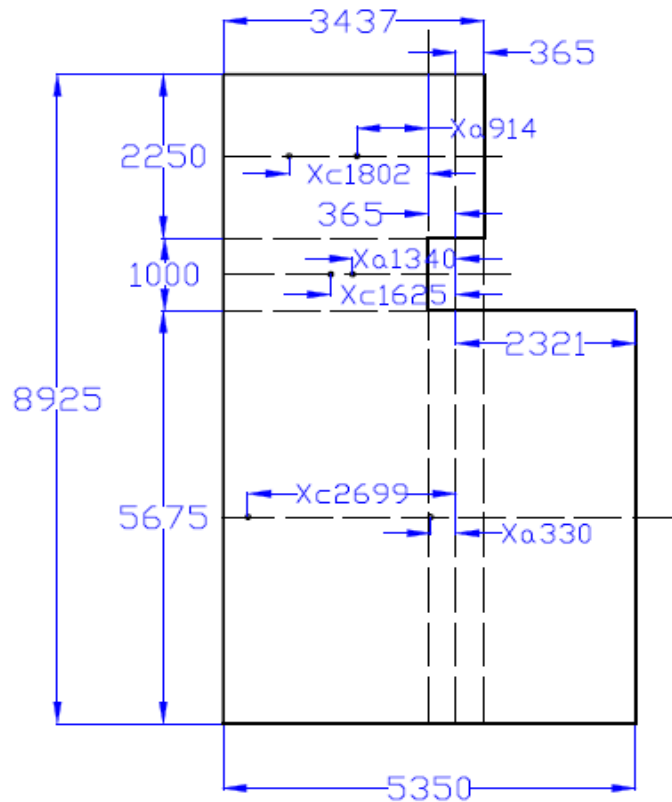
$$l_B = 2,600 \text{ m}$$

$$l_C = 5,350 \text{ m}$$

En la siguiente tabla quedan reflejados los siguientes valores para cada zona:

		D(m)	X(m)
A	Avance	1,279	$X_{\text{avance}} = 1,279 - 0,365 = 0,914$
	Ciando		$X_{\text{ciando}} = 3,437 - 0,365 - 1,270 = 1,802$
B	Avance	0,967	$X_{\text{avance}} = 0,975 - (-0,365) = 1,34$
	Ciando		$X_{\text{ciando}} = 2,600 - (-0,365) - 1,34 = 1,625$
C	Avance	1,991	$X_{\text{avance}} = 1,991 - 2,321 = -0,330$
	Ciando		$X_{\text{ciando}} = 5,350 - 2,321 - 0,330 = 2,699$

Tabla 6 Centros de presión



Donde

X: distancia del centro de presión al eje (m).

La tabla que nos permite calcular el centro de presión total es la siguiente:

ZONA	ÁREA(m ²)	AVANTE		CIANDO	
		Xa (m)	A·Xa(m ³)	Xc(m)	A·Xc(m ³)
A	7,733	0,914	7,068	1,802	13,935
B	2,600	1,340	3,484	1,625	4,225
C	30,361	0,330	10,019	2,699	81,944
TOTAL	40,700		20,571		100,104

Tabla 7 Centro de presiones

De esta forma, según el buque esté avanzando o ciando, el centro de presión se encontrará a una distancia:

$$X_{avante} = \frac{\sum A \cdot X_a}{\sum A} = 0,505 \text{ m}$$

$$X_{ciando} = \frac{\sum A \cdot X_c}{\sum A} = 2,460 \text{ m}$$

Xavante=0,505 m avante

Xciando=2,460 m ciando

Fuerza sobre el timón

Una vez calculado los centros de presión avante y cuando podemos calcular la fuerza y el par sobre el timón teniendo en cuenta la fórmula:

$$F = \frac{41,35 \cdot \text{ÁREA} \cdot V^2 \cdot \sin\alpha}{(0,2 + 0,3\sin\alpha)}$$

Donde:

α : 35° según el SOLAS

S: Área de la pala (m²) → 40,700m²

V: Velocidad del buque (m/s)

La velocidad del buque de proyecto es de 15 nudos, aunque en el diseño del timón tenemos en cuenta una velocidad algo superior para compensar aquellas situaciones en las que el buque navega vacío, es por ello que consideraremos como velocidad de avante 17 nudos (8,75 m/s)

El buque cuando donde la velocidad será de 2/3 de la velocidad avante, es decir, 11,33 nudos (5,83 m/s).

$$F_{\text{avante}} = \frac{41,35 \cdot 40,70 \cdot 8,75^2 \cdot \sin 35}{(0,2 + 0,3\sin 35)} = 198.632,018 \text{ N}$$

$$F_{\text{cuerdo}} = \frac{41,35 \cdot 40,70 \cdot 5,83^2 \cdot \sin 35}{(0,2 + 0,3\sin 35)} = 88.180,033 \text{ N}$$

Par torsor

Una vez conocida la fuerza sobre el timón podemos ahora calcular el par torsor del mismo a través de la fórmula → $M = F \cdot X$

donde:

F: es la fuerza calculada anteriormente con el buque avante y cuando (N)

X: es el centro de presión (m)

$$M_{\text{avante}} = F_{\text{avante}} \cdot X_{\text{avante}} = 198.632,018 \cdot 0,505 \text{ m} = 100.309,169 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$M_{\text{cuerdo}} = F_{\text{cuerdo}} \cdot X_{\text{cuerdo}} = 88.180,033 \cdot 2,460 \text{ m} = 216.922,882 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Calculamos ahora el valor del par del servomotor el cual se obtiene multiplicando el mayor valor del par por 1,3, de esta forma obtenemos:

$$Q_R = 216922,882 \cdot 1,3 = 281,999 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Potencia del servomotor

El reglamento internacional SOLAS indica en el *Capítulo II-1, Parte C, Regla 29* lo siguiente:

El aparato de gobierno principal y la mecha del timón:

1 tendrán resistencia suficiente y permitirán el gobierno del buque a la velocidad máxima de servicio en marcha avante, el cual deberá quedar demostrado;

2 permitirán el cambio de timón de una posición de 35° a una banda hasta otra de 35° a la banda opuesta encontrándose el buque navegando a la velocidad máxima de servicio en marcha avante e con su calado máximo en agua salada, y, dadas las mismas condiciones,

desde una posición de 35° a cualquiera de ambas bandas hasta otra de 30° a la banda opuesta sin que eso lleve más de 28 segundos.

$$P_{\text{SERVO}} = \frac{Q_R \cdot \omega}{\eta}$$

donde:

ω : es la velocidad angular, por lo que tendremos en cuenta que el timón ha de poder girar de 30° a una banda a 35° a la otra en un tiempo máximo de 28 segundos, por lo tanto

$$\rightarrow \omega = \frac{(35+30) \cdot \frac{\pi}{180}}{28} = 0,0405 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$$

η : es el rendimiento del sistema de gobierno completo que consideramos de 0,65.

Q_R : es el par del servomotor (kN·m)

$$P_{\text{SERVO}} = \frac{Q_R \cdot \omega}{\eta} = 19,035 \text{ kW}$$

Dimensiones de la mecha del timón

En la *Parte 3, Capítulo 2, Sección 14 (Timones)*, del Reglamento se define el diámetro de la mecha. Distingue el reglamento entre la parte alta y baja de la mecha. El diámetro de la mecha será inferior al obtenido según la siguiente ecuación:

$$S = N_u \sqrt[3]{Qr \cdot Ks} \text{ (mm)}$$

Donde:

$$N_u = 42,0$$

$$Ks = (n_y/Y)^e$$

$$n_y = 235 \text{ N/mm}^2$$

Y = Límite elástico especificado del material N/mm^2 ; no se tomara mayor que $0,7U$ o 450 N/mm^2 , el que sea menor. Por lo tanto $Y = 315 \text{ N/mm}^2$.

U = tensión de fluencia del material. Tomaremos un valor de 450 N/mm^2

$$e = 0,75 \text{ para } Y > 235 \text{ N/mm}^2$$

$$Ks = 0,803$$

$$S = N_u \sqrt[3]{Qr \cdot Ks} = S = 42 \sqrt[3]{Qr \cdot Ks} = 256,00 \text{ mm}$$

Elección del perfil

Los tipos de timones más usuales en buques mercantes son los que se presentan a continuación, clasificados según su unión al buque:

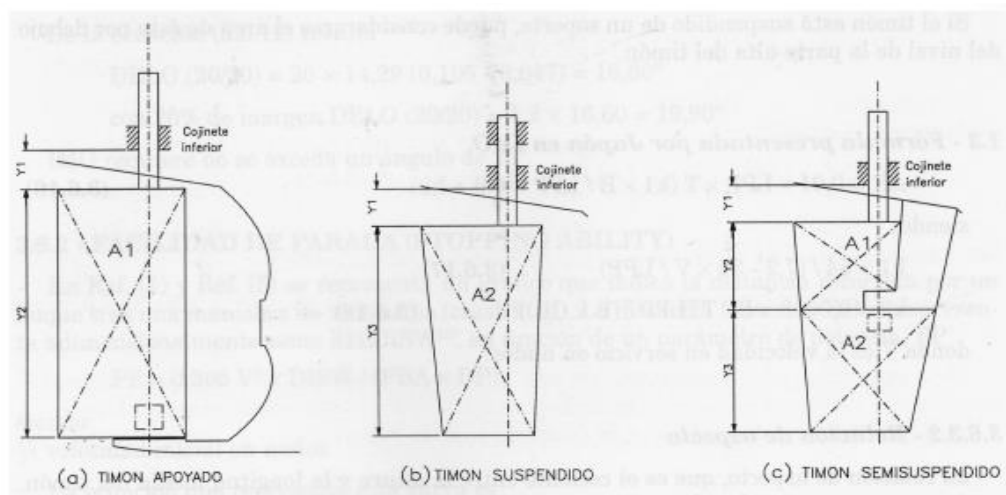


Figura 6 Tipos de timón

Debido a las dimensiones que va a tener el timón de este buque (conocidas a priori a través de su área mínima) y la configuración de la popa, se va a optar por un timón semisuspendido. Esto permitirá reducir los esfuerzos de vibración o sacudidas, que causan grietas, en el extremo de popa del timón.

Todos los timones presentados en este apartado son timones compensados, es decir, su eje de giro divide a la pala en dos partes desiguales, situándose la menor a proa del eje de giro. Lo que permite reducir el momento necesario para el giro del timón. Por lo tanto, el timón elegido también será compensado.

El mayor rendimiento del timón compensado se obtiene para un determinado ángulo de deriva, ya que la posición del centro de presión varía con dicho ángulo.

Aumentando el área a proa de la mecha, la compensación será mayor para pequeños ángulos, pero puede llegar a ser negativa para ángulos grandes. Con marcha atrás todos los timones están fuertemente compensados.

El timón semisuspendido se apoya en una estructura saliente del codaste. Esta fijación permite una mayor superficie de la pala y una pequeña compensación de gran profundidad. La unión de estos timones con el codaste abarca todo el borde de ataque de la pala. En el codaste se sitúan los casquillos o hembras que reciben a los machos del timón (pinzotes). Es indispensable que la alineación entre las hembras del codaste y la mecha del timón sea lo más perfecta posible.

La mecha se acopla al timón por medio de un cono ajustado, en su extremo inferior, por una tuerca.

El perfil currentiforme elegido para este timón es un NACA-18. Los dos últimos dígitos indican que su anchura máxima es del 18% de la cuerda del timón.

Para dibujar y calcular dicho perfil tendremos en cuenta que los espesores del perfil varían con la longitud de la cuerda que en nuestro caso es 5350 mm, tal y como se muestra en la siguiente tabla, para algunos de los perfiles más comunes:

Distance	NACA 12	NACA 15	NACA 18	NACA 21	NACA 25
1.25	1.89	2.37	2.84	3.31	3.95
2.50	2.62	3.27	3.92	4.58	5.45
5.00	3.56	4.44	5.33	6.22	7.41
7.50	4.20	5.25	6.30	7.35	8.75
10.00	4.68	5.85	7.02	8.20	9.76
15.00	5.34	6.68	8.02	9.35	11.14
20.00	5.74	7.17	8.61	10.04	11.95
30.00	6.00	7.50	9.00	10.50	12.50
40.00	5.80	7.25	8.70	10.16	12.09
50.00	5.29	6.62	7.94	9.26	11.03
60.00	4.56	5.70	6.84	7.99	9.51
70.00	3.66	4.58	5.50	6.41	7.63
80.00	2.62	3.28	3.94	4.59	5.46
90.00	1.45	1.81	2.17	2.53	3.02
95.00	0.81	1.01	1.21	1.41	1.68
100.00	0.13	0.16	0.19	0.22	0.26
All Measurements in Percent of Chord					

Tabla 8 Espesores de los perfiles NACA

A partir de estos datos calculamos nuestro perfil:

$$Y=a \cdot l/100$$

l: longitud de la cuerda. En este caso l=5350 mm

Distancia %	NACA 18	X	Yupper(mm)	Ydown(mm)
1,25	2,84	66,88	151,94	-151,94
2,50	3,92	133,75	209,72	-209,72
5,00	5,33	267,50	285,16	-285,16
7,50	6,30	401,25	337,05	-337,05
10,00	7,02	535,00	375,57	-375,57
15,00	8,02	802,50	429,07	-429,07
20,00	8,61	1070,00	460,64	-460,64
30,00	9,00	1605,00	481,50	-481,50
40,00	8,70	2140,00	465,45	-465,45
50,00	7,94	2675,00	424,79	-424,79
60,00	6,84	3210,00	365,94	-365,94
70,00	5,50	3745,00	294,25	-294,25
80,00	3,94	4280,00	210,79	-210,79
90,00	2,17	4815,00	116,10	-116,10
95,00	1,21	5082,50	64,74	-64,74
100,00	0,19	5350,00	10,17	-10,17

Tabla 9 Espesores del perfil NACA para el buque a proyectar

Introduciendo los datos de la anterior tabla en el programa Excel, obtenemos que la forma de nuestro perfil del timón será la que se muestra a continuación:

Perfil NACA 18

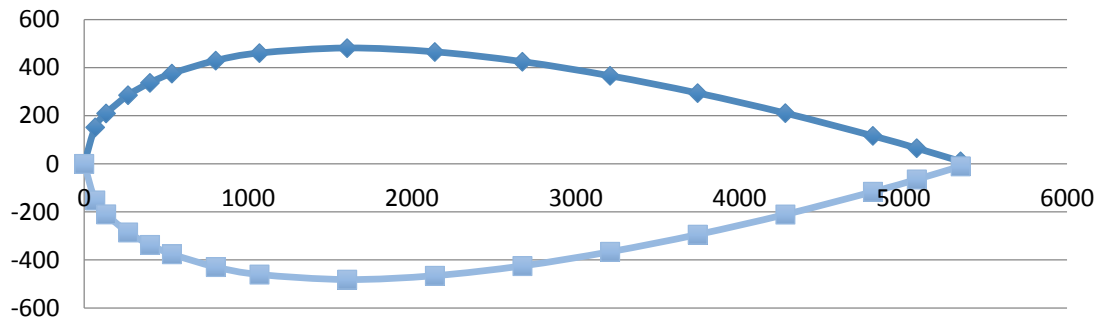
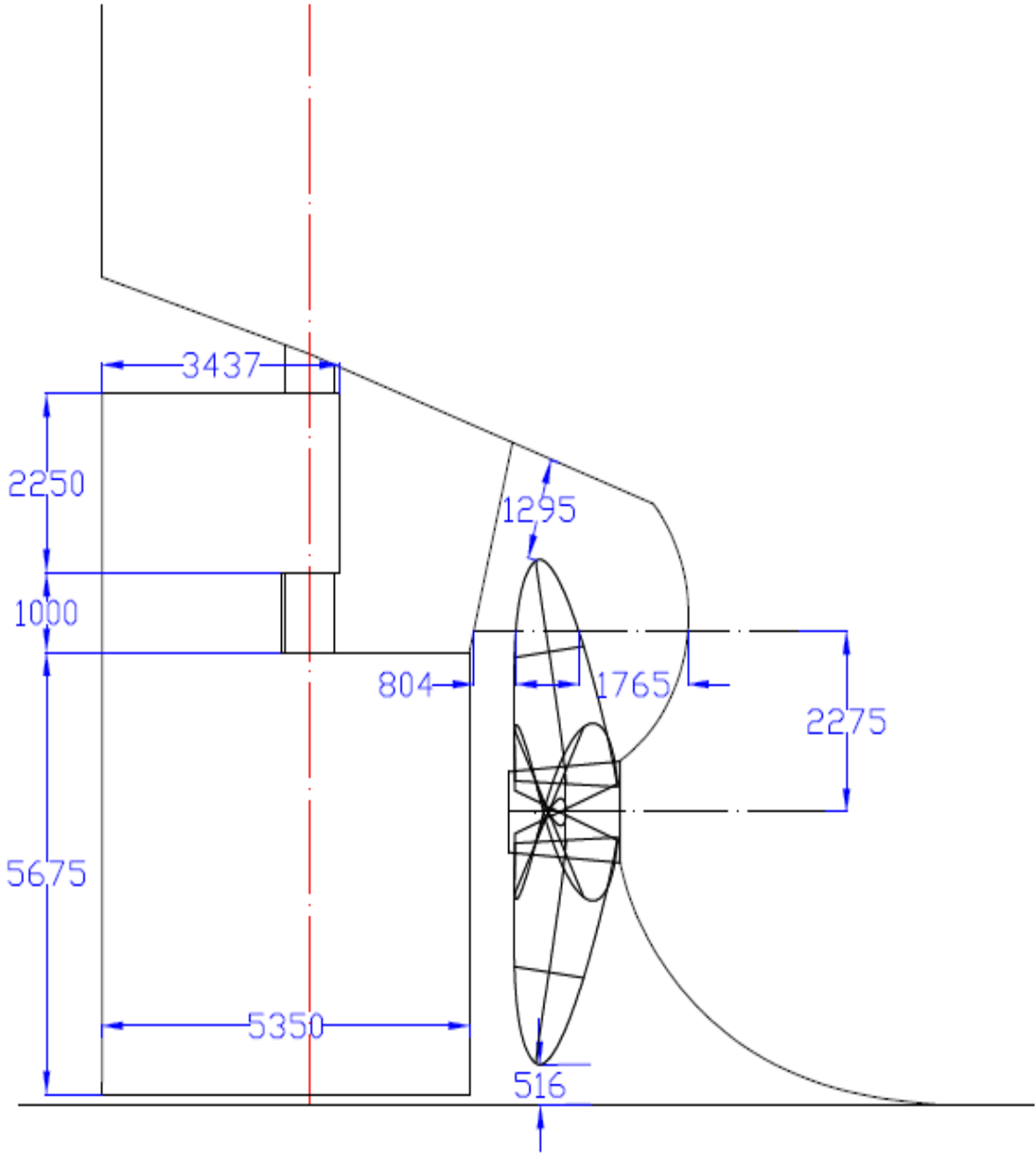


Figura 7 perfil NACA 18

7 CROQUIS DE LA SITUACIÓN DEL PROPULSOR, TIMÓN Y CODASTE



8 REFERENCIAS

Alvariño, Ricardo; Azpiroz, Juan José; Meizoso, Manuel. *El Proyecto Básico Del Buque Mercante*. Fondo editorial de Ingeniería Naval, Colegio Oficial de Ingenieros Navales (edit.). Madrid: 1997. ISBN: 84-921750-2-8.

Baquero, Antonio. *Introducción a la propulsión de buques*.

Catálogo Motores MAN B&W → <http://www.manbw.com>

Significant ships of 1992. Pacific Endeavor. [England]: Warwick Printing Co. Ltd., 1992. Pág. 87-88.

Junco Ocampo, Fernando. *Proyectos de buques y artefactos. Cuarta parte: Concepción del proyecto*. (P.T.U. U.D.C.; Ingeniería Naval y Oceánica; EPS.). ISBN: 84-688-3542-0.

Sociedad de Clasificación American Bureau of Shipping <http://www.eagle.org>

Datos recogidos en las clases de la asignatura: *Métodos Computacionales Aplicados al Proyecto*. Curso 2013/2014. Escuela Politécnica Superior.

ANEXO I. RESULTADOS OBTENIDOS DEL PROGRAMA NAVCAD

Resistance

1 ago 2018 11:25

HydroComp NavCad 2014

Project ID Bulkcarrier 44500TPM

Description

File name potencia bulkcarrier 44500tpm.hcnc

Analysis parameters

Vessel drag		ITTC-78 (CT)	Added drag	
Technique:	[Calc]	Prediction	Appendage:	[Calc] Holtrop (Component)
Prediction:		Holtrop	Wind:	[Off]
Reference ship:			Seas:	[Off]
Model LWL:			Shallow/channel:	[Off]
Expansion:		Standard	Towed:	[Off]
Friction line:		ITTC-57	Margin:	[Calc] Hull + added drag [15%]
Hull form factor:	[On]	1,268	Water properties	
Speed corr:	[Off]		Water type:	Salt
Spray drag corr:	[Off]		Density:	1026,00 kg/m3
Corr allowance:		ITTC-78 (v2008)	Viscosity:	1,18920e-6 m2/s
Roughness [mm]:	[On]	0,15		

Prediction method check [Holtrop]

Parameters	FN [design]	CP	LWL/BWL	BWL/T	Lambda
Value	0,18	0,78	6,19	2,46	0,94
Range	0,06-0,32	0,55-0,85	3,90-14,90	2,10-4,00	0,01-1,07

Prediction results

SPEED [kt]	SPEED COEFS		ITTC-78 COEFS						
	FN	FV	RN	CF	[CTLT/CF]	CR	dCF	CA	CT
13,00	0,158	0,351	1,03e9	0,001525	1,268	0,000134	0,000000	0,000373	0,002440
13,50	0,164	0,364	1,07e9	0,001518	1,268	0,000168	0,000000	0,000368	0,002461
14,00	0,170	0,378	1,11e9	0,001511	1,268	0,000210	0,000000	0,000364	0,002490
14,50	0,176	0,391	1,15e9	0,001504	1,268	0,000260	0,000000	0,000360	0,002528
+ 15,00 +	0,182	0,405	1,19e9	0,001498	1,268	0,000320	0,000000	0,000356	0,002576
15,50	0,188	0,418	1,23e9	0,001492	1,268	0,000390	0,000000	0,000352	0,002634
16,00	0,194	0,432	1,27e9	0,001486	1,268	0,000470	0,000000	0,000348	0,002703
16,50	0,200	0,445	1,31e9	0,001481	1,268	0,000562	0,000000	0,000344	0,002783
17,00	0,206	0,459	1,35e9	0,001475	1,268	0,000666	0,000000	0,000340	0,002877
17,50	0,212	0,472	1,39e9	0,001470	1,268	0,000780	0,000000	0,000336	0,002981
RESISTANCE									
SPEED [kt]	RBARE [kN]	RAPP [kN]	RWIND [kN]	RSEAS [kN]	RCHAN [kN]	RTOWED [kN]	RMARGIN [kN]	RTOTAL [kN]	
13,00	454,07	0,00	0,00	0,00	0,00	68,11	68,11	522,18	
13,50	493,79	0,00	0,00	0,00	0,00	74,07	74,07	567,86	
14,00	537,29	0,00	0,00	0,00	0,00	80,59	80,59	617,88	
14,50	585,15	0,00	0,00	0,00	0,00	87,77	87,77	672,92	
+ 15,00 +	638,05	0,00	0,00	0,00	0,00	95,71	95,71	733,75	
15,50	696,68	0,00	0,00	0,00	0,00	104,50	104,50	801,19	
16,00	761,80	0,00	0,00	0,00	0,00	114,27	114,27	876,08	
16,50	834,36	0,00	0,00	0,00	0,00	125,15	125,15	959,51	
17,00	915,32	0,00	0,00	0,00	0,00	137,30	137,30	1052,62	
17,50	1005,06	0,00	0,00	0,00	0,00	150,76	150,76	1155,82	
EFFECTIVE POWER									
SPEED [kt]	PEBARE [kW]	PETOTAL [kW]	OTHER						
			CTLR	CTLT	RBARE/W				
13,00	3036,7	3492,2	0,00196	0,03565	0,00089				
13,50	3429,4	3943,8	0,00246	0,03595	0,00096				
14,00	3869,7	4450,1	0,00307	0,03637	0,00105				
14,50	4364,9	5019,6	0,00380	0,03693	0,00114				
+ 15,00 +	4923,6	5662,1	0,00468	0,03762	0,00125				
15,50	5555,3	6388,6	0,00570	0,03847	0,00136				
16,00	6270,5	7211,1	0,00687	0,03948	0,00149				
16,50	7082,3	8144,6	0,00821	0,04066	0,00163				
17,00	8005,0	9205,8	0,00973	0,04202	0,00179				
17,50	9048,3	10405,6	0,01140	0,04354	0,00196				

Report ID:20180801-1125

HydroComp NavCad 2014 14.02.0029 S1002 539

Resistance

1 ago 2018 11:25
HydroComp NavCad 2014

Project ID **Bulkcarrier 44500TPM**
Description
File name **potencia bulkcarrier 44500tpm.hcnc**

Hull data

General		Planing	
Configuration:	Monohull	Proj chine length:	0,000 m
Chine type:	Round/multiple	Proj bottom area:	0,0 m2
Length on WL:	183,488 m	LCG fwd TR:	[XCG/LP 0,000] 0,000 m
Max beam on WL:	[LWL/BWL 6,186] 29,660 m	VCG below WL:	0,000 m
Max molded draft:	[BWL/T 2,457] 12,070 m	Aft station (fwd TR):	0,000 m
Displacement:	[CB 0,775] 52255,00 t	Deadrise:	0,00 deg
Wetted surface:	[CS 2,653] 8109,8 m2	Chine beam:	0,000 m
ITTC-78 (CT)		Chine ht below WL:	0,000 m
LCB fwd TR:	[XCB/LWL 0,510] 93,654 m	Fwd station (fwd TR):	0,000 m
LCF fwd TR:	[XCF/LWL 0,484] 88,870 m	Deadrise:	0,00 deg
Max section area:	[CX 0,995] 356,1 m2	Chine beam:	0,000 m
Waterplane area:	[CWP 0,850] 4627,8 m2	Chine ht below WL:	0,000 m
Bulb section area:	28,6 m2	Propulsor type:	Propeller
Bulb ctr below WL:	3,634 m	Max prop diameter:	6500,0 mm
Bulb nose fwd TR:	186,782 m	Shaft angle to WL:	0,00 deg
Imm transom area:	[ATR/AX 0,000] 0,0 m2	Position fwd TR:	0,000 m
Transom beam WL:	[BTR/BWL 0,000] 0,000 m	Position below WL:	0,000 m
Transom immersion:	[TTR/T 0,000] 0,000 m	Transom lift device:	Flap
Half entrance angle:	34,70 deg	Device count:	0
Bow shape factor:	[AVG flow] 0,0	Span:	0,000 m
Stern shape factor:	[AVG flow] 0,0	Chord length:	0,000 m
		Deflection angle:	0,00 deg
		Tow point fwd TR:	0,000 m
		Tow point below WL:	0,000 m

Report ID20180601-1125

HydroComp NavCad 2014 14.02.0029.S1002.539

Resistance

1 ago 2018 11:25
HydroComp NavCad 2014

Project ID **Bulkcarrier 44500TPM**
Description
File name **potencia bulkcarrier 44500tpm.hcnc**

Appendage data

General		Skeg/Keel	
Definition:	Component	Count:	0
Percent of hull drag:	0,00 %	Type:	Skeg
Planing influence		Mean length:	0,000 m
LCE fwd TR:	0,000 m	Mean width:	0,000 m
VCE below WL:	0,000 m	Height aft:	0,000 m
Shafting		Height mid:	0,000 m
Count:	1	Height fwd:	0,000 m
Max prop diameter:	6500,0 mm	Projected area:	0,0 m2
Shaft angle to WL:	0,00 deg	Wetted surface:	0,0 m2
Exposed shaft length:	0,000 m	Stabilizer	
Shaft diameter:	0,000 m	Count:	0
Wetted surface:	0,0 m2	Root chord:	0,000 m
Strut bossing length:	0,000 m	Tip chord:	0,000 m
Bossing diameter:	0,000 m	Span:	0,000 m
Wetted surface:	0,0 m2	T/C ratio:	0,000
Hull bossing length:	0,000 m	LE sweep:	0,00 deg
Bossing diameter:	0,000 m	Wetted surface:	0,0 m2
Wetted surface:	0,0 m2	Projected area:	0,0 m2
Strut (per shaft line)		Dynamic multiplier:	1,00
Count:	0	Bilge keel	
Root chord:	0,000 m	Count:	0
Tip chord:	0,000 mm	Mean length:	0,000 m
Span:	0,000 m	Mean base width:	0,000 m
T/C ratio:	0,000	Mean projection:	0,000 m
Projected area:	0,0 m2	Wetted surface:	0,0 m2
Wetted surface:	0,0 m2	Tunnel thruster	
Exposed palm depth:	0,000 m	Count:	0
Exposed palm width:	0,000 m	Diameter:	0,000 m
Rudder		Sonar dome	
Count:	1	Count:	0
Rudder location:	Behind propeller	Wetted surface:	0,0 m2
Type:	Balanced foil	Miscellaneous	
Root chord:	0,000 m	Count:	0
Tip chord:	0,000 m	Drag area:	0,0 m2
Span:	0,000 m	Drag coef:	0,00
T/C ratio:	0,000		
LE sweep:	0,00 deg		
Projected area:	0,0 m2		
Wetted surface:	0,0 m2		

Environment data

Wind		Seas	
Wind speed:	0,00 kt	Significant wave ht:	0,000 m
Angle off bow:	0,00 deg	Modal wave period:	0,0 sec
Gradient correction:	Off	Shallow/channel	
Exposed hull		Water depth:	0,000 m
Transverse area:	0,0 m2	Type:	Shallow water
VCE above WL:	0,000 m	Channel width:	0,000 m
Profile area:	0,0 m2	Channel side slope:	0,00 deg
Superstructure		Hull girth:	0,000 m
Superstructure shape:	Cargo ship		
Transverse area:	0,0 m2		
VCE above WL:	0,000 m		
Profile area:	0,0 m2		

Report ID20180801-1125

HydroComp NavCad 2014 14.02.0029.S1002.539

Resistance

1 ago 2018 11:25

HydroComp NavCad 2014

Project ID **Bulkcarrier 44500TPM**

Description

File name **potencia bulkcarrier 44500tpm.hcnc**

Symbols and values

SPEED = Vessel speed
FN = Froude number [LWL]
FV = Froude number [VOL]

RN = Reynolds number [LWL]
CF = Frictional resistance coefficient
CV/CF = Viscous/frictional resistance coefficient ratio [dynamic form factor]
CR = Residuary resistance coefficient
dCF = Added frictional resistance coefficient for roughness
CA = Correlation allowance [dynamic]
CT = Total bare-hull resistance coefficient

RBARE = Bare-hull resistance
RAPP = Additional appendage resistance
RWIND = Additional wind resistance
RSEAS = Additional sea-state resistance
RCHAN = Additional shallow/channel resistance
RTOWED = Additional towed object resistance
RMARGIN = Resistance margin
RTOTAL = Total vessel resistance

PEBARE = Bare-hull effective power
PETOTAL = Total effective power

CTLR = Telfer residuary resistance coefficient
CTLT = Telfer total bare-hull resistance coefficient
RBAREW = Bare-hull resistance to weight ratio

+ = Design speed indicator
* = Exceeds parameter limit

Resistance

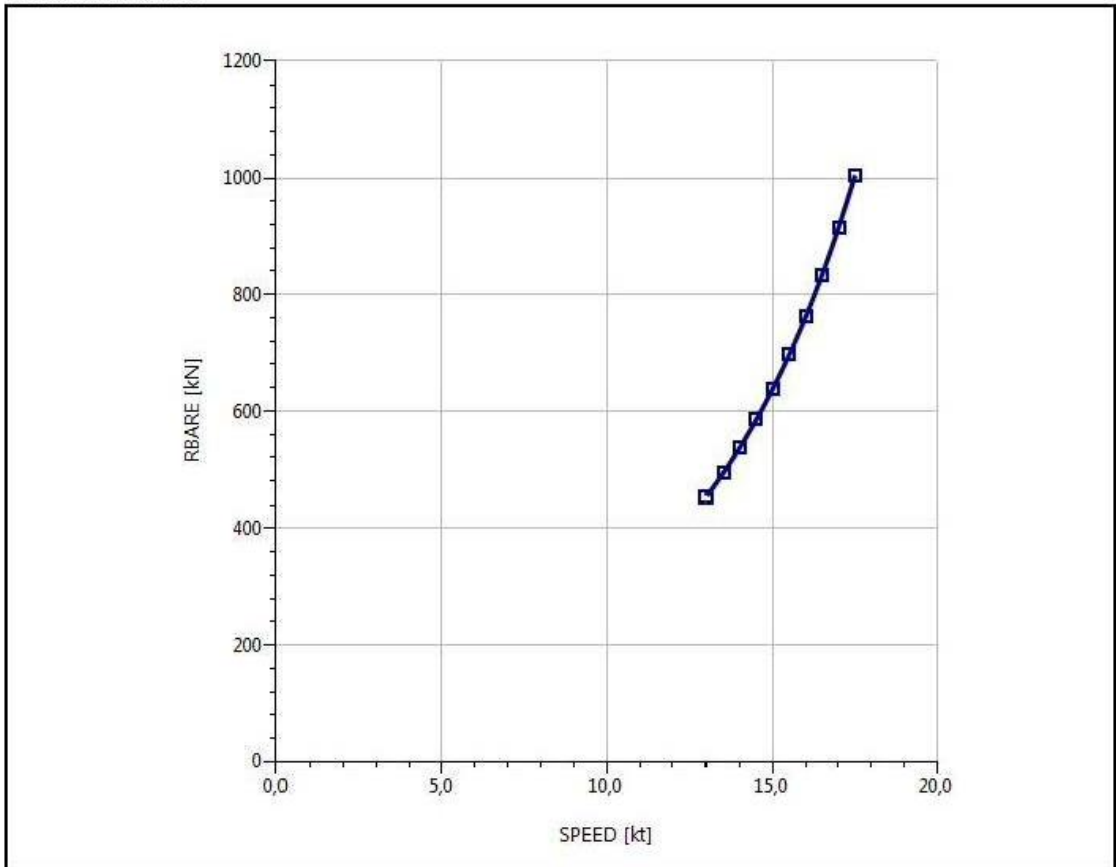
1 ago 2018 11:28
HydroComp NauCad 2014

Project ID **Bulkcarrier 44500TPM**
Description
File name **potencia bulkcarrier 44500tpm.hnc**

Analysis parameters

Vessel drag		ITTC-78 (C1)	Added drag	
Technique:	[Calc]	Prediction	Appendage:	[Calc] Holtrop (Component)
Prediction:		Holtrop	Wind:	[Off]
Reference ship:			Seas:	[Off]
Model LWL:			Shallowchannel:	[Off]
Expansion:		Standard	Towed:	[Off]
Friction line:		ITTC-57	Margin:	[Calc] Hull + added drag [15%]
Hull form factor:	[On]	1,268	Water properties	
Speed corr:	[Off]		Water type:	Salt
Spray drag corr:	[Off]		Density:	1026,00 kg/m3
Corr allowance:		ITTC-78 (v2008)	Viscosity:	1,18920e-6 m2/s
Roughness [mm]:	[On]	0,15		

Predicted resistance



Report 1020183801-1128

HydroComp NauCad 2014 14.02.0028 81002.538

Propulsion

1 ago 2018 10:52
HydroComp NavCad 2014

Project ID Bulkcarrier 44500TPM
Description
File name potencia bulkcarrier 44500tpm.hcnc

Analysis parameters

Hull-propulsor interaction		System analysis	
Technique:	[Calc] Prediction	Cavitation criteria:	Keller eqn
Prediction:	Holtrop	Analysis type:	Free run
Reference ship:		CPP method:	
Max prop diam:	0,0 mm	Engine RPM:	
Corrections		Mass multiplier:	
Viscous scale corr:	[On] Standard	RPM constraint:	
Rudder location:	Behind propeller	Limit [RPM/s]:	
Friction line:	ITTC-57	Water properties	
Hull form factor:	1,268	Water type:	Salt
Corr allowance:	ITTC-78 (v2008)	Density:	1026,00 kg/m3
Roughness [mm]:	[Off] 0,15	Viscosity:	1,18920e-6 m2/s
Ducted prop corr:	[Off]		
Tunnel stern corr:	[Off]		
Effective diam:			
Recess depth:			

Prediction method check [Holtrop]

Parameters	FN [design]	CP	LWL/BWL	BWL/T
Value	0,18	0,78	6,19	2,46
Range	0,06-0,80	0,55-0,85	3,90-14,90	2,10-4,00

Prediction results [System]

SPEED [kt]	HULL-PROPULSOR				ENGINE			
	PETOTAL [kW]	WFT	THD	EFFR	RPMENG [RPM]	PBPROP [kW]	FUEL [L/h]	LOADENG [%]
13,00	3492,2	0,3745	0,1869	1,0306	82	4573,6	---	0,0
13,50	3943,8	0,3743	0,1869	1,0306	85	5176,0	---	0,0
14,00	4450,1	0,3742	0,1869	1,0306	88	5857,5	---	0,0
14,50	5019,6	0,3740	0,1869	1,0306	92	6632,0	---	0,0
+ 15,00 +	5662,1	0,3739	0,1869	1,0306	96	7515,8	---	0,0
15,50	6388,6	0,3738	0,1869	1,0306	100	8527,7	---	0,0
16,00	7211,1	0,3737	0,1869	1,0306	104	9688,7	---	0,0
16,50	8144,6	0,3736	0,1869	1,0306	109	11025,7	---	0,0
17,00	9205,8	0,3735	0,1869	1,0306	113	12569,0	---	0,0
17,50	10405,6	0,3734	0,1869	1,0306	118	14341,0	---	0,0
POWER DELIVERY								
SPEED [kt]	RPMPROP [RPM]	QPROP [kN-m]	QENG [kN-m]	PDPROP [kW]	PSPROP [kW]	PSTOTAL [kW]	PBTOTAL [kW]	TRANSP
13,00	82	535,43	535,43	4436,4	4573,6	4573,6	4573,6	749,3
13,50	85	581,76	581,76	5020,7	5176,0	5176,0	5176,0	687,6
14,00	88	632,19	632,19	5681,7	5857,5	5857,5	5857,5	630,1
14,50	92	687,37	687,37	6433,0	6632,0	6632,0	6632,0	576,4
+ 15,00 +	96	747,97	747,97	7290,3	7515,8	7515,8	7515,8	526,1
15,50	100	814,73	814,73	8271,9	8527,7	8527,7	8527,7	479,2
16,00	104	888,41	888,41	9398,1	9688,7	9688,7	9688,7	435,4
16,50	109	969,97	969,97	10695,0	11025,7	11025,7	11025,7	394,5
17,00	113	1060,41	1060,41	12192,0	12569,0	12569,0	12569,0	356,6
17,50	118	1160,10	1160,10	13910,7	14341,0	14341,0	14341,0	321,7
EFFICIENCY								
SPEED [kt]	EFFO	EFFG	EFFOA	MERIT	THRUST			
					THRPROP [kN]	DELTHR [kN]		
13,00	0,5876	1,0000	0,7636	0,61008	642,23	522,18		
13,50	0,5865	1,0000	0,7619	0,61135	698,42	567,86		
14,00	0,5850	1,0000	0,7597	0,61314	759,94	617,88		
14,50	0,5829	1,0000	0,7569	0,61548	827,63	672,92		
+ 15,00 +	0,5803	1,0000	0,7534	0,61839	902,45	733,75		
15,50	0,5772	1,0000	0,7492	0,62185	985,39	801,19		
16,00	0,5735	1,0000	0,7443	0,62584	1077,49	876,07		
16,50	0,5693	1,0000	0,7387	0,63035	1180,11	959,51		
17,00	0,5646	1,0000	0,7324	0,63536	1294,63	1052,62		
17,50	0,5594	1,0000	0,7256	0,64072	1421,56	1155,82		

Propulsion

1 ago 2018 10:52

HydroComp NavCad 2014

Project ID Bulkcarrier 44500TPM

Description

File name potencia bulkcarrier 44500tpm.hcnc

Symbols and values

SPEED = Vessel speed
PETOTAL = Total vessel effective power
WFT = Taylor wake fraction coefficient
THD = Thrust deduction coefficient
EFFR = Relative-rotative efficiency
RPMENG = Engine RPM
PBPROP = Brake power per propulsor
FUEL = Fuel rate per engine
LOADENG = Percentage of engine max available power at given RPM
RPMPROP = Propulsor RPM
QPROP = Propulsor open water torque
QENG = Engine torque
PDPROP = Delivered power per propulsor
PSPROP = Shaft power per propulsor
PSTOTAL = Total vessel shaft power
PBTOTAL = Total vessel brake power
TRANSP = Transport factor
EFFO = Propulsor open-water efficiency
EFFG = Gear efficiency (load corrected)
EFFOA = Overall propulsion efficiency [=PETOTAL/PSTOTAL]
MERIT = Propulsor merit coefficient
THRPROP = Open-water thrust per propulsor
DELTHR = Total vessel delivered thrust
J = Propulsor advance coefficient
KT = Propulsor thrust coefficient [horizontal, if in oblique flow]
KQ = Propulsor torque coefficient
KTJ2 = Propulsor thrust loading ratio
KQJ3 = Propulsor torque loading ratio
CTH = Horizontal component of bare-hull resistance coefficient
CP = Propulsor thrust loading coefficient
RNPROP = Propeller Reynolds number at 0.7R
SIGMAV = Cavitation number of propeller by vessel speed
SIGMAN = Cavitation number of propeller by RPM
SIGMA07R = Cavitation number of blade section at 0.7R
TIPSPEED = Propeller circumferential tip speed
MINBAR = Minimum expanded blade area ratio recommended by selected cavitation criteria
PRESS = Average propeller loading pressure
CAVAVG = Average predicted back cavitation percentage
CAVMAX = Peak predicted back cavitation percentage [if in oblique flow]
PITCHFC = Minimum recommended pitch to avoid face cavitation
+ = Design speed indicator
* = Exceeds recommended parameter limit
! = Exceeds recommended cavitation criteria [warning]
!! = Substantially exceeds recommended cavitation criteria [critical]
!!! = Thrust breakdown is indicated [severe]
--- = Insignificant or not applicable

Propulsion

1 ago 2018 11:31

HydroComp NavCad 2014

Project ID **Bulkcarrier 44500TPM**

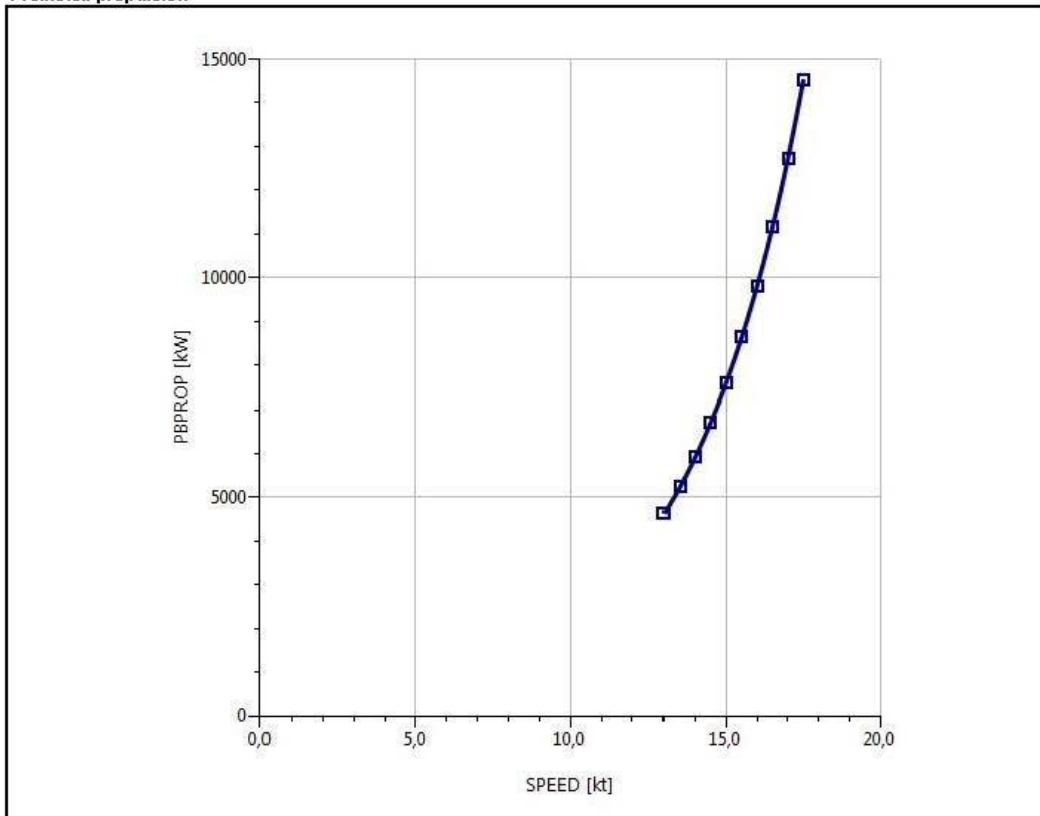
Description

File name **potencia bulkcarrier 44500tpm.hnc**

Analysis parameters

Hull-propulsor interaction		System analysis	
Technique:	[Calc] Prediction	Cavitation criteria:	Keller eqn
Prediction:	Holtrop	Analysis type:	Free run
Reference ship:		CPP method:	
Max prop diam:	6500,0 mm	Engine RPM:	
Corrections		Mass multiplier:	
Viscous scale corr:	[On] Standard	RPM constraint:	
Rudder location:	Behind propeller	Limit [RPM/s]	
Friction line:	ITTC-57	Water properties	
Hull form factor:	1,268	Water type:	Salt
Corr allowance:	ITTC-78 (v2008)	Density:	1026,00 kg/m ³
Roughness [mm]:	[Off] 0,15	Viscosity:	1,18920e-6 m ² /s
Ducted prop corr:	[Off]		
Tunnel stem corr:	[Off]		
Effective diam:			
Recess depth:			

Predicted propulsion



Report 1020180301-1131

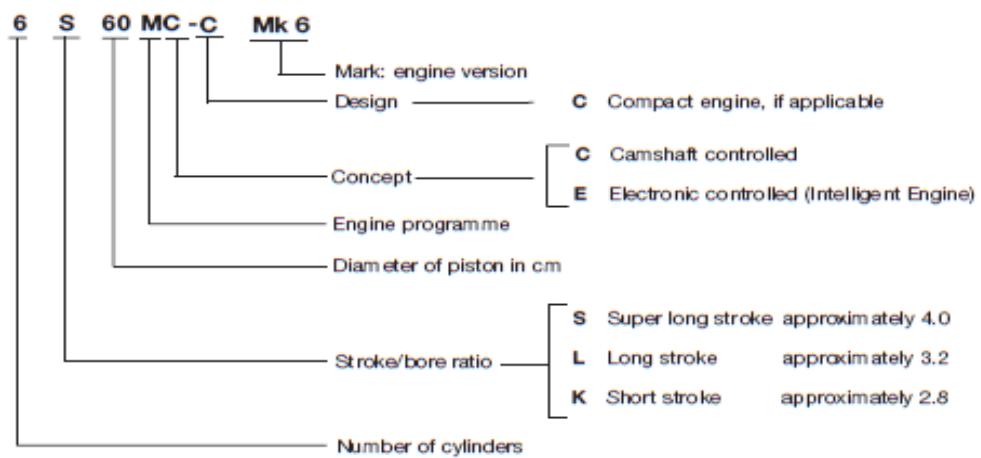
HydroComp NavCad 2014 14.02.0009.01000.538

ANEXO II. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL MOTOR PROPULSOR

MAN B&W Diesel A/S

S60MC Project Guide

The engine types of the MC programme are identified by the following letters and figures:

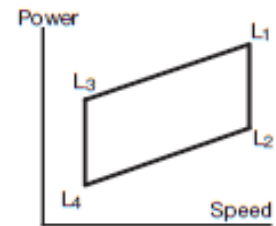


1283447-02

Fig. 1.01: Engine type designation

Power, Speed and SFOC

S60MC Mk 6
Bore: 600 mm
Stroke: 2292 mm



Power and speed

Layout	Engine speed	Mean effective pressure	Power kW BHP				
			Number of cylinders				
	r/min	bar	4	5	6	7	8
L1	105	18.0	8160 11120	10200 13900	12240 16680	14280 19460	16320 22240
L2	105	11.5	5240 7120	6550 8900	7860 10680	9170 12460	10480 14240
L3	79	18.0	6120 8320	7650 10400	9180 12480	10710 14560	12240 16640
L4	79	11.5	3920 5320	4900 6650	5880 7980	6860 9310	7840 10640

Fuel and lubricating oil consumption

At load Layout point	Specific fuel oil consumption		g/kWh g/BHP		Lubricating oil consumption	
	With high efficiency turbocharger		With conventional turbocharger		System oil Approximate kg/cyl. 24 hours	Cylinder oil g/kWh g/BHP
	100%	80%	100%	80%		
L1	170 125	167 123	173 127	170 125	5 - 6.5	0.95 - 1.5 0.7 - 1.1
L2	158 116	156 115	160 118	159 117		
L3	170 125	167 123	173 127	170 125		
L4	158 116	156 115	160 118	159 117		

176 66 372.0

Fig. 1.02: Fuel and lubricating oil consumption

		Cyl.	4	5	6	7	8
Nominal MCR at 105 r/min		kW	8160	10200	12240	14280	16320
Pumps	Fuel oil circulating pump	m ³ /h	4.2	5.3	6.4	7.4	8.5
	Fuel oil supply pump	m ³ /h	2.0	2.5	3.1	3.6	4.1
	Jacket cooling water pump	m ³ /h 1)	67	82	100	120	135
			2) 62	78	93	110	125
			3) 66	83	98	115	130
			4) 62	78	93	110	125
	Central cooling water pump*	m ³ /h 1)	210	265	320	370	420
			2) 210	265	315	370	420
			3) 210	260	315	365	420
			4) 210	260	315	365	415
	Seawater pump*	m ³ /h 1)	245	305	365	425	485
			2) 245	305	365	425	485
			3) 240	300	360	420	485
			4) 240	300	360	420	480
Lubricating oil pump*	m ³ /h 1)	175	220	265	310	350	
		2) 175	220	265	310	350	
		3) 170	210	255	295	340	
		4) 180	220	265	310	350	
Booster pump for camshaft	m ³ /h	5.2	6.5	7.8	9.1	10.4	
Coolers	Scavenge air cooler	kW	3220	4020	4830	5630	6440
	Heat dissipation approx.						
	Central cooling water	m ³ /h	122	152	183	213	244
	Lubricating oil cooler	kW 1)	640	780	960	1100	1250
			2) 680	850	1000	1200	1340
			3) 580	720	860	1010	1150
			4) 650	790	950	1110	1250
	Lubricating oil*	m ³ /h	See above "Lubricating oil pump"				
	Central cooling water	m ³ /h 1)	88	113	137	157	176
			2) 88	113	132	157	176
			3) 88	108	132	152	176
			4) 88	108	132	152	171
	Jacket water cooler	kW 1)	1250	1550	1860	2160	2460
			2) 1190	1480	1780	2060	2360
3) 1250			1580	1880	2170	2500	
4) 1190			1480	1780	2080	2380	
Jacket cooling water	m ³ /h	See above "Jacket cooling water"					
Central cooling water	m ³ /h	See above "Central cooling water quantity" for lube oil cooler					
Central cooler	kW 1)	5110	6350	7650	8890	10150	
		2) 5090	6350	7610	8910	10160	
		3) 5050	6320	7570	8810	10090	
		4) 5060	6290	7560	8820	10070	
Central cooling water*	m ³ /h	See above "Central cooling water pump"					
Seawater*	m ³ /h	See above "Seawater cooling pump"					
Fuel oil heater	kW	110	140	170	195	225	
Exhaust gas flow at 235 °C**	kg/h	77300	96600	115900	135200	154600	
Air consumption of engine	kg/s	21.1	26.3	31.6	36.8	42.1	

176 20 03-1.1

Fig. 6.03b: List of capacities, S60MC with **high efficiency turbocharger** and **central cooling system** stated at the nominal MCR power (L) for engines complying with IMO's NO_x emission limitations

ANEXO III. CARACTERÍSTICAS DEL TURBOCOMPRESOR

MAN NA/S/T9 Series

Main features

Turbine type	Axial flow turbine
Max. permiss. temp.	650 °C
Pressure ratio	up to 4.5
Suitable for HFO, MDO, Gas	

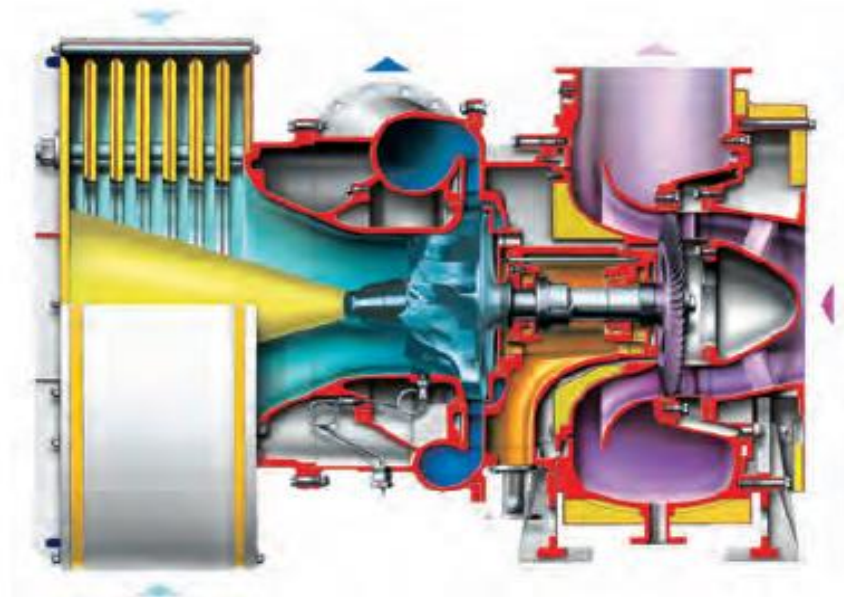
Turbocharger programme

Type	Max. supercharged engine output kW	Max. permissible speed rpm	Mass kg
NA29/S	3,600	31,300	1,050
NA34/S	5,100	26,300	1,350
NA40/S	7,300	22,400	2,200
NA48/S	11,000	18,600	3,700
NA57/T9*	16,100	15,000	5,100
NA70/T9**	24,500	12,000	9,800

* Pressure ratio up to 4.2

** Pressure ratio up to 4.0

Specific air consumption $l_e = 6.5 \text{ kg/kWh}$



ANEXO IV. DEFINICIÓN DE LA MECHA DEL TIMÓN (ABS)

SECTION 14 Rudders and Steering Equipment (2009)

1 General

1.1 Application (1 July 2016)

Requirements specified in this Section are applicable to:

- i) Ordinary profile rudders described in 3-2-14/Table 1A with rudder operating angle range from -35° to $+35^\circ$.
- ii) High-lift rudders described in 3-2-14/Table 1B, the rudder operating angle of which might be exceeding 35° on each side at maximum design speed.
- iii) Other steering equipment other than rudders identified in Section 3-2-14.

Rudders not covered in 3-2-14/Table 1A nor in 3-2-14/Table 1B are subject to special consideration, provided that all the required calculations are prepared and submitted for review in full compliance with the requirements in this section. Where direct analyses adopted to justify an alternative design are to take into consideration all relevant modes of failure, on a case by case basis. These failure modes may include, amongst others: yielding, fatigue, buckling and fracture. Possible damages caused by cavitation are also to be considered. Validation by laboratory tests or full scale tests may be required for alternative design approaches.

Rudders and other steering equipment provided on Ice Classed vessels are subject to additional requirements specified in 6-1-4/31 or 6-1-5/41, as applicable.

1.3 Materials for Rudder, Rudder Stock and Steering Equipment (1 July 2015)

Rudder stocks, pintles, coupling bolts, keys and other steering equipment components described in this Section are to be of steel, in accordance with the requirements of Part 2, Chapter 1, 3-1-2/Table 2, and particularly:

- i) The Surveyor need not witness material tests for coupling bolts and keys.
- ii) The surfaces of rudder stocks in way of exposed bearings are to be of noncorrosive material.
- iii) Material properties of dissimilar parts and components in direct contact with each other are to be submitted for review of compatibilities, such as galvanic potential.
- iv) Material factors of castings and forgings used for the shoe piece (K_p), horn (K_h), stock (K_s), bolts (K_b), coupling flange (K_f), pintles (K_{pi}), and nozzles (K_n) are to be obtained for their respective material from the following equation:

$$K = (n/Y)^e$$

where

- | | | |
|-------|---|--|
| n_y | = | 235 N/mm ² (24 kgf/mm ² , 34000 psi) |
| Y | = | specified minimum yield strength of the material, in N/mm ² (kgf/mm ² , psi), but is not to be taken as greater than $0.7U$ or 450 N/mm ² (46 kgf/mm ² , 65000 psi), whichever is less |
| U | = | minimum tensile strength of material used, in N/mm ² (kgf/mm ² , psi) |
| e | = | 1.0 for $Y \leq 235$ N/mm ² (24 kgf/mm ² , 34000 psi) |
| | = | 0.75 for $Y > 235$ N/mm ² (24 kgf/mm ² , 34000 psi) |

Part	3	Hull Construction and Equipment
Chapter	2	Hull Structures and Arrangements
Section	14	Rudders and Steering Equipment

3-2-14

1.5 Expected Torque

The torque considered necessary to operate the rudder, in accordance with 4-3-4/21.7.1i), is to be indicated on the submitted rudder or steering gear plan. See 3-2-14/5.9 and 4-3-4/1.11.

Note that this expected torque is not the design torque for rudder scantlings.

1.7 Rudder Stops

Strong and effective structural rudder stops are to be fitted. Where adequate positive mechanical stops are provided within the steering gear in accordance with 4-3-4/5.11, structural stops will not be required.

7 Rudder Stocks (2012)

7.1 Upper Rudder Stocks

The upper stock is that part of the rudder stock above the neck bearing or above the top pintle, as applicable.

At the upper bearing or tiller, the upper stock diameter is not to be less than obtained from the following equation:

$$S = N_u \sqrt[3]{Q_R K_s} \quad \text{mm (in.)}$$

where

$$N_u = 42.0 \text{ (89.9, 2.39)}$$

$$Q_R = \text{total rudder torque, as defined in 3-2-14/5, in kN-m (tf-m, Ltf-ft)}$$

$$K_s = \text{material factor for upper rudder stock, as defined in 3-2-14/1.3}$$

7.3 Lower Rudder Stocks (2016)

In determining lower rudder stock scantlings, values of rudder design force and torque calculated in 3-2-14/3 and 3-2-14/5 are to be used. Bending moments and shear forces, as well as the reaction forces are to be determined by direct calculation and are to be submitted for review. For rudders supported by shoe pieces or rudder horns, these structures are to be included in the calculation model to account for support of the rudder body. Guidance for calculation of these values is given in Appendix 3-2-A5.