



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

**TRABAJO FIN DE GRADO  
CURSO 2017/18**

---

*Petrolero Neo-Pánamax con 200000 TPM*

---

**Grado en Ingeniería Naval y Oceánica**

**Cuaderno 6:**

**CÁLCULO DEL PROPULSOR Y TIMÓN**

Escola Politécnica Superior



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

**GRADO EN INGENIERÍA NAVAL Y OCEÁNICA**  
**TRABAJO DE FIN DE GRADO**

*CURSO 2017-2018*

**PROYECTO NÚMERO: 18-07**

**TIPO DE BUQUE: PETROLERO DE CRUDOS**

**CLASIFICACIÓN, COTA Y REGLAMENTOS DE APLICACIÓN:**  
BUREAU VERITAS, SOLAS, MARPOL NEO PANAMAX

**CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA:**

200.000 TPM. Crudos del Petróleo y sus derivados con una densidad máxima de 0,99 g/ml

**VELOCIDAD Y AUTONOMÍA:** 16 nudos en condiciones de servicio. 85% MCR + 15% de margen de mar. 18.000 millas a la velocidad de servicio.

**SISTEMAS Y EQUIPOS DE CARGA / DESCARGA:** En cámara de bombas

**PROPULSIÓN:** Propulsión Diesel eléctrica 2 Líneas de ejes. LNG para servicios en puerto

**TRIPULACIÓN Y PASAJE:** 30 personas en camarotes individuales

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

Ferrol, 19 Setiembre 2017

ALUMNO/A: **D. Julio Barreiro Montes**

# Introducción

En este cuaderno se buscará hacer una estimación lo más ajustada posible de la potencia necesaria para el buque.

Al tratarse el sistema de propulsión de un diésel-eléctrico, la planta propulsora consistirá de dos motores eléctricos cada uno con su propio reductor.

Se buscan 16 nudos de velocidad de servicio, al 85% de potencia máxima continua (MCR) y disponiendo de un 15% de margen de mar.

Lpp	B	Cb	Desplaz	T	D	V	Fn	Peso en rosca	TPM
276	49	0,856	227612	19,19	25,75	16	0,158	27611,8	200000

Lo primero es hallar los datos de las hidrostáticas del calado de diseño (No se tiene en cuenta el trimado en un principio)

<b>Draft Amidships (m)</b>	<b>19,192</b>
Displacement t	227612
Heel deg	0,0
Draft at FP m	19,192
Draft at AP m	19,192
Draft at LCF m	19,192
Trim (+ve by stern) m	0,000
WL Length m	281,974
Beam max extents on WL m	49,000
Wetted Area m <sup>2</sup>	21251,318
Waterpl. Area m <sup>2</sup>	12476,261
Prismatic coeff. (Cp)	0,859
Block coeff. (Cb)	0,855
Max Sect. area coeff. (Cm)	0,996
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,923
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	145,482
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	138,618
KB m	9,930
KG m	19,100
BMt m	10,339
BML m	311,503
GMt m	1,169
GML m	302,333
KMt m	20,269
KML m	321,433
Immersion (TPc) tonne/cm	127,882
MTc tonne.m	2493,284
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	4643,229
Max deck inclination deg	0,0000
Trim angle (+ve by stern) deg	0,0000

## Índice

1.- Estimación de la Potencia .....	4
1.1- Resistencia total y potencia.....	5
2.- Selección del motor .....	5
3.- Diseño de la hélice .....	7
3.1- Propulsor de 4 palas:.....	8
3.2- Propulsor de 5 palas.....	9
3.3- Propulsor óptimo.....	10
4.- Claras del codaste .....	10
5.- Cálculo del timón .....	12
5.1- Dimensiones .....	12
5.2- Fuerza sobre el timón.....	13
5.3- Par torsor requerido.....	14
6.-Bibliografía .....	15
Anexo 1: Resultados de Navcad para 4 palas.....	16
Anexo 2: Resultados de Navcad para 5 palas.....	21

## 1.- Estimación de la Potencia

Se hará una predicción de potencia empleando el software NAVCAD partiendo de las características del buque. En el apartado principal se ponen los siguientes datos:

<b>Summary</b>		
Scope:	ITTC-78 (CT)	▼
Configuration:	Monohull	▼
Chine type:	Single/hard	▼
Length on WL:	281,974	m
Displacement:	227621,30	t
Propulsor type:	Propeller	▼
Count:	2	▼
<b>Water properties</b>		
Water type:	Salt	▼
Density:	1026,00	kg/m <sup>3</sup>
Viscosity:	1,18920e-6	m <sup>2</sup> /s
<b>Speeds</b>		
Speed [01]	12,00	kt
Speed [02]	12,50	kt
Speed [03]	13,00	kt
Speed [04]	13,50	kt
Speed [05]	14,00	kt
Speed [06]	14,50	kt
Speed [07]	15,00	kt
Speed [08]	15,50	kt
Speed [09]	16,00	kt
Speed [10]	17,00	kt
<b>Design condition</b>		
Desian speed:	16.00	▼ kt

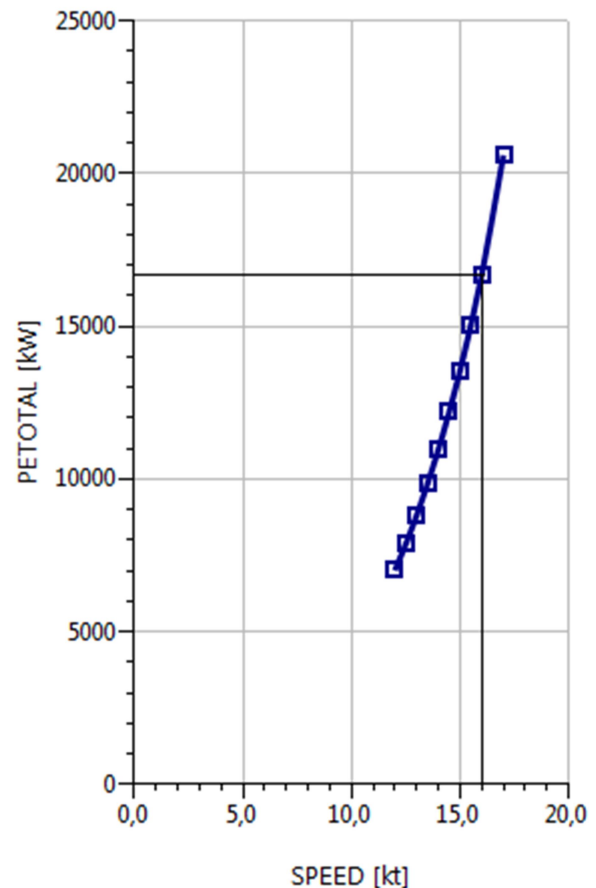
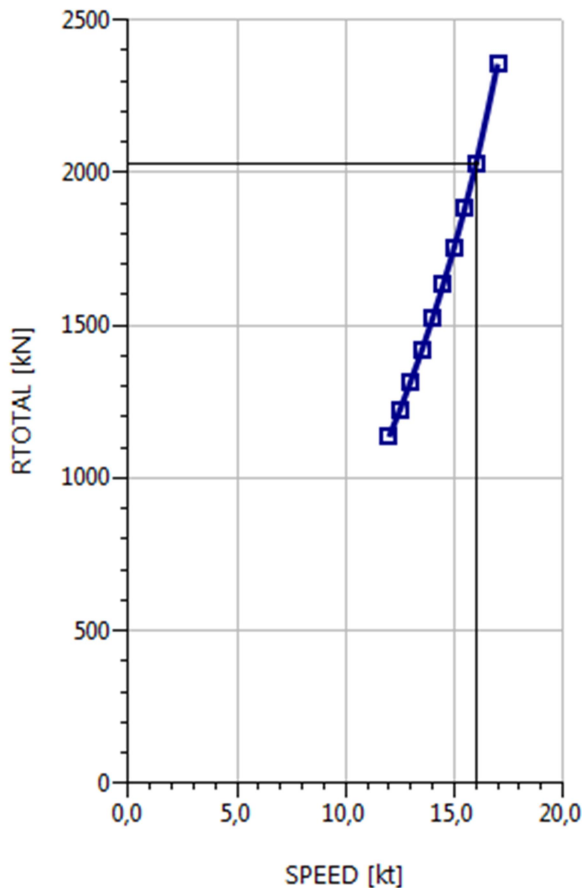
Y en el apartado del casco se introduce la siguiente información:

<b>Hull</b>		
Configuration:	Monohull	▼
Chine type:	Single/hard	▼
<b>General</b>		
Length on WL:	281,974	m
Max beam on WL:	49,000	m
Max molded draft:	19,190	m
Displacement:	227621,30	t
Wetted surface:	21251,3	m <sup>2</sup>
Demi-hull spacing:		m
<b>ITTC-78 (CT)</b>		
LCB fwd TR:	151,482	m
LCF fwd TR:	144,618	m
Max section area:	932,4	m <sup>2</sup>
Waterplane area:	12476,3	m <sup>2</sup>
Bulb section area:	127,7	m <sup>2</sup>
Bulb ctr below WL:	4,000	m
Bulb nose fwd TR:	286,733	m
Imm transom area:	8,2	m <sup>2</sup>
Transom beam WL:	4,720	m
Transom immersion:	3,470	m
Half entrance angle:	53,00	deg
Bow shape factor:	1,0	[WL flow]
Stern shape factor:	1,0	[WL flow]

El método escogido para la estimación de ciertos valores es el **Holtrop**, el más usado para este tipo de buques. Dado que se desconocen todavía ciertos parámetros de los apéndices como la cantidad de eje expuesta, aproximamos con un porcentaje de fricción del casco del 5%.

### 1.1- Resistencia total y potencia

Pueden emplearse los datos anteriores para estimar la resistencia total y la potencia requerida en los motores.



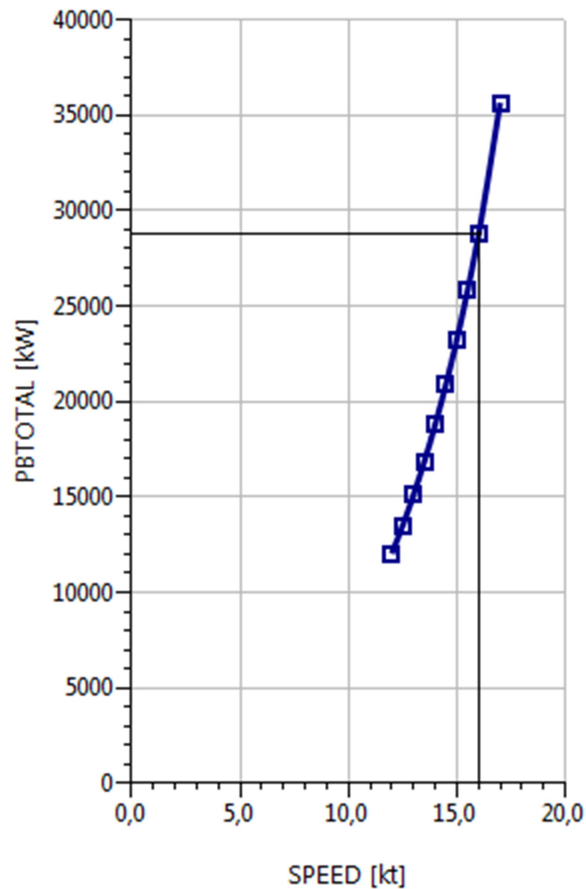
Puede verse que a la velocidad de servicio de 16 nudos (kt), el buque produce una resistencia de 2028,04 kN y se requiere una potencia efectiva de 16693 kW para vencerla.

## 2.- Selección del motor

Para la estimación de la potencia de freno requerida se emplea un dimensionamiento por empuje, basándonos en datos del buque base como el hecho de que la hélice es de 4 palas y gira a 91 revoluciones por minuto.

Propulsor		
Count:	2	
Propulsor type:	Propeller series	
Propeller type:	FPP	
Propeller series:	B Series	
Propeller sizing:	By thrust	
Reference prop:		
Blade count:	4	
Expanded area ratio:	0,3000	
Propeller diameter:	8000,0	mm
Propeller mean pitch:	8248,8	mm
Hub immersion:	14910,0	mm
Engine/gear		
Engine data:	Untitled Engine...	
Rated RPM:	3000	RPM
Rated power:	18000,0	kW
Gear efficiency:	0,970	
Load correction:	Off	
Gear ratio:	1,285	
Shaft efficiency:	0,970	

La gráfica que se muestra a continuación señala la relación entre la potencia de freno resultante (BHP) y la velocidad:



A la velocidad de servicio de 16 nudos, la potencia de freno es de **28279,1 kW**.

Estos datos están calculados para el total de las dos hélices, y margen de mar del 15%, pero otro de los requisitos es un 85% de MCR que los datos no tienen en cuenta.

Por tanto cada uno de los motores deberá proporcionar un mínimo de:

$$\frac{28279,1}{2 * 0,85} = 16634,7 \text{ kW}$$

Para esta función se escogen unos motores eléctricos ABB "*Slip-ring modular motors*", que proporcionan un máximo de 18000 KW y unas 600 revoluciones por minuto.

Ahora sólo queda hallar las dimensiones más adecuadas de la hélice:

### 3.- Diseño de la hélice

Se buscan dos hélices de paso fijo acopladas a un reductor.

Procuramos conseguir un propulsor óptimo, que requiera la menor potencia posible para que el buque alcance los 16 nudos de velocidad de servicio.

Factores a tener en cuenta:

- El máximo rendimiento permite rebajar los costes de construcción y explotación.
- Deben evitarse fenómenos de cavitación en los regímenes de velocidad en los que vaya a operar el propulsor.
- El número de palas repercute en los fenómenos de cavitación, el rendimiento y las vibraciones en el eje y el motor.
- La resistencia estructural del sistema completo debe ser suficiente para evitar el riesgo de fracturas o deformaciones.
- Se buscará el máximo diámetro posible de la hélice (En nuestro caso 8 m)
- Debe haber ciertos márgenes en los huelgos entre la hélice, el casco, el timón y la línea base del proyecto, que se verán en detalle más adelante.

Generalmente los petroleros de tamaños similares o mayores tienen hélices de 4 ó 5 palas, pues menos palas pueden dar lugar a problemas de vibraciones y cavitación. Por otra parte, más palas pueden no resultar rentables.

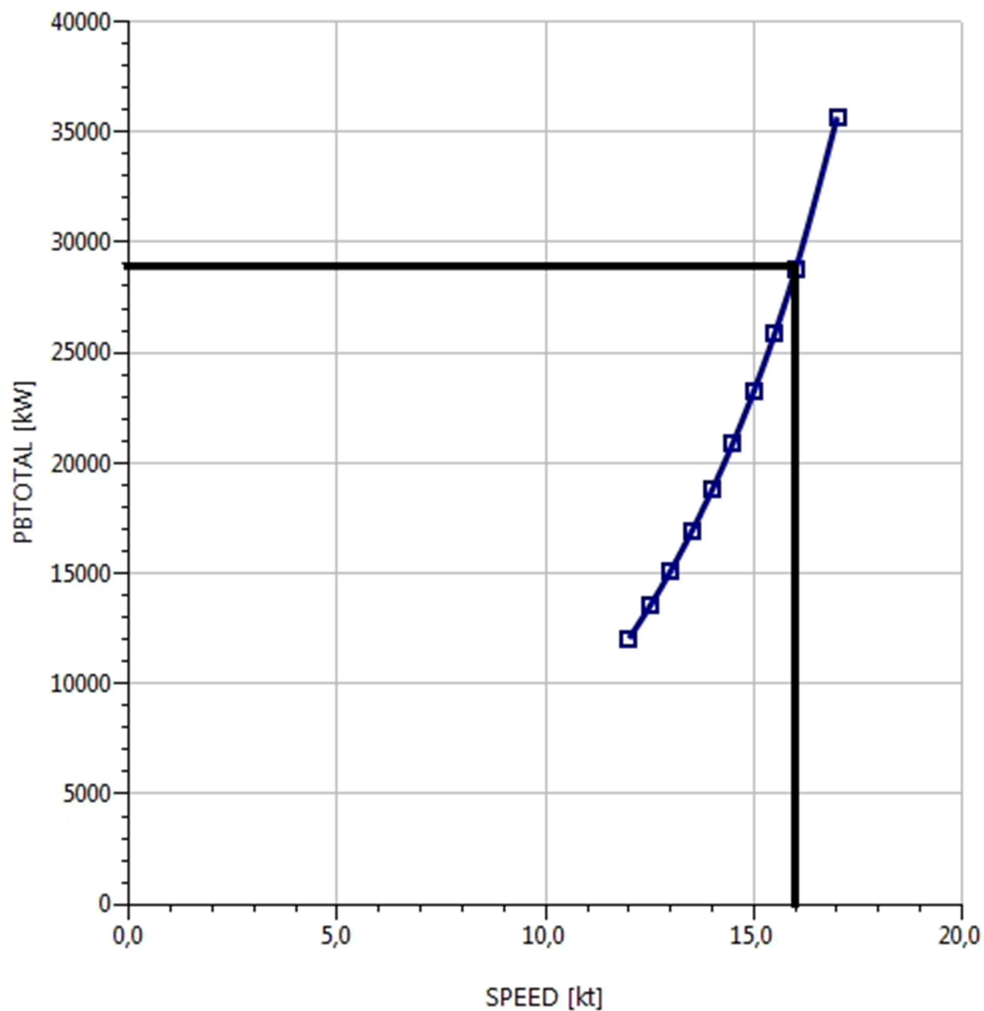
Teniendo eso en cuenta, los cálculos se harán para 4 y 5 palas, dimensionando a revoluciones óptimas.



### 3.1- Propulsor de 4 palas:

Propeller sizing			
To size			
Gear ratio:	Size	8,278	
Expanded area ratio:	Size	0,300	
Propeller diameter:	Size	8000,0	mm
Propeller mean pitch:	Size	8135,9	mm
Design condition			
Design speed:		16,00	kt
Reference power:		18000,0	kW
Design point:		0,850	
Reference RPM:		600,0	
Design point:		1,030	
Max prop diam:		8000,0	mm

Características del propulsor de 4 palas



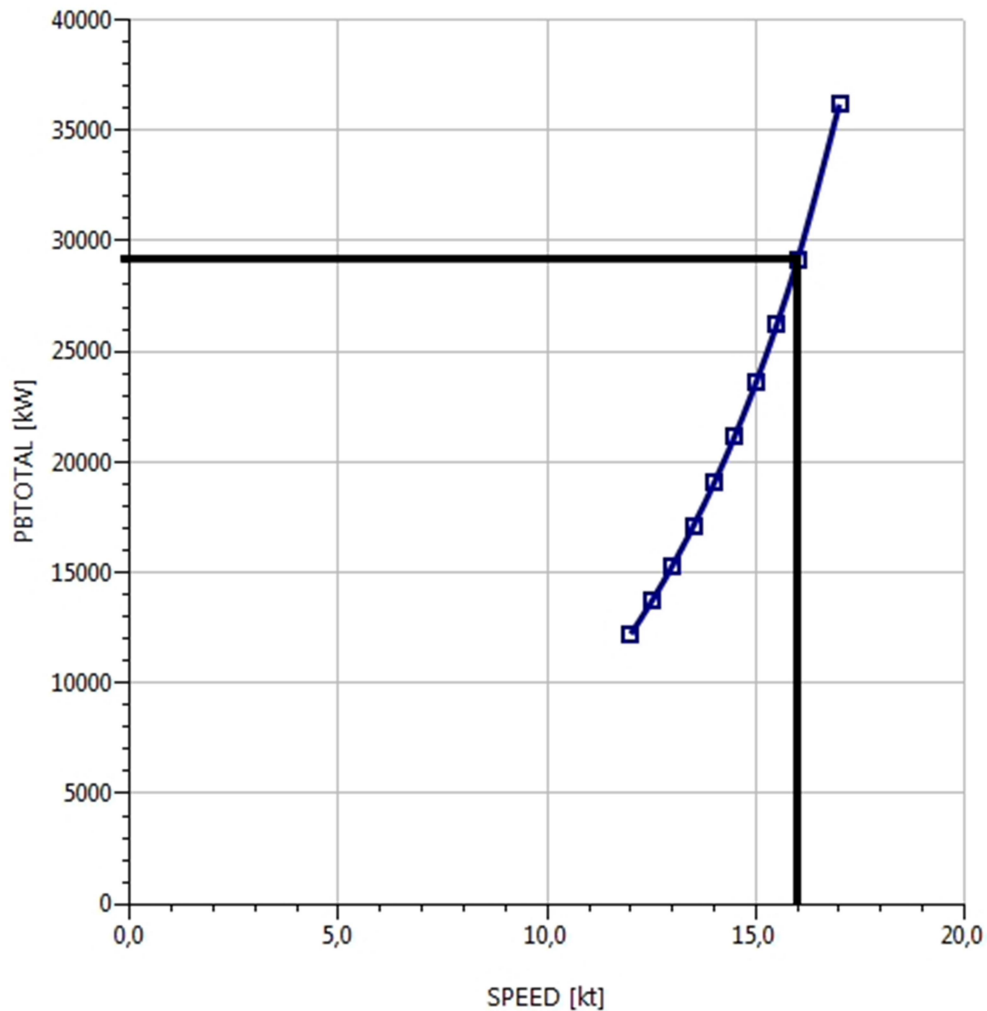
Gráfica de resultados del propulsor de 4 palas

Resultados completos en el Anexo 1

### 3.2- Propulsor de 5 palas

Propeller sizing			
To size			
Gear ratio:	Size	▼	9,326
Expanded area ratio:	Size	▼	0,300
Propeller diameter:	Size	▼	8000,0 mm
Propeller mean pitch:	Size	▼	9473,5 mm
Design condition			
Design speed:		16,00	▼ kt
Reference power:		18000,0	... kW
Design point:		0,850	...
Reference RPM:		600,0	...
Design point:		1,030	...
Max prop diam:		8000,0	mm

*Características del propulsor de 5 palas*



*Gráfica de resultados del propulsor de 5 palas*

Resultados completos en el Anexo 2

### 3.3- Propulsor óptimo

Comparando los resultados de las hélices de 4 y 5 palas es el siguiente:

Nº Palas	Diámetro	RPM	Ad/A0	Paso	BHP	Rendimiento
4	8 m	74	0,3	8135,9 mm	29039,9	0,5980
5	8 m	66	0,3	9473,5 mm	29154	0,5892

Se escoge el propulsor de 4 palas por tener mayor rendimiento.

En estas circunstancias, la velocidad máxima que alcanzarán nuestros motores al será de 17 nudos a 18000 kW cada uno.

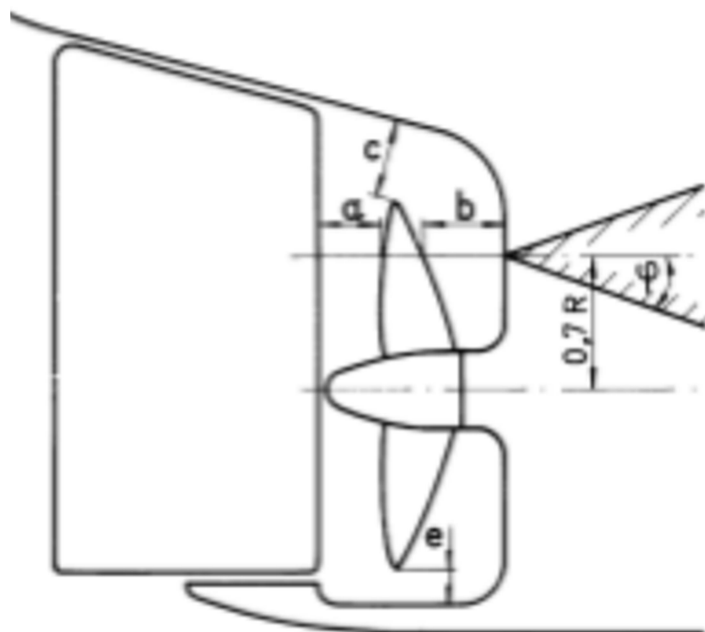
Cabe destacar no obstante que **se observa cierta presencia de cavitación** en ambos casos, y sería recomendable estudiar más detenidamente las formas de la popa del buque para tratar de reducir la cavitación al mínimo.

Un bulbo de popa para cada eje puede ayudar a reducir la variación de la estela en la hélice, lo cual a su vez disminuye la variación de presiones en el recorrido de la misma y reduce por tanto las posibilidades de cavitación.

Se baraja también la opción de disminuir el diámetro de la hélice para minimizar el riesgo de la cavitación de punta de pala.

### 4.- Claras del codaste

Los huecos necesarios para la hélice son los que se especifican a continuación:



Según la información recibida, los mínimos siguen las fórmulas indicadas a continuación. Siendo  $R$  = radio de la hélice y  $Z_p$  = Número de palas de la hélice, tenemos:

Distancia del borde a popa de pala al timón

$$a = 0,2 * R = 0,8 \text{ metros}$$

Distancia del borde a proa de la pala al casco

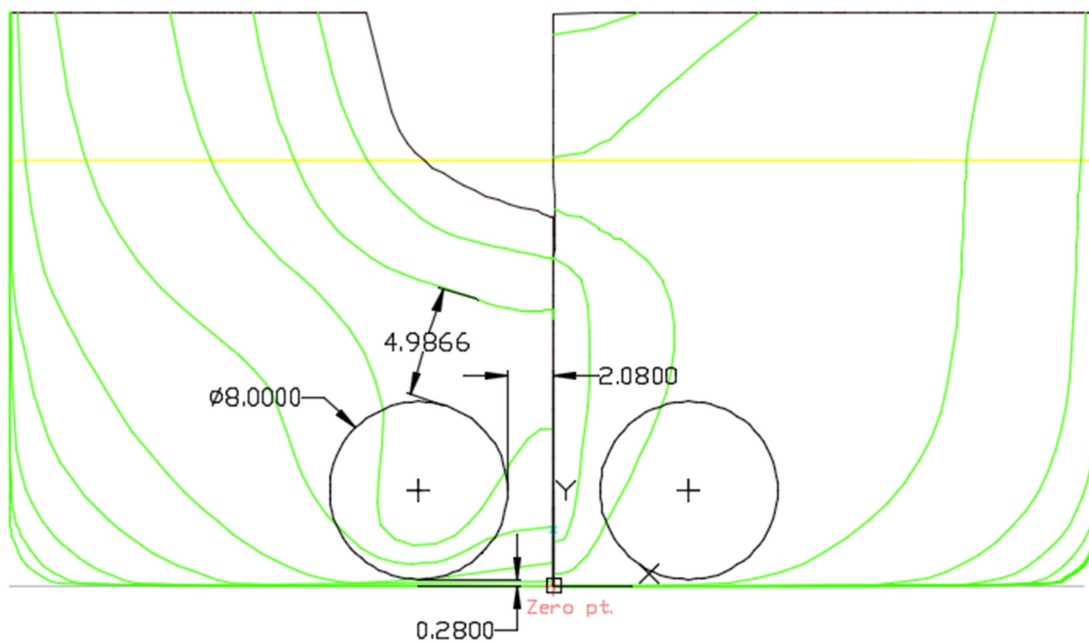
$$b = (0,7 - 0,04 * Z_p) * R = 2,16 \text{ metros}$$

Distancia del extremo superior de la pala al casco del buque

$$c = (0,6 - 0,02 * Z_p) * R = 2,08 \text{ metro}$$

Distancia del extremo inferior de pala a línea de base

$$e = 0,07 * R = 0,28 \text{ metros.}$$



*Distribución frontal de las dos hélices*

## 5.- Cálculo del timón

Al haber dos hélices, se requerirán dos timones, y basándonos en los buques base, ambos timones serán semisuspendidos.

Los cálculos del timón se basarán en el área de deriva de nuestro buque como parámetro base para el área de nuestros timones.

Para buques de dos hélices puede aproximarse el área de la pala del timón entre un 1,5% y un 2,1% del área de deriva. Si el área de deriva es de 5297,2875 metros cuadrados:

Área timón mínima:

$$0,015 * 5297,2875 = 79,46 \text{ metros cuadrados}$$

Área de timón máxima:

$$0,021 * 5297,2875 = 111,24 \text{ metros cuadrados}$$

Hay que tener en cuenta que la calculada es el área total, la sumada de ambos timones, de modo que nuestra área máxima de cada timón será:

$$\text{Área máxima de cada timón} = \frac{111,24}{2} = 55,62 \text{ metros cuadrados}$$

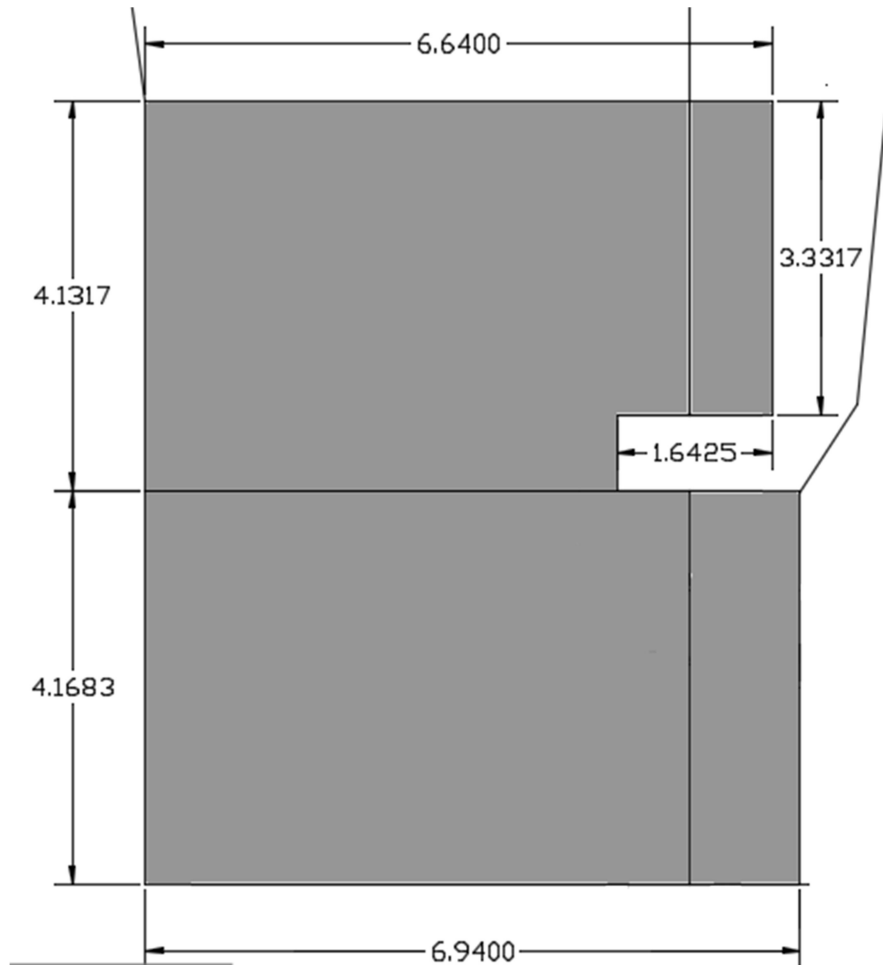
### 5.1- Dimensiones

Ambos timones son rectangulares, y poseen una altura de pala de como mínimo 8,3 metros, ya que necesitan abarcar todo el diámetro de la hélice que tienen a proa.

La distribución de las dimensiones del timón influye enormemente en el **momento torsor** necesario para virar dicho timón.

Las dimensiones máximas de cada timón son 8,5 metros de altura y 6,94 metros de cuerda. El área total obtenida es de 55,048 metros cuadrados.

La siguiente imagen muestra las medidas acotadas en metros de las diversas secciones de nuestro timón. La línea vertical que atraviesa ambas secciones corresponde al eje de la mecha.



*Representación gráfica del timón*

## 5.2- Fuerza sobre el timón

La siguiente fórmula nos permite calcular la fuerza en las condiciones de avance y cuando, según la norma Bureau Veritas:

$$F (kN) = 0,132 * Nr * A * V^2 * r_1 * r_2 * r_3$$

Nr = Coeficiente de navegación. Como se presupone navegación no restringida, el valor es 1.

A = 55,048 metros cuadrados, el área de un único timón.

V = 16 nudos, como se especifica en las RPA.

$r_1$  es un factor de forma que depende del perfil del timón:

$$r_1 = \frac{\frac{H^2}{A_{\text{timón}}} + 2}{3} = \frac{1,25 + 2}{3} = 1,08$$

$r_2$  depende del perfil del timón. En nuestro caso es del tipo Goettingen, y adquiere los valores 1,1 en avance y 0,8 cuando.

$r_3$  se basa en la posición del timón respecto a la hélice. Como no están detrás de toberas, el valor adquirido es 1.

Por tanto, la fuerza ejercida sobre el timón es:

$$F = 0,132 * 1 * 1,08 * 1,1 * 1 * 55,048 * 16^2 = 2209,9 \text{ kN en avante}$$

Este valor se aplica en cada uno de los timones.

### 5.3- Par torsor requerido

El par torsor puede calcularse usando la fórmula:  $M_{tr} = F * r$ . Pero nuestro timón está dividido en dos secciones, al estar semisuspendido. Por ello la fórmula se hará un poco más compleja.

Lo primero es tener en cuenta la distribución de las áreas:

$$A_1 = \text{Área superior} = 26,1197 \text{ m}^2 \quad A_2 = \text{área inferior} = 28,9283 \text{ m}^2$$

Siendo el área total igual a 55,048 metros cuadrados.

Las fuerzas que se aplican a cada una de las secciones se determinan de forma proporcional a las mismas:

$$F_1 = F * \frac{A_1}{A} = 2209,9 * \frac{26,1197}{55,048} = 1048,57 \text{ kN en avante.}$$

$$F_2 = F * \frac{A_2}{A} = 2209,9 * \frac{28,9283}{55,048} = 1161,32 \text{ kN en avante.}$$

Los radios  $r$  para cada una de las fuerzas vienen determinados por la siguiente fórmula:

$$R_x = b_x * \left( \alpha - \frac{A_{Fx}}{A_x} \right)$$

$b$  es la longitud de la sección.

$A_f$  es el área situada a proa de la mecha.

$\alpha$  es un coeficiente que equivale a 0,33 en avante y 0,66 cuando.

$$R_1 = 6,64 * \left( 0,33 - \frac{2,819}{26,1197} \right) = 1,474 \text{ m en avante.}$$

$$R_2 = 6,94 * \left( 0,33 - \frac{4,8908}{28,9283} \right) = 1,117 \text{ m en avante.}$$

El par total será el sumatorio de los pares de cada sección:

$$M_{TR1} = R_1 * F_1 = 1048,57 * 1,474 = 1545,6 \text{ kN} * \text{m}$$

$$M_{TR2} = R_2 * F_2 = 1161,32 * 1,117 = 1297,2 \text{ kN} * \text{m}$$

$$M_{TR} = M_{TR1} + M_{TR2} = 1545,6 + 1297,2 = \mathbf{2842,8 \text{ kN} * \text{m}}$$

## 6.-Bibliografía

1. JUNCO OCAMPO, Fernando; DÍAZ CASAS, Vicente. Asignatura de “*Proyectos de buques y artefactos marinos 2*”. Universidad de A Coruña, Escuela Politécnica Superior de Ferrol, Curso 2017-2018.
2. Revista “*Significant ships of 2006*” Royal Institution of Naval Architects



# **Anexo 1: Resultados de Navcad para 4 palas**

# Propulsion

25 jun 2018 09:57

HydroComp NavCad 2014

Project ID

Description

File name **Cálculo Cuaderno 6- by power.hcnc**

## Analysis parameters

<b>Hull-propulsor interaction</b>		<b>System analysis</b>	
Technique:	[Calc] Prediction	Cavitation criteria:	Keller eqn
Prediction:	Holtrop	Analysis type:	Free run
Reference ship:		CPP method:	
Max prop diam:	8000,0 mm	Engine RPM:	
<b>Corrections</b>		Mass multiplier:	
Viscous scale corr:	[Off]	RPM constraint:	
Rudder location:		Limit [RPM/s]:	
Friction line:		<b>Water properties</b>	
Hull form factor:		Water type:	Salt
Corr allowance:		Density:	1026,00 kg/m3
Roughness [mm]:		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	0,16	0,84	5,75	2,55
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 [%]
12,00	7170,1	0,2171	0,2228	0,9939	458	6187,3	---	34,4
12,50	8046,0	0,2170	0,2228	0,9939	476	6934,1	---	38,5
13,00	8996,4	0,2169	0,2228	0,9939	494	7745,1	---	43,0
13,50	10029,1	0,2168	0,2228	0,9939	513	8627,5	---	47,9
14,00	11153,9	0,2168	0,2228	0,9939	531	9590,6	---	53,3
14,50	12382,6	0,2167	0,2228	0,9939	550	10646,3	---	59,1
15,00	13729,9	0,2166	0,2228	0,9939	569	11808,7	---	65,6
15,50	15213,2	0,2165	0,2228	0,9939	589	13095,4	---	72,8
+ 16,00 +	16853,6	0,2165	0,2228	0,9939	609	14527,3	---	80,7
17,00	20707,8	0,2164	0,2228	0,9939	653	17932,1	---	99,6
SPEED [kt]	POWER DELIVERY							
	RPMPROP [RPM]	QPROP [kN·m]	QENG [kN·m]	PDPROP [kW]	PSPROP [kW]	PSTOTAL [kW]	PBTOTAL [kW]	TRANSP
12,00	56	993,78	120,60	5821,6	6001,7	12003,3	12374,5	---
12,50	58	1071,63	130,05	6524,3	6726,1	13452,2	13868,3	---
13,00	60	1153,09	139,94	7287,3	7512,7	15025,4	15490,1	963,7
13,50	62	1238,64	150,32	8117,6	8368,6	16737,3	17254,9	898,4
14,00	64	1328,89	161,27	9023,8	9302,9	18605,9	19181,3	838,2
14,50	67	1424,60	172,89	10017,1	10326,9	20653,8	21292,6	782,0
15,00	69	1526,65	185,27	11110,8	11454,4	22908,9	23617,4	729,3
15,50	71	1636,13	198,56	12321,4	12702,5	25405,0	26190,7	679,6
+ 16,00 +	74	1754,25	212,89	13668,8	14091,5	28183,0	29054,6	632,4
17,00	79	2022,20	245,41	16872,3	17394,1	34788,2	35864,1	544,3
SPEED [kt]	EFFICIENCY				THRUST			
	EFFO	EFFG	EFFOA	MERIT	THRPROP [kN]	DELTHR [kN]		
12,00	0,6241	0,9700	0,5973	0,49151	747,17	1161,47		
12,50	0,6250	0,9700	0,5981	0,49037	804,90	1251,21		
13,00	0,6257	0,9700	0,5987	0,48941	865,37	1345,19		
13,50	0,6263	0,9700	0,5992	0,48868	928,98	1444,08		
14,00	0,6266	0,9700	0,5995	0,48822	996,26	1548,67		
14,50	0,6267	0,9700	0,5995	0,48807	1067,88	1659,99		
15,00	0,6266	0,9700	0,5993	0,48829	1144,60	1779,25		
15,50	0,6261	0,9700	0,5988	0,48891	1227,34	1907,88		
+ 16,00 +	0,6253	0,9700	0,5980	0,48999	1317,19	2047,55		
17,00	0,6225	0,9700	0,5953	0,49364	1523,21	2367,80		

# Propulsion

25 jun 2018 09:57

HydroComp NavCad 2014

Project ID

Description

File name

Cálculo Cuaderno 6- by power.hcnc

## Prediction results [Propulsor]

PROPULSOR COEFS									
SPEED [kt]	J	KT	KQ	KTJ2	KQJ3	CTH	CP	RNPROP	
12,00	0,6520	0,2070	0,03442	0,48709	0,12421	1,2404	1,9995	1,98e7	
12,50	0,6535	0,2065	0,03437	0,48348	0,12312	1,2312	1,9819	2,05e7	
13,00	0,6548	0,2060	0,03432	0,48048	0,12221	1,2235	1,9674	2,13e7	
13,50	0,6558	0,2057	0,03428	0,47821	0,12153	1,2177	1,9563	2,21e7	
14,00	0,6565	0,2055	0,03426	0,47678	0,1211	1,2141	1,9494	2,29e7	
14,50	0,6567	0,2054	0,03425	0,47632	0,12096	1,2129	1,9472	2,37e7	
15,00	0,6564	0,2055	0,03426	0,47699	0,12116	1,2147	1,9505	2,46e7	
15,50	0,6555	0,2058	0,03429	0,47893	0,12175	1,2196	1,9599	2,54e7	
+ 16,00 +	0,6540	0,2063	0,03435	0,48229	0,12276	1,2281	1,9762	2,63e7	
17,00	0,6491	0,2081	0,03453	0,49389	0,12627	1,2577	2,0327	2,81e7	
CAVITATION									
SPEED [kt]	SIGMAV	SIGMAN	SIGMA07R	TIPSPEED [m/s]	MINBAR	PRESS [kPa]	CAVAVG [%]	CAVMAX [%]	PITCHFC [mm]
12,00	20,83	8,85	1,68	23,29	0,173	49,54 !	6,1	6,1	6511,4
12,50	19,19	8,20	1,56	24,20	0,182	53,36 !	6,7	6,7	6518,9
13,00	17,74	7,61	1,45	25,13	0,192	57,37 !!	7,3	7,3	6525,2
13,50	16,45	7,08	1,34	26,06	0,202	61,59 !!	7,9	7,9	6530,0
14,00	15,29	6,59	1,25	27,00	0,212	66,05 !!	8,6	8,6	6533,0
14,50	14,25	6,15	1,17	27,96	0,223	70,80 !!	9,4	9,4	6534,0
15,00	13,32	5,74	1,09	28,93	0,235	75,88 !!	10,3	10,3	6532,5
15,50	12,47	5,36	1,02	29,94	0,248	81,37 !!	11,2	11,2	6528,4
+ 16,00 +	11,70	5,01	0,95	30,98	0,262	87,33 !!	12,3	12,3	6521,4
17,00	10,36	4,37	0,83	33,17	0,295	100,98 !!	15,1	15,1	6497,4

# Propulsion

25 jun 2018 09:57

HydroComp NavCad 2014

Project ID

Description

File name **Cálculo Cuaderno 6- by power.hcnc**

## Hull data

General		Planing	
Configuration:	<b>Monohull</b>	Proj chine length:	<b>0,000 m</b>
Chine type:	<b>Single/hard</b>	Proj bottom area:	<b>0,0 m2</b>
Length on WL:	<b>281,974 m</b>	LCG fwd TR:	<b>[XCG/LP 0,000] 0,000 m</b>
Max beam on WL:	[LWL/BWL 5,755] <b>49,000 m</b>	VCG below WL:	<b>0,000 m</b>
Max molded draft:	[BWL/T 2,553] <b>19,190 m</b>	Aft station (fwd TR):	<b>0,000 m</b>
Displacement:	[CB 0,837] <b>227621,30 t</b>	Deadrise:	<b>0,00 deg</b>
Wetted surface:	[CS 2,687] <b>21251,3 m2</b>	Chine beam:	<b>0,000 m</b>
<b>ITTC-78 (CT)</b>		Chine ht below WL:	<b>0,000 m</b>
LCB fwd TR:	[XCB/LWL 0,537] <b>151,482 m</b>	Fwd station (fwd TR):	<b>0,000 m</b>
LCF fwd TR:	[XCF/LWL 0,513] <b>144,618 m</b>	Deadrise:	<b>0,00 deg</b>
Max section area:	[CX 0,992] <b>932,4 m2</b>	Chine beam:	<b>0,000 m</b>
Waterplane area:	[CWP 0,903] <b>12476,3 m2</b>	Chine ht below WL:	<b>0,000 m</b>
Bulb section area:	<b>127,7 m2</b>	Propulsor type:	<b>Propeller</b>
Bulb ctr below WL:	<b>4,000 m</b>	Max prop diameter:	<b>8000,0 mm</b>
Bulb nose fwd TR:	<b>286,733 m</b>	Shaft angle to WL:	<b>0,00 deg</b>
Imm transom area:	[ATR/AX 0,019] <b>17,5 m2</b>	Position fwd TR:	<b>0,000 m</b>
Transom beam WL:	[BTR/BWL 0,241] <b>11,800 m</b>	Position below WL:	<b>0,000 m</b>
Transom immersion:	[TTR/T 0,136] <b>2,618 m</b>	Transom lift device:	<b>Flap</b>
Half entrance angle:	<b>53,00 deg</b>	Device count:	<b>0</b>
Bow shape factor:	[WL flow] <b>1,0</b>	Span:	<b>0,000 m</b>
Stern shape factor:	[WL flow] <b>1,0</b>	Chord length:	<b>0,000 m</b>
		Deflection angle:	<b>0,00 deg</b>
		Tow point fwd TR:	<b>0,000 m</b>
		Tow point below WL:	<b>0,000 m</b>

## Propulsor data

Propulsor		Propeller options	
Count:	<b>2</b>	Oblique angle corr:	<b>Off</b>
Propulsor type:	<b>Propeller series</b>	Shaft angle to WL:	<b>0,00 deg</b>
Propeller type:	<b>FPP</b>	Added rise of run:	<b>0,00 deg</b>
Propeller series:	<b>B Series</b>	Propeller cup:	<b>0,0 mm</b>
Propeller sizing:	<b>By power</b>	KTKQ corrections:	<b>Custom</b>
Reference prop:		Scale correction:	<b>None</b>
Blade count:	<b>4</b>	KT multiplier:	<b>1,000</b>
Expanded area ratio:	<b>0,3001</b> [Size]	KQ multiplier:	<b>1,000</b>
Propeller diameter:	<b>8000,0 mm</b> [Size]	Blade T/C [0.7R]:	<b>0,00</b>
Propeller mean pitch:	[P/D 1,0143] <b>8114,3 mm</b> [Size]	Roughness:	<b>0,00 mm</b>
Hub immersion:	<b>14910,0 mm</b>	Cav breakdown:	<b>On</b>
<b>Engine/gear</b>		<b>Design condition</b>	
Engine data:	<b>Untitled Engine Obj...</b>	Max prop diam:	<b>8000,0 mm</b>
Rated RPM:	<b>3000 RPM</b>	Design speed:	<b>16,00 kt</b>
Rated power:	<b>18000,0 kW</b>	Reference power:	<b>18000,0 kW</b>
Gear efficiency:	<b>0,970</b>	Design point:	<b>0,850</b>
Load correction:	<b>Off</b>	Reference RPM:	<b>600,0</b>
Gear ratio:	<b>8,240</b> [Size]	Design point:	<b>1,030</b>
Shaft efficiency:	<b>0,970</b>		

# Propulsion

25 jun 2018 09:57

HydroComp NavCad 2014

Project ID

Description

File name

Cálculo Cuaderno 6- by power.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

# **Anexo 2: Resultados de Navcad para 5 palas**

# Propulsion

25 jun 2018 09:58

HydroComp NavCad 2014

Project ID

Description

File name **Cálculo Cuaderno 6- by power.hcnc**

## Analysis parameters

<b>Hull-propulsor interaction</b>		<b>System analysis</b>	
Technique:	[Calc] Prediction	Cavitation criteria:	Keller eqn
Prediction:	Holtrop	Analysis type:	Free run
Reference ship:		CPP method:	
Max prop diam:	8000,0 mm	Engine RPM:	
<b>Corrections</b>		Mass multiplier:	
Viscous scale corr:	[Off]	RPM constraint:	
Rudder location:		Limit [RPM/s]:	
Friction line:		<b>Water properties</b>	
Hull form factor:		Water type:	Salt
Corr allowance:		Density:	1026,00 kg/m3
Roughness [mm]:		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	0,16	0,84	5,75	2,55
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 [%]
12,00	7170,1	0,2171	0,2228	0,9939	460	6280,2	---	34,9
12,50	8046,0	0,2170	0,2228	0,9939	478	7037,9	---	39,1
13,00	8996,4	0,2169	0,2228	0,9939	496	7860,5	---	43,7
13,50	10029,1	0,2168	0,2228	0,9939	514	8755,7	---	48,6
14,00	11153,9	0,2168	0,2228	0,9939	533	9732,9	---	54,1
14,50	12382,6	0,2167	0,2228	0,9939	552	10804,1	---	60,0
15,00	13729,9	0,2166	0,2228	0,9939	571	11983,9	---	66,6
15,50	15213,2	0,2165	0,2228	0,9939	591	13290,1	---	73,8
+ 16,00 +	16853,6	0,2165	0,2228	0,9939	612	14744,3	---	81,9
17,00	20707,8	0,2164	0,2228	0,9939	655	18203,6	---	101,1
SPEED [kt]	POWER DELIVERY							
	RPMPROP [RPM]	QPROP [kN·m]	QENG [kN·m]	PDPROP [kW]	PSPROP [kW]	PSTOTAL [kW]	PBTOTAL [kW]	TRANSP
12,00	50	1131,07	121,94	5909,0	6091,8	12183,6	12560,4	---
12,50	52	1219,71	131,50	6621,9	6826,7	13653,4	14075,7	---
13,00	53	1312,45	141,50	7396,0	7624,7	15249,4	15721,0	949,6
13,50	55	1409,85	152,00	8238,2	8493,0	16986,0	17511,4	885,3
14,00	57	1512,59	163,08	9157,7	9440,9	18881,9	19465,9	825,9
14,50	60	1621,52	174,82	10165,6	10480,0	20960,0	21608,2	770,6
15,00	62	1737,68	187,35	11275,7	11624,4	23248,8	23967,8	718,7
15,50	64	1862,27	200,78	12504,7	12891,4	25782,9	26580,3	669,6
+ 16,00 +	66	1996,67	215,27	13872,9	14302,0	28603,9	29488,6	623,1
17,00	71	2301,47	248,13	17127,7	17657,5	35314,9	36407,1	536,2
SPEED [kt]	EFFICIENCY				THRUST			
	EFFO	EFFG	EFFOA	MERIT	THRPROP [kN]	DELTHR [kN]		
12,00	0,6149	0,9700	0,5885	0,48424	747,17	1161,47		
12,50	0,6158	0,9700	0,5893	0,48314	804,90	1251,21		
13,00	0,6165	0,9700	0,5900	0,48222	865,37	1345,20		
13,50	0,6171	0,9700	0,5904	0,48152	928,98	1444,08		
14,00	0,6175	0,9700	0,5907	0,48108	996,27	1548,68		
14,50	0,6176	0,9700	0,5908	0,48094	1067,88	1659,99		
15,00	0,6174	0,9700	0,5906	0,48115	1144,59	1779,25		
15,50	0,6169	0,9700	0,5901	0,48174	1227,34	1907,88		
+ 16,00 +	0,6161	0,9700	0,5892	0,48278	1317,19	2047,55		
17,00	0,6132	0,9700	0,5864	0,48627	1523,21	2367,80		

# Propulsion

25 jun 2018 09:58

HydroComp NavCad 2014

Project ID

Description

File name

Cálculo Cuaderno 6- by power.hcnc

## Prediction results [Propulsor]

PROPULSOR COEFS									
SPEED [kt]	J	KT	KQ	KTJ2	KQJ3	CTH	CP	RNPROP	
12,00	0,7311	0,2603	0,04926	0,48709	0,12607	1,2404	2,0295	1,42e7	
12,50	0,7329	0,2597	0,04919	0,48348	0,12496	1,2312	2,0116	1,48e7	
13,00	0,7344	0,2591	0,04913	0,48048	0,12403	1,2235	1,9967	1,53e7	
13,50	0,7355	0,2587	0,04908	0,47821	0,12333	1,2177	1,9854	1,59e7	
14,00	0,7363	0,2585	0,04905	0,47678	0,12289	1,2141	1,9783	1,65e7	
14,50	0,7365	0,2584	0,04904	0,47632	0,12276	1,2129	1,9761	1,71e7	
15,00	0,7362	0,2585	0,04906	0,47699	0,12296	1,2146	1,9794	1,77e7	
15,50	0,7352	0,2589	0,04910	0,47893	0,12356	1,2196	1,989	1,83e7	
+ 16,00 +	0,7335	0,2595	0,04916	0,48229	0,12459	1,2281	2,0057	1,89e7	
17,00	0,7277	0,2615	0,04939	0,49389	0,12819	1,2577	2,0635	2,03e7	
CAVITATION									
SPEED [kt]	SIGMAV	SIGMAN	SIGMA07R	TIPSPEED [m/s]	MINBAR	PRESS [kPa]	CAVAVG [%]	CAVMAX [%]	PITCHFC [mm]
12,00	20,83	11,13	2,07	20,77	0,182	49,54 !	9,8	9,8	7301,2
12,50	19,19	10,31	1,92	21,58	0,192	53,37 !	10,6	10,6	7310,3
13,00	17,74	9,57	1,78	22,40	0,203	57,38 !!	11,4	11,4	7317,9
13,50	16,45	8,90	1,66	23,23	0,214	61,59 !!	12,3	12,3	7323,7
14,00	15,29	8,29	1,54	24,07	0,226	66,05 !!	13,3	13,3	7327,3
14,50	14,25	7,73	1,44	24,92	0,238	70,80 !!	14,3	14,3	7328,5
15,00	13,32	7,22	1,34	25,80	0,252	75,89 !!	15,5	15,5	7326,8
15,50	12,47	6,74	1,25	26,70	0,266	81,37 !!	16,8	16,8	7321,8
+ 16,00 +	11,70	6,29	1,17	27,62	0,282	87,33 !!	18,3	18,3	7313,3
17,00	10,36	5,49	1,02	29,59	0,318	100,99 !!	21,9 !	21,9	7284,3



# Propulsion

25 jun 2018 09:58

HydroComp NavCad 2014

Project ID

Description

File name **Cálculo Cuaderno 6- by power.hcnc**

## Hull data

General		Planing	
Configuration:	<b>Monohull</b>	Proj chine length:	<b>0,000 m</b>
Chine type:	<b>Single/hard</b>	Proj bottom area:	<b>0,0 m2</b>
Length on WL:	<b>281,974 m</b>	LCG fwd TR:	<b>[XCG/LP 0,000] 0,000 m</b>
Max beam on WL:	[LWL/BWL 5,755] <b>49,000 m</b>	VCG below WL:	<b>0,000 m</b>
Max molded draft:	[BWL/T 2,553] <b>19,190 m</b>	Aft station (fwd TR):	<b>0,000 m</b>
Displacement:	[CB 0,837] <b>227621,30 t</b>	Deadrise:	<b>0,00 deg</b>
Wetted surface:	[CS 2,687] <b>21251,3 m2</b>	Chine beam:	<b>0,000 m</b>
<b>ITTC-78 (CT)</b>		Chine ht below WL:	<b>0,000 m</b>
LCB fwd TR:	[XCB/LWL 0,537] <b>151,482 m</b>	Fwd station (fwd TR):	<b>0,000 m</b>
LCF fwd TR:	[XCF/LWL 0,513] <b>144,618 m</b>	Deadrise:	<b>0,00 deg</b>
Max section area:	[CX 0,992] <b>932,4 m2</b>	Chine beam:	<b>0,000 m</b>
Waterplane area:	[CWP 0,903] <b>12476,3 m2</b>	Chine ht below WL:	<b>0,000 m</b>
Bulb section area:	<b>127,7 m2</b>	Propulsor type:	<b>Propeller</b>
Bulb ctr below WL:	<b>4,000 m</b>	Max prop diameter:	<b>8000,0 mm</b>
Bulb nose fwd TR:	<b>286,733 m</b>	Shaft angle to WL:	<b>0,00 deg</b>
Imm transom area:	[ATR/AX 0,019] <b>17,5 m2</b>	Position fwd TR:	<b>0,000 m</b>
Transom beam WL:	[BTR/BWL 0,241] <b>11,800 m</b>	Position below WL:	<b>0,000 m</b>
Transom immersion:	[TTR/T 0,136] <b>2,618 m</b>	Transom lift device:	<b>Flap</b>
Half entrance angle:	<b>53,00 deg</b>	Device count:	<b>0</b>
Bow shape factor:	[WL flow] <b>1,0</b>	Span:	<b>0,000 m</b>
Stern shape factor:	[WL flow] <b>1,0</b>	Chord length:	<b>0,000 m</b>
		Deflection angle:	<b>0,00 deg</b>
		Tow point fwd TR:	<b>0,000 m</b>
		Tow point below WL:	<b>0,000 m</b>

## Propulsor data

Propulsor		Propeller options	
Count:	<b>2</b>	Oblique angle corr:	<b>Off</b>
Propulsor type:	<b>Propeller series</b>	Shaft angle to WL:	<b>0,00 deg</b>
Propeller type:	<b>FPP</b>	Added rise of run:	<b>0,00 deg</b>
Propeller series:	<b>B Series</b>	Propeller cup:	<b>0,0 mm</b>
Propeller sizing:	<b>By power</b>	KTKQ corrections:	<b>Custom</b>
Reference prop:		Scale correction:	<b>None</b>
Blade count:	<b>5</b>	KT multiplier:	<b>1,000</b>
Expanded area ratio:	<b>0,3001</b> [Size]	KQ multiplier:	<b>1,000</b>
Propeller diameter:	<b>8000,0 mm</b> [Size]	Blade T/C [0.7R]:	<b>0,00</b>
Propeller mean pitch:	[P/D 1,1794] <b>9435,3 mm</b> [Size]	Roughness:	<b>0,00 mm</b>
Hub immersion:	<b>14910,0 mm</b>	Cav breakdown:	<b>On</b>
<b>Engine/gear</b>		<b>Design condition</b>	
Engine data:	<b>Untitled Engine Obj...</b>	Max prop diam:	<b>8000,0 mm</b>
Rated RPM:	<b>3000 RPM</b>	Design speed:	<b>16,00 kt</b>
Rated power:	<b>18000,0 kW</b>	Reference power:	<b>18000,0 kW</b>
Gear efficiency:	<b>0,970</b>	Design point:	<b>0,850</b>
Load correction:	<b>Off</b>	Reference RPM:	<b>600,0</b>
Gear ratio:	<b>9,275</b> [Size]	Design point:	<b>1,030</b>
Shaft efficiency:	<b>0,970</b>		

# Propulsion

25 jun 2018 09:58

HydroComp NavCad 2014

Project ID

Description

File name

Cálculo Cuaderno 6- by power.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