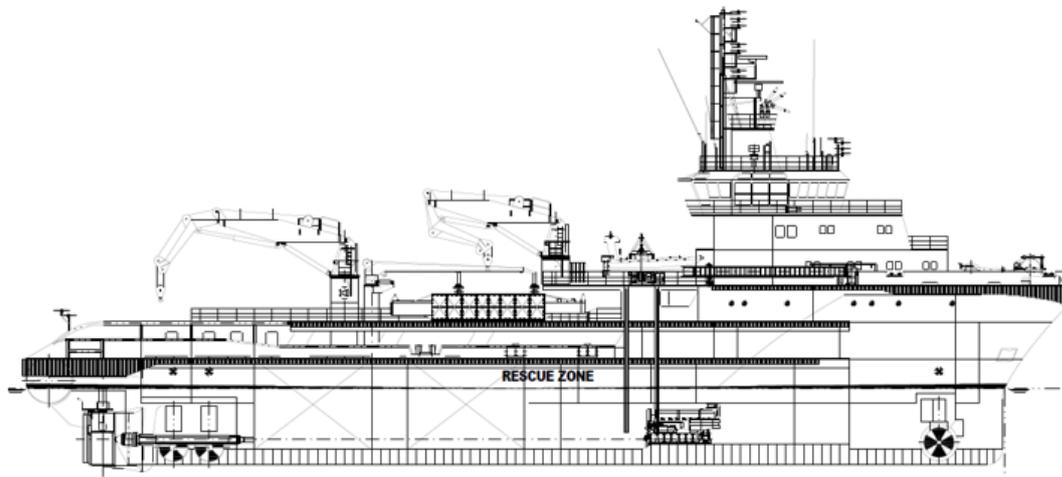


# CUADERNO 6

## PREDICCIÓN DE POTENCIA, DISEÑO DE PROPULSORES Y TIMONES



Remolcador De Altura De 220 TPF  
Proyecto Número 16-02P

Alumno: Alejandro Tizón Freijomil

Mail: [tizonferrol@gmail.com](mailto:tizonferrol@gmail.com)

Tlf: 636205846



Escola Politécnica Superior



**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA NAVAL Y OCEÁNICA**

**GRADO EN INGENIERÍA DE PROPULSIÓN Y SERVICIOS DEL BUQUE**

*CURSO 2.015-2016*

**PROYECTO NÚMERO 16-02P**

**TIPO DE BUQUE:** Remolcador de Altura (Salvamento Marítimo – Lucha contra la contaminación, salvamento y rescate).

**CLASIFICACIÓN, COTA Y REGLAMENTOS DE APLICACIÓN:** Bureau Veritas, Solas, Marpol.

**CARACTERÍSTICAS DE TRACCIÓN:** Tiro a punto fijo de 220Tn

**VELOCIDAD Y AUTONOMÍA:** 17,5 nudos al 90 % de MCR con un 15% de margen de mar y autonomía de 9000 millas.

**SISTEMAS Y EQUIPOS DE CARGA / DESCARGA:** 2 Grúas capaces de mover 20 Tn y alcance de 15 m máx. y 3,7m min.

**PROPULSIÓN:** Dos líneas de ejes accionadas por motores diésel.

**TRIPULACIÓN Y PASAJE:** 18 tripulantes y 6 de reserva.

**OTROS EQUIPOS E INSTALACIONES:** Hélices transversal en proa y popa. Las habituales en este tipo de buques.

Ferrol, Diciembre de 2.014

ALUMNO: D.Alejandro Tizón Freijomil

## **INDICE:**

<b><u>1. Introducción</u></b> .....	<b>pag 4</b>
<b><u>2. Estimación de potencia</u></b> .....	<b>pag 6</b>
<b><u>3. Fijación del número de líneas de ejes</u></b> .....	<b>pag 11</b>
<b><u>4. Fijación del número de motores por línea de ejes</u></b> .....	<b>pag 11</b>
<b><u>5. Elección del tipo de hélices</u></b> .....	<b>pag 11</b>
<b><u>6. Cálculo de la clara del codaste</u></b> .....	<b>pag 14</b>
<b><u>7. Cálculo de toberas</u></b> .....	<b>pag 16</b>
<b><u>8. Diseño de los timones</u></b> .....	<b>pag 16</b>
<b><u>9. Cálculo del servomotor</u></b> .....	<b>pag 19</b>
<b><u>10. Definición de thrusters</u></b> .....	<b>pag 20</b>
<b><u>11. Anexo I</u></b> .....	<b>pag 21</b>

## 1. INTRODUCCIÓN:

Cuando movemos un cuerpo en el agua, este experimenta una fuerza que se opone a su movimiento denominada resistencia al avance.

Al aplicar esto al casco del buque, debemos encontrar un mecanismo que sea capaz de vencer dicha resistencia con una fuerza ejercida por el sistema propulsor llamada empuje.

El sistema propulsor empleado en los buques, es la hélice, siendo su principal ventaja el no verse afectada en gran medida por el calado del buque, y su principal desventaja, el efecto de cavitación y sus riesgos.

En algunos casos, como es el de los remolcadores, al necesitar elevados empujes a bajas velocidades, suelen estar equipados con toberas con el fin de obtener un mayor empuje sin tener un gasto de energía extra.

La hélice tiene una sección recta de tipo perfil que moviéndose en el seno de un fluido real experimenta una fuerza perpendicular a la dirección del flujo incidente, denominada sustentación, y otra paralela a dicha dirección denominada resistencia.

Estas fuerzas tienen su origen en las diferencias de presiones que se crean en ambas caras del perfil.

La cara del perfil en la que se crea una sobrepresión se denomina cara de presión, y en la que se crea una depresión se denomina cara de succión.

Por tanto para que el perfil permanezca en movimiento, es necesario empujarle con una fuerza. Si conseguimos esto podemos utilizar la fuente L para empujar al buque, siempre que esta fuerza permanezca dirigida según el eje longitudinal del buque. Para ello no hay más que obligar al perfil a seguir un movimiento circular de giro alrededor de un eje y a una distancia  $r$  del mismo.

Esto se puede conseguir ligando el perfil mecánicamente al eje de una máquina rotatoria.

A la hora de diseñar la hélice se deben tener en cuenta aspectos hidrodinámicos, así como las distintas necesidades a las que el buque a proyectar debe hacer frente. Existen ciertos objetivos que una hélice debe cumplir:

-Proporcionar empuje suficiente para propulsar al buque a la velocidad deseada con el mayor rendimiento y velocidad posible.

-Inexistencia de fenómenos de cavitación, y en caso de ser inevitables, que no resulte ser peligroso dicho fenómeno.

-Resistencia mecánica

Métodos empleados para la elección de la hélice:

-Series sistemáticas

-Teoría de Circulación, cuando la hélice está muy cargada o cuando ha de trabajar con un reparto de estela muy poco uniforme.

En este cuaderno se estudiará el sistema propulsivo y los motores principales que debemos incorporar al buque a proyectar basándonos en cálculos en aguas tranquilas o en situación de remolque. Se estudiará también el cálculo de las hélices que nos proporcionaran las condiciones antes descritas y al mismo tiempo nos permitirá cumplir con los requisitos del RPA.

Para todos estos estudios, nos vamos a ayudar de material informático, concretamente el Software NAVCAD.

Comenzaremos recordando las dimensiones obtenidas en el primer cuaderno, a partir de las cuales vamos a empezar a trabajar:

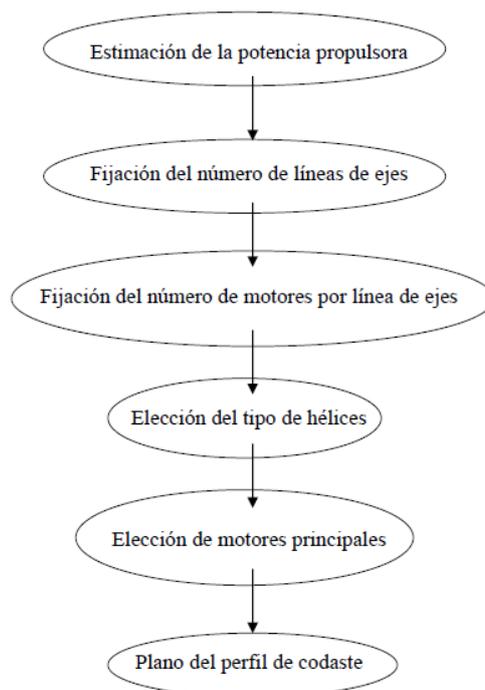
Eslora	Manga	Calado	Puntal	L/B	L/T	B/D	D-T
80,000	18	6,690	8,250	4,444	11,958	2,182	1,233

Fn	CB (Media)	CM (Media)	CP	CF (Media)
0,319	0,535	0,947	0,507	0,695

El buque está diseñado para la navegación a una velocidad de 17.5 nudos al 90% MCR con un 15% de margen de mar y una autonomía de 9000 millas.

Estos valores los obtendremos mediante dos líneas de ejes principales y sus respectivas hélices de paso variable alojadas en tobera, cada una con dos motores diésel. Para facilitar las maniobras, y optimizar el posicionamiento dinámico, contará con una hélice transversal súper silenciosa en proa, y otras dos transversales en popa.

El procedimiento a seguir será el siguiente:



## 2. Estimación de potencia:

En el caso de los remolcadores, el criterio de diseño empleado a la hora de escoger los propulsores que se van a instalar, es el tiro a punto fijo, definiendo este como el empuje del remolcador a máximas revoluciones y velocidad cero, se mide con un dinamómetro y haciendo tirar al buque de un noray.

Partiremos del valor obtenido de potencia de 12619 kw en el cuaderno 1 para un tiro de 220 toneladas.

Se debe tener en cuenta que la potencia para propulsar el buque a la velocidad de servicio de 17.5 nudos es mucho menor, por lo que se hace necesaria una estimación para conocer ambos valores y estudiar las posibilidades del mejor rendimiento.

Potencia necesaria para tiro de 220 tns → 12619 kW

Potencia necesaria para la velocidad de servicio → (NavCad)

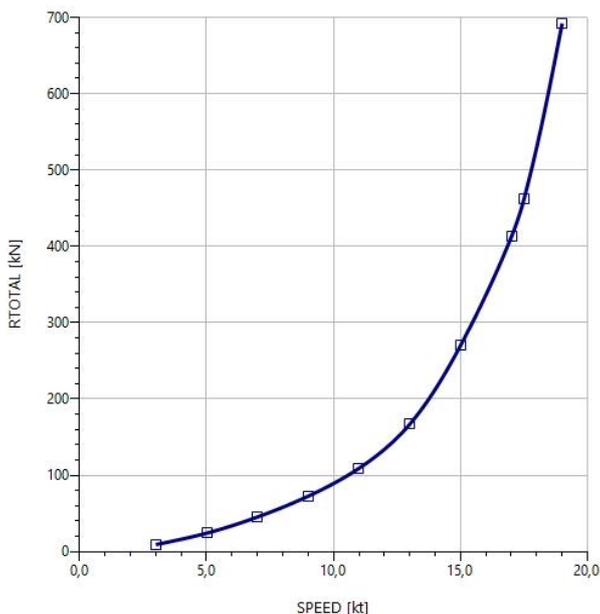
Como ya se adjuntaron al primer cuaderno, nos ayudamos del programa NavCad para obtener el valor de la resistencia al avance del buque a proyectar, y posteriormente, la potencia necesaria para propulsar nuestro buque a la velocidad de servicio estipulada por el RPA, en caso de 17,5 nudos.

El programa nos permite tener en cuenta tanto el margen de mar como el % MCR estipulados por el RPA.

A la hora de introducir los valores desconocidos, hemos tomado como referencia el buque Don Inda, y a la hora de escoger el tipo de hélice, se ha elegido una hélice de 5 palas ya que es la que nos ofrece un mayor rendimiento.

A continuación se muestran las tablas y resultados obtenidos:

El primer valor que se muestra, es la resistencia al avance que hemos obtenido:



Comenzamos por la Resistencia al Avance:

<b>Resistance</b>		Project ID	Remolcador Altura						
28 Jul 2015 01:10		Description	Buque proyecto						
HydroComp NavCad 2012		File name	Proyecto Propulsion.hcnc						
<b>Analysis parameters</b>									
<b>Vessel drag</b>		<b>ITTC-78 (CT)</b>							
Technique:	[Calc] Prediction	<b>Added drag</b>							
Prediction:	Holtrop	Appendage:	[Calc] Holtrop (Component)						
Reference ship:		Wind:	[Off]						
Model LWL:		Seas:	[Off]						
Expansion:	Standard	Shallow/channel:	[Off]						
Friction line:	ITTC-57	Margin:	[Calc] Hull + added drag [15%]						
Hull form factor:	[On] 1,249	<b>Water properties</b>							
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):	[Off]								
<b>Prediction method check [Holtrop]</b>									
Parameters	FN [design]	CP	LWL/BWL	BWL/T	Lambda				
Value	0,33	0,34	4,19	2,69	0,65				
Range	0,06-0,45	0,55-0,85	3,90-14,90	2,10-4,00	0,01-0,93				
<b>Prediction results</b>									
SPEED [kt]	SPEED COEFS			ITTC-78 COEFS					
	FN	FV	RN	CF	[CV/CF]	CR	dCF	CA	CT
3,00	0,057	0,121	9,78e7	0,002090	1,249	0,000270	0,000000	0,000609	0,003490
5,00	0,095	0,202	1,63e8	0,001944	1,249	0,000215	0,000000	0,000626	0,003268
7,00	0,132	0,283	2,28e8	0,001855	1,249	0,000162	0,000000	0,000624	0,003103
9,00	0,170	0,364	2,93e8	0,001793	1,249	0,000135	0,000000	0,000616	0,002991
11,00	0,208	0,445	3,58e8	0,001746	1,249	0,000231	0,000000	0,000606	0,003018
13,00	0,246	0,526	4,24e8	0,001708	1,249	0,000650	0,000000	0,000596	0,003379
15,00	0,284	0,607	4,89e8	0,001676	1,249	0,001590	0,000000	0,000586	0,004270
17,00	0,322	0,688	5,54e8	0,001649	1,249	0,002578	0,000000	0,000577	0,005215
+ 17,50 +	0,331	0,709	5,70e8	0,001643	1,249	0,002930	0,000000	0,000574	0,005557
19,00	0,360	0,769	6,19e8	0,001626	1,249	0,004661	0,000000	0,000567	0,007259
<b>RESISTANCE AND EFFECTIVE POWER</b>									
SPEED [kt]	RBARE [kN]	RAPP [kN]	RWIND [kN]	RSEAS [kN]	RCHAN [kN]	RMARGIN [kN]	RTOTAL [kN]	PEBARE [kW]	PETOTAL [kW]
3,00	6,56	1,47	0,00	0,00	0,00	1,20	9,23	10,1	14,2
5,00	17,07	3,99	0,00	0,00	0,00	3,16	24,21	43,9	62,3
7,00	31,76	7,70	0,00	0,00	0,00	5,92	45,38	114,4	163,4
9,00	50,60	12,60	0,00	0,00	0,00	9,48	72,68	234,3	336,5
11,00	76,27	18,67	0,00	0,00	0,00	14,24	109,17	431,6	617,8
13,00	119,29	25,89	0,00	0,00	0,00	21,78	166,96	797,8	1116,6
15,00	200,66	34,27	0,00	0,00	0,00	35,24	270,17	1548,4	2084,8
17,00	314,79	43,79	0,00	0,00	0,00	53,79	412,38	2753,0	3606,5
+ 17,50 +	355,47	46,35	0,00	0,00	0,00	60,27	462,10	3200,2	4160,2
19,00	547,35	54,46	0,00	0,00	0,00	90,27	692,08	5350,0	6764,7
<b>OTHER</b>									
SPEED [kt]	CTLR	CTLT							
3,00	0,00350	0,04532							
5,00	0,00279	0,04244							
7,00	0,00211	0,04030							
9,00	0,00175	0,03884							
11,00	0,00299	0,03919							
13,00	0,00844	0,04388							
15,00	0,02064	0,05545							
17,00	0,03348	0,06772							
+ 17,50 +	0,03806	0,07216							
19,00	0,06053	0,09426							

Report 0201190726-1210

HydroComp NavCad 2012 12.02.0019 610022 538

Se tendrá en cuenta el valor de RTOTAL (17.5 nudos) = 462.1 KN

A continuación se muestran más valores que hemos tenido que introducir.

**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:	75,334 m	LCG fwd TR:	[XCG/LP 0,000] 0,000 m
Max beam on WL:	[LWL/BWL 4,185] 18,000 m	VCG below WL:	0,000 m
Max molded draft:	[BWL/T 2,691] 6,690 m	Aft station (fwd TR):	0,000 m
Displacement:	[CB 0,492] 4578,49 t	Chine beam:	0,000 m
Wetted surface:	[CWS 5,676] 1538,5 m2	Chine ht below WL:	0,000 m
<b>ITTC-78 (CT)</b>		Deadrise:	0,00 deg
LCB fwd TR:	[XCB/LWL 0,471] 35,464 m	Fwd station (fwd TR):	0,000 m
LCF fwd TR:	[XCF/LWL 0,529] 39,870 m	Chine beam:	0,000 m
Max section area:	[CX 0,914] 110,1 m2	Chine ht below WL:	0,000 m
Waterplane area:	[CWP 0,696] 943,5 m2	Deadrise:	0,00 deg
Bulb section area:	0,0 m2	Propulsor type:	Propeller
Bulb ctr below WL:	0,000 m	Propeller diameter:	4000,0 mm
Bulb nose fwd TR:	0,000 m	Shaft angle to WL:	0,00 deg
Transom area:	[ATR/AX 0,022] 2,4 m2	Position fwd TR:	0,000 m
Transom beam WL:	[BTR/BWL 1,000] 18,000 m	Position below WL:	0,000 m
Transom immersion:	[TTR/T 0,020] 0,134 m		
Half entrance angle:	17,06 deg		
Bow shape factor:	[AVG flow] 0,0		
Stem shape factor:	[AVG flow] 0,0		

Report IC20150726-1310

HydroComp NavCad 2012 12.02.0019 51002.539

**Appendage data**

General		Skeg/Keel	
Definition:	Component	Count:	0
Percent of hull drag:	0,00 %	Type:	Skeg
<b>Planing influence</b>		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
<b>Shafting</b>		Height mid:	0,000 m
Count:	2	Height fwd:	0,000 m
Max prop diam:	4000,0 mm	Projected area:	0,0 m2
Shaft angle to WL:	0,00 deg	Wetted surface:	0,0 m2
Exposed shaft length:	7,300 m	<b>Stabilizer</b>	
Shaft diameter:	0,666 m	Count:	0
Wetted surface:	15,3 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
<b>Strut (per shaft line)</b>		Dynamic multiplier:	1,00
Count:	0	<b>Blige keel</b>	
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	<b>Tunnel thruster</b>	
Exposed palm depth:	0,000 m	Count:	3
Exposed palm width:	0,000 m	Diameter:	2,330 m
<b>Rudder</b>		<b>Sonar dome</b>	
Count:	2	Count:	0
Rudder location:	Behind propeller	Wetted surface:	0,0 m2
Type:	Balanced plate	<b>Miscellaneous</b>	
Root chord:	2,660 m	Count:	0
Tip chord:	2,660 m	Drag area:	0,0 m2
Span:	4,000 m	Drag coef:	0,00
Plate thickness:	0,030		
LE sweep:	0,00 deg		
Projected area:	10,6 m2		
Wetted surface:	21,3 m2		

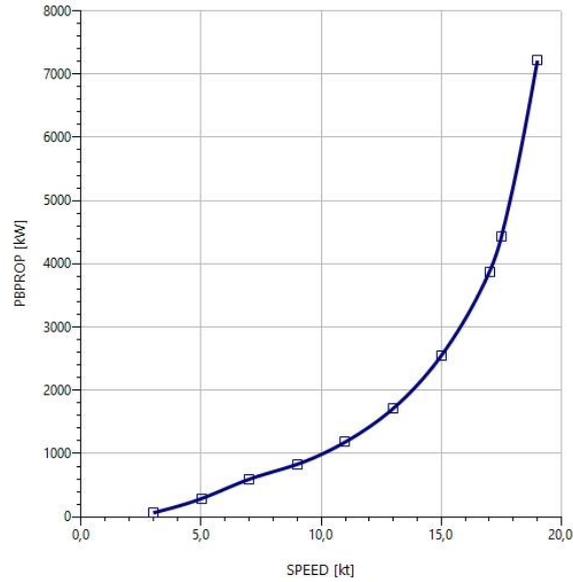
**Environment data**

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	<b>Shallow/channel</b>	
<b>Exposed hull</b>		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
<b>Superstructure</b>		Hull girth:	0,000 m
Superstructure shape:	Box/Flat front		
Transverse area:	0,0 m2		
VCE above WL:	0,000 m		
Profile area:	0,0 m2		

Report IC20150726-1310

HydroComp NavCad 2012 12.02.0019 51002.539

Vemos que para vencer la resistencia, debemos tener una potencia de 4160.2 KW



**Propulsion**  
4 ago 2015 11:02  
HydroComp NavCad 2012

Project ID: Remolcador Altura  
Description: Buque proyecto  
File name: Proyecto Propulsion.honc

**Analysis parameters**

<b>Hull-propulsor interaction</b>		<b>System analysis</b>	
Technique:	Prediction [Calc] Holtrop	Cavitation criteria:	Keller eqn
Prediction:		Analysis type:	Free run
Reference ship:		CPP method:	Fixed RPM
Max prop diam:	4000.0 mm	Engine RPM:	
<b>Corrections</b>		Mass multiplier:	
Viscous scale corr:	[On] Standard	RPM constraint:	
Rudder location:	Behind propeller	Limit [RPM/s]:	
Friction line:	ITTC-57	<b>Water properties</b>	
Hull form factor:	1,249	Water type:	Salt
Corr allowance:	ITTC-78 (v2008)	Density:	1026.00 kg/m3
Roughness [mm]:	[Off] 0,00	Viscosity:	1,18920e-6 m2/s
Ducted prop corr:	[On]		
Tunnel stern corr:	[Off]		
Effective diam:			
Recess depth:			

**Prediction method check [Holtrop]**

Parameters	FN (design)	CP	LWL/BWL	BWL/T
Value	0,33	0,54	4,19	2,69
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 [%]
3,00	14,2	0,0500	0,0912	0,9518	350	63,3	8,92	1,0
5,00	62,3	0,0494	0,0912	0,9518	581	287,7	40,58	4,6
7,00	163,4	0,0491	0,0912	0,9518	717	595,5	83,98	9,4
9,00	336,5	0,0488	0,0912	0,9518	732	832,8	117,43	13,2
11,00	617,8	0,0487	0,0912	0,9518	741	1185,0	167,10	18,8
13,00	1116,6	0,0485	0,0912	0,9518	750	1717,5	242,18	27,2
15,00	2084,8	0,0484	0,0912	0,9518	750	2553,0	360,01	40,5
17,00	3606,5	0,0483	0,0912	0,9518	750	3878,4	546,90	61,5
+ 17,50 +	4160,2	0,0483	0,0912	0,9518	750	4434,8	625,35	70,3
19,00	6764,7	0,0482	0,0912	0,9518	812	7223,5	---	114,5

SPEED [kt]	POWER DELIVERY							
	RPMPROP [RPM]	QPROP [kN-m]	PDPROP [kW]	PSPROP [kW]	PSTOTAL [kW]	PBTOTAL [kW]	TRANSP	CPPITCH [mm]
3,00	62	8,77	59,5	61,4	122,8	126,6	547,6	1800,2
5,00	102	24,05	270,7	279,1	558,2	575,5	200,7	1800,3
7,00	126	40,34	560,3	577,7	1155,3	1191,1	135,8	2074,6
9,00	129	55,25	783,6	807,8	1615,6	1665,6	124,8	2667,9
11,00	131	77,85	1115,0	1149,5	2298,9	2370,0	107,2	3261,1
13,00	132	111,21	1615,9	1665,9	3331,9	3434,9	87,4	3868,3
15,00	132	165,32	2402,1	2476,4	4952,9	5106,0	67,9	4595,0
17,00	132	251,14	3649,2	3762,0	7524,1	7756,8	50,6	5436,4
+ 17,50 +	132	287,17	4172,7	4301,7	8603,5	8869,6	45,6	5714,5
19,00	143	432,13	6796,6	7006,8	14013,7	14447,1	30,4	6159,7

SPEED [kt]	EFFICIENCY		THRUST	
	EFFO	EFFOA	THRPROP [kN]	DELTHR [kN]
3,00	0,1314	0,1161	5,08	9,23
5,00	0,1264	0,1116	13,32	24,21
7,00	0,1603	0,1415	24,97	45,38
9,00	0,2361	0,2083	39,98	72,68
11,00	0,3047	0,2687	60,06	109,17
13,00	0,3800	0,3351	91,85	166,96
15,00	0,4773	0,4209	148,63	270,17
17,00	0,5436	0,4793	226,87	412,38
+ 17,50 +	0,5484	0,4835	254,23	462,10
19,00	0,5475	0,4827	380,75	692,08

Prediction results [Propulsor]

SPEED [kt]	PROPULSOR COEFS								
	J	KT	KQ	KTJ2	KQJ3	CTH	CP	RNPROP	KTN
3,00	0,3566	0,0183	0,00791	0,1439	0,1743	0,36644	2,9298	9,17e6	-0,0107
5,00	0,3584	0,0174	0,00787	0,1357	0,17091	0,34556	2,8729	1,52e7	-0,0111
7,00	0,4068	0,0215	0,00867	0,1297	0,12877	0,33029	2,1646	1,88e7	-0,0141
9,00	0,5125	0,0330	0,01139	0,12559	0,084664	0,31981	1,4232	1,94e7	-0,0212
11,00	0,6187	0,0483	0,01562	0,12624	0,065948	0,32147	1,1086	1,98e7	-0,0286
13,00	0,7227	0,0722	0,02185	0,13819	0,057878	0,35189	0,97291	2,03e7	-0,0341
15,00	0,8340	0,1168	0,03248	0,16792	0,055986	0,4276	0,9411	2,06e7	-0,0356
17,00	0,9453	0,1783	0,04933	0,1995	0,058407	0,50803	0,9818	2,09e7	-0,0345
+ 17,50 +	0,9731	0,1998	0,05641	0,21096	0,061219	0,53719	1,0291	2,10e7	-0,0332
19,00	0,9761	0,2553	0,07245	0,26799	0,077899	0,68243	1,3095	2,27e7	-0,0175

SPEED [kt]	CAVITATION								
	SIGMAV	SIGMAN	SIGMA07R	TIPSPEED [m/s]	MINBAR	PRESS [kPa]	CAVAVG [%]	CAVMAX [%]	PITCHFC [mm]
3,00	120,75	15,36	3,09	12,92	0,083	0,62	2,0	2,0	1547,0
5,00	43,42	5,58	1,12	21,43	0,094	1,63	2,0	2,0	1548,4
7,00	22,14	3,66	0,73	26,44	0,106	3,06	2,0	2,0	1752,1
9,00	13,39	3,52	0,69	27,00	0,118	4,89	2,0	2,0	2202,4
11,00	8,96	3,43	0,66	27,34	0,138	7,35	2,0	2,0	2659,9
13,00	6,41	3,35	0,62	27,66	0,173	11,24	2,0	2,0	3126,0
15,00	4,81	3,35	0,61	27,66	0,240	18,19	2,0	2,0	3660,9
17,00	3,75	3,35	0,58	27,66	0,335	27,77	3,3	3,3	4212,2
+ 17,50 +	3,54	3,35	0,58	27,66	0,369	31,12	4,6	4,6	4359,2
19,00	3,00	2,86	0,49	29,94	0,535	46,60	10,5	10,5	4484,5

Report ID0150804-1102

HydroComp NavCad 2012 12.02.0019.01002.530

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:	75,334 m	LCG fwd TR:	[XCG/LP 0,000] 0,000 m
Max beam on WL:	[LWL/BWL 4,185] 18,000 m	VCG below WL:	0,000 m
Max molded draft:	[BWL/T 2,091] 6,690 m	Aft station (fwd TR):	0,000 m
Displacement:	[CB 0,492] 4578,49 t	Chine beam:	0,000 m
Wetted surface:	[CWS 5,676] 1538,5 m2	Chine ht below WL:	0,000 m
ITTC-78 (CT)		Deadrise:	0,00 deg
LCB fwd TR:	[XCB/LWL 0,471] 35,464 m	Fwd station (fwd TR):	0,000 m
LCF fwd TR:	[XCF/LWL 0,529] 39,870 m	Chine beam:	0,000 m
Max section area:	[CX 0,914] 110,1 m2	Chine ht below WL:	0,000 m
Waterplane area:	[CWP 0,696] 943,5 m2	Deadrise:	0,00 deg
Bulb section area:	0,0 m2	Propulsor type:	Propeller
Bulb ctr below WL:	0,000 m	Propeller diameter:	4000,0 mm
Bulb nose fwd TR:	0,000 m	Shaft angle to WL:	0,00 deg
Transom area:	[ATR/AX 0,022] 2,4 m2	Position fwd TR:	0,000 m
Transom beam WL:	[BTR/BWL 1,000] 18,000 m	Position below WL:	0,000 m
Transom immersion:	[TTR/T 0,020] 0,134 m		
Half entrance angle:	17,06 deg		
Bow shape factor:	[AVG flow] 0,0		
Stern shape factor:	[AVG flow] 0,0		

Propulsor data

Propulsor		Propeller options	
Count:	2	Oblique angle corr:	Off
Propulsor type:	Propeller series	Shaft angle to WL:	0,00 deg
Propeller type:	CPP	Added rise of run:	0,00 deg
Propeller series:	Kaplan 19A	Propeller cup:	0,0 mm
Propeller sizing:	By power	KTKQ corrections:	Standard
KTKQ file:		Scale correction:	None
Blade count:	5	KT multiplier:	1,00
Expanded area ratio:	0,6501 [Size]	KQ multiplier:	1,00
Propeller diameter:	4000,0 mm [Size]	Blade T/C [0.7R]:	Standard
Propeller mean pitch:	[P/D 1,4053] 5621,2 mm [Size]	Roughness:	Standard
Hub immersion:	3333,3 mm	Cav breakdown:	Off
Engine/gear		Nozzle L/D:	Standard
Engine data:	W 12V32	Design condition	
Rated RPM:	750 RPM	Max prop diam:	4000,0 mm
Rated power:	6309,5 kW	Design speed:	17,50 kt
Gear efficiency:	0,97	Reference power:	4640,0 kW
Gear ratio:	5,679 [Size]	Design point:	0,900
Shaft efficiency:	0,97	Reference RPM:	750,0
		Design point:	1,000

Report ID0150804-1102

HydroComp NavCad 2012 12.02.0019.01002.530

De estos resultados, podemos ver la potencia que deben entregar los motores para obtener los 17, 5 nudos, es de 8869.6 KW.

Con los dos valores ya calculados, vemos que el más restrictivo es el que sigue el criterio del tiro a punto fijo.

### **3. Fijación del número de líneas de ejes:**

Se ha elegido colocar dos líneas de ejes por varios motivos:

- Dada la potencia más restrictiva que debemos cumplir, 12619 KW, si deseásemos colocar un solo propulsor instalado en popa, este sería demasiado grande para el buque dado sus dimensiones.
- Al tener instaladas dos líneas de ejes, estaríamos dotando al buque de una mayor maniobrabilidad, factor muy importante a bajas velocidades o posibles condiciones de trabajo para los remolcadores.
- Estaríamos dando una cierta duplicidad al buque, factor importante ya que en caso de avería el buque podría seguir realizando sus labores aunque más limitado.

### **4. Fijación del número de motores por línea de ejes:**

Para los cálculos se ha comprobado que con un solo motor por eje el buque podría suministrar la potencia demandada, pero dado el tamaño de dichos motores, y siguiendo la disposición del buque base Don Inda, se colocarán dos motores por eje.

### **5. Elección del tipo de hélices:**

El buque a proyectar además de la navegación debe ser capaz de realizar diversas funciones como es la de activar la bomba contraincendios, generadores de cola o la bomba de anticontaminación, siendo los motores principales los encargados de realizar estas labores. Para ellos se ha decidido conforme al RPA que se instalarán cuatro motores que giran a 750 rpm contantes.

Se instalarán hélices de paso variable, 5 palas y 4 metros de diámetro, con embrague que permita regular la velocidad de salida según convenga para cada situación.

En cuanto al diseño de la hélice, se han optimizado las dimensiones y formas por medio del software NavCad, sabiendo que el RPA nos indica que deben ser hélices alojadas en toberas de paso variable, ya que los motores deben funcionar a 750 rpm.

Ahora se muestra el software con los cálculos para el dimensionado de la hélice ya realizas:

To size			
Gear ratio:	Size	5,679	
Expanded area ratio:	Size	0,650	
Propeller diameter:	Size	4000,0	mm
Propeller mean pitch:	Size	5621,2	mm
Design condition			
Max prop diam:		4000,0	mm
Design speed:		17,50	kt
Reference power:		4640,0	kW
Design point:		0,900	
Reference RPM:		750,0	
Design point:		1,000	

En esta tabla podemos observar los valores del dimensionado final de nuestras dos hélices.

Con esto, quedaría definida la propulsión del buque a proyectar, pasando ahora al estudio del diseño y de sus características.

El buque parte de una demanda de 12619 KW para poder alcanzar la velocidad de servicio estipulada, obteniendo una potencia por eje de 6309.5 KW, valor con el cual entraremos en el catálogo de Wartsila y buscaremos el modelo que más nos interese y capaz de entregar una potencia de 3154.75 KW

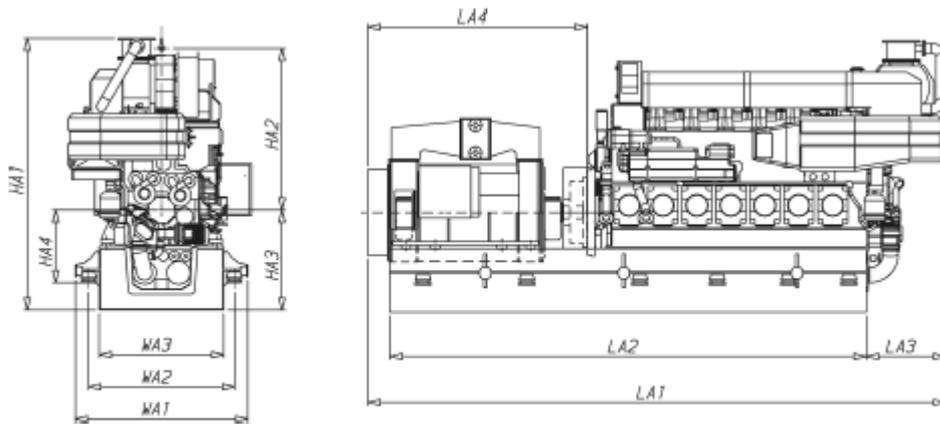
El propulsor será entonces Wartsila W 6L32 capaz de entregar una potencia de entre 3000 y 3480 KW de máxima.

Al elegir estos motores, estaríamos colocando dos motores por eje capaces de entregar la potencia necesaria para la mayor demanda posible del buque, que sería en tiro a punto fijo.

## Maximum continuous output

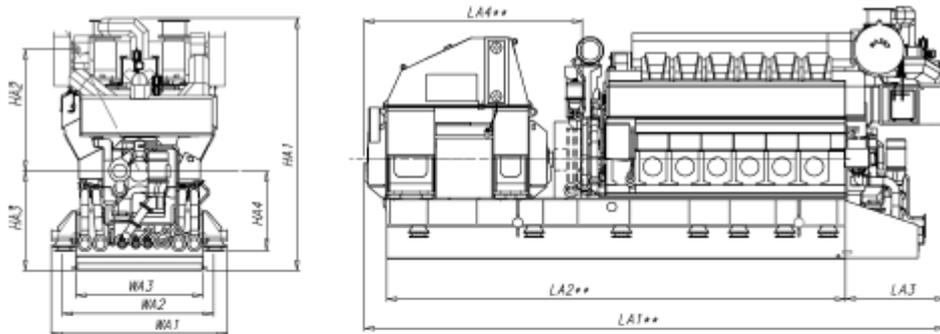
Table 1.1 Rating table for Wärtsilä 32

Cylinder configuration	Main engines	Generating sets			
	750 rpm	720 rpm		750 rpm	
	[kW]	Engine [kW]	Generator [kVA]	Engine [kW]	Generator [kVA]
W 6L32	3000 / 3480	2880 / 3300	3460 / 3960	3000 / 3480	3600 / 4180
W 7L32	3500	3360	4030	3500	4200
W 8L32	4000 / 4640	3840 / 4400	4610 / 5280	4000 / 4640	4800 / 5570
W 9L32	4500 / 5220	4320 / 4950	5180 / 5940	4500 / 5220	5400 / 6260
W 12V32	6000 / 6960	5760 / 6600	6910 / 7920	6000 / 6960	7200 / 8350
W 16V32	8000 / 9280	7680 / 8800	9220 / 10560	8000 / 9280	9600 / 11130
W 18V32	9000	8640	10370	9000	10800



\* Actual dimensions might vary based on power output and turbocharger maker.

Figure 1.4 V-engines (DAAE039700)



\* Actual dimensions might vary based on power output and turbocharger maker.

Engine	LA1**	LA3	LA2**	LA4**	WA1	WA2	WA3	HA4	HA3	HA2	HA1	Weight**
W 6L32	8345	1150	6845	3160	2290	1910	1600	1046	1450	2345	3940	57
W 7L32	9215	1150	7515	3650	2690	2310	2000	1046	1650	2345	4140	69
W 8L32	9755	1150	7920	3710	2690	2310	2000	1046	1630	2345	3925	77
W 9L32	10475	1150	8850	3825	2890	2510	2200	1046	1630	2345	3925	84
W 12V32	10075	1735	7955	3775	3060	2620	2200	1375	1700	2120	4365	96
W 16V32	11175	1735	9020	3765	3060	2620	2200	1375	1850	2120	4280	121
W 18V32	11825	1735	9690	3875	3360	2920	2500	1375	1850	2120	4280	133

Al calcular la potencia máxima del buque, sabiendo que tenemos dos motores capaces de llegar a los 3480 KW, obtenemos una potencia máxima de 13920 KW, suficiente para navegar a la velocidad de servicio ya que solo se precisan 8857.5 KW al 90 % MCR y para tener el tiro a punto fijo de 220 toneladas ya que en este caso se precisan 12619 KW.

**Potencia Máxima = 13920 KW = 18931 BHP**

Se adjunta como anexo el catálogo de motores de donde se obtienen todos los datos técnicos.

## 6. Cálculo de las claras del codaste:

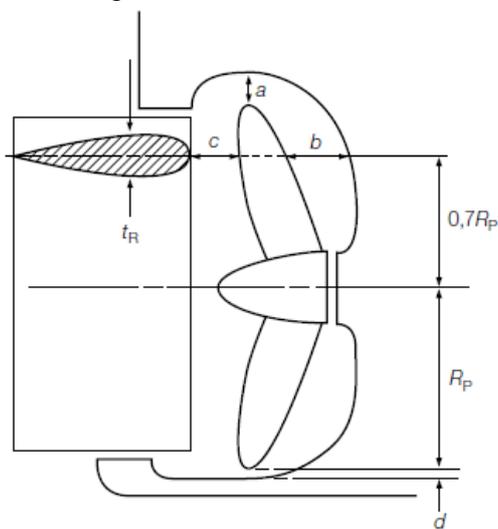
Las sociedades de clasificación en este aspecto son prácticamente similares en cuanto a buques con dos propulsores principales con dos timones.

Debemos recordar que vamos a emplear hélices de paso variable de 5 palas y 4 metros de diámetro.

Se comprobarán los huelgos mínimos entre la hélice, el codaste y el timón para la hélice final. Tal comprobación nos permitirá asegurarnos de que se dispone del espacio suficiente para poder alojarla y que las vibraciones inducidas por la hélice son mínimas.

Para el análisis acudimos a la reglamentación del Lloyd's Register of Shipping, puesto que la sociedad de clasificación del buque (Bureau Veritas) no hace referencia alguna a estas dimensiones.

El Lloyd's (Parte 3, capítulo 6, sección 7) ofrece el siguiente gráfico y las siguientes expresiones para calcular los huelgos:



(a) Single screw

Los valores recomendados de los huelgos vienen definidos por las siguientes expresiones:

- $a = 0,85 \cdot K \cdot d$
- $b = 1,275 \cdot K \cdot d$
- $c = 0,12 \cdot d$
- $d = 0,03 \cdot d$

Mientras que los valores mínimos permitidos son los siguientes:

- $a = 0,10 \cdot d$
- $b = 0,15 \cdot d$
- $c = tR$
- $d = 4 \text{ metros}$

Siendo:

$$k = \left( 0.1 + \frac{L}{3050} \right) \cdot \left( \frac{2.56 \cdot C_b \cdot BHP_{eje} (kW)}{L^2} + 0.3 \right)$$

L = Distancia desde la parte delantera de la proa a la mecha del timón en popa = 74,25 metros

C<sub>B</sub> = Coeficiente de bloque = 0,535

P = Potencia en eje = 6183,31 KW

D = Diámetro de la hélice = 4 metros

t<sub>R</sub> = Espesor del timón (0,7R) sobre la línea de ejes = 0,46 metros

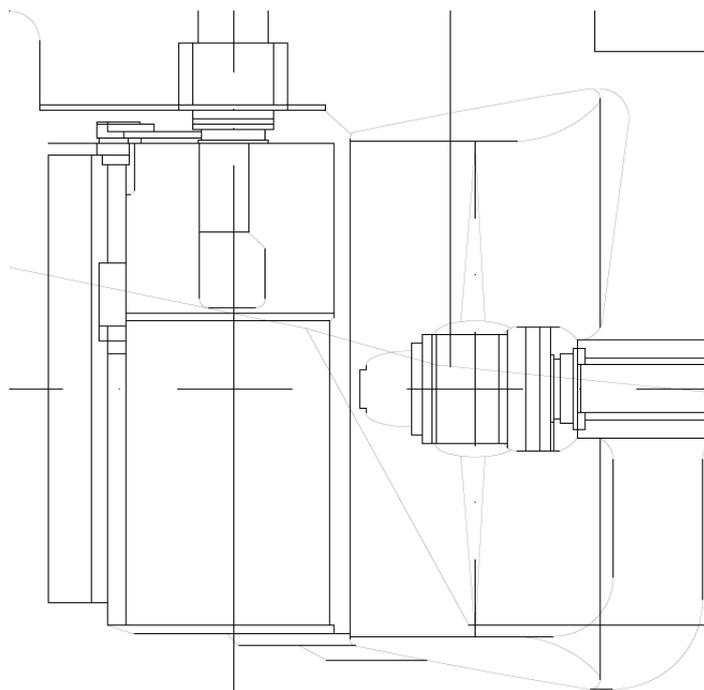
BHP/eje = 12619 KW/2 = 6309,5 KW\*eje

SHP = 0,98 \* BHP = 6309,5 \* 0,98 = 6183,31 KW

$$K = (0.1243) \cdot (1.8369) = 0.228$$

Una vez obtenido el valor de K, los huelgos recomendados y los mínimos exigidos por la SSCC Lloyd's Register of Shipping:

Nº palas=5	Valor recomendado(m)	Valor mínimo (m)
a	0,77	0,4
b	1,16	0,6
c	0,48	0,46
d	0,12	4



## 7. Cálculo de toberas:

Se ha decidido colocar toberas tipo 19 A dado que es la opción más común para este tipo de buques.

Partimos de un diámetro de propulsor de 4 metros, considerando una clara entre el extremo de la pala y el diámetro interior de la tobera de 20 cm, debemos considerar un valor para el diámetro del propulsor de 4400 mm y con este valor obtenemos la longitud de la tobera:

$$\frac{L_{tobera}}{D_{Propulsor}} = 0,5 \rightarrow L_{tobera} = 0,5 \cdot 4400 = 2200 \text{ mm}$$

## 8. Diseño de los timones:

En este apartado vamos a diseñar tanto la pala del timón como el par sobre la misma para calcular el servo que lo hará girar.

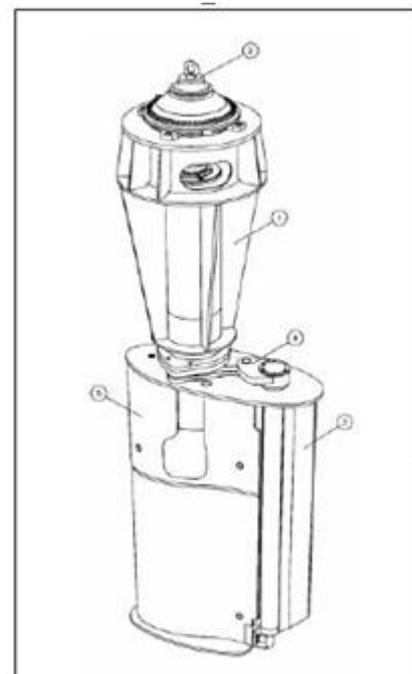
Partimos de la base de que nuestro buque tendrá dos timones situados cada uno detrás de cada tobera, y que hemos optado por el tipo de timones suspendidos basándonos otra vez en los demás buques similares que suelen emplearlos y con un contorno rectangular. Dichos timones se componen por un alerón en el borde de salida para aumentar la maniobrabilidad a velocidades bajas.

Se muestra a continuación un esquema de cómo sería dicho timón:



- 1. Rudder trunk.**  
Designed for minimum installation time and cost. The trunk is tailor-made to suit each individual vessel.
- 2. Rudder stock.**  
Made to suit all steering gears. Hydraulic taper coupling to rudder, tested and approved by class societies.
- 3. Flap.**  
Connection to rudder by hinges. Welded construction as in the main rudder.
- 4. Flap mechanism.**  
Well proven mechanism also at high ice classes
- 5. Rudder.**  
Welded construction of certified steel. Drain plugs of stainless steel. Lifting holes arranged.

© 2000/12/10/08



$$\text{Área de cada timón} = \frac{1,25}{100} \cdot L_{pp} \cdot T = \frac{1,25}{100} \cdot 69.334 \cdot 7.222 = 6.26 \text{ m}^2$$

- Sociedad de Clasificación

$$\text{Área de cada timón} = 0,001 \cdot L_{pp} \cdot T \cdot \left[ 1 + 50 \cdot Cb^2 \cdot \left( \frac{B}{L_{pp}} \right)^2 \right] / 2$$

- Buque de referencia 'Don Inda'

$$\text{Área de cada timón} = 9,5 \text{ m}^2$$

Valor obtenido del plano

Vamos a escoger el valor obtenido de nuestro buque de referencia

La altura que va a tener, será igual al diámetro del propulsor, que es de 4,1 m.  
Pasamos ahora a definir la longitud del timón:

$$\text{Long. de la pala} = \frac{\text{Área timón}}{\text{Altura timón}} = \frac{9,5}{4,1} = 2,32 \text{ m}$$

El siguiente punto, será calcular la mecha del timón.

$$DM = 83,33 \cdot KR \cdot \sqrt[3]{(v + 3)^2 \cdot \sqrt{AR^2 \cdot XP^2 + KN^2}}$$

$$KR(\text{avante})=0,248$$

$$KR(\text{atrás})=0,185$$

$$XP(\text{avante})=0,33 \cdot L_{\text{timón}} - XL = 0,33 \cdot 2,32 - 0,696 = 0,0696$$

$$XP(\text{atrás})=XA - 0,25 \cdot L_{\text{timón}} = 1,624 - 0,25 \cdot 2,32 = 1,045$$

$$KN=A1 \cdot (0,67 \cdot Y1 + 0,17 \cdot Y2) = 9,5 \cdot (0,67 \cdot 4,1 + 0,17 \cdot 0,38) = 26,7$$

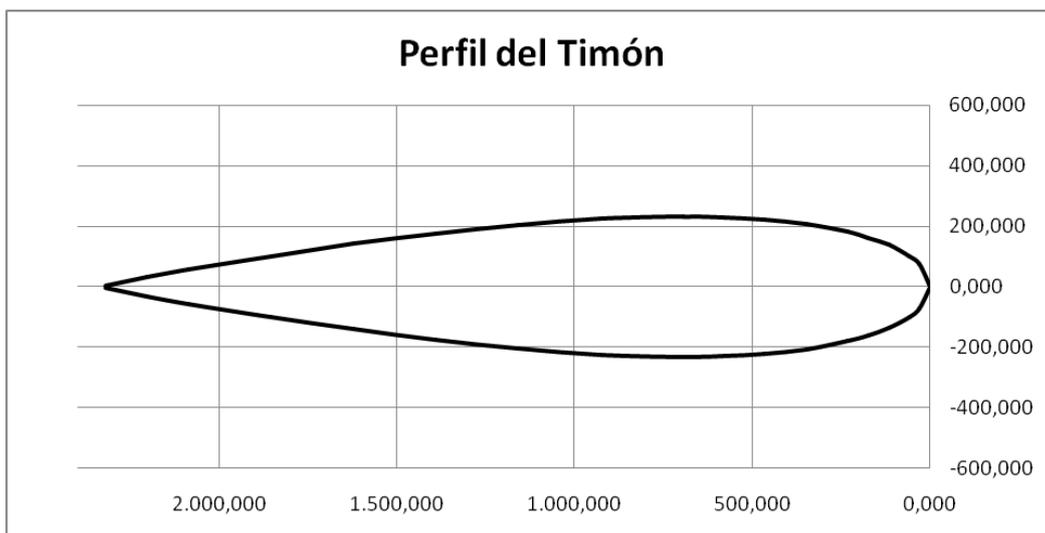
Obtenemos:

$$DM(\text{avante})=461,5 \text{ mm} \quad \text{usamos el valor mayor}$$

$$DM(\text{atrás})=346,6 \text{ mm}$$

Por último pasamos al cálculo del perfil, se ha elegido el perfil NACA 20, y con una anchura máxima del 20% de la cuerda. Se muestran ahora los valores correspondientes a dicha sección con los valores de la longitud X y de las semimangas Y.

<b>Geometría del timón</b>			
<b>Perfil NACA 20</b>			
<b>Factor x</b>	<b>Factor y</b>	<b>x (mm)</b>	<b>y (mm)</b>
<b>0,000</b>	0,000	0,000	0,000
<b>0,125</b>	0,3156	29,000	73,219
<b>0,250</b>	0,4357	58,000	101,082
<b>0,500</b>	0,5923	116,000	137,414
<b>0,750</b>	0,6998	174,000	162,354
<b>1,000</b>	0,7803	232,000	181,030
<b>1,500</b>	0,8906	348,000	206,619
<b>2,000</b>	0,9560	464,000	221,792
<b>2,500</b>	0,9899	580,000	229,657
<b>3,000</b>	1,0000	696,000	232,000
<b>4,000</b>	0,9669	928,000	224,321
<b>5,000</b>	0,8820	1.160,000	204,624
<b>6,000</b>	0,7604	1.392,000	176,413
<b>7,000</b>	0,6105	1.624,000	141,636
<b>8,000</b>	0,4371	1.856,000	101,407
<b>9,000</b>	0,2412	2.088,000	55,958
<b>9,500</b>	0,1344	2.204,000	31,181
<b>10,000</b>	0,0210	2.320,000	4,872



## 9. Cálculo del servomotor:

D = Distancia del centro de presiones (C.P.) al borde de ataque

$$D = (0.2 + 0.3 \cdot \text{sen}\alpha) \cdot l = (0.2 + 0.3 \cdot \text{sen}35) \cdot 2.32 = 0.863 \text{ m}$$

$$X_a = \text{Distancia C.P. al eje avante} = D - 0.2 = 0.663 \text{ m}$$

$$X_c = \text{Distancia C.P. al eje cuando} = (2.32 - 0.2) - D = 0.257 \text{ m}$$

$$\text{Fuerza máxima sobre timón} = \frac{41.35 \cdot S \cdot v^2 \cdot \text{sen}\alpha}{0.2 + 0.3 \cdot \text{sen}\alpha}$$

Según las Sociedades de Clasificación, dichos cálculos se realizan para un giro de 35°

Fuerza máxima avante:

$$V_{\text{avante}} = 17.5 \text{ knts} = 9.002 \text{ m/s}$$

Fuerza máxima avante

$$\frac{41.35 \cdot S \cdot v^2 \cdot \text{sen}\alpha}{0.2 + 0.3 \cdot \text{sen}\alpha} = \frac{41.35 \cdot 2.32 \cdot 9.002^2 \cdot \text{sen}35}{0.2 + 0.3 \cdot \text{sen}35} = 11984.1 \text{ kg}$$

Fuerza máxima cuando:

$$V_{\text{cuando}} = (2/3) V_{\text{avante}} = 11.66 \text{ knts} = 5.997 \text{ m/s}$$

Fuerza máxima cuando

$$\frac{41.35 \cdot S \cdot v^2 \cdot \text{sen}\alpha}{0.2 + 0.3 \cdot \text{sen}\alpha} = \frac{41.35 \cdot 2.32 \cdot 5.997^2 \cdot \text{sen}35}{0.2 + 0.3 \cdot \text{sen}35} = 5318.57 \text{ kg}$$

$$\text{Par sobre cada timón} = F_{\text{máx}} \cdot X$$

Empleamos el valor máximo, obteniendo un par máximo de

$$\text{Par máximo} = 0.663 \text{ m} \cdot 11.9841 \text{ ton} = 7.94545 \text{ ton}\cdot\text{m}$$

Aplicando un margen del 30 % de seguridad, y empleando un solo servo:

$$\text{Par servomotor} = 1.3 \cdot 2 \cdot 7.945$$

$$\text{Par servomotor} = 1.3 \cdot 2 \cdot 7.945 = \mathbf{20.657 \text{ t/ m}}$$

## **10. Definición de thrusters:**

Dada la necesidad de este tipo de buques de maniobrar en espacios reducidos o del uso de un posicionamiento dinámico, en este caso de la clase DPII, se ha decidido colocar dos thrusters en la popa del buque y otro en la proa.

Las olas, viento o corrientes son los factores que más influyen en el posicionamiento del buque.

A la hora de dimensionarlos, nos vamos a guiar por buques similares obteniendo el siguiente resultado:

- Dos thrusters de túnel en popa de 883 kw y 2300 mm de diámetro.
- Un thruster de túnel en proa de 883 kw y 2300 mm de diámetro.

Aproximaremos los valores de la potencia de accionamiento partiendo de otros buques de nuestra base de datos, rondando los 350 kW, siendo suficiente una PTO engranada a un motor principal de 1200 kW para mover los thrusters de túnel.

# **ANEXO I**

## **Catálogo De Motores**