



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA NAVAL Y OCEÁNICA

PROYECTO FIN DE GRADO

LNG TANKER 35000 m³ PARA PROPÓSITOS DE

BUNKERING N° 16-14

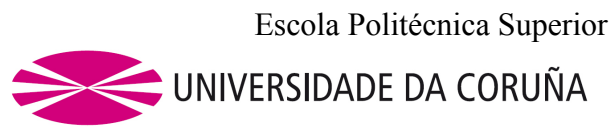
Autor: Juan González Santomé

Tutor del proyecto: Fernando Lago Rodríguez

CUADERNO 6:

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





DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA NAVAL Y OCEÁNICA

GRADO EN ARQUITECTURA NAVAL

CURSO 2.015-2016

PROYECTO NÚMERO 16-14

TIPO DE BUQUE : Gasero LNG

CLASIFICACIÓN , COTA Y REGLAMENTOS DE APLICACIÓN : NK NS (LNG tipo 2G)
SOLAS MARPOL CIG

CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA: Carga refrigerada, 35.000 M3

VELOCIDAD Y AUTONOMÍA : 18 nudos al 85% MCR y 10 % MM

SISTEMAS Y EQUIPOS DE CARGA / DESCARGA : De acuerdo con el proyecto. Será de tipo membrana TGZ Mark III.

PROPULSIÓN : Diesel eléctrica dual fuel. Dos líneas de ejes

TRIPULACIÓN Y PASAJE : 29 tripulantes

OTROS EQUIPOS E INSTALACIONES : Hélice transversal en proa. Además, cualquier otro tipo de sistema necesario para el funcionamiento normal.

Ferrol, Febrero de 2.016

ALUMNO : D. Juan González Santomé

ÍNDICE

1.- Introducción	4
2.- Estimación de la potencia propulsora	6
2.1.- Resistencia al avance	8
2.2.-Potencia efectiva	11
2.3.-Primera aproximación. Palas del propulsor. Cálculo del BHP	12
3.- Elección de los motores eléctricos propulsores	17
4.- Cálculo del propulsor	19
5.-Elección de los generadores de la planta eléctrica	24
5.1.-Navegación normal gas	26
5.2.-Navegación normal diésel	28
5.3.- Maniobra	30
5.4.- Emergencia	32
5.5.- Trasvase de combustibles	34
5.6.- Navegación en lastre	36
6.-Cálculo del timón	38
6.1.- Cálculo del área del timón	38
6.2.- Cálculo del perfil del timón	40
6.3.- Cálculo de la fuerza y el par del timón	41

ANEXOS

Anexo 1.- DNV Part 3 Chapter 14	45
Anexo 2.- Características del motor eléctrico seleccionado	49

1.- Introducción

Este cuaderno realizará un estudio más detallado de la potencia que en el cuaderno 1, para saber exactamente el motor propulsivo que el buque necesitará. Como cálculos adicionales también se realizará el cálculo de los timones, necesarios para la maniobrabilidad.

Para ello se utilizará, como en el cuaderno 1, el software Navcad. Se utilizarán estimaciones para el cálculo de la resistencia de avance, para obtener una velocidad de 18 nudos, requerido por nuestros requisitos previos., y se introducirá un motor.

Debido a que se trata de propulsión eléctrica, hemos de realizar un pequeño cálculo de balance eléctrico para tener una visión más amplia de nuestros consumidores y saber exactamente la potencia que necesitamos en el buque.

Además, este buque está dotado con redundancia por 2 cámaras de máquinas diferenciadas, ya que las operaciones que realiza en alta mar pueden resultar un grave problema en caso de blackout de la planta eléctrica.

Por último, realizaremos el cálculo de los dos timones y de los servomotores necesarios para controlarlos. A continuación podemos observar la tabla de datos generales y una tabla obtenida del Maxsurf Stability Advanced con Iso datos generales de la condición de plena carga:

LNG Bunkering	
L	168,42 m
B	30,51 m
D	17,95 m
T	8,8 m
Cb	0,68
Cp	0,71
CM	0,97
v	18 Kn
Fn	0,22
m³	35000 m³
V desplazado	31430 m³

Tabla 1: Datos del buque

Draft Amidships m	8,46
Displacement t	31429
Heel deg	0
Draft at FP m	6,72
Draft at AP m	10,2
Draft at LCF m	8,54
Trim (+ve by stern) m	3,48
WL Length m	171,18
Beam max extents on WL m	30,92
Wetted Area m²	5950,72
Waterpl. Area m²	4092,95
Prismatic coeff. (Cp)	0,71
Block coeff. (Cb)	0,6
Max Sect. area coeff. (Cm)	0,96
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,77
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	78,82
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	80,25
KB m	4,63
KG fluid m	12,74
BMt m	8,49
BML m	224,25
GMt corrected m	0,39
GML m	216,14
KMt m	13,13
KML m	228,84
Immersion (TPc) tonne/cm	41,95
MTc tonne.m	403,34
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	211,47
Max deck inclination deg	1,18
Trim angle (+ve by stern) deg	1,18

Tabla 2: Datos de condición a plena carga

2.-Estimación de la potencia propulsora

Para la estimación de potencia utilizaremos el software informático NavCad 2010. De nuestra RPA obtenemos que:

- Tenemos un MCR de un 85% y un margen de mar de un 10%
- Nuestra velocidad de servicio es de 18 nudos.

Se intentará buscar el mayor rendimiento en el propulsor, pudiendo instalar el motor más pequeño que cumpla con estas características.

Se ha de realizar el cálculo de todas las potencias en las que incurre nuestro motor. Las potencias a calcular son las siguientes:

- Potencia efectiva EHP

$$EHP = R_T \cdot V$$

donde:

R_T es la resistencia de avance del buque

V es la velocidad a la que avanza el buque.

- Potencia al freno BHP: Dividiendo la potencia efectiva entre el rendimiento propulsivo y mecánico podemos obtener la potencia al freno. Esta es la que se refleja justo al salir del motor.

$$BHP = \frac{EHP}{\eta_o \cdot \eta_m}$$

- Potencia entregada a la hélice DHP. Se obtiene dividiendo la potencia efectiva entre el rendimiento cuasi propulsivo. Es la potencia que ve la hélice.

$$DHP = \frac{EHP}{\eta_D}$$

La potencia que realmente sirve para elegir los motores propulsores es la potencia al freno. Hay que tener en cuenta que esta propulsión es eléctrica, por lo que el motor eléctrico que accione las hélices será el principal consumidor, pero no el único, Se ha de complementar el cálculo con un pequeño balance eléctrico.

De la misma manera que se realizó en el cuaderno 1, hemos de introducir en el NavCad las diferentes características de nuestro buque, como pueden ser las velocidades a las que opere el mismo, el margen de mar considerado, los apéndices que se encuentren en el casco...

El programa calculará directamente los valores de las potencias anteriormente citadas. Para el cálculo de la resistencia al avance utilizaremos el método Holtrop, el cual es el más indicado. Los rangos establecidos para este método y los del buque en cuestión se pueden ver a continuación

Método Holtrop	Umbrales	LNG Bunkering
Número de Froude de diseño	0,06 – 0,63	0,23
Cp	0,55 – 0,85	0,71
LWL/BWL	3,9-1 4,9	5,52
BWL/T	2,10 – 4	3,47
Lamda	0,01 – 1,06	0,83

Tabla 3: Valores umbrales del método Holtrop

Para continuar con el análisis hemos de introducir los datos en la pestaña hull, que definirá el casco del buque a efectos de cálculo. A continuación se pueden ver los datos calculados e introducidos. Hay datos que han sido extraídos directamente del software Maxsurf, en el que hemos definido nuestras formas y condiciones de carga para el cálculo de estabilidad:

Hull		
Configuration:	Monohull	▼
Chine type:	Round/multiple	▼
General		
Length on WL:	168,420	m
Max beam on WL:	30,510	m
Max molded draft:	8,800	m
Displacement:	31430,00	t
Wetted surface:	5950,0	m ²
Demi-hull spacing:		m
ITTC-78 (CT)		
LCB fwd TR:	84,210	m
LCF fwd TR:	84,210	m
Max section area:	263,7	m ²
Waterplane area:	4092,954	m ²
Bulb section area:	0,0	m ²
Bulb ctr below WL:	0,000	m
Bulb nose fwd TR:	0,000	m
Transom area:	21,0	m ²
Transom beam WL:	0,000	m
Transom immersion:	0,000	m
Half entrance angle:	24,83	deg
Bow shape factor:	1,0	[WL flow]
Stern shape factor:	1,0	[WL flow]

Como se puede observar, este buque no está dotado de bulbo. La no utilización de este apéndice ha sido razonada en el cuaderno 3, siendo principalmente la variación del calado debido a las operaciones del buque.

Calcularemos los diferentes valores de resistencia y propulsión para un rango de velocidades, desde 12 hasta 19 nudos, siendo 18 la impuesta en nuestros requisitos previos activos.

2.1.-Resistencia al avance

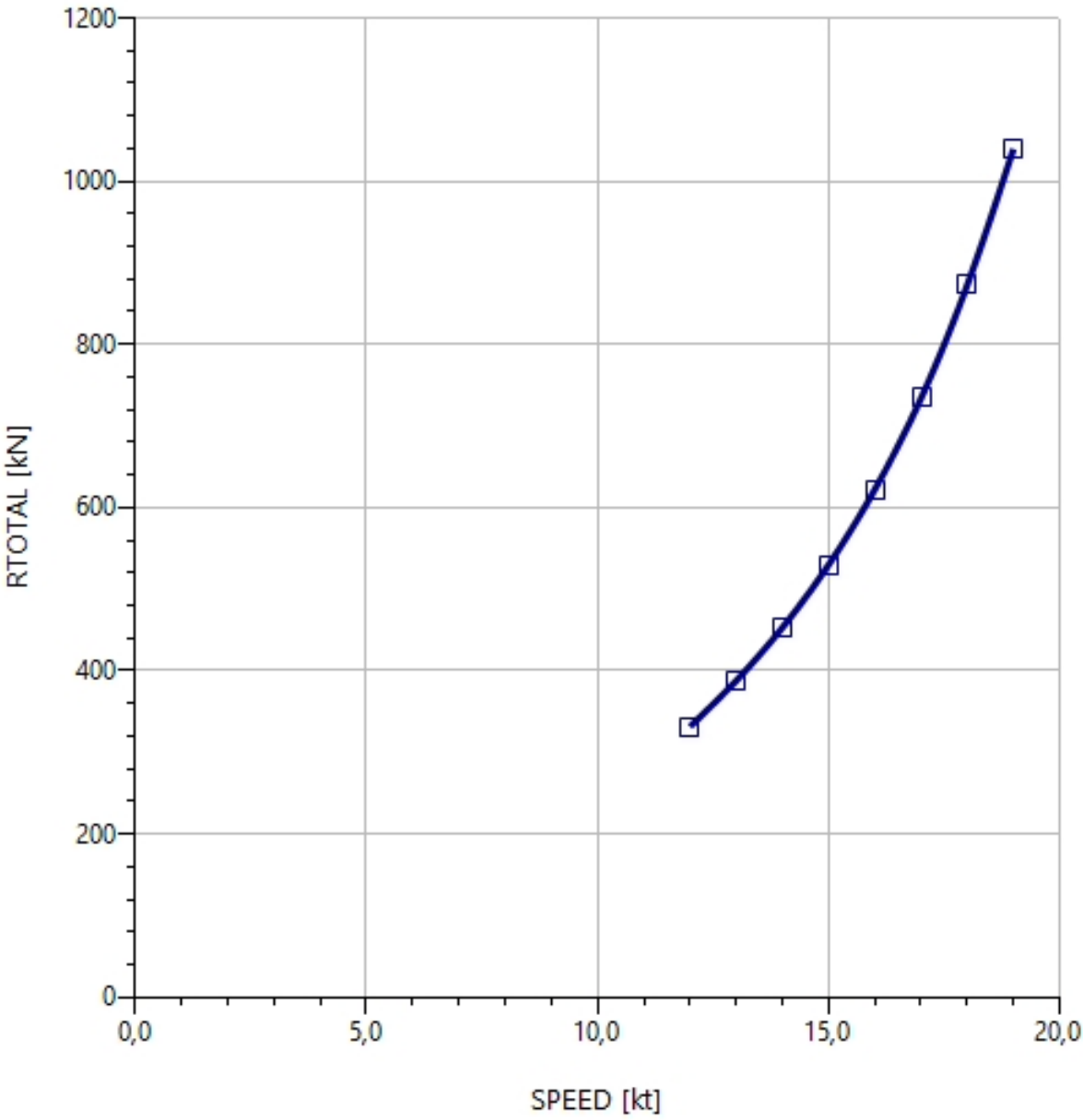
Después de haber introducido los valores de márgenes de mar y los anteriormente citados, el software NavCad pasará a realizar la resistencia al avance del buque

SPEED COEFS			ITTC-78 COEFS						
SPEED [kt]	FN	FV	RN	CF	[CV/CF]	CR	dCF	CA	CT
12,00	0,152	0,352	8,74e8	0,001556	1,263	0,000431	0,000000	0,000403	0,002800
13,00	0,165	0,381	9,47e8	0,001541	1,263	0,000451	0,000000	0,000394	0,002792
14,00	0,177	0,411	1,02e9	0,001527	1,263	0,000496	0,000000	0,000386	0,002811
15,00	0,190	0,440	1,09e9	0,001514	1,263	0,000574	0,000000	0,000378	0,002864
16,00	0,203	0,469	1,17e9	0,001502	1,263	0,000689	0,000000	0,000370	0,002956
17,00	0,215	0,499	1,24e9	0,001491	1,263	0,000844	0,000000	0,000363	0,003089
18,00	0,228	0,528	1,31e9	0,001480	1,263	0,001051	0,000000	0,000356	0,003276
19,00	0,241	0,557	1,38e9	0,001471	1,263	0,001295	0,000000	0,000349	0,003501

RESISTANCE AND EFFECTIVE POWER								
RBARE [kN]	RAPP [kN]	RWIND [kN]	RSEAS [kN]	RCHAN [kN]	RMARGIN [kN]	RTOTAL [kN]	PEBARE [kW]	PETOTAL [kW]
331,62	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	331,62	2047,2	2047,2
388,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	388,01	2594,9	2594,9
453,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	453,12	3263,5	3263,5
530,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	530,01	4089,9	4089,9
622,42	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	622,42	5123,2	5123,2
734,28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	734,28	6421,7	6421,7
872,94	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	872,94	8083,4	8083,4
1039,46	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1039,46	10160,1	10160,1

Como se puede observar, para una velocidad de 18 nudos, obtenemos una resistencia en kN de 872,94 kN. Esta será la resistencia que nuestros propulsores tendrán que vencer para hacer avanzar al buque en una dirección con esta velocidad.

A continuación podemos ver una gráfica en que se ven enfrentados los valores de resistencia y velocidad. Se trata de una gráfica exponencial; a medida que aumenta la velocidad lo hace con mayor medida la resistencia.

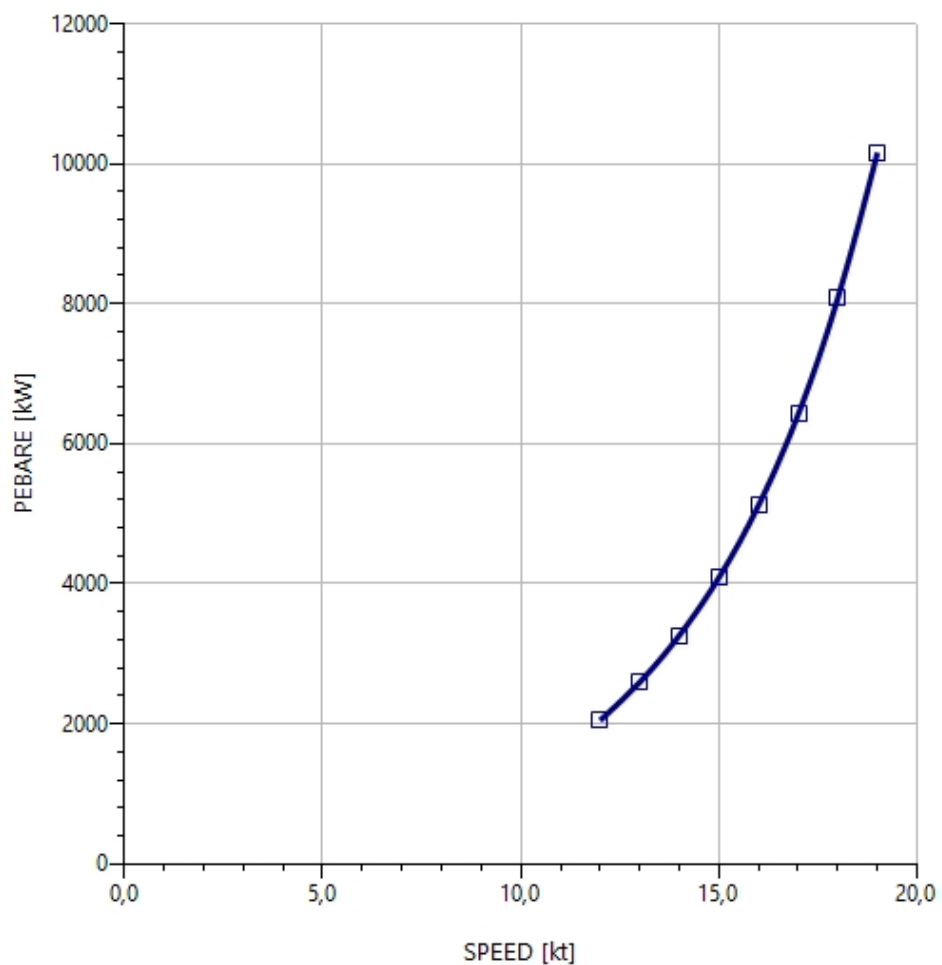


2.2.-Potencia efectiva

La potencia efectiva anteriormente definida se puede observar en la tabla anterior, antes de la potencia total:

SPEED [kt]	PEBARE [kW]
12,00	2047,2
13,00	2594,9
14,00	3263,5
15,00	4089,9
16,00	5123,2
17,00	6421,7
18,00	8083,4
19,00	10160,1

Y la gráfica correspondiente a el enfrentamiento entre velocidad y potencia efectiva es la siguiente:



Se puede observar que tiene un alzamiento similar a la anterior. Tanto la resistencia al avance como la potencia efectiva son magnitudes relacionadas entre si, por lo que provocarán un alzamiento frente a la velocidad similar

2.3.-Primera aproximación. Palas del propulsor. Valor de BHP

Con la potencia efectiva y la resistencia calculadas, podemos realizar una primera aproximación para obtener la potencia entregada a la hélice y con ello la potencia al freno. Calcularemos la potencia necesaria para propulsar el buque con 4, 5 y 6 palas.

En la pestaña de edición de propulsor, hemos de introducir el diámetro del propulsor y la inmersión de la hélice. Se ha hipotizado una inmersión de 6 metros. Hemos considerado además las siguientes condiciones de diseño:

Design condition			
Max prop diam:		6000,0	mm
Design speed:		18,00	kt
Reference thrust:		436,47	kN
Design point:		1,000	
Reference RPM:		180,0	
Design point:		1,030	

El valor de empuje está extraído de la resistencia anteriormente calculada. Las revoluciones del motor han sido extraídas del buque considerado base.

Con estas hipótesis y el número de palas, podemos obtener los valores necesarios para calcular la potencia al freno. Estos valores necesarios son:

Coefficiente de estela W : Calculado directamente por el software

Coefficiente de succión t : Calculado directamente por el software

Rendimiento del casco: $\eta_H = \frac{1-t}{1-w}$

Rendimiento rotativo relativo η_R : Calculado directamente por el software

Rendimiento del propulsor η_0 : Calculado directamente del software

A continuación se mostrarán las tablas obtenidas para 4, 5 y 6 palas:

Propulsor con 4 palas:

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:	0,4405	
Propeller diameter:	4038,3	mm
Propeller mean pitch:	3963,9	mm
Hub immersion:	6000,0	mm
Engine/gear		
Engine data:	None defined	
Rated RPM:		RPM
Rated power:		kW
Gear efficiency:	1,00	
Gear ratio:	1,000	
Shaft efficiency:	1,00	
Propeller options		
Oblique angle corr:	Off	
Shaft angle to WL:	0,00	deg
Added rise of run:	0,00	deg
Propeller cup:	0,0	mm
KTKQ corrections:	Custom	
Scale correction:	None	
KT multiplier:	1,00	
KQ multiplier:	1,00	
Blade T/C [0.7R]:	0,00	
Roughness:	0,00	mm
Cav breakdown:	Off	
Nozzle L/D:	0,50	

SPEED COEFS			HULL-PROPULSOR				ENGINE		EFFICIENCY		THRUST	
SPEED [kt]	FN	FV	PETOTAL [kW]	WFT	THD	EFFR	RPMENG [RPM]	PBPROP [kW]	EFFO	EFFOA	THRPROP [kN]	DELTHR [kN]
12,00	0,152	0,352	2047,2	0,0000	0,0000	1,0000	121	1498,3	0,6832	0,6832	165,81	331,62
13,00	0,165	0,382	2594,9	0,0000	0,0000	1,0000	131	1898,6	0,6834	0,6834	194,00	388,00
14,00	0,177	0,411	3263,5	0,0000	0,0000	1,0000	141	2389,3	0,6829	0,6829	226,56	453,12
15,00	0,190	0,441	4089,9	0,0000	0,0000	1,0000	152	3000,0	0,6817	0,6817	265,01	530,01
16,00	0,203	0,470	5123,2	0,0000	0,0000	1,0000	163	3770,3	0,6794	0,6794	311,21	622,42
17,00	0,215	0,499	6421,7	0,0000	0,0000	1,0000	176	4748,9	0,6761	0,6761	367,14	734,28
18,00	0,228	0,529	8083,4	0,0000	0,0000	1,0000	189	6019,6	0,6714	0,6714	436,47	872,94
19,00	0,241	0,558	10160,1	0,0000	0,0000	1,0000	203	7631,4	0,6657	0,6657	519,73	1039,46

POWER DELIVERY						
RPMPROP [RPM]	QPROP [kN-m]	PDPROP [kW]	PSPROP [kW]	PSTOTAL [kW]	PBTOTAL [kW]	TRANSP
121	118,25	1498,3	1498,3	2996,6	2996,6	635,0
131	138,41	1898,6	1898,6	3797,1	3797,1	542,9
141	161,48	2389,3	2389,3	4778,6	4778,6	464,5
152	188,38	3000,0	3000,0	6000,0	6000,0	396,4
163	220,25	3770,3	3770,3	7540,6	7540,6	336,4
176	258,26	4748,9	4748,9	9497,7	9497,7	283,8
189	304,62	6019,6	6019,6	12039,2	12039,2	237,1
203	359,60	7631,4	7631,4	15262,9	15262,9	197,4

Propulsor con 5 palas:

Propulsor		
Count:	2	
Propulsor type:	Propeller series	
Propeller type:	FPP	
Propeller series:	B Series	
Propeller sizing:	By thrust	
Reference prop:		
Blade count:	5	
Expanded area ratio:	0,5257	
Propeller diameter:	3862,5	mm
Propeller mean pitch:	4081,6	mm
Hub immersion:	6000,0	mm
Engine/gear		
Engine data:	None defined	
Rated RPM:		RPM
Rated power:		kW
Gear efficiency:	1,00	
Gear ratio:	1,000	
Shaft efficiency:	1,00	
Propeller options		
Oblique angle corr:	Off	
Shaft angle to WL:	0,00	deg
Added rise of run:	0,00	deg
Propeller cup:	0,0	mm
KTKQ corrections:	Custom	
Scale correction:	None	
KT multiplier:	1,00	
KQ multiplier:	1,00	
Blade T/C [0.7R]:	0,00	
Roughness:	0,00	mm
Cav breakdown:	Off	
Nozzle L/D:	0,50	

SPEED COEFS			HULL-PROPULSOR				ENGINE		EFFICIENCY		THRUST	
SPEED [kt]	FN	FV	PETOTAL [kW]	WFT	THD	EFFR	RPMENG [RPM]	PBPROP [kW]	EFFO	EFFOA	THRPROP [kN]	DELTHR [kN]
12,00	0,152	0,352	2047,2	0,0000	0,0000	1,0000	121	1512,9	0,6766	0,6766	165,81	331,62
13,00	0,165	0,382	2594,9	0,0000	0,0000	1,0000	131	1917,0	0,6768	0,6768	194,00	388,00
14,00	0,177	0,411	3263,5	0,0000	0,0000	1,0000	141	2412,8	0,6763	0,6763	226,56	453,12
15,00	0,190	0,441	4089,9	0,0000	0,0000	1,0000	152	3030,3	0,6748	0,6748	265,01	530,01
16,00	0,203	0,470	5123,2	0,0000	0,0000	1,0000	163	3810,0	0,6723	0,6723	311,21	622,42
17,00	0,215	0,499	6421,7	0,0000	0,0000	1,0000	176	4801,9	0,6687	0,6687	367,14	734,28
18,00	0,228	0,529	8083,4	0,0000	0,0000	1,0000	189	6091,9	0,6635	0,6635	436,47	872,94
19,00	0,241	0,558	10160,1	0,0000	0,0000	1,0000	203	7730,2	0,6572	0,6572	519,73	1039,46

POWER DELIVERY						
RPMPROP [RPM]	QPROP [kN·m]	PDPROP [kW]	PSPROP [kW]	PSTOTAL [kW]	PBTOTAL [kW]	TRANSP
121	119,44	1512,9	1512,9	3025,8	3025,8	628,8
131	139,81	1917,0	1917,0	3834,0	3834,0	537,6
141	163,12	2412,8	2412,8	4825,5	4825,5	460,0
152	190,33	3030,3	3030,3	6060,5	6060,5	392,4
163	222,60	3810,0	3810,0	7620,1	7620,1	332,9
176	261,13	4801,9	4801,9	9603,9	9603,9	280,7
189	308,19	6091,9	6091,9	12183,8	12183,8	234,3
203	364,04	7730,2	7730,2	15460,4	15460,4	194,9

Propulsor con 6 palas

Propulsor		
Count:	2	
Propulsor type:	Propeller series	
Propeller type:	FPP	
Propeller series:	B Series	
Propeller sizing:	By thrust	
Reference prop:		
Blade count:	6	
Expanded area ratio:	0,6082	
Propeller diameter:	3747,4	mm
Propeller mean pitch:	4157,4	mm
Hub immersion:	6000,0	mm
Engine/gear		
Engine data:	None defined	
Rated RPM:		RPM
Rated power:		kW
Gear efficiency:	1,00	
Gear ratio:	1,000	
Shaft efficiency:	1,00	
Propeller options		
Oblique angle corr:	Off	
Shaft angle to WL:	0,00	deg
Added rise of run:	0,00	deg
Propeller cup:	0,0	mm
KTKQ corrections:	Custom	
Scale correction:	None	
KT multiplier:	1,00	
KQ multiplier:	1,00	
Blade T/C [0.7R]:	0,00	
Roughness:	0,00	mm
Cav breakdown:	Off	
Nozzle L/D:	0,50	

SPEED COEFS			HULL-PROPULSOR				ENGINE		EFFICIENCY		THRUST	
SPEED [kt]	FN	FV	PETOTAL [kW]	WFT	THD	EFFR	RPMENG [RPM]	PBPROP [kW]	EFFO	EFFOA	THRPROP [kN]	DELTHR [kN]
12,00	0,152	0,352	2047,2	0,0000	0,0000	1,0000	121	1522,2	0,6724	0,6724	165,81	331,62
13,00	0,165	0,382	2594,9	0,0000	0,0000	1,0000	131	1928,8	0,6727	0,6727	194,00	388,00
14,00	0,177	0,411	3263,5	0,0000	0,0000	1,0000	141	2427,6	0,6721	0,6721	226,56	453,12
15,00	0,190	0,441	4089,9	0,0000	0,0000	1,0000	152	3049,1	0,6707	0,6707	265,01	530,01
16,00	0,203	0,470	5123,2	0,0000	0,0000	1,0000	163	3833,9	0,6681	0,6681	311,21	622,42
17,00	0,215	0,499	6421,7	0,0000	0,0000	1,0000	176	4832,6	0,6644	0,6644	367,14	734,28
18,00	0,228	0,529	8083,4	0,0000	0,0000	1,0000	189	6131,7	0,6591	0,6591	436,47	872,93
19,00	0,241	0,558	10160,1	0,0000	0,0000	1,0000	203	7782,3	0,6528	0,6528	519,73	1039,46

POWER DELIVERY						
RPMPROP [RPM]	QPROP [kN·m]	PDPROP [kW]	PSPROP [kW]	PSTOTAL [kW]	PBTOTAL [kW]	TRANSP
121	120,18	1522,2	1522,2	3044,5	3044,5	625,0
131	140,67	1928,8	1928,8	3857,5	3857,5	534,4
141	164,13	2427,6	2427,6	4855,2	4855,2	457,2
152	191,51	3049,1	3049,1	6098,1	6098,1	390,0
163	224,00	3833,9	3833,9	7667,9	7667,9	330,9
176	262,80	4832,6	4832,6	9665,1	9665,1	278,9
189	310,20	6131,7	6131,7	12263,3	12263,3	232,7
203	366,48	7782,3	7782,3	15564,6	15564,6	193,6

Si comparamos los rendimientos para 4, 5 y 6 palas, obtenemos que el propulsor con mayor rendimiento es el de 4 palas. Para propulsores mayores, en las series B de Wageningen se suele conseguir mayor rendimiento.

El software nos indica directamente la BHP, sin ser necesario calcular de forma manual los valores de los rendimientos:

SPEED [kt]	PBTOTAL [kW]
12,00	2996,6
13,00	3797,1
14,00	4778,6
15,00	6000,0
16,00	7540,6
17,00	9497,7
18,00	12039,2
19,00	15262,9

A esto hay que añadirle el régimen de funcionamiento de los motores. Para este buque, se ha determinado un régimen de un 85%. De esta manera obtenemos un valor de:

$$\text{BHP}_T = \frac{12039,2}{0,85} = 14163,76 \text{ kW}$$

Al tratarse de dos motores, cada uno tendrá que generar una cantidad de 7081,88 kW.

3.-Elección de los motores eléctricos propulsores

Ahora que ya hemos calculado la potencia necesaria de los motores para la propulsión del buque, es necesario elegir motores de un catálogo de motores. Hay que destacar que este buque funciona con propulsión eléctrica, lo cual quiere decir que los motores propulsores que se elijan en este apartado servirán sólo para hacer avanzar al buque.

A mayores, existen los motores principales generadores, que son motores convencionales a los que se le ha introducido un alternador en su eje. En vez de realizar una simple operación de transmisión mecánica, moverán el alternador para obtener una corriente en barras del buque y alimentará a todos los equipos eléctricos que se encuentren en el mismo. De esta manera, se consigue una centralización y manipulación de energía mucho más versátil.

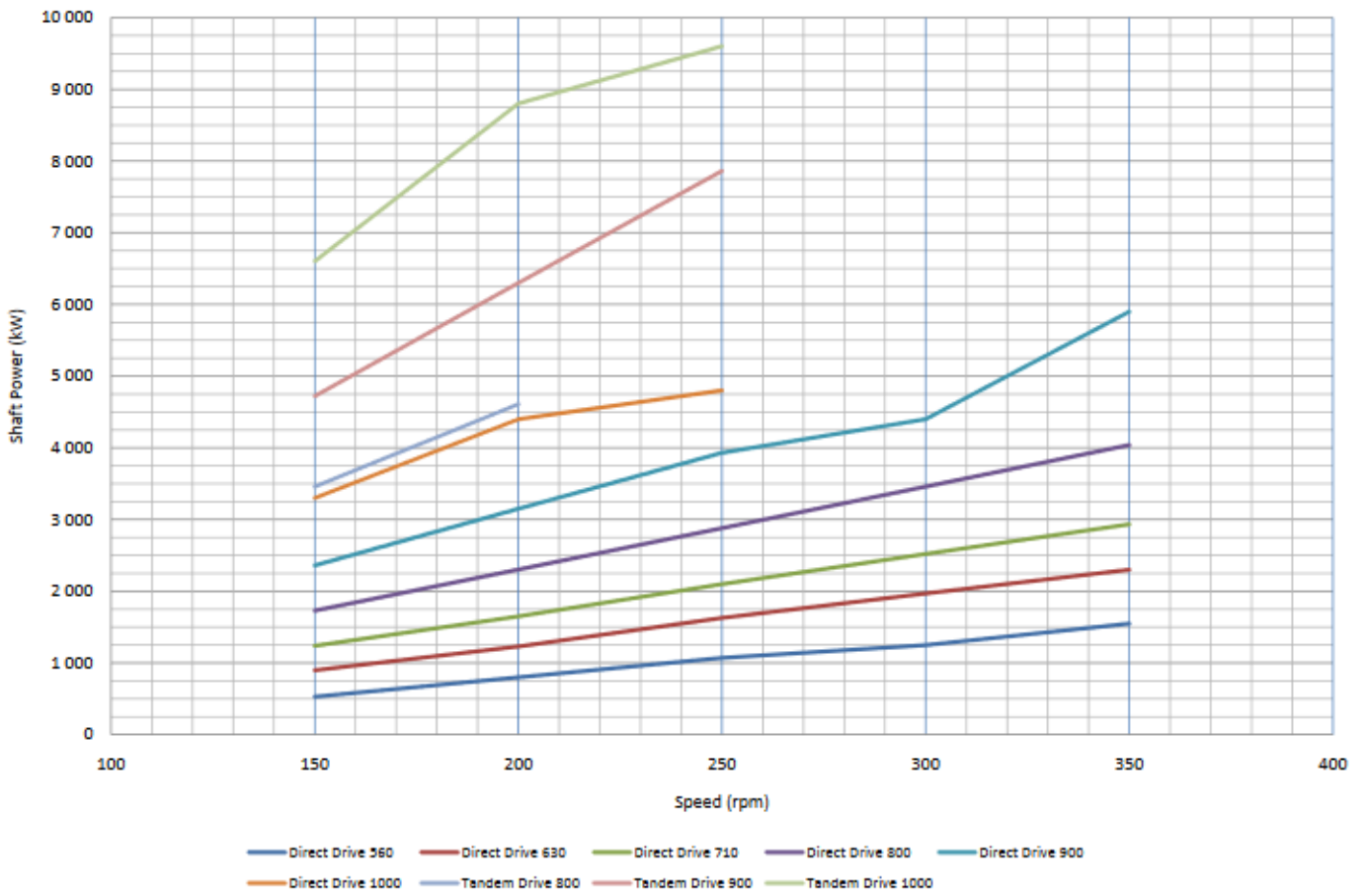
Los motores generadores se elegirán en el apartado siguiente, en el que se realizará un pequeño cálculo de todos los consumidores del buque para saber el dimensionamiento del motor.

Es necesario además decidir que tipo de motor se escogerá. En líneas generales, se podría elegir entre motores de alta tensión y de baja tensión:

- Motores de alta tensión: Utilizan una tensión de 6,9 kV, permitiendo de esta manera que los cables que van hacia las barras sean más pequeños. Su principal inconveniente es que es necesario realizar varias transformaciones por el camino hasta el consumidor, por lo que encarece la instalación y los equipos
- Motores de baja tensión: Trabajan a una tensión de 690 V. A diferencia de los anteriores, necesitan cables mucho más anchos, por lo que se aumentan las pérdidas y se aumenta el peso de cable en el buque. Sin embargo, no es necesario tantos transformadores y los equipos son más baratos.

Se elegirá un motor de baja tensión, debido a que es un barco pequeño y con relativamente pocos consumidores. Para que los motores de alta tensión resulten rentables es necesaria una gran cantidad de consumidores.

El motor elegido es un ABB Tandem Drive 900, siendo de los únicos que es capaz de dar esta potencia a baja tensión. A continuación se ven las potencias obtenidas a diferentes revoluciones de los motores en el catálogo de ABB. La línea naranja corresponde a nuestro motor:



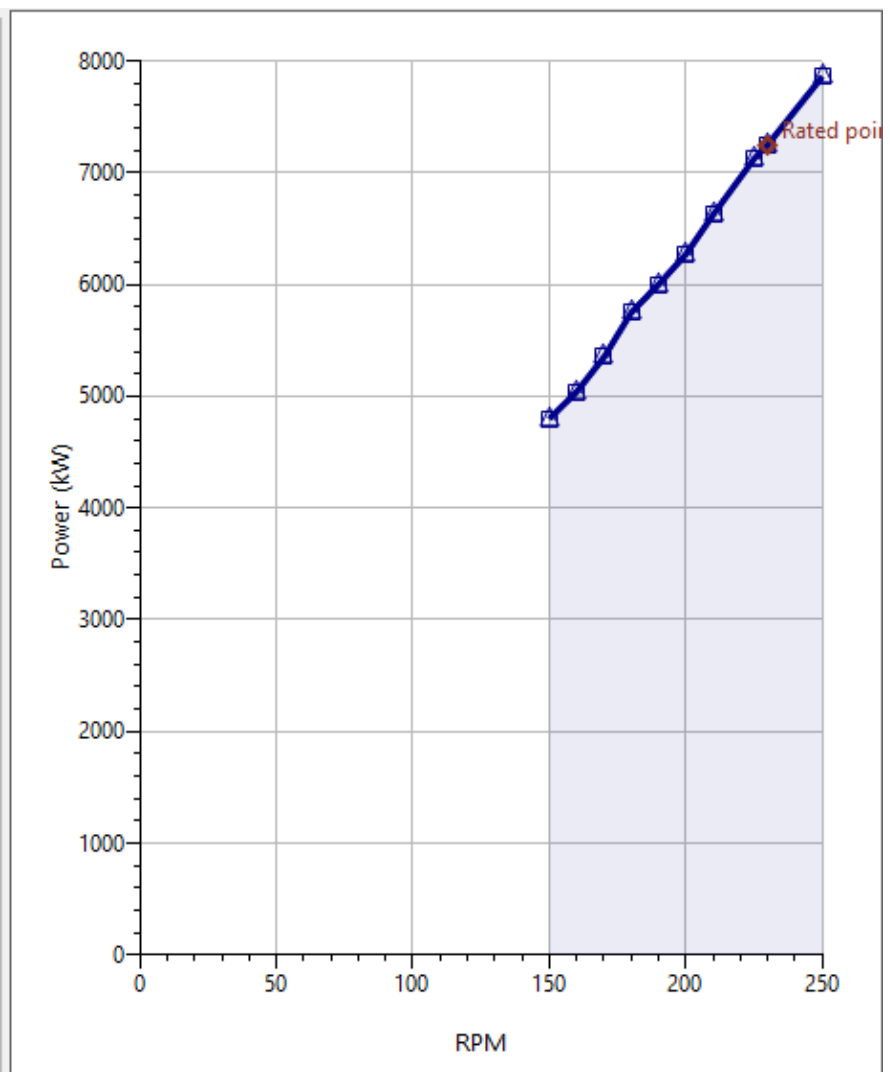
En el Anexo 1 se verán reflejados las características del motor

4.- Cálculo del propulsor

Ahora que se tiene el propulsor definido, se puede realizar el análisis “By power” en el software, para conseguir definir el propulsor que utilizaremos (hélice). Como anteriormente, se definirán los propulsores para 4, 5 y 6 palas.

Se ha tenido que introducir y definir el motor anterior dentro de software, para conseguir los valores de carga del mismo. A continuación se puede ver una imagen de los datos introducidos para la definición del propulsor:

Properties			
Description:	Untitled Engin...		
Import file:	C:\Users\Juan...		
Units			
Power:	[0.0]	kW	
Fuel rate:	[0.00]	L/h	
Parameters			
Rated power:	7250,0	kW	
Rated RPM:	230		
Parasitic load:	0,0	kW	
MAX POWER CURVE			
	RPM	Power	Fuel
1	250	7860,0	0,00
2	230	7250,0	0,00
3	225	7125,0	0,00
4	210	6625,0	0,00
5	200	6270,0	0,00
6	190	6000,0	0,00
7	180	5750,0	0,00
8	170	5350,0	0,00
9	160	5040,0	0,00
10	150	4800,0	0,00
DEFINED LOAD CURVE			
	RPM	Power	Fuel
1	250	7860,0	0,00
2	230	7250,0	0,00
3	225	7125,0	0,00
4	210	6625,0	0,00
5	200	6270,0	0,00
6	190	6000,0	0,00
7	180	5750,0	0,00
8	170	5350,0	0,00
9	160	5040,0	0,00
10	150	4800,0	0,00



Se mostrarán los valores con 4, 5 y 6 palas:

4 palas:

Propulsor		
Count:	2	▼
Propulsor type:	Propeller series	▼
Propeller type:	FPP	▼
Propeller series:	B Series	▼
Propeller sizing:	By power	▼
Reference prop:		
Blade count:	4	▼
Expanded area ratio:	0,6576	
Propeller diameter:	4498,5	mm
Propeller mean pitch:	4206,1	mm
Hub immersion:	6000,0	mm
Engine/gear		
Engine data:	Untitled Engine...	▼
Rated RPM:	230	RPM
Rated power:	7250,0	kW
Gear efficiency:	1,00	...
Gear ratio:	1,000	
Shaft efficiency:	0,98	...
Propeller options		
Oblique angle corr:	Off	▼
Shaft angle to WL:	0,00	deg
Added rise of run:	0,00	deg
Propeller cup:	0,0	mm
KTKQ corrections:	Custom	▼
Scale correction:	None	▼
KT multiplier:	1,00	...
KQ multiplier:	1,00	...
Blade T/C [0.7R]:	0,00	
Roughness:	0,00	mm
Cav breakdown:	Off	▼
Nozzle L/D:	0,50	

SPEED COEFS			HULL-PROPULSOR				ENGINE			
SPEED [kt]	FN	FV	PETOTAL [kW]	WFT	THD	EFFR	RPMENG [RPM]	PBPROP [kW]	FUEL [L/h]	LOADENG [%]
12,00	0,152	0,352	2047,2	0,0000	0,0000	1,0000	109	1531,5	---	21,1
13,00	0,165	0,382	2594,9	0,0000	0,0000	1,0000	118	1940,9	---	26,8
14,00	0,177	0,411	3263,5	0,0000	0,0000	1,0000	127	2441,8	---	33,7
15,00	0,190	0,441	4089,9	0,0000	0,0000	1,0000	137	3062,9	---	42,2
16,00	0,203	0,470	5123,2	0,0000	0,0000	1,0000	147	3843,1	---	53,0
17,00	0,215	0,499	6421,7	0,0000	0,0000	1,0000	157	4829,9	---	66,6
18,00	0,228	0,529	8083,4	0,0000	0,0000	1,0000	169	6104,9	---	84,2
19,00	0,241	0,558	10160,1	0,0000	0,0000	1,0000	181	7715,6	---	106,4

POWER DELIVERY			
SPEED [kt]	PSTOTAL [kW]	PBTOTAL [kW]	TRANSP
12,00	3063,0	3063,0	621,2
13,00	3881,8	3881,8	531,0
14,00	4883,5	4883,5	454,6
15,00	6125,7	6125,7	388,3
16,00	7686,1	7686,1	330,1
17,00	9659,8	9659,8	279,1
18,00	12209,8	12209,8	233,8
19,00	15431,1	15431,1	195,2

5 palas

Propulsor		
Count:	2	▼
Propulsor type:	Propeller series	▼
Propeller type:	FPP	▼
Propeller series:	B Series	▼
Propeller sizing:	By power	▼
Reference prop:		
Blade count:	5	▼
Expanded area ratio:	0,6576	
Propeller diameter:	4498,5	mm
Propeller mean pitch:	4206,1	mm
Hub immersion:	6000,0	mm
Engine/gear		
Engine data:	Untitled Engine...	▼
Rated RPM:	230	RPM
Rated power:	7250,0	kW
Gear efficiency:	1,00	...
Gear ratio:	1,000	
Shaft efficiency:	0,98	...
Propeller options		
Oblique angle corr:	Off	▼
Shaft angle to WL:	0,00	deg
Added rise of run:	0,00	deg
Propeller cup:	0,0	mm
KTKQ corrections:	Custom	▼
Scale correction:	None	▼
KT multiplier:	1,00	...
KQ multiplier:	1,00	...
Blade T/C [0.7R]:	0,00	
Roughness:	0,00	mm
Cav breakdown:	Off	▼
Nozzle L/D:	0,50	

SPEED COEFS			HULL-PROPULSOR				ENGINE			
SPEED [kt]	FN	FV	PETOTAL [kW]	WFT	THD	EFFR	RPMENG [RPM]	PBPROP [kW]	FUEL [L/h]	LOADENG [%]
12,00	0,152	0,352	2047,2	0,0000	0,0000	1,0000	107	1542,9	---	21,3
13,00	0,165	0,382	2594,9	0,0000	0,0000	1,0000	116	1955,5	---	27,0
14,00	0,177	0,411	3263,5	0,0000	0,0000	1,0000	125	2459,7	---	33,9
15,00	0,190	0,441	4089,9	0,0000	0,0000	1,0000	135	3084,1	---	42,5
16,00	0,203	0,470	5123,2	0,0000	0,0000	1,0000	145	3866,9	---	53,3
17,00	0,215	0,499	6421,7	0,0000	0,0000	1,0000	155	4855,0	---	67,0
18,00	0,228	0,529	8083,4	0,0000	0,0000	1,0000	166	6128,6	---	84,5
19,00	0,241	0,558	10160,1	0,0000	0,0000	1,0000	178	7734,1	---	106,7

SPEED [kt]	PSTOTAL [kW]	PBTOTAL [kW]	TRANSP
12,00	3085,8	3085,8	616,6
13,00	3911,1	3911,1	527,0
14,00	4919,5	4919,5	451,2
15,00	6168,3	6168,3	385,6
16,00	7733,9	7733,9	328,0
17,00	9710,1	9710,1	277,6
18,00	12257,2	12257,2	232,9
19,00	15468,3	15468,3	194,8

6 palas:

Propulsor		
Count:	2	▼
Propulsor type:	Propeller series	▼
Propeller type:	FPP	▼
Propeller series:	B Series	▼
Propeller sizing:	By power	▼
Reference prop:		
Blade count:	6	▼
Expanded area ratio:	0,7646	
Propeller diameter:	4333,9	mm
Propeller mean pitch:	4298,4	mm
Hub immersion:	6000,0	mm
Engine/gear		
Engine data:	Untitled Engine...	▼
Rated RPM:	230	RPM
Rated power:	7250,0	kW
Gear efficiency:	1,00	...
Gear ratio:	1,000	
Shaft efficiency:	0,98	...
Propeller options		
Oblique angle corr:	Off	▼
Shaft angle to WL:	0,00	deg
Added rise of run:	0,00	deg
Propeller cup:	0,0	mm
KTKQ corrections:	Custom	▼
Scale correction:	None	▼
KT multiplier:	1,00	...
KQ multiplier:	1,00	...
Blade T/C [0.7R]:	0,00	
Roughness:	0,00	mm
Cav breakdown:	Off	▼
Nozzle L/D:	0,50	

SPEED COEFS			HULL-PROPULSOR				ENGINE			
SPEED [kt]	FN	FV	PETOTAL [kW]	WFT	THD	EFFR	RPMENG [RPM]	PBPROP [kW]	FUEL [L/h]	LOADENG [%]
12,00	0,152	0,352	2047,2	0,0000	0,0000	1,0000	107	1557,9	---	21,5
13,00	0,165	0,382	2594,9	0,0000	0,0000	1,0000	116	1974,6	---	27,2
14,00	0,177	0,411	3263,5	0,0000	0,0000	1,0000	125	2483,7	---	34,3
15,00	0,190	0,441	4089,9	0,0000	0,0000	1,0000	135	3114,2	---	43,0
16,00	0,203	0,470	5123,2	0,0000	0,0000	1,0000	145	3904,9	---	53,9
17,00	0,215	0,499	6421,7	0,0000	0,0000	1,0000	155	4903,0	---	67,6
18,00	0,228	0,529	8083,4	0,0000	0,0000	1,0000	166	6189,9	---	85,4
19,00	0,241	0,558	10160,1	0,0000	0,0000	1,0000	178	7812,9	---	107,8

SPEED [kt]	PSTOTAL [kW]	PBTOTAL [kW]	TRANSP
12,00	3115,9	3115,9	610,7
13,00	3949,1	3949,1	522,0
14,00	4967,4	4967,4	446,9
15,00	6228,4	6228,4	381,9
16,00	7809,7	7809,7	324,9
17,00	9806,0	9806,0	274,9
18,00	12379,9	12379,9	230,5
19,00	15625,7	15625,7	192,8

Como se ha confirmado anteriormente, el propulsor con 4 palas es el que da una eficiencia mayor. Sin embargo, existe otro parámetro, la carga del motor, que ha de ser adecuada, del orden de 90 siendo un motor eléctrico. Se podría plantear una configuración con una hélice de más palas para obtener una carga mayor del motor.

De todas formas, siendo un valor relativamente cercano con 4 palas (84,2) se optará por introducir el propulsor de 4 palas.

5.-Elección de los generadores de la planta eléctrica

En el cuaderno 1 se hizo una pequeña estimación del generador que alimentaría a los motores propulsores eléctricos respecto a la potencia necesaria para hacer avanzar al buque. Para este cuaderno, realizaremos un pequeño balance eléctrico con las partidas principales para obtener los consumidores que existirán en el buque y conseguir una estimación mejor.

El balance eléctrico es un análisis de todos los equipos del buque que incurren en la planta eléctrica como consumidores. Para el dimensionado de los motores de la planta eléctrica, es necesario tener una estimación de los consumidores y los consumos del buque. Será un balance eléctrico simple, ya que se trata del anteproyecto del buque.

El método de balance eléctrico empleado será el método clásico. De esta manera podremos obtener un resumen de todas las partidas en las que incurre nuestro buque y cuánto consume cada una de ellas.

Normalmente el balance de carga se realiza en diferentes condiciones de operación.

Para saber la potencia en la que incurre cada uno de los demandantes de energía eléctrica hemos de saber el coeficiente de utilización (K_u) del equipo. Este coeficiente nos dará una idea de cuántos equipos están en funcionamiento respecto a los totales, cuánto tiempo y cuánta potencia se está realmente absorbiendo.

El coeficiente de utilización se divide entre otros 2 coeficientes:

- Coeficiente de simultaneidad K_n : Indica cuando existen aparatos o grupos de aparatos que no van a ser utilizados, como pueden ser los repuestos. Se trata de la relación entre los equipos en utilización y los totales instalados en el buque
- Coeficiente de régimen y servicio K_{sr} : Este coeficiente, a su vez, se divide en otros dos; coeficiente de régimen y coeficiente de servicio
- Coeficiente de servicio K_s : Se trata de cuanto tiempo está el equipo o conjunto de equipos trabajando respecto al total:

$$K_s = \frac{\text{Número de horas de servicio}}{24 \text{ horas}}$$

- Coeficiente de régimen K_r : Es el valor entre la potencia absorbida por el consumidor y la total instalada.

Consideraremos que el coeficiente de servicio K_s será siempre 1, ya que este tipo de coeficiente se reserva para cálculos de combustibles y mantenimiento, cosa que no interesa en esta parte de la espiral del proyecto. De esta manera, la planta propulsora diseñada podrá aguantar los aparatos a su funcionamiento máximo.

Los valores de estos coeficientes, además de los valores de intensidades y $\cos \varphi$ se han extraído de diversas fuentes de buques reales.

Se han considerado diferentes partidas de los siguientes sectores:

- Propulsión principal
- Propulsor de proa
- Auxiliares de propulsión
- Máquinas auxiliares
- Servomotor y auxiliares
- Habilitación
- Alumbrado y electrónica
- Mantenimiento del gas

Se han considerado las siguientes condiciones de operación:

- Navegación normal gas
- Navegación normal diésel
- Traslado de combustible
- Maniobra
- Emergencia
- Lastre

5.1.-Navegación normal gas

En este tipo de navegación el combustible quemado por los generadores será gas. Los elementos relacionados con el combustible diésel no tendrán que funcionar en esta condición salvo algún imprevisto.

El reporte de los diferentes consumidores y sus gastos se refleja en la tabla siguiente:

Navegación normal gas						
	Nº de unidades	Potencia activa	Unidades en servicio	Ku	KW	
Propulsión principal						
Motores propulsores principales	2	6019,6		2	0,9	10865,38
Propulsor de proa						
Motor eléctrico propulsor de proa	1	1500		0	0	0
Auxiliares de propulsión						
Bomba de refrigeración A.S.	2	25		2	0,84	42,04
Bomba de refrigeración A.D.	2	25		2	0,8	40,05
Bomba de refrigeración Aceite	2	20		2	0,89	35,42
Bomba inyectora	2	25		2	0,91	45,51
Compresor de aire	3	10		2	0,58	17,52
Servicios de combustible						
Bomba de suministro gas	2	5		2	0,91	9,1
Bomba de trasiego de diésel	2	3		0	0	0
Purificadoras diésel	2	4		0	0	0
Bomba de alimetación purificadoras	2	4,5		0	0	0
Bomba de lodos	3	5		2	0,47	7,06
Bomba de alimentación principal	2	10		2	0,77	15,31
Bomba de prelubricación	2	30		2	0,71	42,34
Bomba de lubircación	2	45		2	0,68	61,26
Purificadoras de aceite	2	4		2	0,86	6,92
Calentador A.D.	1	28		1	0,77	21,44
Máquinas auxiliares						
Bomba de servicios generales	2	80		1	0,43	69,19
Bomba contraincendios general	2	150		0	0	0
Bomba contraincendios CM	2	70		0	0	0
Bomba lastre	2	100		0	0	0
Cubierta y servomotor						
Bombas servomotor	4	50		4	0,88	176,72
Chigres de amarres	8	23		0	0	0
Molinetes	4	100		0	0	0
		0		0	0	0
Ventilación						
Aire acondicionado	1	40		1	0,71	28,22
Ventilacion CM	4	60		4	0,76	181,66
Ventilación local servomotor	2	14		2	0,69	19,29
Ventilación puente	3	14		2	0,43	17,92
Ventilación acomodación	6	1,4		4	0,43	3,58

Habilitación					
Compresor gambuza	1	10	1	0,69	6,89
Cocina	1	10	1	0,66	6,56
Plancha cocina	1	3	1	0,58	1,73
Lavandería	1	7	1	0,64	4,48
Bombas sanitarias	2	5	2	0,72	7,23
Calentador	1	10	1	0,55	5,48
Depuradora aguas grises y negras	2	6	2	0,74	8,88
Televisión	6	0,2	4	0,45	0,54
Refrigeración víveres	1	7	1	0,69	4,82
Grúas y Mantenimiento					
Montacargas	2	4	1	0,41	3,24
Pescante provisiones	2	4	1	0,37	2,96
Máquina de soldadura	1	4	0	0	0
Torno y taladro	1	3	1	0,58	1,73
Compresor de aire de servicio	2	20	1	0,34	13,78
Grúa taller	1	15	1	0,64	9,6
Alumbrado y Electronica					
Equipos de radio	1	4	1	0,64	2,56
Equipos de navegación	1	4	1	0,69	2,76
Alumbrado	1	120	1	0,64	76,8
Luces de navegación	1	0,7	1	0,56	0,39
Automatización	1	3	1	0,64	1,92
Protección catódica	1	5	1	0,66	3,28
Mantenimiento del gas					
Bombas de carga	3	200	0	0	0
Bomba de carga de emergencia	3	150	0	0	0
Compresor de alta	3	250	0	0	0
Compresor de baja	3	150	0	0	0
Vaporizador	1	40	1	0,83	33,12
Calentador de gas	2	100	2	0,69	137,78
Bomba de aspiración de gas	2	60	2	0,81	97,2
Totales					12139,65

5.2.-Navegación normal diésel

Ahora serán los sistemas de calentamiento del gas y trasiego los que no estén funcionando en una navegación normal. Sin embargo, los equipos destinados al trasiego de combustible pesado si funcionarán.

Navegación normal diésel						
	Nº de unidades	Potencia activa	Unidades en servicio	Ku	KW	
Propulsión principal						
Motores propulsores principales	2	6019,6		2	0,9	10865,38
Propulsor de proa						
Motor eléctrico propulsor de proa	1	1500		0	0	0
Auxiliares de propulsión						
Bomba de refrigeración A.S.	2	25		2	0,84	42,04
Bomba de refrigeración A.D.	2	25		2	0,8	40,05
Bomba de refrigeración Aceite	2	20		2	0,89	35,42
Bomba inyectora	2	25		2	0,91	45,51
Compresor de aire	3	10		2	0,58	17,52
Servicios de combustible						
Bomba de suministro gas	2	5		0	0,91	9,1
Bomba de trasiego de diésel	2	3		2	0	0
Purificadoras diésel	2	4		2	0	0
Bomba de alimetación purificadoras	2	4,5		2	0	0
Bomba de lodos	3	5		2	0,47	7,06
Bomba de alimentación principal	2	10		2	0,77	15,31
Bomba de prelubricación	2	30		2	0,71	42,34
Bomba de lubircación	2	45		2	0,68	61,26
Purificadoras de aceite	2	4		2	0,86	6,92
Calentador A.D.	1	28		1	0,77	21,44
Máquinas auxiliares						
Bomba de servicios generales	2	80		1	0,43	69,19
Bomba contraincendios general	2	150		0	0	0
Bomba contraincendios CM	2	70		0	0	0
Bomba lastre	2	100		0	0	0
Cubierta y servomotor						
Bombas servomotor	4	50		4	0,88	176,72
Chigres de amarres	8	23		0	0	0
Molinetes	4	100		0	0	0
Ventilación						
Aire acondicionado	1	40		1	0,71	28,22
Ventilacion CM	4	60		4	0,76	181,66
Ventilación local servomotor	2	14		2	0,69	19,29
Ventilación puente	3	14		2	0,43	17,92
Ventilación acomodación	6	1,4		4	0,43	3,58

Habilitación					
Compresor gambuza	1	10	1	0,69	6,89
Cocina	1	10	1	0,66	6,56
Plancha cocina	1	3	1	0,58	1,73
Lavandería	1	7	1	0,64	4,48
Bombas sanitarias	2	5	2	0,72	7,23
Calentador	1	10	1	0,55	5,48
Depuradora aguas grises y negras	2	6	2	0,74	8,88
Televisión	6	0,2	4	0,45	0,54
Refrigeración víveres	1	7	1	0,69	4,82
Grúas y Mantenimiento					
Montacargas	2	4	1	0,41	3,24
Pescante provisiones	2	4	1	0,37	2,96
Máquina de soldadura	1	4	0	0	0
Tomo y taladro	1	3	1	0,58	1,73
Compresor de aire de servicio	2	20	1	0,34	13,78
Grúa taller	1	15	1	0,64	9,6
Alumbrado y Electronica					
Equipos de radio	1	4	1	0,64	2,56
Equipos de navegación	1	4	1	0,69	2,76
Alumbrado	1	120	1	0,64	76,8
Luces de navegación	1	0,7	1	0,56	0,39
Automatización	1	3	1	0,64	1,92
Protección catódica	1	5	1	0,66	3,28
Mantenimiento del gas					
Bombas de carga	3	200	0	0	0
Bomba de carga de emergencia	3	150	0	0	0
Compresor de alta	3	250	0	0	0
Compresor de baja	3	150	0	0	0
Vaporizador	1	40	1	0,83	33,12
Calentador de gas	2	100	0	0,69	137,78
Bomba de aspiración de gas	2	60	2	0,81	97,2
Totales					12012

Como se puede observar, el consumo máximo es relativamente parecido, por lo que se deduce que los aparatos relacionados con el gas y con el diésel consumen de forma similar.

5.3.-Maniobra

La maniobra se considerará realizada con combustible gas, ya que se puede observar que los consumos de los equipos del gas son un poco mayores. Se han considerado muchos de los aparatos de amarre y fondeo en funcionamiento simultaneo, por lo que se considera una suposición bastante conservadora:

Maniobra						
	Nº de unidades	Potencia activa	Unidades en servicio	Ku	KW	
Propulsión principal						
Motores propulsores principales	2	6019,6		2	0,9	10865,38
Propulsor de proa						
Motor eléctrico propulsor de proa	1	1500		1	0,9	1353,75
Auxiliares de propulsión						
Bomba de refrigeración A.S.	2	25		1	0,42	21,02
Bomba de refrigeración A.D.	2	25		1	0,4	20,03
Bomba de refrigeración Aceite	2	20		1	0,44	17,71
Bomba inyectora	2	25		2	0,91	45,51
Compresor de aire	3	10		1	0,29	8,76
Servicios de combustible						
Bomba de suministro gas	2	5		2	0,91	9,1
Bomba de trasiego de diésel	2	3		0	0	0
Purificadoras diésel	2	4		0	0	0
Bomba de alimetación purificadoras	2	4,5		0	0	0
Bomba de lodos	3	5		0	0	0
Bomba de alimentación principal	2	10		1	0,38	7,66
Bomba de prelubricación	2	30		2	0,71	42,34
Bomba de lubircación	2	45		2	0,68	61,26
Purificadoras de aceite	2	4		2	0,86	6,92
Calentador A.D.	1	28		1	0,77	21,44
Máquinas auxiliares						
Bomba de servicios generales	2	80		1	0,43	69,19
Bomba contraincendios general	2	150		0	0	0
Bomba contraincendios CM	2	70		0	0	0
Bomba lastre	2	100		0	0	0
Cubierta y servomotor						
Bombas servomotor	4	50		4	0,88	176,72
Chigres de amarres	8	23		6	0,59	109,31
Molinetes	4	100		2	0,34	137,78
Ventilación						
Aire acondicionado	1	40		0	0	0
Ventilacion CM	4	60		4	0,76	181,66
Ventilación local servomotor	2	14		2	0,69	19,29
Ventilación puente	3	14		2	0,43	17,92
Ventilación acomodación	6	1,4		1	0,11	0,9

Habilitación						
Compresor gambuza	1	10	1	0,69	6,89	
Cocina	1	10	0	0	0	
Plancha cocina	1	3	0	0	0	
Lavandería	1	7	0	0	0	
Bombas sanitarias	2	5	1	0,36	3,61	
Calentador	1	10	0	0	0	
Depuradora aguas grises y negras	2	6	1	0,37	4,44	
Televisión	6	0,2	1	0,11	0,13	
Refrigeración víveres	1	7	1	0,69	4,82	
Grúas y Mantenimiento						
Montacargas	2	4	0	0	0	
Pescante provisiones	2	4	0	0	0	
Máquina de soldadura	1	4	0	0	0	
Torno y taladro	1	3	0	0	0	
Compresor de aire de servicio	2	20	2	0,69	27,56	
Grúa taller	1	15	1	0,64	9,6	
Alumbrado y Electronica						
Equipos de radio	1	4	1	0,64	2,56	
Equipos de navegación	1	4	1	0,69	2,76	
Alumbrado	1	120	1	0,64	76,8	
Luces de navegación	1	0,7	1	0,56	0,39	
Automatización	1	3	1	0,64	1,92	
Protección catódica	1	5	1	0,66	3,28	
Mantenimiento del gas						
Bombas de carga	3	200	0	0	0	
Bomba de carga de emergencia	3	150	0	0	0	
Compresor de alta	3	250	0	0	0	
Compresor de baja	3	150	0	0	0	
Vaporizador	1	40	1	0,83	33,12	
Calentador de gas	2	100	2	0,69	137,78	
Bomba de aspiración de gas	2	60	2	0,81	97,2	
Totales						13606,49

Esta será la situación en la que mas se consume. Se trata de un valor lógico debido al funcionamiento del motor propulsor de proa y los motores principales al mismo tiempo. Como se dijo anteriormente, es una situación muy conservadora.

Los motores, con esta configuración, funcionarán a un 82% de su capacidad. Es un valor correcto, ya que han de funcionar al 85% y se obtiene un pequeño margen.

5.4.-Emergencia

En la situación de emergencia se consideran todos los servicios en funcionamiento averiados, por lo que los equipos que tengan redundancia ahora se considerarán sin ella (si existen 2 equipos iguales sólo funcionará uno) No se considerará para la menor situación de potencia, ya que aquí las operaciones se realizarán con un solo motor en todas las circunstancias:

Emergencia						
	Nº de unidades	Potencia activa	Unidades en servicio	Ku	KW	
Propulsión principal						
Motores propulsores principales	2	6019,6	1	0,45	5432,69	
Propulsor de proa						
Motor eléctrico propulsor de proa	1	1500	0	0	0	
Auxiliares de propulsión						
Bomba de refrigeración A.S.	2	25	1	0,42	21,02	
Bomba de refrigeración A.D.	2	25	1	0,4	20,03	
Bomba de refrigeración Aceite	2	20	1	0,44	17,71	
Bomba inyectora	2	25	1	0,46	22,75	
Compresor de aire	3	10	1	0,29	8,76	
Servicios de combustible						
Bomba de suministro gas	2	5	1	0,46	4,55	
Bomba de trasiego de diésel	2	3	0	0	0	
Purificadoras diésel	2	4	0	0	0	
Bomba de alimetación purificadoras	2	4,5	0	0	0	
Bomba de lodos	3	5	1	0,24	3,53	
Bomba de alimentación principal	2	10	1	0,38	7,66	
Bomba de prelubricación	2	30	1	0,35	21,17	
Bomba de lubircación	2	45	1	0,34	30,63	
Purificadoras de aceite	2	4	1	0,43	3,46	
Calentador A.D.	1	28	1	0,77	21,44	
Máquinas auxiliares						
Bomba de servicios generales	2	80	1	0,43	69,19	
Bomba contra incendios general	2	150	2	0,85	253,92	
Bomba contra incendios CM	2	70	2	0,81	113,4	
Bomba lastre	2	100	0	0	0	
Cubierta y servomotor						
Bombas servomotor	4	50	1	0,22	44,18	
Chigres de amarres	8	23	0	0	0	
Molinetes	4	100	0	0	0	
Ventilación						
Aire acondicionado	1	40	0	0	0	
Ventilacion CM	4	60	2	0,38	90,83	
Ventilación local servomotor	2	14	1	0,34	9,64	
Ventilación puente	3	14	2	0,43	17,92	
Ventilación acomodación	6	1,4	2	0,21	1,79	

Habilitación

Compresor gambuza	1	10	1	0,69	6,89
Cocina	1	10	0	0	0
Plancha cocina	1	3	0	0	0
Lavandería	1	7	0	0	0
Bombas sanitarias	2	5	1	0,36	3,61
Calentador	1	10	0	0	0
Depuradora aguas grises y negras	2	6	1	0,37	4,44
Televisión	6	0,2	0	0	0
Refrigeración víveres	1	7	1	0,69	4,82

Grúas y Mantenimiento

Montacargas	2	4	0	0	0
Pescante provisiones	2	4	0	0	0
Máquina de soldadura	1	4	1	0,55	2,19
Torno y taladro	1	3	1	0,58	1,73
Compresor de aire de servicio	2	20	2	0,69	27,56
Grúa taller	1	15	1	0,64	9,6

Alumbrado y Electronica

Equipos de radio	1	4	1	0,64	2,56
Equipos de navegación	1	4	1	0,69	2,76
Alumbrado	1	120	1	0,64	76,8
Luces de navegación	1	0,7	1	0,56	0,39
Automatización	1	3	1	0,64	1,92
Protección catódica	1	5	1	0,66	3,28

Mantenimiento del gas

Bombas de carga	3	200	0	0	0
Bomba de carga de emergencia	3	150	3	0,85	380,88
Compresor de alta	3	250	0	0	0
Compresor de baja	3	150	0	0	0
Vaporizador	1	40	1	0,83	33,12
Calentador de gas	2	100	1	0,34	68,89
Bomba de aspiración de gas	2	60	1	0,41	48,6

Totales**6896,31**

5.5.-Trasvase de combustibles

Esta situación es en la que el buque está realizando sus operaciones de descarga a otro buque. Al estar parado y tener a la tripulación en una operación concreta, la ponencia total será relativamente baja:

Trasvase de combustible						
	Nº de unidades	Potencia activa	Unidades en servicio	Ku	KW	
Propulsión principal						
Motores propulsores principales	2	6019,6		1	0,45	5432,69
Propulsor de proa						
Motor eléctrico propulsor de proa	1	1500		0	0	0
Auxiliares de propulsión						
Bomba de refrigeración A.S.	2	25		1	0,42	21,02
Bomba de refrigeración A.D.	2	25		1	0,4	20,03
Bomba de refrigeración Aceite	2	20		1	0,44	17,71
Bomba inyectora	2	25		1	0,46	22,75
Compresor de aire	3	10		1	0,29	8,76
Servicios de combustible						
Bomba de suministro gas	2	5		1	0,46	4,55
Bomba de trasiego de diésel	2	3		0	0	0
Purificadoras diésel	2	4		0	0	0
Bomba de alimetación purificadoras	2	4,5		0	0	0
Bomba de lodos	3	5		1	0,24	3,53
Bomba de alimentación principal	2	10		1	0,38	7,66
Bomba de prelubricación	2	30		1	0,35	21,17
Bomba de lubircación	2	45		1	0,34	30,63
Purificadoras de aceite	2	4		1	0,43	3,46
Calentador A.D.	1	28		1	0,77	21,44
Máquinas auxiliares						
Bomba de servicios generales	2	80		1	0,43	69,19
Bomba contraincendios general	2	150		0	0	0
Bomba contraincendios CM	2	70		0	0	0
Bomba lastre	2	100		0	0	0
Cubierta y servomotor						
Bombas servomotor	4	50		2	0,44	88,36
Chigres de amarres	8	23		2	0,2	36,44
Molinetes	4	100		2	0,34	137,78
Ventilación						
Aire acondicionado	1	40		0	0	0
Ventilacion CM	4	60		2	0,38	90,83
Ventilación local servomotor	2	14		1	0,34	9,64
Ventilación puente	3	14		2	0,43	17,92
Ventilación acomodación	6	1,4		1	0,11	0,9

Habilitación					
Compresor gambuza	1	10	0	0	0
Cocina	1	10	0	0	0
Plancha cocina	1	3	0	0	0
Lavandería	1	7	0	0	0
Bombas sanitarias	2	5	1	0,36	3,61
Calentador	1	10	1	0,55	5,48
Depuradora aguas grises y negras	2	6	1	0,37	4,44
Televisión	6	0,2	1	0,11	0,13
Refrigeración víveres	1	7	1	0,69	4,82
Grúas y Mantenimiento					
Montacargas	2	4	0	0	0
Pescante provisiones	2	4	0	0	0
Máquina de soldadura	1	4	0	0	0
Tomo y taladro	1	3	0	0	0
Compresor de aire de servicio	2	20	0	0	0
Grúa taller	1	15	0	0	0
Alumbrado y Electronica					
Equipos de radio	1	4	1	0,64	2,56
Equipos de navegación	1	4	1	0,69	2,76
Alumbrado	1	120	1	0,64	76,8
Luces de navegación	1	0,7	1	0,56	0,39
Automatización	1	3	1	0,64	1,92
Protección catódica	1	5	1	0,66	3,28
Mantenimiento del gas					
Bombas de carga	3	200	1	0,29	172,98
Bomba de carga de emergencia	3	150	0	0	0
Compresor de alta	3	250	1	0,27	202,5
Compresor de baja	3	150	1	0,26	116,16
Vaporizador	1	40	1	0,83	33,12
Calentador de gas	2	100	2	0,69	137,78
Bomba de aspiración de gas	2	60	0	0	0
Totales					6835,18

Esta es la situación de menor potencia requerida. Con los valores establecidos, el motor que funcione lo hará al 83% de su capacidad. Como anteriormente, se obtiene un valor satisfactorio con un pequeño margen.

5.6.-Navegación en lastre

En esta configuración se consideran las bombas de lastre en funcionamiento. Con como está proyectado el buque, esta situación nunca se podría dar, aunque es interesante realizar un balance eléctrico para saber los diferentes consumos en los que incurre en este tipo de navegación:

Lastre						
	Nº de unidades	Potencia activa	Unidades en servicio	Ku	KW	
Propulsión principal						
Motores propulsores principales	2	6019,6		2	0,9	10865,38
Propulsor de proa						
Motor eléctrico propulsor de proa	1	1500		0	0	0
				0	0	0
Auxiliares de propulsión				0	0	0
Bomba de refrigeración A.S.	2	25		2	0,84	42,04
Bomba de refrigeración A.D.	2	25		2	0,8	40,05
Bomba de refrigeración Aceite	2	20		2	0,89	35,42
Bomba inyectora	2	25		2	0,91	45,51
Compresor de aire	3	10		2	0,58	17,52
Servicios de combustible						
Bomba de suministro gas	2	5		2	0,91	9,1
Bomba de trasiego de diésel	2	3		0	0	0
Purificadoras diésel	2	4		0	0	0
Bomba de alimentación purificadoras	2	4,5		0	0	0
Bomba de lodos	3	5		2	0,47	7,06
Bomba de alimentación principal	2	10		2	0,77	15,31
Bomba de prelubricación	2	30		2	0,71	42,34
Bomba de lubircaación	2	45		2	0,68	61,26
Purificadoras de aceite	2	4		2	0,86	6,92
Calentador A.D.	1	28		1	0,77	21,44
Máquinas auxiliares						
Bomba de servicios generales	2	80		1	0,43	69,19
Bomba contraincendios general	2	150		0	0	0
Bomba contraincendios CM	2	70		0	0	0
Bomba lastre	2	100		1	0,44	88,36
Cubierta y servomotor						
Bombas servomotor	4	50		4	0,88	176,72
Chigres de amarres	8	23		0	0	0
Molinetes	4	100		0	0	0
Ventilación						
Aire acondicionado	1	40		1	0,71	28,22
Ventilacion CM	4	60		4	0,76	181,66
Ventilación local servomotor	2	14		2	0,69	19,29
Ventilación puente	3	14		2	0,43	17,92
Ventilación acomodación	6	1,4		4	0,43	3,58

Habilitación						
Compresor gambuza	1	10	1	0,69	6,89	
Cocina	1	10	1	0,66	6,56	
Plancha cocina	1	3	1	0,58	1,73	
Lavandería	1	7	1	0,64	4,48	
Bombas sanitarias	2	5	2	0,72	7,23	
Calentador	1	10	1	0,55	5,48	
Depuradora aguas grises y negras	2	6	2	0,74	8,88	
Televisión	6	0,2	4	0,45	0,54	
Refrigeración víveres	1	7	1	0,69	4,82	
Grúas y Mantenimiento						
Montacargas	2	4	1	0,41	3,24	
Pescante provisiones	2	4	1	0,37	2,96	
Máquina de soldadura	1	4	0	0	0	
Tomo y taladro	1	3	1	0,58	1,73	
Compresor de aire de servicio	2	20	1	0,34	13,78	
Grúa taller	1	15	1	0,64	9,6	
Alumbrado y Electronica						
Equipos de radio	1	4	1	0,64	2,56	
Equipos de navegación	1	4	1	0,69	2,76	
Alumbrado	1	120	1	0,64	76,8	
Luces de navegación	1	0,7	1	0,56	0,39	
Automatización	1	3	1	0,64	1,92	
Protección catódica	1	5	1	0,66	3,28	
Mantenimiento del gas						
Bombas de carga	3	200	0	0	0	
Bomba de carga de emergencia	3	150	0	0	0	
Compresor de alta	3	250	0	0	0	
Compresor de baja	3	150	0	0	0	
Vaporizador	1	40	1	0,83	33,12	
Calentador de gas	2	100	2	0,69	137,78	
Bomba de aspiración de gas	2	60	2	0,81	97,2	
Totales						12228,01

Los valores son muy parecidos a los de la navegación normal, ya que la gran mayoría de consumidores en las tres condiciones son similares.

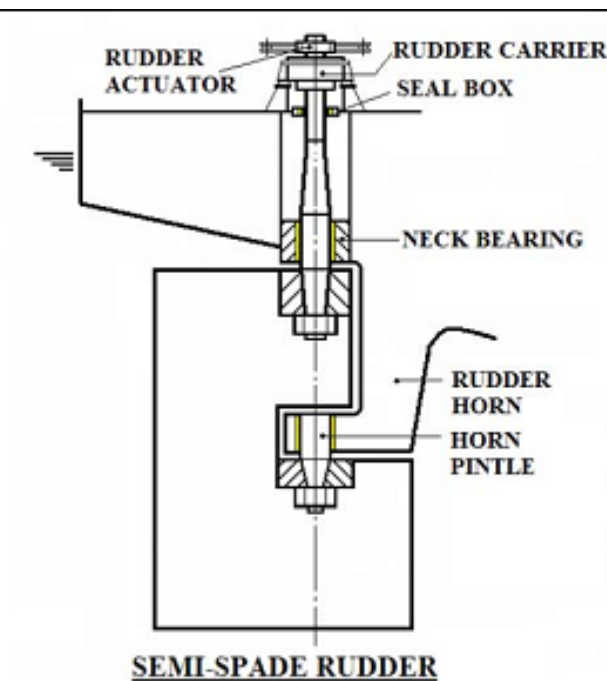
Los valores de porcentaje expresados en la situación de maniobra y trasvase de combustible son considerando los motores definidos en el cuaderno 1. Con este pequeño análisis, podemos determinar que los motores generadores definidos en el cuaderno 1 son los adecuados.

Los motores elegidos son los Wärtsilä 9L50DF.

6.-Cálculo del timón

Se calcularán las diferentes dimensiones de área y potencia del servomotor del timón escogido utilizando el reglamento de DNV. El timón a escoger será un timón semisuspendido con un perfil tipo NACA 00.

En la figura siguiente se puede ver un timón de este tipo, extraído del reglamento de la sociedad de clasificación DNV:



6.1.-Cálculo del área del timón

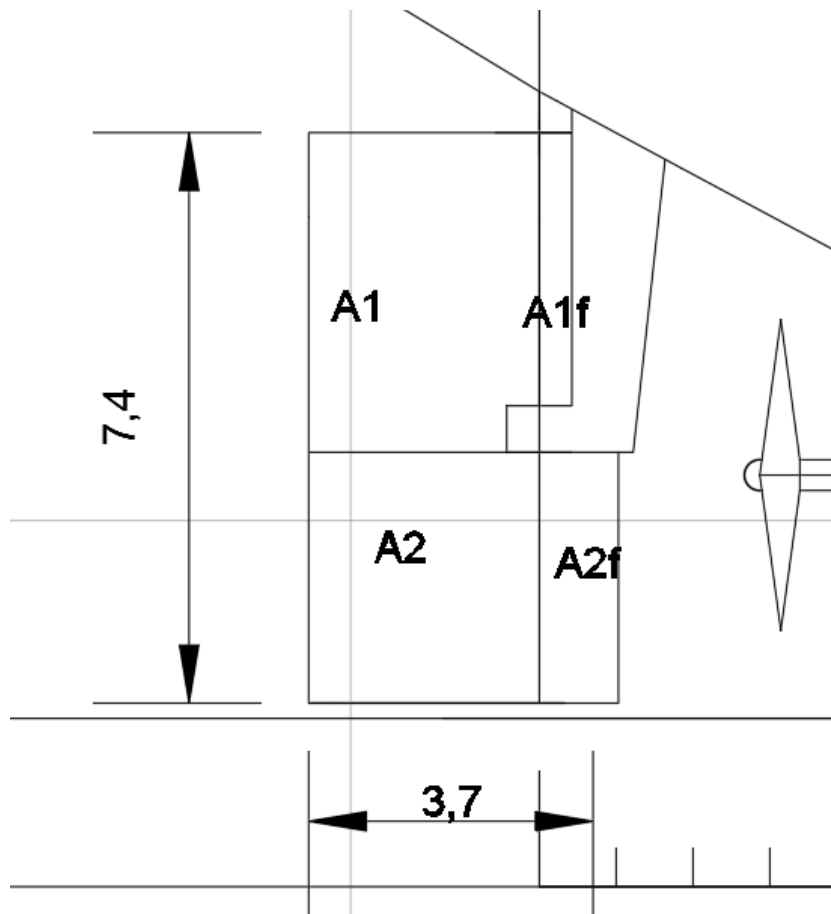
Como se dijo anteriormente, se utilizará el reglamento de la sociedad de clasificación DNV para el cálculo de los parámetros del timón. El reglamento recomienda la siguiente fórmula para el cálculo del área:

$$A = \frac{TL}{100} \cdot \left[1 + 50Cb^2 \cdot \left(\frac{B}{L} \right)^2 \right]$$

, donde T es el calado, L la eslora entre perpendiculares, Cb el coeficiente de bloque y B la manga. Se utilizará el calado de diseño. Con estos datos, para este buque, se obtiene:

$$A = \frac{8,8 \cdot 168,42}{100} \cdot \left[1 + 50 \cdot 0,68^2 \cdot \left(\frac{30,51}{168,42} \right)^2 \right] = 26,07 \text{ m}^2$$

A continuación se enseña un diseño del timón con las 4 partes diferenciadas que normalmente se habitúa a realizar. La suma de sus áreas se muestra posteriormente:



Concepto	Area (m ²)
A1	12,17
A1f	1,49
A2	9,75
A2f	3,35
TOTAL	26,75

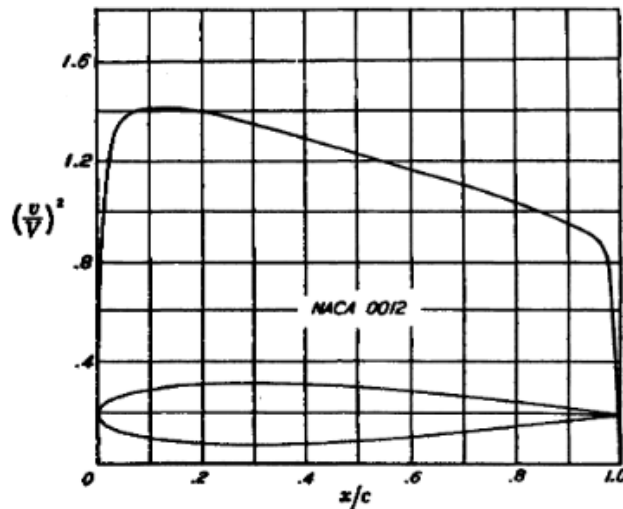
Tabla 4: Valores de áreas

Las dimensiones mostradas en el dibujo se han tomado en metros.

6.2.-Cálculo del área del timón

Como se dijo anteriormente, el perfil del timón es un perfil NACA 00. Los perfiles NACA responden a una relación similar a $x \cdot y = t/c$

Para la determinación de los diferentes parámetros, se ha utilizado el libro “Theory of wing sections”, de Ira H. Abbot. A continuación se ve el perfil utilizado con una tabla de parámetros:

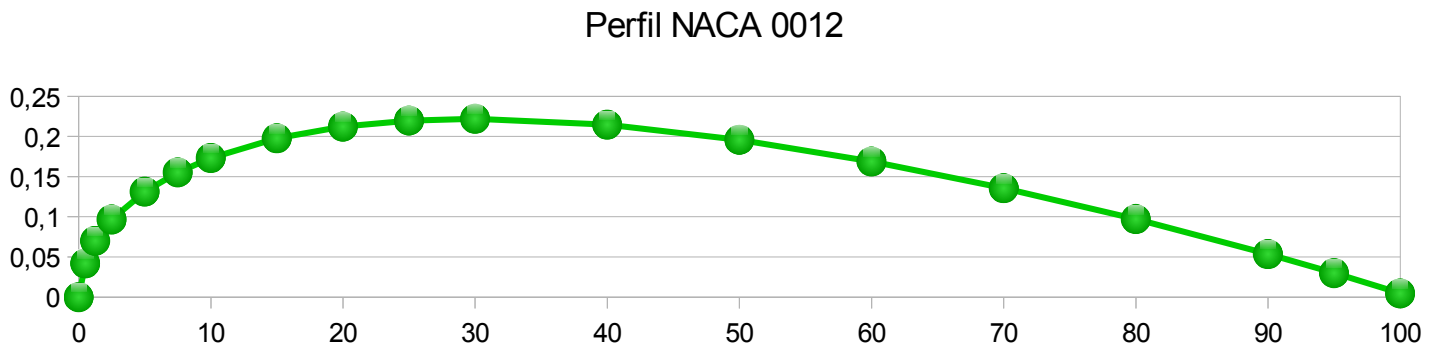


x (per cent c)	y (per cent c)	$(v/V)^2$	v/V	$\Delta\alpha_n/V$
0	0	0	0	1.988
0.5	0.640	0.800	1.475
1.25	1.894	1.010	1.005	1.199
2.5	2.615	1.241	1.114	0.934
5.0	3.555	1.378	1.174	0.685
7.5	4.200	1.402	1.184	0.558
10	4.683	1.411	1.188	0.479
15	5.345	1.411	1.188	0.381
20	5.737	1.399	1.183	0.319
25	5.941	1.378	1.174	0.273
30	6.002	1.350	1.162	0.239
40	5.803	1.288	1.135	0.187
50	5.294	1.228	1.108	0.149
60	4.563	1.166	1.080	0.118
70	3.664	1.109	1.053	0.092
80	2.623	1.044	1.022	0.068
90	1.448	0.956	0.978	0.044
95	0.807	0.906	0.952	0.029
100	0.126	0	0	0

L.E. radius: 1.58 per cent c

NACA 0012 Basic Thickness Form

De esta manera, sabiendo la cuerda de nuestro timón y los parámetros de y anteriormente enseñados, se puede calcular la posición de la curva en todo momento. A continuación se ve una gráfica con todos los parámetros introducidos:



6.3.-Cálculo de la fuerza y par del timón

En el reglamento de la sociedad de clasificación DNV adjuntada en el anexo se puede ver una formulación utilizada para conseguir el par y el momento que realiza el timón. La fuerza que ejerce el timón se expresa:

$$C_R = 132K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot A \cdot V^2$$

, siendo C_R la fuerza del timón, A el área del timón y V la velocidad máxima del buque. En cuanto a los coeficientes:

K_1 se trata de un factor dependiente de la relación de aspecto del timón λ , siendo la fórmula a utilizar $\frac{\lambda+2}{3}$ con λ no mayor que 2. Para calcular λ se utiliza la fórmula $\frac{b^2}{At}$

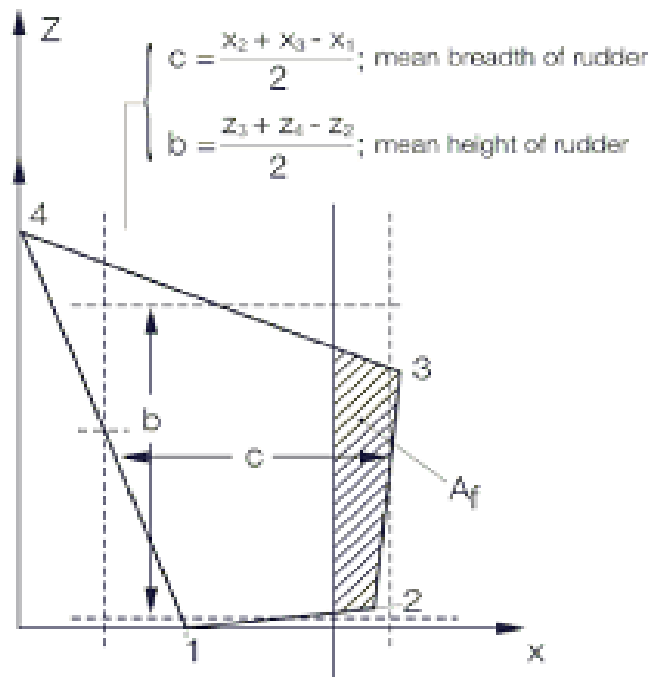
b se trata de una altura promedio entre las alturas de los extremos del timón, como se podrá ver a continuación en la figura.

A_t es el área del timón con la altura promedio b

K_2 es un coeficiente que depende del perfil del timón. Para un perfil NACA, se utiliza 1.1 para adelante y 0,8 para ciada. Se mostrará la tabla en los anexos.

K_3 es un coeficiente dependiente del propulsor que estemos utilizando. Para este caso, será 1,15

La figura anteriormente mencionada es la siguiente:



Debido a que nuestro timón es regular. La altura 3 y 4 será la misma, por lo que obtendremos la misma altura con la fórmula que midiéndola de forma real, siendo 7,4 metros.

Las operaciones a realizar son las siguientes:

$$\lambda = \frac{7,4^2}{26,75} = 2,04, \text{ por lo tanto se utilizará } 2$$

$$K1 = \frac{2+2}{3} = 1,33$$

Avante:

$$C_R = 132 \cdot 1,33 \cdot 1,1 \cdot 1,15 \cdot 26,75 \cdot 18^2 = 1924796,83 \text{ N}$$

Ciando:

$$C_R = 132 \cdot 1,33 \cdot 0,8 \cdot 1,15 \cdot 26,75 \cdot 18^2 = 1399852,24 \text{ N}$$

Para calcular el par del timón, se utiliza la siguiente formulación:

$$Q_R = C_R \cdot r$$

, siendo C_R la fuerza a realizar del timón. Para r , se calcula de la siguiente forma:

Avante:

$$r = \text{máximo}(c \cdot (a-k); 0,1 \cdot c)$$

Ciada:

$$r = c \cdot (a-k)$$

c es la cuerda promedio definida en la figura anterior.

a es 0,33 para avante y 0,66 para ciada

k es A_f / A , siendo A_f la suma de A_{f1} y A_{f2}

Las operaciones a realizar son las siguientes:

$$k = \frac{4,83}{15,25} = 0,31$$

$0,33 - 0,31 = 0,02$, menor que 0,1. Se utilizará 0,1 para avante

Como anteriormente, la cuerda es similar a la medida en el timón

Avante:

$$r = 3,7 \cdot 0,1 = 0,37 \text{ m}$$

$$Q_R = 1924796,83 \cdot 0,37 = 712174,83 \text{ N}\cdot\text{m}$$

Ciada:

$$r = 3,7 \cdot (0,66 - 0,31) = 1,3 \text{ m}$$

$$Q_R = 1399852,24 \cdot 1,3 = 1812808,65 \text{ N}\cdot\text{m}$$

ANEXOS

Anexo 1: DNV Part 3 Chapter 14

Nodular cast iron and cast steel parts for transmission of rudder torque by means of conical connections shall be stress relieved.

1.6.6 For rudder stocks, pintles, keys and bolts the minimum yield stress is not to be less than 200 N/mm². The requirements of this chapter are based on a material's yield stress of 235 N/mm². If material is used having a yield stress differing from 235 N/mm² the material factor k is to be determined as follows:

$$k = \left(\frac{235}{R_{eH}} \right)^e$$

where:

- e ■ 0.75 for $R_{eH} > 235$ N/mm²
- e ■ 1.00 for $R_{eH} \leq 235$ N/mm²
- R_{eH} ■ specified minimum yield stress, in N/mm², of material used, and is not to be taken greater than $0.7R_m$ or 450 N/mm², whichever is the smaller value
- R_m ■ specified minimum tensile strength, N/mm², of material used.

1.7 Equivalence

1.7.1 The Society may accept alternative calculation methods to those shown in this chapter provided it is demonstrated that the scantling and arrangements are of equivalent or better than those derived using the rule calculation methods.

1.7.2 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.

1.7.3 If deemed necessary by the Society, lab tests, or full scale tests may be requested to validate the alternative design approach.

2 Rudder force and rudder torque

2.1 Rudder blades without cut-outs

2.1.1 The rudder force C_R , in N, upon which the rudder scantlings are to be based, is to be determined from the following formula:

$$C_R = 132K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot A \cdot V^2$$

where:

- A ■ area of rudder blade, in m², including area of flap and rudder bulb, if any
- vertical projected area of nozzle rudder
- V ■ maximum service speed, in knots, as defined in [Ch.1 Sec.4 \[3.1.8\]](#). When the speed is less than 10 knots, V is to be replaced by the expression:

$$V_{min} = (V + 20) / 3$$

For the astern condition the maximum astern speed is to be used, however, in no case less than:

$$V_{astern} = 0.5 V$$

- K_1 ■ factor depending on the aspect ratio λ of the rudder area
- K_1 ■ $(\lambda + 2) / 3$, with λ not to be taken greater than 2
- λ ■ b^2 / A_r
- b ■ mean height of the rudder area in m. Mean breadth and mean height of rudder are calculated according to the coordinate system in [Figure 2](#)
- A_r ■ sum of rudder blade area A and area of rudder post or rudder horn, if any, within the height b in m²
- K_2 ■ coefficient depending on the type of the rudder and the rudder profile according to [Table 3](#)
- K_3 ■ 0.8 for rudders outside the propeller jet
- 1.15 for rudders behind a fixed propeller nozzle
- 1.0 otherwise.

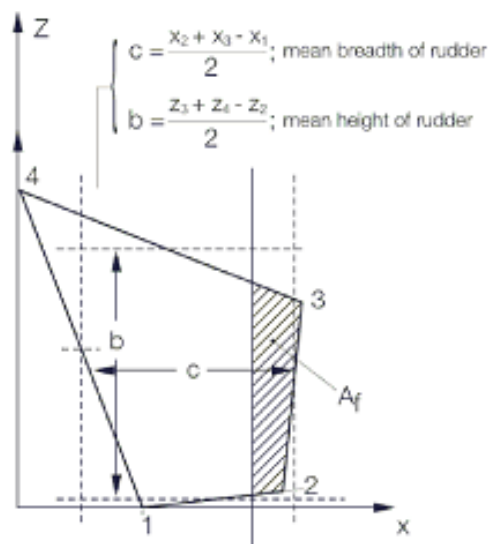





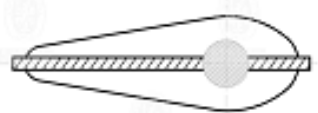


Figure 2 Rudder dimensions

Table 3 Rudder profile type - coefficient

Profile Type	K ₂	
	Ahead condition	Astern condition
NACA-00 series Göttingen 	1.10	0.80
Flat side 	1.10	0.90
Hollow 	1.35	0.90
High lift rudders 	1.70	to be specially considered; if not known: 1.30
Fish tail 	1.40	0.80
Single plate 	1.00	1.00
Nozzle rudder	1.90	1.50
Mixed profiles (e.g. HSVA)	1.21	0.90

2.1.2 The rudder torque Q_R , in Nm, is to be calculated for both the ahead and astern condition according to the formula:

$$Q_R = C_R \cdot r$$

where:

- r ■ $\max(c(\alpha - k); 0.1c)$, for ahead condition, in m
- r ■ $c(\alpha - k)$, for astern condition, in m
- c ■ mean breadth of rudder area, in m, see [Figure 2](#)
- α ■ 0.33 for ahead condition
- α ■ 0.66 for astern condition
- k ■ A_f / A
- A_f ■ portion of the rudder blade area, in m², situated ahead of the centre line of the rudder stock, see [Figure 3](#)

2.2 Rudder blades with cut-outs (semi-spade rudders)

2.2.1 The total rudder force C_R is to be calculated according to [\[2.1.1\]](#). The pressure distribution over the rudder area, upon which the determination of rudder torque and rudder blade strength is to be based, is to be derived as follows:

The rudder area may be divided into two rectangular or trapezoidal parts with areas A_1 and A_2 , so that $A = A_1 + A_2$ (see [Figure 3](#)).

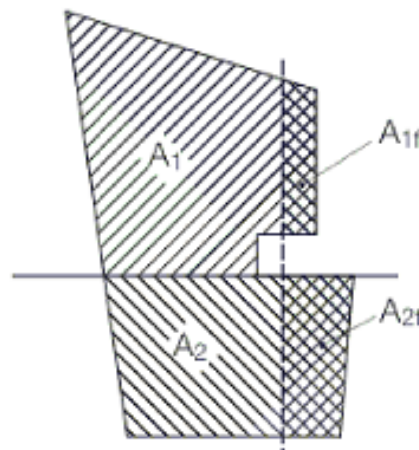
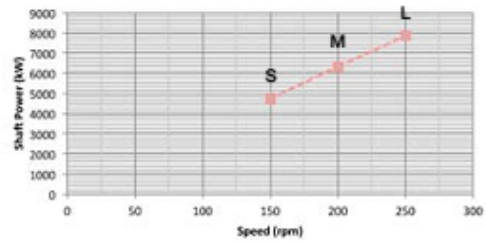


Figure 3 Rudder area distribution

The levers r_1 and r_2 , in m, are to be determined as follows:

Anexo 2.- Características del motor eléctrico seleccionado



Direct Drive 900 - Tandem Drive						
	Drive Step	S	M	L	X	Y
Drive Step	Propeller Speed (rpm)	≥150	≥200	≥250	-	-
	Maximum Power (kW)	4720	6300	7860	-	-
	Maximum Torque (kNm)	300,6	300,4	299,8	-	-
	Drive (kVA)	2 x 3330	2 x 4630	2 x 5300	-	-
	Transformer (kVA)	-	-	-	-	-
	Braking Capacity (MJ)	2 x 21,6	2 x 21,6	2 x 21,6	-	-
Drivetrain Efficiency (%)	Motor	94,1	95,4	95,9	-	-
	Frequency Converter	98	98	98	-	-
	Transformer	-	-	-	-	-
Main Connection	Total Electrical Efficiency	92,2	93,5	94,0	-	-
	Input Voltage (VAC)	690	690	690	-	-
	Frequency (Hz)	50/60	50/60	50/60	-	-
	Power factor	0,95	0,95	0,95	-	-
	Input power (kVA)	5388	7093	8803	-	-
Footprint (m ²)	Input Current (A)	2 x 2255	2 x 2968	2 x 3684	-	-
	Motor	2 x 14,2	2 x 14,2	2 x 14,2	-	-
	Frequency Converter	2 x 3,6	2 x 4,4	2 x 4,5	-	-
	Braking Resistor	2 x 1,2	2 x 1,2	2 x 1,2	-	-
	Transformer	-	-	-	-	-
	Excitation Transformer	-	-	-	-	-
	Harmonic Filter	2,6	2,6	2,6	-	-
Total	40,6	42,2	42,5	-	-	
Dimensions (L x W x H)	Motor	2 x (4330 x 3286 x 3700)	2 x (4330 x 3286 x 3700)	2 x (4330 x 3286 x 3700)	-	-
	Frequency Converter	2 x (5030 x 718 x 2068)	2 x (6130 x 718 x 2068)	2 x (6330 x 718 x 2068)	-	-
	Braking Resistor	2 x (1630 x 718 x 2068)	2 x (1630 x 718 x 2068)	2 x (1630 x 718 x 2068)	-	-
	Transformer	-	-	-	-	-
	Excitation Transformer	-	-	-	-	-
	Harmonic Filter	3440 x 760 x 2090	3440 x 760 x 2090	3440 x 760 x 2090	-	-
Weight (kg)	Motor	2 x 39500	2 x 39500	2 x 39500	-	-
	Frequency Converter	2 x 3390	2 x 4470	2 x 4920	-	-
	Braking Resistor	2 x 480	2 x 480	2 x 480	-	-
	Transformer	-	-	-	-	-
	Excitation Transformer	-	-	-	-	-
	Harmonic Filter	1700	1700	1700	-	-
Total	88440	90600	91500	-	-	
L _T -water flow (m ³ /h)	Motor	2 x 25	2 x 25	2 x 25	-	-
	Frequency Converter	2 x 6,18	2 x 8,88	2 x 9,66	-	-
	Braking Resistor	-	-	-	-	-
	Transformer	-	-	-	-	-
	Excitation Transformer	-	-	-	-	-
	Harmonic Filter	-	-	-	-	-
Losses to water (kW)	Motor	2 x 130	2 x 135	2 x 150	-	-
	Frequency Converter	2 x 55	2 x 76	2 x 87	-	-
	Braking Resistor	-	-	-	-	-
	Transformer	-	-	-	-	-
	Excitation Transformer	-	-	-	-	-
	Harmonic Filter	-	-	-	-	-
Total	370	422	474	-	-	
Losses to ambient (kW)	Motor	2 x 15	2 x 15	2 x 16	-	-
	Frequency Converter	2 x 4,7	2 x 6,3	2 x 7,8	-	-
	Braking Resistor	Intermittent	Intermittent	Intermittent	-	-
	Transformer	-	-	-	-	-
	Excitation Transformer	-	-	-	-	-
	Harmonic Filter	1,8	1,8	1,8	-	-
Total	41,2	44,4	49,5	-	-	