



13-P6

Trabajo Fin de Grado: Petrolero de Crudo 280.000TPM



Cuaderno N°6

Predicción de la Potencia Propulsora.
Diseño del Propulsor y del Timón

Mónica M^a Rodríguez Lapido

Grado en Propulsión y Servicios del Buque

25/09/2014



1. CONTENIDO DEL CUADERNO.	2
2. ESTIMACIÓN DE LA POTENCIA NECESARIA.	3
2.1. SHIPSHAPE	3
2.1.1. Sin Margen de Mar.	4
2.1.2. Con Margen de Mar.	6
2.2. NAVCAD	8
3. SELECCIÓN DEL MOTOR PROPULSOR.....	9
4. CÁLCULO Y DISEÑO DEL PROPULSOR.....	13
4.1. ACHA.....	13
4.2. NAVCAD.....	15
5. CÁLCULO Y DISEÑO DEL TIMÓN.....	16
5.1. GEOMETRÍA DEL TIMÓN.....	17
5.1.1. FUERZA EJERCIDA POR EL TIMÓN	18
5.1.2. PAR EJERCIDO SOBRE EL TIMÓN	18
5.2. SELECCIÓN DEL SERVOTIMÓN.....	20
6. PERFIL DEL CODASTE, TIMÓN Y PROPULSOR.....	20
ANEXO 1: Predicción de la Potencia y Cálculo del Propulsor con NavCAD	
ANEXO 2: Características de los Motores Estudiados	
ANEXO 3: Resultados del Programa ACHA	
ANEXO 4 – Características Técnicas Servomotor	

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA NAVAL Y OCEÁNICA

GRADO EN INGENIERÍA DE PROPULSIÓN Y SERVICIOS DEL BUQUE

CURSO 2.012-2013

PROYECTO NÚMERO 13-P6

TIPO DE BUQUE : BUQUE TANQUE DE CRUDOS

CLASIFICACIÓN , COTA Y REGLAMENTOS DE APLICACIÓN : DNV, SOLAS, MARPOL

CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA: Crudos de petróleo 280000 T.P.M.

VELOCIDAD Y AUTONOMÍA : 16,0 nudos en condiciones de servicio. 85 % MCR+ 15% de margen de mar. 18.000 millas a la velocidad de servicio.

SISTEMAS Y EQUIPOS DE CARGA / DESCARGA : Bombas de carga y descarga en cámara de bombas. Calefacción en tanques de carga.

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

TRIPULACIÓN Y PASAJE : 30 Personas en camarotes individuales. Cabina personal de Suez

Ferrol, Febrero de 2.013

ALUMNO : D^a. Mónica M^a Rodríguez Lapido.



1. CONTENIDO DEL CUADERNO.

En este cuaderno haremos una predicción de la potencia propulsora de nuestro buque. Calcularemos y diseñaremos el timón y el propulsor que será un motor diesel acoplado a una hélice de paso fijo sin reductora. Una vez que tengamos la potencia calculada seleccionaremos nuestro motor principal utilizando diversos catálogos comerciales de fabricantes. Los programas que usaremos para el cálculo de la potencia propulsora serán:

1. ShipShape.
2. NavCAD.

Nuestros datos de partida serán los siguientes:

Eslora entre Perpendiculares L_{pp}		316,49 m.
Eslora Total L_t		329,19 m.
Manga B		57,57 m.
Puntal D		29,70 m.
Calado Máximo T	Navegación Normal	21,07 m.
	Navegación Suez	17,50 m.
Francobordo FB de verano		6809
Peso Muerto de Diseño DW		280000 t
Peso Muerto de la Alternativa DW		290255 t
Capacidad de Tanques (incl. Slops) de Diseño		320000 m ³
Capacidad de Tanques (incl. Slops) Alternativ.		326000 m ³
Desplazamiento Δ		333149 t
Coeficiente de Bloque CB		0,89
Coeficiente de la Maestra CM		0,99
Coeficiente de la Flotación CF		0,96
Coeficiente Prismático CP		0,89
Potencia con 15% margen de mar		29492 kW



2. ESTIMACIÓN DE LA POTENCIA NECESARIA.

2.1. SHIPSHAPE

Utilizaremos dos métodos diferentes para llegar a un mismo resultado.

Calcularemos la potencia requerida sin considerar el margen de mar que luego añadiremos por formulación.

En algunos casos debemos aplicar la relación entre *BHP* y *SHP*: $SHP = 0,95 \cdot BHP$.

Con siguiente introducción de datos en el ShipShape,

SHIPSHAPE - VERSION 4.1 / 2000, DATE : 2014-09-23 PAGE

Id. text : PETROLERO 280000 TPM

=====

```
RESISTANCE and PROPULSION
```

=====

SEPARATE RUN (without hull from file).

Resistance method : Holtrop 1984
Propulsion method : Holtrop 1984
Propeller method : Wageningen B-screw series

GEOMETRY OF HULL

Length in waterline	Lwl :	321.237 (m)
Breadth in waterline	B :	57.570 (m)
Draught (at midship)	T :	21.073 (m)
Trim (+ = aft)	Trim :	0.000 (m)
Rake of keel (between perpend) ..	RKeel :	0.000 (m)
Displacement	Displ :	355568.000 (tonnes)
Water density	Salt :	1.025 (tonnes/m3)
Skin factor	Skin :	0.00 (%)
Midship coeffisient	Cm :	0.9950 (-)
Block coeff. related to Lwl	Cbwl :	0.8901 (-)
Prismatic coeff. related to Lwl ...	Cpwl :	0.8946 (-)
Lcb related to Lwl (- = aft)	Lcbwl :	1.58 (%)



Waterplane area coeff. rel. to Lwl Cwvl :	0.9600 (-)
Afterbody fillness factor Cstern :	0.0 (-)
Wetted surface of hull WSurf :	27888.643 (m2)
Section area of bulb Abt :	97.195 (m2)
Bulb area center above baseline ... vcBA :	8.610 (m)
Submerged part of transom stern At :	0.000 (m2)
Half angle of entrance HAFor :	53.7 (degr.)
Appendage allowance AppAll :	2.00 (%)

2.1.1. Sin Margen de Mar.

Obtenemos la siguiente predicción de potencia sin Margen de Mar:

SHIPSHAPE - VERSION 4.1 / 2000, DATE : 2014-09-23 PAGE

Id. text : PETROLERO 280000 TPM

=====
RESISTANCE and PROPULSION
=====

SEPARATE RUN (without hull from file).

Resistance method : Holtrop 1984
Propulsion method : Holtrop 1984
Propeller method : Wageningen B-screw series

CALCULATION FOR SERVICE SPEED

Service speed	V :	16.00 (knots)
Service allowance	SerAll :	0.00 (%)
Number of propellers	NProp :	1 (-)
Number of propeller blades	Z :	4 (-)
Thrust intensive propeller ?	CavSaf :	Yes
Vertical center propeller shaft ...	vcPS :	8.693 (m)
Max. propeller diameter	DPMax :	16.985 (m)



Towing resistance	R _{tot} :	2430.855 (kN)
Effective power	Pe :	20008.62 (kW)
	... PeH :	27204.14 (HP)
Wake fraction	w :	0.76382 (-)
Thrust deduction	TD :	0.21841 (-)
Hull efficiency	E _h :	(-)
Relative rotative efficiency	Er :	1.02156 (-)
Thrust power	P _t :	5918.58 (kW)
	... P _{tH} :	8047.02 (HP)
Propeller diameter	D _{Prop} :	10.475 (m)
Blade area ratio	BAR :	0.583 (-)
Pitch ratio	PR :	0.438 (-)
Revolutions per minute	RPM :	82 (-)
Propeller efficiency	E _p :	0.24341 (-)
Propulsive efficiency	E _d :	0.82289 (-)
Shaft power	Ps :	24315.05 (kW)
	... PsH :	33059.26 (HP)

La potencia necesaria en el eje la calculamos con la siguiente fórmula considerando el margen de mar, la potencia del generador de cola y el rendimiento de la línea de ejes. En el buque en proyecto no consideramos la instalación de PTO, luego esta entrada tomará el valor 0.

$$BkW = \frac{Ps \cdot M.M. + PTO}{\eta} = \frac{24315,05 \cdot 1,15 + 0}{0,97} = 28827 \text{ kW}$$

La cual expresamos como potencia al freno utilizando la expresión anteriormente indicada:

28827 kW (30344 BHP)



Propeller diameter	DProp :	10.475 (m)
Blade area ratio	BAR :	0.583 (-)
Pitch ratio	PR :	0.438 (-)
Revolutions per minute	RPM :	82 (-)
Propeller efficiency	Ep :	0.24341 (-)
Propulsive efficiency	Ed :	0.82289 (-)
Shaft power	Ps :	27962.31 (kW)
	... PsH :	38018.15 (HP)

La potencia necesaria en el eje la calculamos con la siguiente fórmula considerando el rendimiento de la línea de ejes. En el buque en proyecto no consideramos la instalación de PTO, luego esta entrada tomará el valor 0.

$$BkW = \frac{Ps \cdot +PTO}{\eta} = \frac{27962,31 + 0}{0,97} = 28827 \text{ kW}$$

La cual expresamos como potencia al freno utilizando la expresión anteriormente indicada:

28827 kW (30344 BHP)

Como se puede observar el resultado es el mismo que obtuvimos en el apartado anterior.



2.2. NAVCAD

La salida completa de NavCAD se incluye al final de este cuaderno, como **Anexo 1: Predicción de la Potencia y Cálculo del Propulsor con NavCAD**. A continuación presentamos un extracto de la misma.

EPS Ferrol 23 sep 2014 11:34 Page 1
Displacement/Resistance Project: Petrolero 280000TPM rev.1.nc4
Trabajo Fin Grado Petrolero 280000TPM

----- Results -----

Vel kts	Fn	Rtotal N	PEtotal kW	WakeFr	ThrDed	RelRot
1,00*	0,009	10729	6	0,3796	0,1978	1,0112
3,00*	0,027	83685	129	0,3687	0,1978	1,0112
5,00*	0,046	218523	562	0,3646	0,1978	1,0112
7,00	0,064	411958	1484	0,3622	0,1978	1,0112
9,00	0,082	662174	3066	0,3605	0,1978	1,0112
11,00	0,101	967972	5478	0,3592	0,1978	1,0112
13,00	0,119	1328628	8886	0,3582	0,1978	1,0112
15,00	0,137	1744245	13460	0,3574	0,1978	1,0112
16,00	0,147	1972476	16236	0,3570	0,1978	1,0112
17,00	0,156	2213917	19362	0,3567	0,1978	1,0112

Vel kts	Hulleff	PropEff	QPC	PropRPM RPM	Thrust N
1,00	1,2930	0,4520	0,5910	5,7	13370,3
3,00	1,2708	0,4831	0,6207	16,5	104297,
5,00	1,2626	0,4966	0,6340	27,0	272357,
7,00	1,2578	0,5051	0,6424	37,4	513457,
9,00	1,2545	0,5113	0,6486	47,7	825333,
11,00	1,2520	0,5162	0,6534	58,0	1206492
13,00	1,2500	0,5201	0,6574	68,2	1656031
15,00	1,2483	0,5234	0,6606	78,4	2174079
16,00	1,2476	0,5248	0,6621	83,5	2458559
17,00	1,2469	0,5261	0,6634	88,6	2759506

Vel kts	PD/prop kW	OPC	PS/prop kW	PStotal kW	PB/prop kW	PBtotal kW
1,00	9	0,5733	10	10	10	10
3,00	208	0,6021	214	214	214	214
5,00	886	0,6150	914	914	914	914
7,00	2309	0,6232	2380	2380	2380	2380
9,00	4726	0,6292	4872	4872	4872	4872
11,00	8382	0,6338	8641	8641	8641	8641
13,00	13515	0,6377	13933	13933	13933	13933
15,00	20372	0,6408	21002	21002	21002	21002
16,00	24520	0,6422	25278	25278	25278	25278
17,00	29182	0,6435	30084	30084	30084	30084

25278 BkW



3. SELECCIÓN DEL MOTOR PROPULSOR.

Como dato de partida usaremos la estimación de potencia al freno obtenida por los programas informáticos que hemos estado usando.

		ShipShape	NavCAD
POTENCIA	BkW	28827	25278
	BHP	39194	34369

Con la potencia obtenida seleccionaremos un motor propulsor, para ello hemos de basarnos en las siguientes características:

a. **POTENCIA MÁXIMA CONTINUA MCR.**

Debe ser superior a la obtenida en los programas de predicción de potencia, nunca ha de ser inferior a esta. Así garantizaremos que en situaciones imprevistas tengamos la velocidad requerida.

b. **CONSUMO ESPECÍFICO.**

Es el consumo de combustible en gramos por unidad de potencia (kW ó BHP) y hora de funcionamiento con el motor en condiciones normales de operación. Debe de ser el menor posible.

c. **DIMENSIONES.**

La longitud de la Cámara de Máquinas, tendremos que ver cuál es la longitud tanto de la Cámara de Máquinas como la del motor que tengamos preseleccionado para ver que se puede ubicar sin problemas de espacio.

d. **VELOCIDAD DEL MOTOR.**

Las revoluciones de los motores de los buques de referencia similares oscilarán entre 74 y 84rpm.

e. **PESO**

Hemos de buscar el menor peso específico (por unidad de potencia).

A continuación se muestra la tabla de decisión del motor propulsor.



Fabricante	MAN B&W	WÄRTSILA	MAN B&W	MAN B&W
Tipo	5S90ME-C10	7RTA-84D	7S80ME-C9	K80ME-C9
Nº Cilindros	5	7	7	7
BkW	30500	29400	31570	31710
BHP	40901	39973	42923	43114
g/kWh	167	173	168	172
g/BHP	123	127	123	126
Longitud (mm)	10715	12695	11434	11434
Manga máx. (mm)	6075	5000	5280	4480
RPM (100%, L1)	84	76	78	104
RPM (28827 kW)	83	76		
Peso (t)	925	990	910	790

Los criterios de selección considerados son:

- 1.- El motor seleccionado deberá contener en su paralelogramo de diseño el punto de trabajo definido por la potencia y las revoluciones.
- 2.- No se considerarán aquellos motores cuyo número de cilindros sea múltiplo del número de palas del propulsor, con el fin de evitar la elección de un motor principal que pueda ocasionar la aparición de vibraciones torsionales elevadas.
- 3.- El motor óptimo será aquel cuyo punto (L1) esté más próximo al punto de trabajo buscado.
- 4.- A menores revoluciones mayor eficiencia propulsiva y menor riesgo de cavitación a igualdad de diámetro.

El motor seleccionado será por tanto:

MAN B&W 5S90ME-C10 GI TII

Que además de verificar los requisitos de revoluciones y potencia, cumple con la norma de emisiones TIER-II. Sus características se incluyen como [Anexo 2: Características de los Motores Estudiados](#).

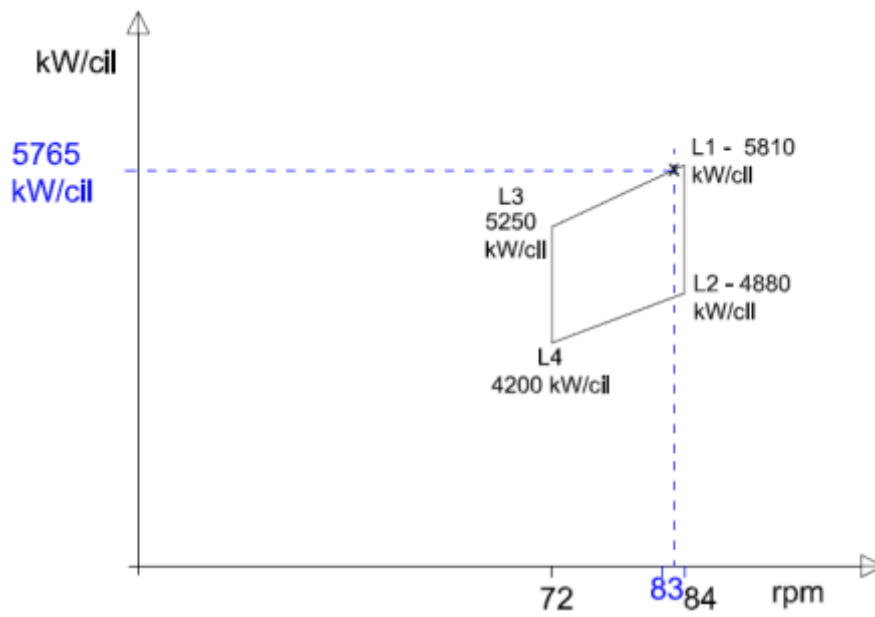


Figura 1. Diagrama de Diseño MAN B&W S90ME-C10 GI TII

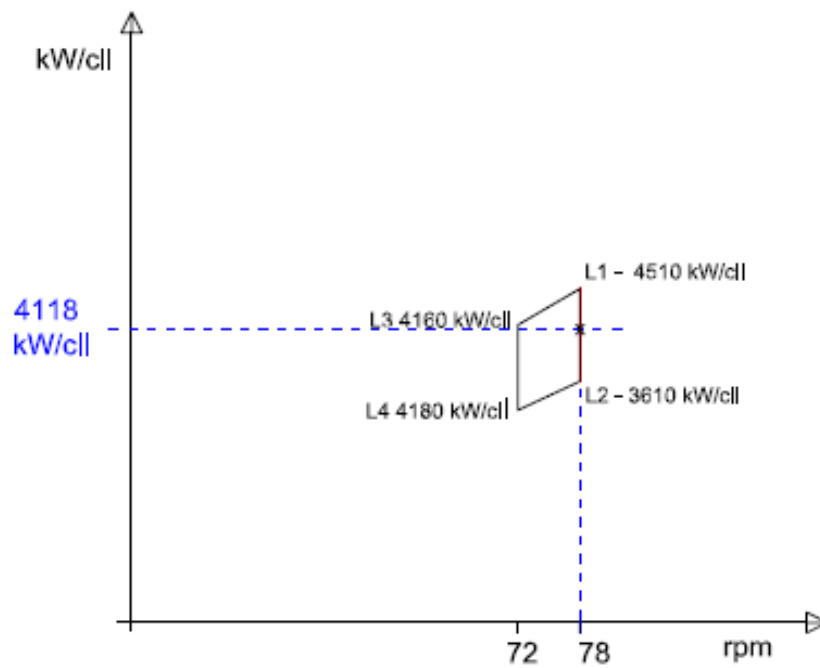


Figura 2. Diagrama de Diseño MAN B&W S80ME-C9 TII

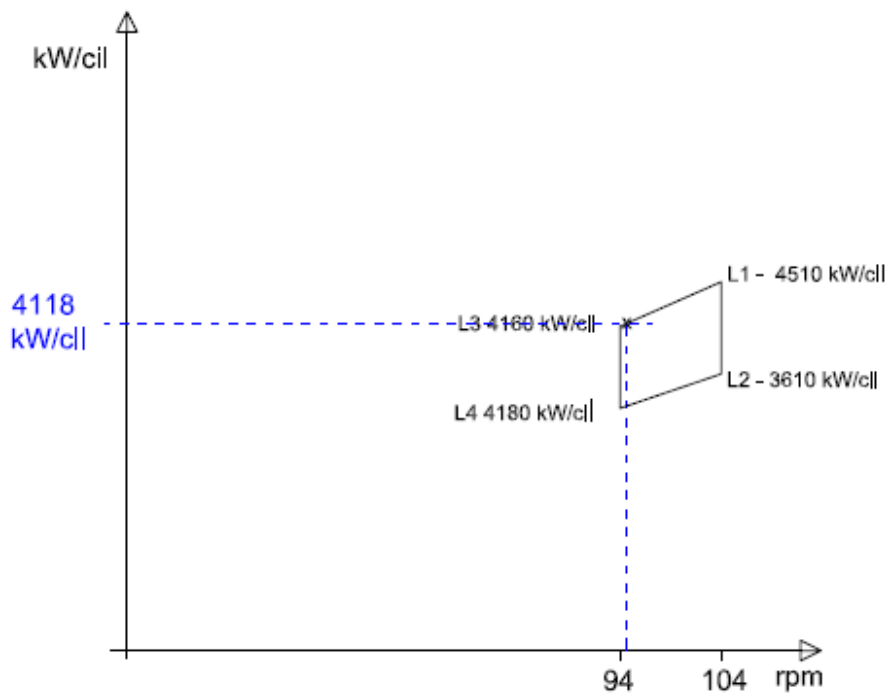


Figura 3.2. Diagrama de Diseño MAN B&W K80ME-C9 TII

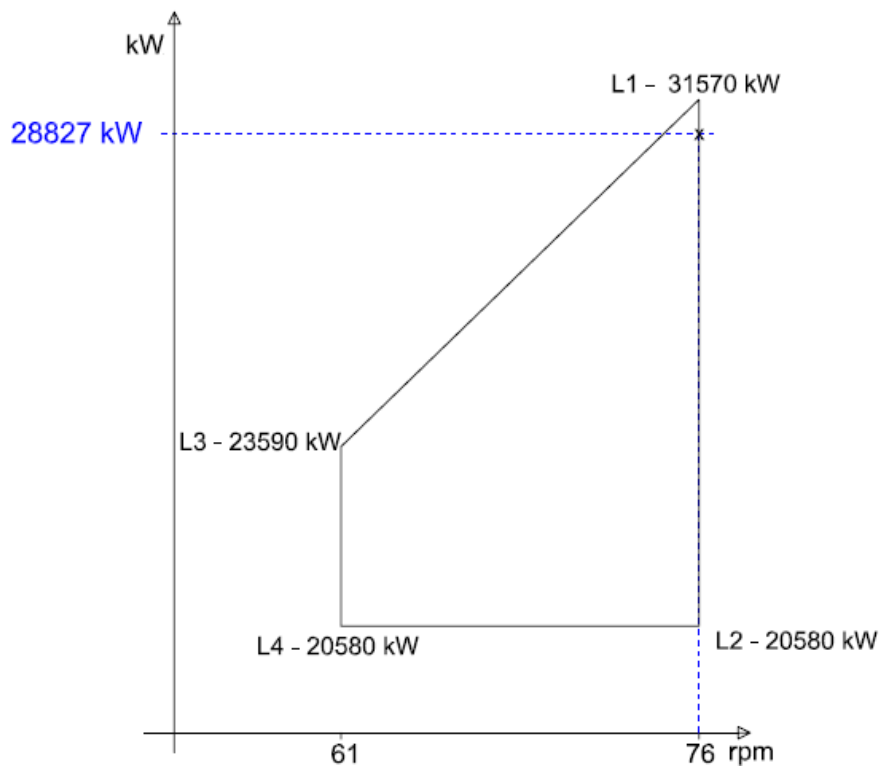


Figura 4. Figura 3.2. Diagrama de Diseño Wärtsilä RTA-84D



4. CÁLCULO Y DISEÑO DEL PROPULSOR.

El diseño del propulsor será una hélice de 4 palas de paso fijo. Pese a que una hélice de 5 palas disminuye las vibraciones y la cavitación se ha elegido una hélice de 4 por los siguientes motivos:

No tener un número de palas múltiplo del número de cilindros del motor principal y así evitar la aparición de vibraciones torsionales elevadas.

Aumento del rendimiento de la propulsión. El área efectiva es mayor.

El diámetro óptimo es menor

La demanda de potencia a cualquier velocidad es menor que la del propulsor de cuatro palas para esa velocidad. La economía de servicio es mayor.

Para el cálculo del propulsor utilizaremos el siguiente software:

- 1.- ACHA
- 2.- NavCAD

4.1. ACHA

Al programa ACHA le debemos proporcionar las características principales del buque y del motor así como algunos parámetros de cálculo que indicamos a continuación.

ENTRADA DEL PROGRAMA ACHA 2000			
Eslora Lpp (m)	316,49 m	Rel. de Reducción	1
Manga Trazado B (m)	57,57 m	Margen de Mar (%)	15%
Calado Medio T (m)	21,07	Ligereza (% R.P.M)	3%
Asiento t (m)	0	Vel. Proyecto (kn)	16
Desplazamiento (ton)	352568	Coef. Estela Efectiva	0,3570
Altura Eje bajo .L.A.	12	Nº de Palas	4
Nº Ejes	1	Diámetro Máx.	12,985
Potencia por Eje (HP)	39194	Ángulo Lanzamiento	8
R.P.M.	83	Material	Bronce-Mn

Donde la relación de reducción es 1 al ser directamente acoplado y el desplazamiento es el correspondiente a la condición de máxima carga y un calado de 21,07 m.

Los resultados obtenidos se adjuntan como [Anexo 3: Resultados del Programa ACHA](#)

No obstante a continuación se presentan algunos de los parámetros y dimensiones más relevantes.



CÁLCULO DE DIÁMETRO ÓPTIMO con ACHA	
Nº de palas	4
Diámetro (m)	9,077
R.P.M.	81
Paso / Diámetro (H/D)	0,899
Relación de Áreas (A_0/A_D)	0,502
Empuje (kgf)	193703
Rendimiento de la Hélice	0,658

A continuación presentamos el perfil del propulsor calculado (incluido en el Anexo 3 para mayor claridad).

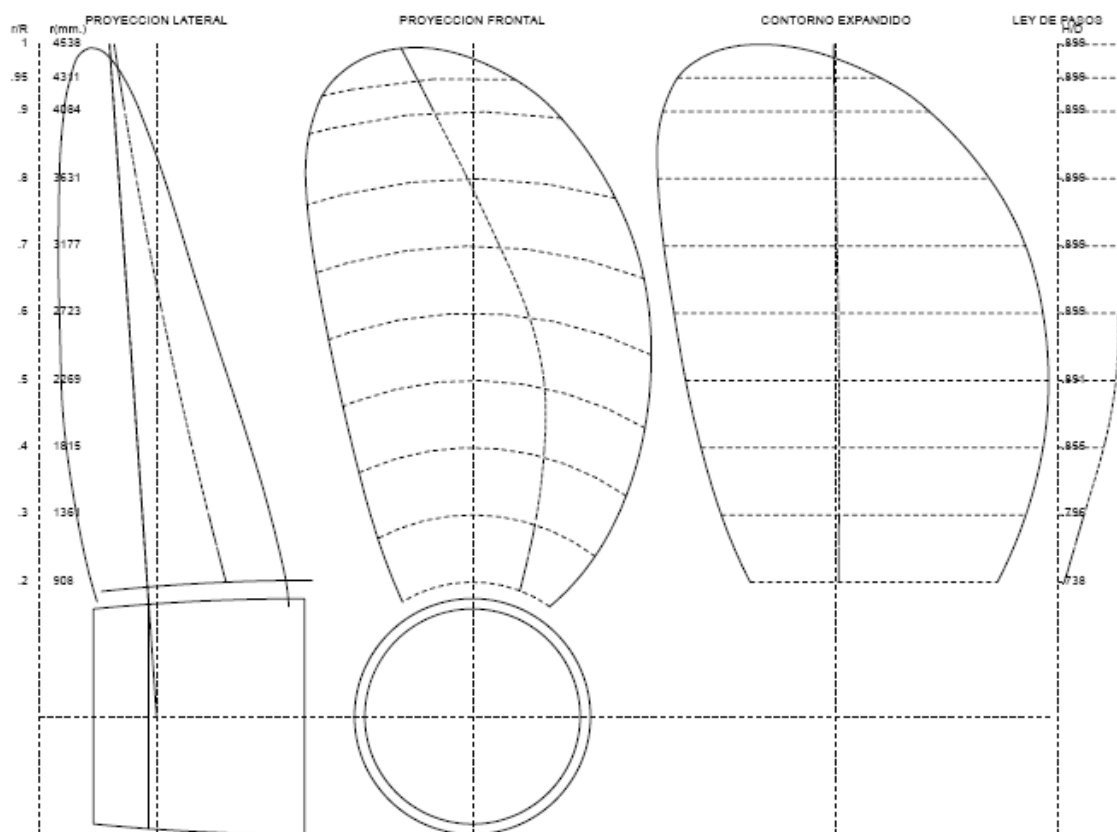


Figura 5. Perfil del Propulsor.



4.2. NAVCAD

El NavCAD realiza un estudio integrado del propulsor óptimo junto con la potencia propulsora. Para llegar al propulsor óptimo generamos dos sistemas en NavCAD formados por sendos propulsores de 4 palas. Con el primer sistema vamos a buscar el propulsor óptimo para esa potencia, dejando que el software calcule los coeficientes y dimensiones de la hélice "a diámetro óptimo". En el segundo sistema hemos introducido los coeficientes y características de la hélice obtenidas de ShipShape, para así poder compararlos.

Los resultados obtenidos se adjuntan como **Anexo 1: Predicción de la Potencia y Cálculo del Propulsor con NavCAD**. No obstante a continuación se presentan algunos de los parámetros y dimensiones más relevantes.

CÁLCULO DE DIÁMETRO ÓPTIMO con NavCAD	
Nº de palas	4
Diámetro (m)	9,781
R.P.M.	84
Paso / Diámetro (H/D)	0,549
Empuje (kgf)	250682
Rendimiento de la Hélice	0,5266

Como podemos observar, la hélice que mayor rendimiento proporciona es la calculada mediante ACHA y es la que tomaremos para propulsar nuestro buque.



5. CÁLCULO Y DISEÑO DEL TIMÓN.

En una primera aproximación el área de la pala varía entre el 1,5% y el 2,5% del producto $L_{pp} \cdot T$ siendo T el calado de máxima carga, 21,07 m. Por tanto si tomamos un valor medio de ese porcentaje

$$A = 0,018 \cdot L_{pp} \cdot T = 0,018 \cdot 316,49 \cdot 21,07 = 120,032 \text{ m}^2$$

Sin embargo debemos ceñirnos a las recomendaciones de la sociedad de clasificación, que es un RPA del proyecto. Emplearemos el reglamento DNV en su *Parte 3 Capítulo 3 Sección 2C 106* la cual nos indica que para timones que trabajen directamente tras una hélice deben tener preferiblemente un área no inferior a la obtenida mediante la siguiente expresión:

$$A = \frac{T \cdot L}{100} \left[1 + 50 \cdot CB^2 \cdot \left(\frac{B}{L} \right)^2 \right] \text{ m}^2$$

Los timones compensado y apoyados incluirán en esta área la correspondiente a la estructura soporte (*horn*).

Aplicando esta expresión para nuestro buque obtenemos el área mínima de pala.

$$A = 154,07 \text{ m}^2$$

Llegados a este punto del desarrollo del proyecto donde ya conocemos las características definitivas del propulsor podemos calcular las claras del codaste y el timón.

Sustituyendo el número de palas (z) por su valor definitivo en las siguientes expresiones obtenemos el valor de las claras.

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

$$a = 1,81 \text{ m}$$

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

$$b = 2,715 \text{ m}$$

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

$$c = 0,908 \text{ m}$$

$$e = 0,035 \cdot DP$$

$$e = 0,378 \text{ m}$$

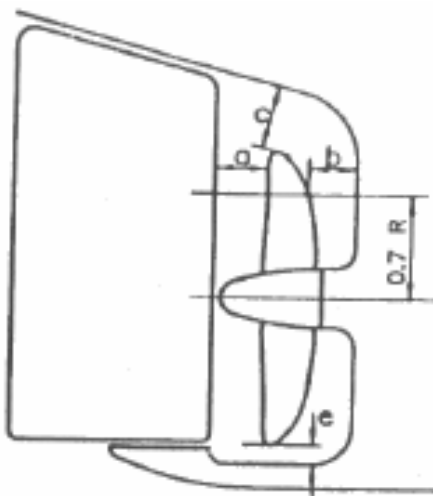


Figura 6. Claras del Codaste

Aunque en un codaste sin talón como es el del buque en proyecto la clara "e" no aplica, se ha calculado igualmente.



Para disponer del área necesaria y considerando especialmente la clara a, distancia desde el propulsor al timón, su sección longitudinal será rectangular.

5.1. GEOMETRÍA DEL TIMÓN

El timón será compensado y semiapoyado tipo MARINER. Su perfil será NACA y de forma rectangular para aprovechar lo máximo posible el espacio disponible en el codaste.

Por otra parte sabemos que la suma de las distintas áreas en las que dividiremos el timón debe ser igual o mayor al área total. Es decir,

$$A_T = A_1 + A_2 + A_3 \geq 154,07 \text{ m}^2$$

Teniendo en cuenta la forma del timón repartiremos el área de acuerdo con la aquella.

Para el cálculo de la fuerza ejercida sobre el timón y el par que será necesario aplicar, con el cual seleccionaremos el servomotor, utilizaremos la *Parte 3 Sección 2 D200 de DNV* para timones separables en suma de áreas.

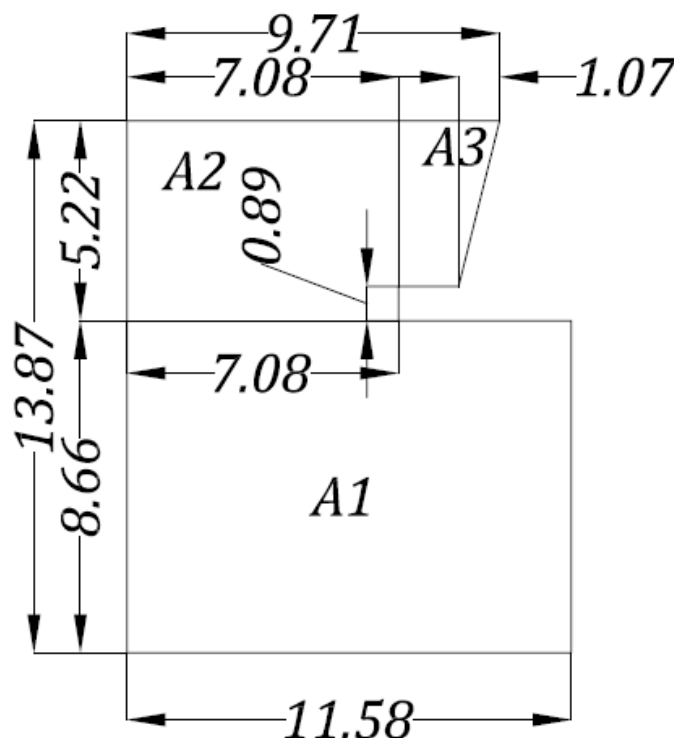


Figura 7. Dimensiones del Timón.

Primero aplicaremos la Parte 3 Capítulo 3 Sección 2 D100 para calcular la fuerza total sobre el timón que necesitaremos utilizar más adelante. Considera el timón como una única área.



5.1.1. FUERZA EJERCIDA POR EL TIMÓN

La fuerza ejercida sobre el timón se determina mediante la siguiente fórmula:

$$F_R = 0,044 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot AV^2 \text{ (kN)}$$

donde

k_1 es un coeficiente que toma el valor 1,1 para perfiles NACA.

k_2 toma el valor 1 en general.

$k_3 = (H^2/A_T)+2 \leq 4$ donde H es el puntal medio del timón y A_T el área total de la pala del timón. En este caso k_3 toma un valor de 3,204

A es el área total de la pala del timón en m^2 .

V es la velocidad de servicio en nudos. 16 nudos avante y la mitad; 8 nudos ciando.

La fuerza sobre el timón es por tanto,

$F_R^{AV} = 6342,11 \text{ kN}$	$F_R^{CIA} = 1585,53 \text{ N}$
---------------------------------	---------------------------------

5.1.2. PAR EJERCIDO SOBRE EL TIMÓN

El reglamento define el par como

$$M_{TR} = F_R \cdot x_e \text{ (kN} \cdot \text{m)}$$

donde

F_R es el valor calculado en el apartado anterior para las condiciones de avante y ciando.

$x_e = B \cdot (\alpha - k)$ donde a su vez B es la longitud media del área del timón (11,58 m) y α toma el valor 0,33 si la condición es avante y 0,66 si la condición es ciando.

$k = (A_F/A_T)$ donde A_F es el área a proa del eje de la mecha del timón (42,89 m²) y A_T es el área total. Luego $k = 0,268$.

Los momentos se muestran en la siguiente tabla, junto con la fuerza ejercida sobre el timón a modo de corolario.

AVANTE		CIANDO	
F_R	M_{TR}	F_R	M_{TR}
6342,11 kN	4553,38 kN·m	1585,53 kN	7197,29 kN·m

A continuación utilizaremos la Parte 3 Capítulo 3 Sección 2 D200 para timones divididos en áreas, tal y como hemos descompuesto el de nuestro buque. Para ello partimos de la fuerza F_R calculada antes y el par lo hallamos aplicando la siguiente fórmula que aparece en la sección de DNV mencionada.



$$M_{TR} = \sum_{i=1}^n (F_{Ri} \cdot x_{ei}) \text{ (kN} \cdot \text{m)}$$

donde

n es el número de áreas en las que se ha dividido el timón.

i es el número de área correspondiente.

$F_{Ri} = (A_i/A)F_R$ siendo A_i el área que corresponda y A el área total. F_R es la calculada para las condiciones, avante y ciando, respectivamente.

$x_{ei} = B \cdot (\alpha - k_i)$ donde α toma los valores indicados anteriormente excepto para las áreas A2 y A3 por encontrarse tras el soporte del timón. Los valores en estos casos serán: 0,25 avante y 0,55 ciando.

B_i es la longitud del área i .

$k = (A_{iF}/A_T)$ donde A_{iF} es el área a proa del eje de la mecha correspondiente al área i

En la siguiente tabla realizada en una hoja de cálculo mostramos los resultados intermedios

AREA	B (m)	H (m)	Area (m ²)	Dist Proa-eje (m)	A _F	A _{iF} /A _i	A _i /A _T
A1	11,58	8,66	100,22	3,66	27,73	0,27	0,62
A2	7,08	5,22	36,92	-1,9	0	0,00	0,23
A3	2,13	4,32	9,06	1,79	3,46	0,38	0,05

$F_{Ri} = \left(\frac{A_i}{A}\right) \cdot F_R$						
	F _{R1} (kN)	F _{R2} (kN)	F _{R3} (kN)	α_1	α_2	α_3
Avante	3970,16	1465,66	359,60	0,33	0,25	0,25
Ciando	992,54	366,42	89,90	0,66	0,55	0,55

	A1	A2	A3
ki=A _{iF} /A _T	0,277	0,00	0,382
x _{ei} avante	0,614	1,770	-0,281
x _{ei} ciando	4,435	3,894	0,592
F _{Ri} ·x _{ei} avante	2437,68	2594,22	-101,04
F _{Ri} ·x _{ei} ciando	4401,91	1426,83	53,22

Sustituyendo los valores calculados en la expresión del par MTR tenemos los siguientes valores.

	MTR (kN·m)
AVANTE	4930,86
CIANDO	5881,96



5.2. SELECCIÓN DEL SERVOTIMÓN

Tomando el valor máximo del par buscamos en los catálogos comerciales de los diferentes fabricantes un servo motor, con margen suficiente, y que produzca el menor empacho posible. Para tener este margen mayoramos el resultado multiplicando por 1,5.

Así el par que utilizaremos para seleccionar el servomotor es 8823 kN·m. (900 T·m) Finalmente elegiremos el siguiente servo. Ver [Anexo 4 – Características Técnicas Servomotor.](#)

HATLAPA Mod. 10000 (Par máximo 8893 kN·m)

6. PERFIL DEL CODASTE, TIMÓN Y PROPULSOR.

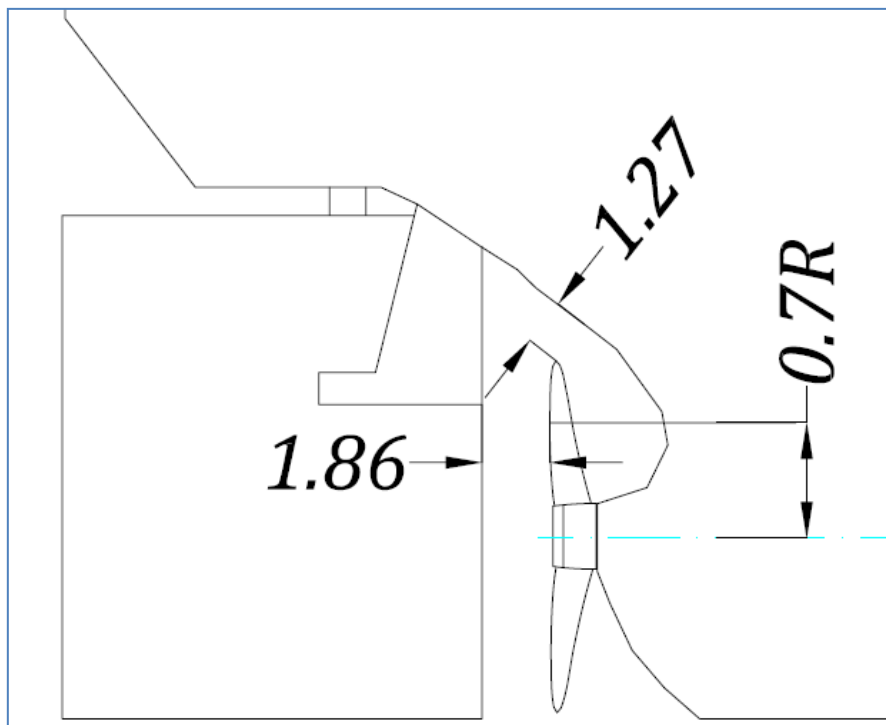


Figura 8. Codaste, Timón y Propulsor.



ANEXO 1: Predicción de la Potencia y Cálculo del Propulsor con NavCAD

----- System 1 -----

Description: Hélice Óptima
 Series: B-series
 Blades: 4
 Exp area ratio: [X]Opt 0,4480
 Diameter: [X]Opt 9,7808 m
 Pitch: [X]Opt 6,3518 m
 Scale corr: Equ profile
 Kt mult: []Std 0,970
 Kq mult: []Std 1,030
 Blade t/c: [X]Std 0,000
 Roughness: [X]Std 0,000 mm
 Cav breakdown: [X]Apply
 Propeller cup: 0,0 mm

Engine file: C:\Users\Mónica\Desktop\SULZER-RTA84T-D.eng
 Rated RPM/kW: 76,0 / 28700,0
 Gear ratio: 1,000
 Gear efficiency: 1,000

----- Selection parameters -----

Load identity: Shaft power
 Design speed: 16,00 kts
 Reference load: 24953,0 kW
 Reference RPM: 76,0
 Cav criteria: Keller eqn
 Load design point: 85,0 %
 RPM design point: 103,0 %

----- Analysis results -----

Sys	Vel kts	Rtotal N	WakeFr	ThrDed	RelRot	EngRPM RPM	PropRPM RPM
	1,00	10729	0,3796	0,1978	1,0112	5,7	5,7
1	16,00	1972476	0,3570	0,1978	1,0112	82,0	82,0
	17,00	2213917	0,3567	0,1978	1,0112	86,9	86,9

Sys	Vel kts	J	Kt	Kq	PropEff	HulleEff	QPC	OPC
	1,00	0,3439	0,1583	0,0190	0,4561	1,2930	0,5963	0,5784
1	16,00	0,3961	0,1403	0,0168	0,5266	1,2476	0,6644	0,6445
	17,00	0,3970	0,1400	0,0168	0,5278	1,2469	0,6655	0,6456

Sys	Vel kts	Thrust N	Delthr N	PD/prop kW	PS/prop kW	PB/prop kW
	1,00	13382	10735	9	10	10
1	16,00	2458353	1972095	24432	25188	25188
	17,00	2759276	2213496	29087	29986	29986

Sys	Vel kts	Fuel lph	MinP/D	TipSpd mps	%Cav	Press kPa	MinBAR
	1,00	***	0,533	2,9	2,3	0,4	0,2016
1	16,00	***	0,557	42,0	3,2	73,0*	0,4850*
	17,00	***	0,557	44,5	3,9	82,0*	0,5199*

----- System 2 -----

Description: Hélice ShipShape
 Series: B-series
 Blades: 4
 Exp area ratio: []Opt 0,5740
 Diameter: []Opt 10,5200 m
 Pitch: []Opt 5,6940 m
 Scale corr: Equ profile
 Kt mult: []Std 0,970
 Kq mult: []Std 1,030
 Blade t/c: [X]Std 0,000
 Roughness: [X]Std 0,000 mm
 Cav breakdown: [X]Apply
 Propeller cup: 0,0 mm

Engine file: C:\Users\Mónica\Desktop\SULZER-RTA84T-D.eng
 Rated RPM/kW: 76,0 / 28700,0
 Gear ratio: 1,000
 Gear efficiency: 1,000

----- Selection parameters -----

Load identity: Shaft power
 Design speed: 16,00 kts
 Reference load: 24953,0 kW
 Reference RPM: 76,0
 Cav criteria: Keller eqn
 Load design point: 85,0 %
 RPM design point: 103,0 %

----- Analysis results -----

Sys	Vel kts	Rtotal N	WakeFr	ThrDed	RelRot	EngRPM RPM	PropRPM RPM		
	1,00	10729	0,3796	0,1978	1,0112	5,7	5,7		
2	16,00	1972476	0,3570	0,1978	1,0112	83,5	83,5		
	17,00	2213917	0,3567	0,1978	1,0112	88,6	88,6		

Sys	Vel kts	J	Kt	Kq	PropEff	Hulleff	QPC	OPC
	1,00	0,3178	0,1168	0,0130	0,4532	1,2930	0,5925	0,5747
2	16,00	0,3616	0,1011	0,0110	0,5272	1,2476	0,6651	0,6451
	17,00	0,3624	0,1008	0,0110	0,5284	1,2469	0,6663	0,6463

Sys	Vel kts	Thrust N	Delthr N	PD/prop kW	PS/prop kW	PB/prop kW
	1,00	13370	10726	9	10	10
2	16,00	2458562	1972262	24410	25165	25165
	17,00	2759510	2213683	29056	29954	29954

Sys	Vel kts	Fuel lph	MinP/D	TipSpd mps	%Cav	Press kPa	MinBAR
	1,00	***	0,474	3,2	5,2*	0,3	0,2013
2	16,00	***	0,492	46,0	0,3	49,3*	0,4464
	17,00	***	0,493	48,8	0,3	55,3*	0,4766

----- Condition data -----

Water type: Standard Salt
Mass density: 1025,86 kg/m3
Kinematic visc: 1,1883e-06 m2/s

----- Analysis parameters -----

Pitch type: FPP
Number of props: 1
Shaft efficiency: 0,970
Prop immersion: 12,5000 m
Analysis type: Run
Low speed: 1,00 kts
High speed: 17,00 kts

----- Symbols and Values -----

Rtotal = Total vessel resistance
WakeFr = Taylor wake fraction coefficient
ThrDed = Thrust deduction coefficient
RelRot = Relative rotative efficiency
EngRPM = Engine RPM
PropRPM = Propeller RPM

J = Advance coefficient
Kt = Thrust coefficient
Kq = Torque coefficient
PropEff = Propeller open-water efficiency
HullEff = Hull efficiency = $(1 - \text{ThrDed}) / (1 - \text{WakeFr})$
QPC = Quasi-propulsive coefficient
OPC = Overall propulsive coefficient

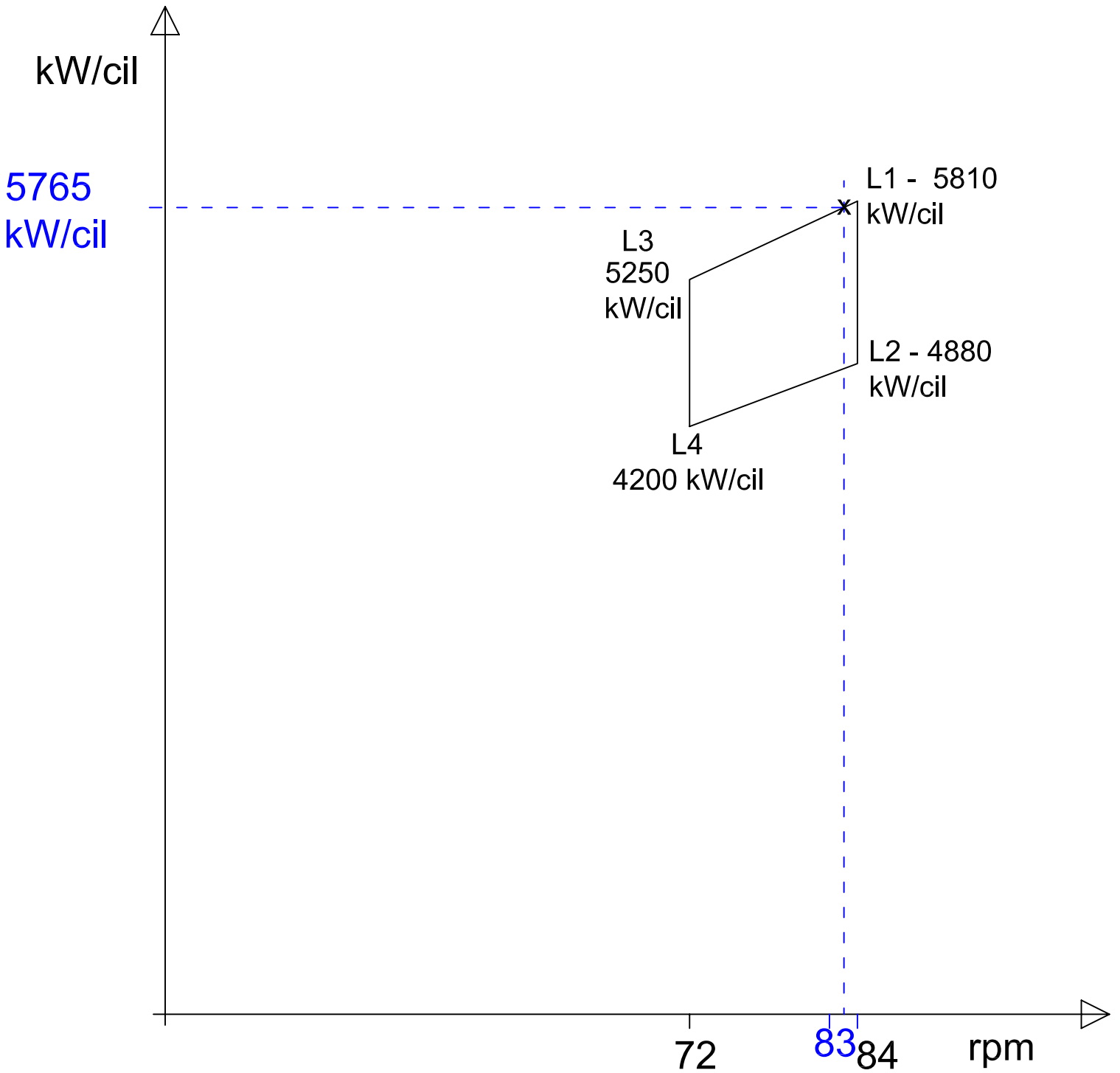
Thrust = Open water thrust per propeller
Delthr = Total delivered thrust
PD/prop = Delivered power per propeller
PS/prop = Shaft power per propeller
PB/prop = Brake power per propeller

Fuel = Fuel consumption per engine
MinP/D = Minimum P/D ratio to avoid face cavitation
TipSpd = Linear velocity of the propeller tips
%Cav = Percent back cavitation
Press = Propeller blade pressure
MinBAR = Minimum expanded area ratio

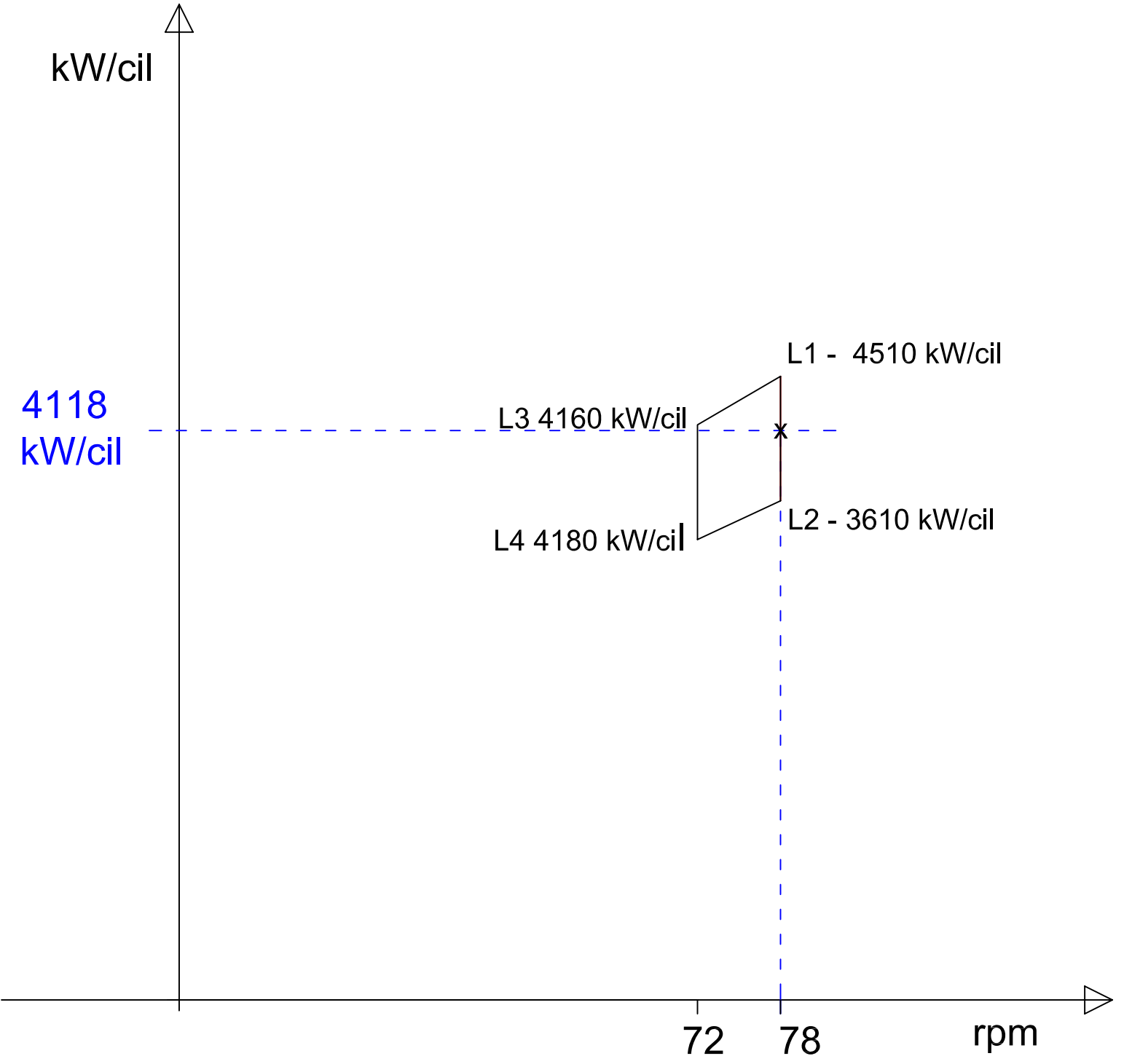
* = Exceeds Limits



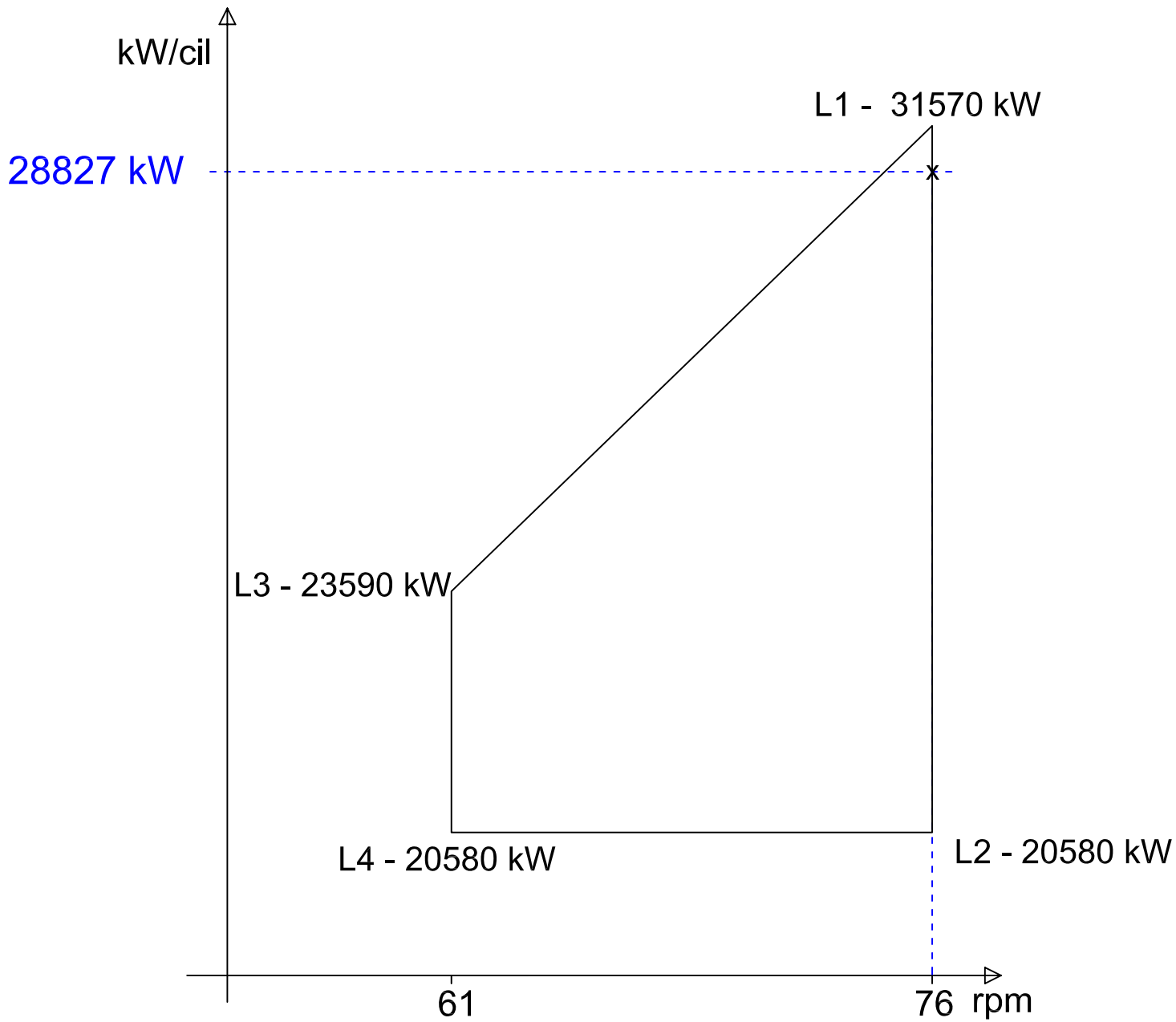
ANEXO 2: Características de los Motores Estudiados

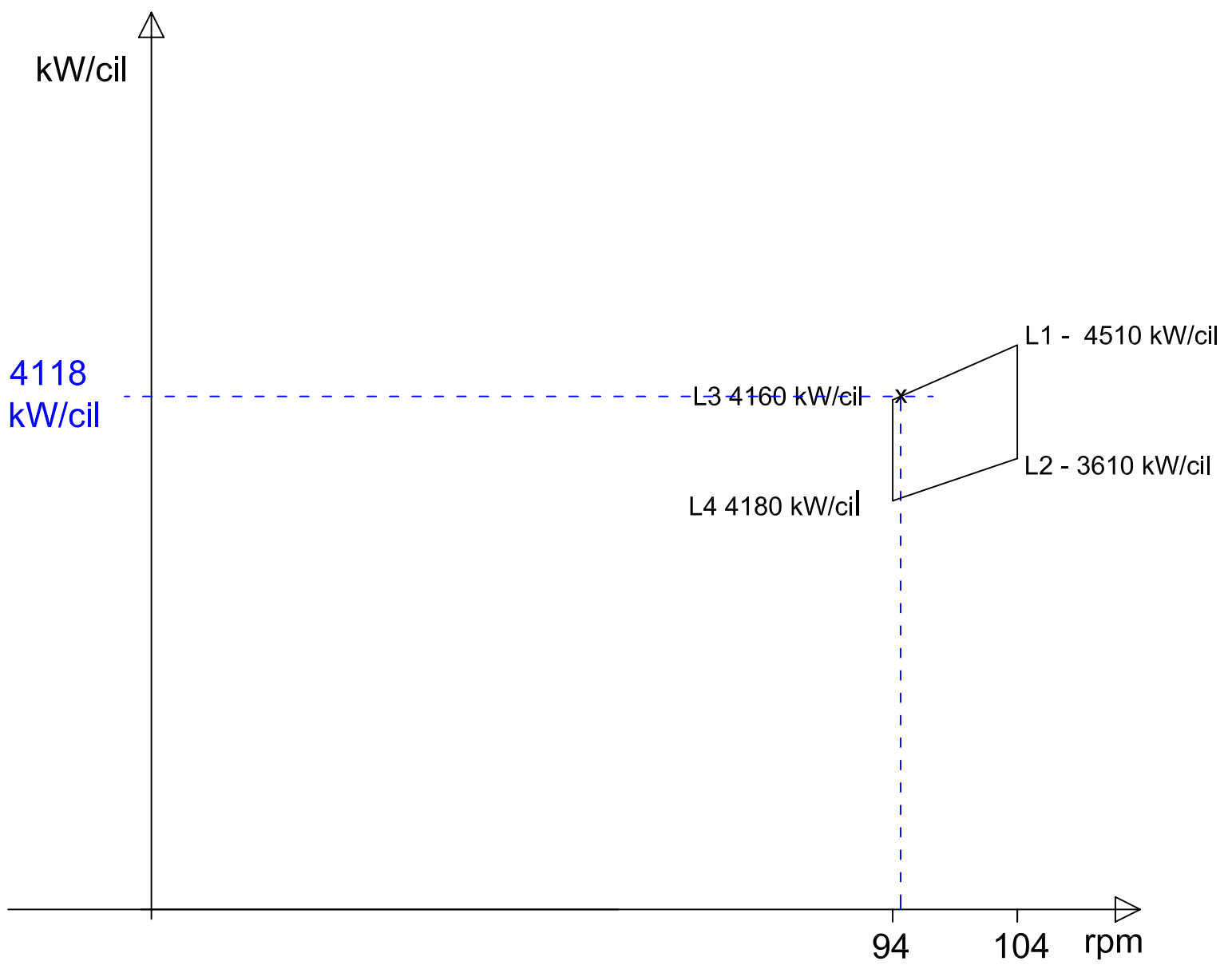


MAN S90ME-C10 GI TII



MAN S80ME-C9 GI TII

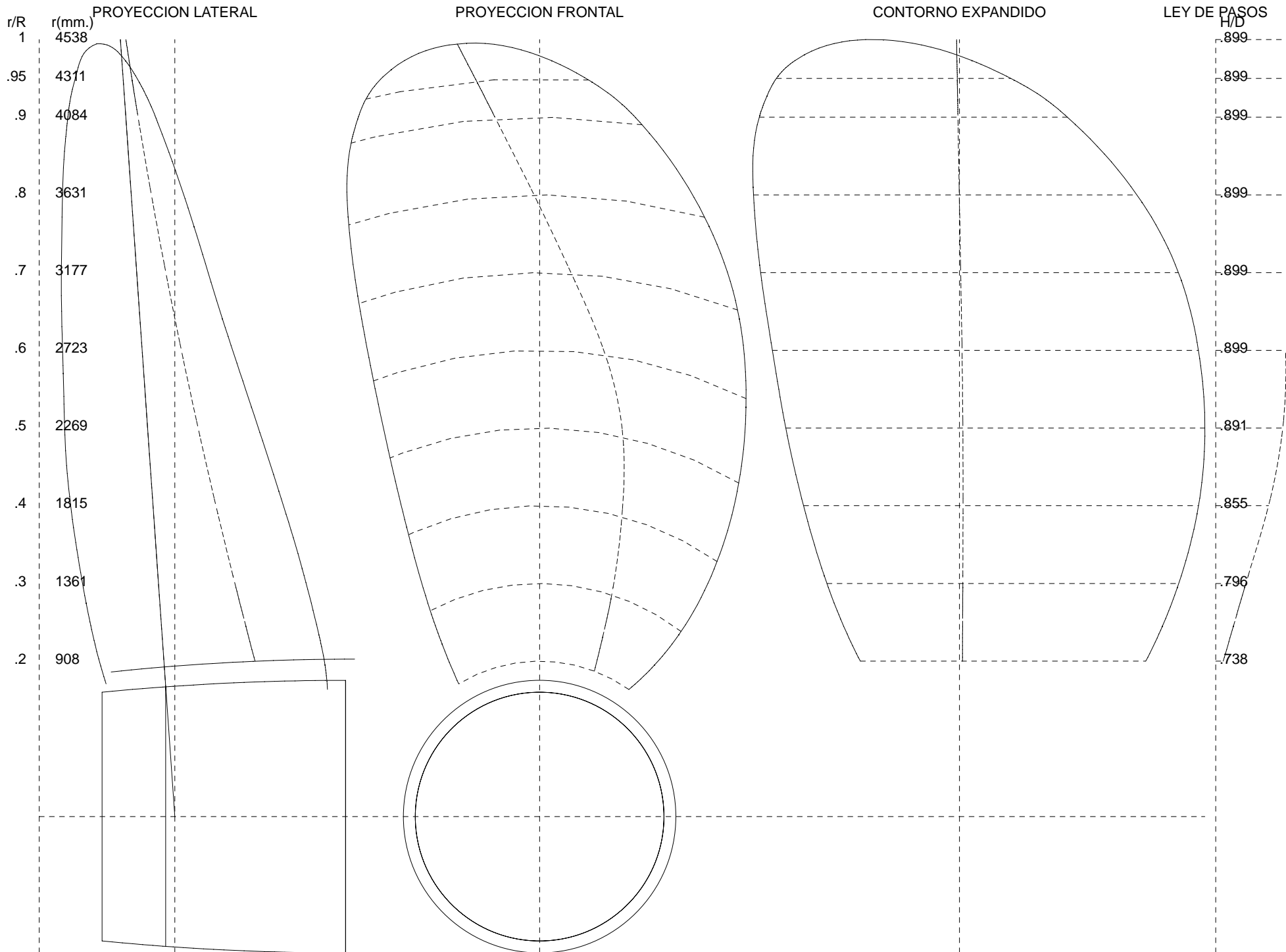




MAN K80ME-C9 TII



ANEXO 3: Resultados del Programa ACHA



PROYECTO DE HELICES POR SERIES SISTEMATICAS - Proyecto: VLCC 280000TPM
 =====

DATOS

Tipo de Buque : VLCC 280000TPM
 Eslora entre perpendiculares = 316 m.
 Manga de trazado = 57 m.
 Calado medio = 21 m.
 Asiento = 0 m.
 Desplazamiento = 352568 t.
 Altura eje de cola s/l;nea base = 12 m.
 Numero de ejes = 1
 Potencia por eje = 39194 CV.
 Revoluciones de giro = 84 rpm.
 Relaci3n de reducci3n = 1 :1 - Diametro 3ptimo
 Potencia de proyecto = 33314,9 CV.
 RPM de proyecto = 81,48 rpm
 Velocidad de proyecto = 16 nudos
 Coeficiente de estela efectiva = 0
 Numero de palas = 4
 Diametro m ximo = 12 m.
 Lanzamiento = 4,0 grados
 Material : Bronce-Mn

RESULTADOS

*** C lculo : DIAMETRO OPTIMO ***

Numero de palas = 4
 Diametro = 9,077 m.
 Revoluciones de giro = 81 rpm.
 Relaci3n Paso/Diametro H/D = 0,899
 Relaci3n de areas A0/D = 0,502
 Empuje = 193703 Kg.
 Rendimiento de la helice = 0,658

PROYECTO DE HELICES POR SERIES SISTEMATICAS - Proyecto: VLCC 280000TPM

TABLAS DE LAS SECCIONES CILINDRICAS DESARROLLADAS

C A R A D E S U C C I O N

		CUERPO DE SALIDA						ESP.
x/R	r		100	80	60	40	20	MAX.
0,200	907,7	Xc	1084,0	867,2	650,4	433,6	216,8	-
		Ys	159,7	284,0	386,7	462,5	513,4	532,3
0,250	1134,6	Xc	1219,6	975,7	731,8	487,9	243,9	-
		Ys	137,3	255,3	352,5	424,4	472,2	488,6
0,300	1361,5	Xc	1335,9	1068,7	801,5	534,4	267,2	-
		Ys	113,2	227,6	319,8	387,7	432,3	446,6
0,400	1815,3	Xc	1499,7	1199,7	899,8	599,9	299,9	-
		Ys	65,6	175,3	258,2	318,1	356,5	367,6
0,500	2269,2	Xc	1579,6	1263,7	947,7	631,8	315,9	-
		Ys	28,6	128,1	201,8	254,1	286,1	295,1
0,600	2723,0	Xc	1520,8	1216,7	912,5	608,3	304,2	-
		Ys	11,7	92,2	153,9	195,8	221,9	229,2
0,700	3176,8	Xc	1362,3	1089,8	817,4	544,9	272,5	-
		Ys	0,0	67,0	113,7	144,3	164,3	170,0
0,800	3630,7	Xc	1169,4	935,5	701,6	467,7	233,9	-
		Ys	0,0	48,0	79,5	100,1	113,4	117,3
0,900	4084,5	Xc	900,5	720,4	540,3	360,2	180,1	-
		Ys	0,0	32,2	49,9	62,0	69,1	71,2
0,925	4197,9	Xc	802,0	641,6	481,2	320,8	160,4	-
		Ys	0,0	27,4	43,4	53,3	59,0	60,8
0,950	4311,4	Xc	684,5	547,6	410,7	273,8	136,9	-
		Ys	0,0	22,7	36,5	45,0	49,3	50,7
0,975	4424,9	Xc	504,0	403,2	302,4	201,6	100,8	-
		Ys	0,0	18,1	29,9	37,0	39,9	41,0

C A R A D E S U C C I O N

		CUERPO DE ENTRADA							
x/R	r		20	40	60	80	90	95	100
0,200	907,7	Xc	116,7	233,5	350,2	467,0	525,3	554,5	583,7
		Ys	522,4	492,1	438,3	359,0	304,5	269,3	195,6
0,250	1134,6	Xc	132,4	264,8	397,3	529,7	595,9	629,0	662,1
		Ys	480,1	449,0	398,0	323,5	271,9	238,2	166,1
0,300	1361,5	Xc	143,9	287,8	431,8	575,7	647,6	683,6	719,6
		Ys	438,4	408,0	359,3	289,6	239,8	207,9	138,5
0,400	1815,3	Xc	161,5	323,1	484,6	646,2	726,9	767,3	807,7
		Ys	358,4	332,3	291,7	230,1	181,9	149,8	89,5
0,500	2269,2	Xc	173,8	347,7	521,5	695,3	782,3	825,7	869,2
		Ys	286,2	264,7	230,2	175,4	130,4	100,3	50,3
0,600	2723,0	Xc	193,7	387,3	581,0	774,6	871,4	919,8	968,3
		Ys	224,9	208,3	177,9	127,7	91,7	68,8	23,5

0,700	3176,8	Xc	215,8	431,6	647,4	863,2	971,1	1025,1	1079,0
		Ys	165,9	150,9	123,8	84,1	56,1	37,7	0,0
0,800	3630,7	Xc	214,2	428,3	642,5	856,6	963,7	1017,3	1070,8
		Ys	113,8	102,6	84,0	57,0	38,1	26,0	0,0
0,900	4084,5	Xc	180,1	360,1	540,2	720,2	810,3	855,3	900,3
		Ys	69,1	62,8	52,2	36,1	24,8	17,6	0,0
0,925	4197,9	Xc	163,7	327,4	491,0	654,7	736,6	777,5	818,4
		Ys	59,0	53,3	43,4	27,4	18,1	13,2	0,0
0,950	4311,4	Xc	136,9	273,8	410,7	547,6	616,0	650,3	684,5
		Ys	49,3	45,3	37,7	26,1	18,1	10,1	0,0
0,975	4424,9	Xc	98,3	196,6	295,0	393,3	442,4	467,0	491,6
		Ys	39,9	37,0	29,9	18,1	12,0	8,8	0,0

Xc - distancia en mm. desde el espesor máximo a la sección considerada hacia el borde de entrada/salida
Ys - ordenada en mm. de la cara de succión

C A R A D E P R E S I O N

		CUERPO DE SALIDA						ESP.
x/R	r		100	80	60	40	20	MAX.
0,200	907,7	Xc	1084,0	867,2	650,4	433,6	216,8	-
		Yp	159,7	96,9	52,7	23,7	2,9	0,0
0,250	1134,6	Xc	1219,6	975,7	731,8	487,9	243,9	-
		Yp	137,3	74,8	40,1	16,4	3,7	0,0
0,300	1361,5	Xc	1335,9	1068,7	801,5	534,4	267,2	-
		Yp	113,2	54,5	21,4	3,1	0,0	0,0
0,400	1815,3	Xc	1499,7	1199,7	899,8	599,9	299,9	-
		Yp	65,6	22,8	5,5	0,0	0,0	0,0
0,500	2269,2	Xc	1579,6	1263,7	947,7	631,8	315,9	-
		Yp	28,6	5,2	0,0	0,0	0,0	0,0
0,600	2723,0	Xc	1520,8	1216,7	912,5	608,3	304,2	-
		Yp	11,7	1,1	0,0	0,0	0,0	0,0

C A R A D E P R E S I O N

		CUERPO DE ENTRADA							
x/R	r		20	40	60	80	90	95	100
0,200	907,7	Xc	116,7	233,5	350,2	467,0	525,3	554,5	583,7
		Yp	2,4	14,9	36,7	77,2	111,8	138,1	195,6
0,250	1134,6	Xc	132,4	264,8	397,3	529,7	595,9	629,0	662,1
		Yp	2,2	9,8	25,7	63,5	93,6	111,9	166,1
0,300	1361,5	Xc	143,9	287,8	431,8	575,7	647,6	683,6	719,6
		Yp	2,0	5,8	18,5	45,1	68,8	86,2	138,5
0,400	1815,3	Xc	161,5	323,1	484,6	646,2	726,9	767,3	807,7
		Yp	0,0	1,1	6,4	21,7	39,7	53,8	89,5
0,500	2269,2	Xc	173,8	347,7	521,5	695,3	782,3	825,7	869,2
		Yp	0,0	0,0	1,0	8,0	18,6	27,3	50,3
0,600	2723,0	Xc	193,7	387,3	581,0	774,6	871,4	919,8	968,3
		Yp	0,0	0,0	0,0	0,0	2,5	8,1	22,9

Xc - distancia en mm. desde el espesor máximo a la sección considerada hacia el borde de entrada/salida
Yp - ordenada en mm. de la cara de presión

PROYECTO DE HELICES POR SERIES SISTEMATICAS - Proyecto: VLCC 280000TPM
 =====

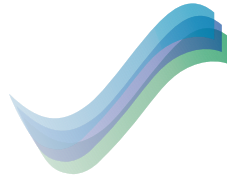
RESULTADOS DEL CALCULO DE ESPESORES
 =====

r/R	r (mm.)	long (mm.)	esp (mm.)	H/D
-----	-----	-----	-----	-----
0,200	907	1667	532	0,739
0,250	1134	1881	488	0,768
0,300	1361	2055	446	0,797
0,400	1815	2307	367	0,855
0,500	2269	2448	295	0,892
0,600	2722	2489	229	0,899
0,700	3176	2441	169	0,899
0,800	3630	2240	117	0,899
0,900	4084	1800	71	0,899
0,925	4197	1620	60	0,899
0,950	4311	1368	50	0,899
0,975	4424	995	41	0,899
1,000	4538	0	31	0,899

Peso de las 4 palas = 45686,4 Kg.
 GD2 de las 4 palas = 969123,8 Kg.m2



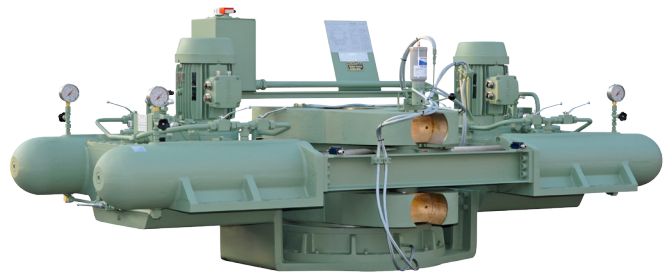
ANEXO 4 - Características Técnicas Servomotor



HATLAPA
MARINE EQUIPMENT

A MacGregor company

Ram type POSEIDON ST

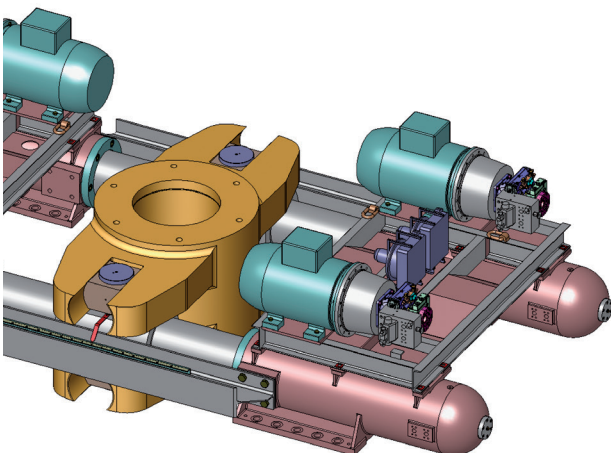


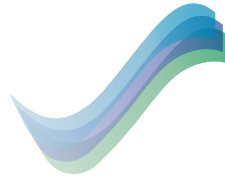
STRUCTURAL FEATURES:

- Electro-hydraulic, 4-cylinder, 2-ram type
- Compact design, pump units mounted on and completely piped with the cylinders
- Pumps with variable displacement
- Electronic synchronising for twin-rudder installation
- One-piece tiller for cone or key-cone connection
- Interconnection of the two actuators for normal operation
- In an emergency, each actuator can maintain the manoeuvrability of the ship
- Compatible with all major brands of autopilot and rudder control systems
- Available with Hatlapa rudder control and steering gear alert systems, offering simplified bridge interfaces

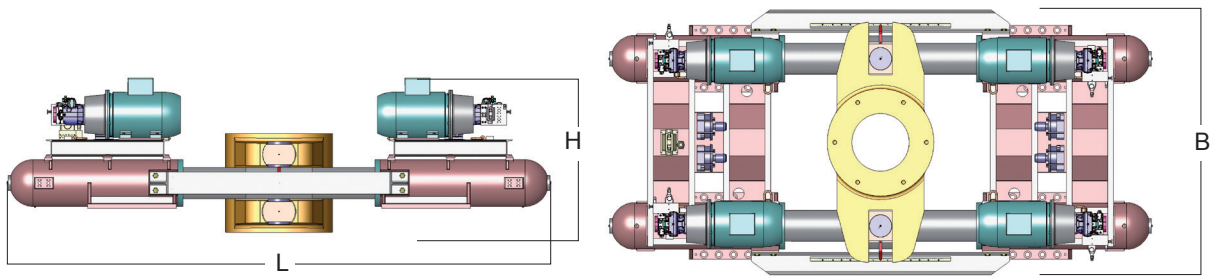
On request Hatlapa can deliver

- Rudder carrier, motor starters, alarm, automatic isolation, rudder control, rudder angle indicator systems, etc.
- Special designs are available on request





Ram type POSEIDON ST



Type		2000	2500	3000	3500	4000	6000	7000	10000	12000
Working torque* at 35°	[kNm]	2130	2558	3111	3548	4304	6010	6988	8893	12012
Max rudder stock diameter	[mm]	550	600	650	700	750	850	900	1000	1100
Length	L [mm]	4700	5100	5320	5430	6060	6550	6950	7330	9456
Width	B [mm]	2750	2800	2915	3355	3090	3500	3600	3600	3760
Height	H [mm]	1730	1750	2100	2100	2100	2250	2000	1800	1854
El. Motor output **	[kW]	2x96	2x117	2x145	2x160	2x190	2x265	4x155	4x196	4x270
Oil charge (approx.)	liter [l]	400	480	500	650	700	1000	1100	1250	1600
Weight (approx.)	[kg]	17000	19000	22000	30000	30500	41000	45000	50000	75000

* at working pressure

** acc. to IEC 92-204: duty S 6-25%