

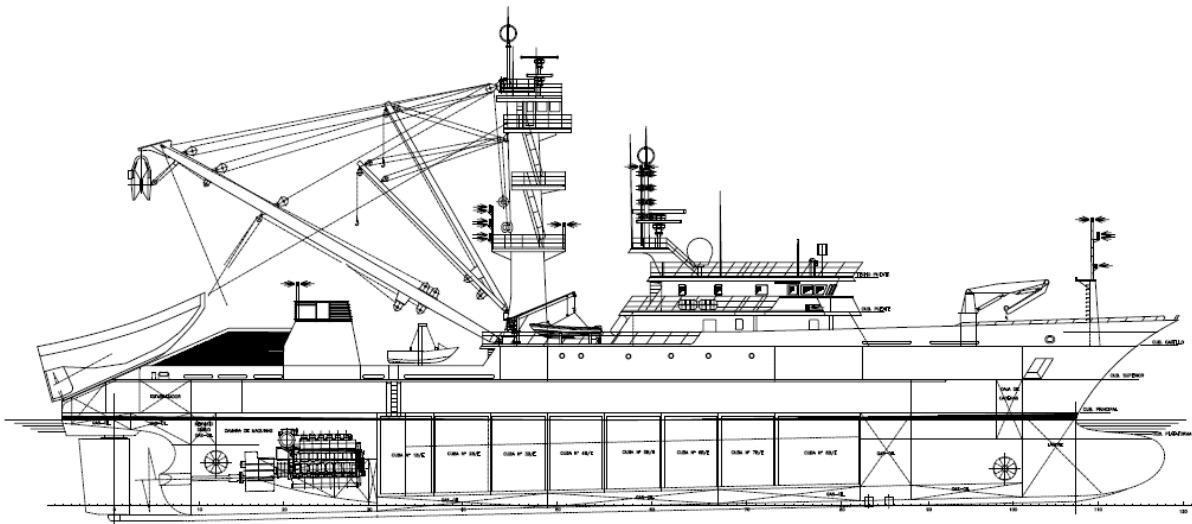
PROYECTO NÚMERO: 13-P8

BUQUE: ATUNERO CERQUERO DE 1200 TN

ALUMNO: AITOR RAMIL VIZOSO

TUTOR: MARCOS MÍGUEZ GONZÁLEZ

CUADERNO 6



RPA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA NAVAL Y OCEÁNICA

GRADO EN INGENIERÍA DE PROPULSIÓN Y SERVICIOS DEL BUQUE

CURSO 2.014-2015

PROYECTO NÚMERO: 13-P8

TIPO DE BUQUE: ATUNERO

CLASIFICACIÓN, COTA Y REGLAMENTOS DE APLICACIÓN: Bureau Veritas, SOLAS, MARPOL.

CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA: 1200 Tn

VELOCIDAD Y AUTONOMÍA: 16,5 nudos al 85% MCR y 15% de Margen de Mar. Autonomía de 8500 millas.

SISTEMAS Y EQUIPOS DE CARGA / DESCARGA: Escotilla en cubierta.

PROPULSIÓN: Una línea de ejes accionada por motor diésel.

TRIPULACIÓN Y PASAJE: 26 tripulantes.

OTROS EQUIPOS E INSTALACIONES: Hélice transversal en proa.

Ferrol, Enero de 2.015

ALUMNO: Aitor Ramil Vizoso.

ÍNDICE

- Introducción
- Resistencia al avance del buque
 - Justificación de los datos de entrada
 - Resultados
- Cálculo del propulsor y potencia necesaria
- Claras entre el propulsor y el codaste
- Cálculo del timón
 - Geometría
 - Par torsor y fuerza sobre la pala del timón

INTRODUCCIÓN

El objetivo de este cuaderno es estimar la potencia propulsora del buque. Se procederá a estimar la potencia propulsora que necesitará el buque para cumplir con las especificaciones del proyecto. Así el buque deberá ser capaz de navegar a 16,5 nudos desarrollando el motor el 85% de su máxima potencia continua (MCR).

Se justificará el diseño del propulsor capaz de desarrollar dicha potencia propulsora.

También se estudia en este cuaderno las dimensiones y características del timón.

Los datos de partida para la realización del cuaderno son los siguientes:

- $L = 76.15 \text{ m}$
- $L_{pp} = 66.44 \text{ m}$
- $B = 13.43 \text{ m}$
- $D_p = 6.55 \text{ m}$
- $D_s = 8.71 \text{ m}$
- $T = 6.21 \text{ m}$
- $Fr = 0.332$
- $C_p = 0.525$
- $C_m = 0.976$
- $C_b = 0.512$
- $C_f = 0.625$
- $\Delta = 2912,856 \text{ Tn}$

RESISTENCIA AL AVANCE DEL BUQUE

La resistencia al avance del buque es la fuerza que se opone al movimiento del mismo en el agua. Para la obtención del valor de dicha resistencia se empleará el software NavCad. Este programa da un valor de resistencia al avance a partir de las formas del buque, empleando bases de datos.

JUSTIFICACIÓN DE LOS DATOS DE ENTRADA

Para el cálculo de la resistencia al avance del buque, debemos introducir en el programa los siguientes inputs:

- Eslora entre perpendiculares: 66,44 m.
- Eslora a proa de la Ppr: 6,117 m.
- Manga máxima: 13.43 m.
- Calado: 6.21 m.
- Desplazamiento: 2912,856 tn.
- Trimado: 1,3 m.
- Coeficiente de la maestra: 0.976
- Posición longitudinal del centro de carena: 34,55 m.

El programa permite obtener algunos datos de forma aproximada, como es el caso de la superficie mojada, igual a $1234,5 \text{ m}^2$, estimada por el método Denny. Otro dato obtenido por este método es el coeficiente de la flotación, con valor 0,6466, y obtenido por el método Series 60. En los dos casos se ha comprobado la validez de los datos del buque del proyecto en el rango de aplicación de cada método.

A partir del coeficiente de la flotación, se obtiene un área de flotación igual a $599,098 \text{ m}^2$. En el caso del coeficiente de la maestra, se obtiene un área de la sección maestra de $81,855 \text{ m}^2$.

Al tratarse de un buque con bulbo de proa, es necesario introducir algunos datos, ya que la existencia del mismo influye de manera muy significativa en la resistencia al avance. Debido a que el alcance de este proyecto no contempla la definición de las formas, los datos del bulbo han sido

obtenidos escalando las formas del buque “Montelucía”, contenido en la base de datos. Los datos empleados son los siguientes:

- Longitud del bulbo desde Ppr: 6,1 m
- Área del bulbo en Ppr: 4,09 m²
- Altura del centro de gravedad del bulbo: 3,5 m

El área del bulbo se ha estimado como el 5% del área de la sección maestra.

Se ha estimado un ángulo de ataque de 21,04°, por el método Holtrop.

Por último se han introducido los apéndices correspondientes al timón y al bow thruster de proa:

- Área del timón: 16,92 m².
 - Coef. Hidrodinámico: 1,35
- Diámetro del bow thruster: 1,6 m.
 - Coef. Hidrodinámico: 0,0075

En esta predicción de resistencia al avance se ha tenido en cuenta el 15% de margen de mar, indicado en la RPA.

RESULTADOS

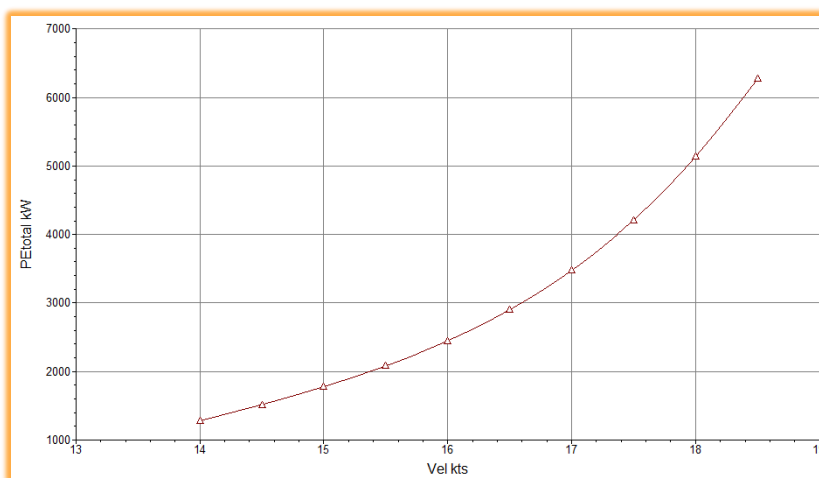
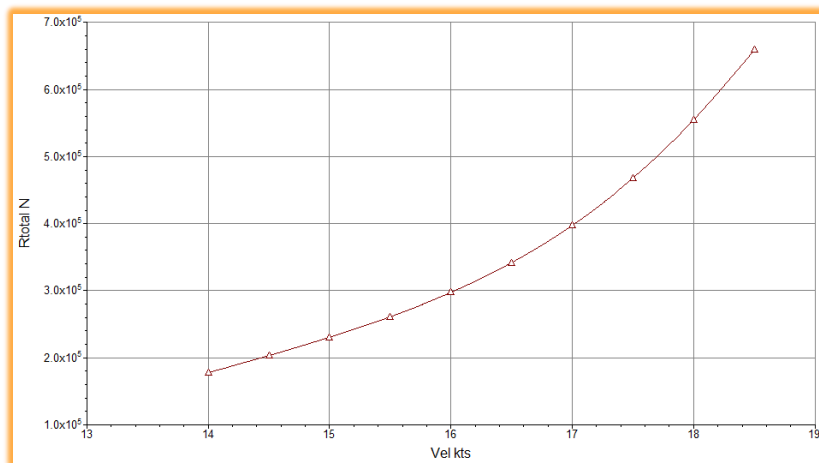
Una vez introducidos todos los datos necesarios en el programa, se procede a la obtención de la resistencia al avance y potencia efectiva. Para ello se ha empleado el método Holtrop 1984 y el CRTS. Para la elección de estos métodos se ha tenido en cuenta el cumplimiento de los siguientes requisitos:

CRTS	
Requisito	Buque
$0,178 < Fn < 0,401$	0,332
$0,52 < Cp < 0,7$	0,496
$0,64 < Cx < 1$	0,979
$2,2 < Bwl/T < 5,2$	1,98
$4,85 < Cvol < 11,27$	4,63

Holtrop	
Requisito	Buque
$0,1 < F_n < 0,401$	0,28
$3,9 < Lwl/Bwl < 14,9$	5,17
$2,1 < Bwl/T < 4$	1,98
$0,55 < C_p < 0,85$	0,54

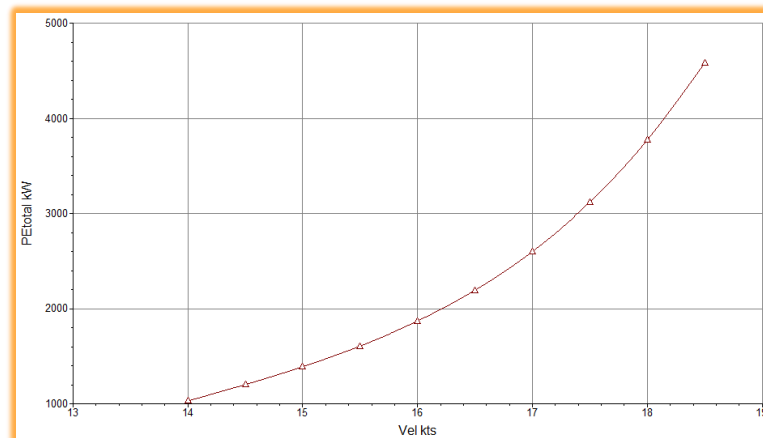
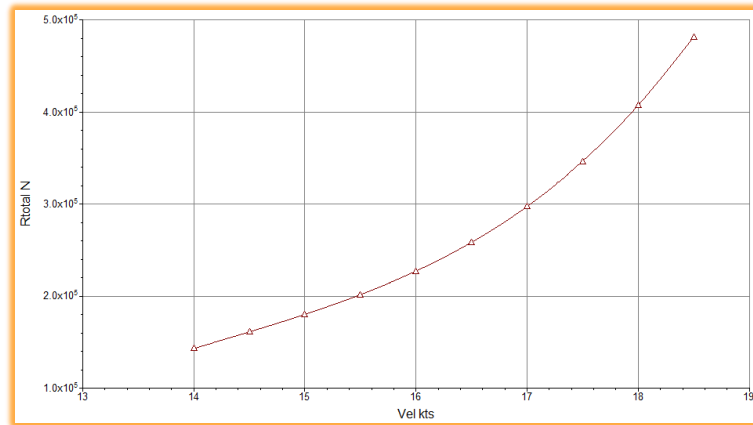
Para el método CRTS se han obtenido los siguientes resultados:

Vel [kts]	Fn	Rn	Cf	Cr	Ct	Rbare [N]	Rapp [N]	Rmisc [N]	Rtotal [N]	Rbare/W	PEbare [kW]	PEtotal [kW]
14	0,282	4,03e08	0,001719	0,002878	0,004597	150997	4255	22650	177901	0,00509	1087,5	1281,3
14,5	0,292	4,17e08	0,001711	0,003187	0,004898	172582	4559	25887	203028	0,00581	1287,4	1514,5
15	0,302	4,32e08	0,001704	0,003501	0,005204	196238	4873	29436	230546	0,00661	1514,3	1779,0
15,5	0,312	4,46e08	0,001696	0,003832	0,005528	222568	5198	33385	261151	0,00750	1774,7	2082,4
16	0,322	4,60e08	0,001689	0,004223	0,005912	253634	5533	38045	297213	0,00854	2087,7	2446,4
16,5	0,333	4,75e08	0,001683	0,004718	0,006401	292022	5879	43803	341704	0,00984	2478,8	2900,5
17	0,343	4,89e08	0,001676	0,005350	0,007026	340280	6235	51042	397556	0,01146	2975,9	3476,9
17,5	0,353	5,03e08	0,001670	0,006140	0,007810	400815	6601	60122	467538	0,01350	3608,4	4209,1
18	0,363	5,18e08	0,001664	0,007106	0,008770	476188	6977	71428	554594	0,01604	4409,5	5135,5
18,5	0,373	5,32e08	0,001658	0,008221	0,009879	566590	7364	84988	658942	0,01909	5392,4	6271,3



Para el método Holtrop se han obtenido los siguientes resultados:

Vel [kts]	Fn	Rn	Cf	Cr	Ct	Rbare [N]	Rapp [N]	Rmisc [N]	Rtotal [N]	Rbare/W	PEbare [kW]	PEtotal [kW]
14	0,282	4,03e08	0,001719	0,001955	0,003674	120689	4255	18103	143047	0,00407	869,2	1030,3
14,5	0,292	4,17e08	0,001711	0,002147	0,003859	135957	4559	20394	160909	0,00458	1014,2	1200,3
15	0,302	4,32e08	0,001704	0,002336	0,004040	152320	4873	22848	180042	0,00513	1175,4	1389,3
15,5	0,312	4,46e08	0,001696	0,002545	0,004241	170755	5198	25613	201566	0,00575	1361,6	1607,3
16	0,322	4,60e08	0,001689	0,002801	0,004490	192629	5533	28894	227057	0,00649	1585,6	1868,9
16,5	0,333	4,75e08	0,001683	0,003129	0,004812	219546	5879	32932	258357	0,00740	1863,6	2193,0
17	0,343	4,89e08	0,001676	0,003553	0,005229	253253	6235	37988	297476	0,00853	2214,8	2601,6
17,5	0,353	5,03e08	0,001670	0,004089	0,005759	295555	6601	44333	346489	0,00996	2660,8	3119,4
18	0,363	5,18e08	0,001664	0,004749	0,006413	348188	6977	52228	407394	0,01173	3224,2	3772,5
18,5	0,373	5,32e08	0,001658	0,005537	0,007194	412633	7364	61895	481892	0,01390	3927,1	4586,3



A la vista de los resultados de resistencia y potencia efectiva, tomaremos como referencia el valor obtenido por el método Holtrop, ya que el método CRTS tiene más parámetros fuera de rango y, por tanto, la potencia obtenida es menos fiable.

<i>Resistencia al avance [kN]</i>	258,35
<i>Potencia efectiva [kW]</i>	2193,0

Se puede hacer una estimación de la potencia al freno necesaria, teniendo en cuenta los valores de los rendimientos de todo el sistema de propulsión.

$$BkW = \frac{EkW}{\eta_m \cdot \eta_D}$$

El valor del rendimiento mecánico η_m es de 0,95 (valor habitual en buques con reductora y de esta potencia), y el valor del rendimiento propulsivo η_D se estima en 0,6, sin conocer las RPM del propulsor.

$$BkW = \frac{2193}{0.95 \cdot 0.6} = 3847,37 \text{ kW}$$

Este valor debe de ser incrementado en 1000 kW, que es la potencia necesaria para la PTO. Al ser requisito del proyecto la aportación de esa potencia al 85% de la MCR, la potencia BkW preliminar resulta 5702,78 kW.

CÁLCULO DEL PROPULSOR Y POTENCIA NECESARIA

El valor de potencia obtenido en el apartado anterior no es preciso sin conocer la geometría del propulsor. Para el cálculo y diseño del mismo se usará nuevamente el software NavCad.

Los datos de entrada son el diámetro máximo, que corresponde con 4 metros; la resistencia al avance obtenida anteriormente, y los rendimientos de la reductora y la línea de ejes.

Se efectuarán pruebas para propulsores de 3, 4 y 5 palas, obteniendo los siguientes resultados:

<i>Nº de palas</i>	<i>Rendimiento</i>
3	0,6577
4	0,6611
5	0,6639

Finalmente se decide montar una hélice de 5 palas. El programa facilita el dato de potencia al freno necesario para obtener la velocidad de servicio con este propulsor, resultando 3403,31 kW. A la hora de seleccionar el motor

deberemos tener en cuenta nuevamente la PTO, así como el margen del 85% de MCR. El motor necesario es de aproximadamente 5180 kW. Se ha elegido el motor de la casa WÄRTSILA, el modelo 9L32, con una potencia de 5220 kW y que gira a 750 RPM.

Introduciendo las características del motor principal en el programa, obtenemos los siguientes datos de la hélice:

<i>Diámetro</i>	4 m
<i>Paso</i>	3,517 m
<i>RPM</i>	143,1 r.p.m.
<i>Rendimiento</i>	0,6514
<i>Relación áreas (Ao/Ad)</i>	0,7935
<i>Empuje</i>	314,038 kN

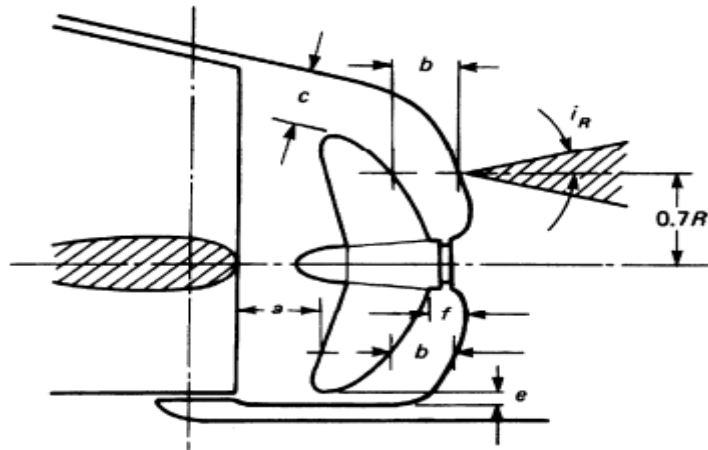
Al valor de las RPM del propulsor debemos aplicarle la ligereza, que en este caso es un 3%, resultando las RPM finales del propulsor 147,39 r.p.m.

El empuje obtenido es de 314,038 kN, un 21,55% mayor que la resistencia al avance del buque a la velocidad de servicio, que correspondía con 258,36 kN. Se observa que la potencia necesaria real es sensiblemente menor a la potencia BkW preliminar obtenida antes de diseñar el propulsor (5702,78 kW). Esto es debido a que se había aplicado un rendimiento de 0,60, mientras que el rendimiento propulsivo real es de 0,6514.

CLARAS ENTRE EL PROPULSOR Y EL CODASTE

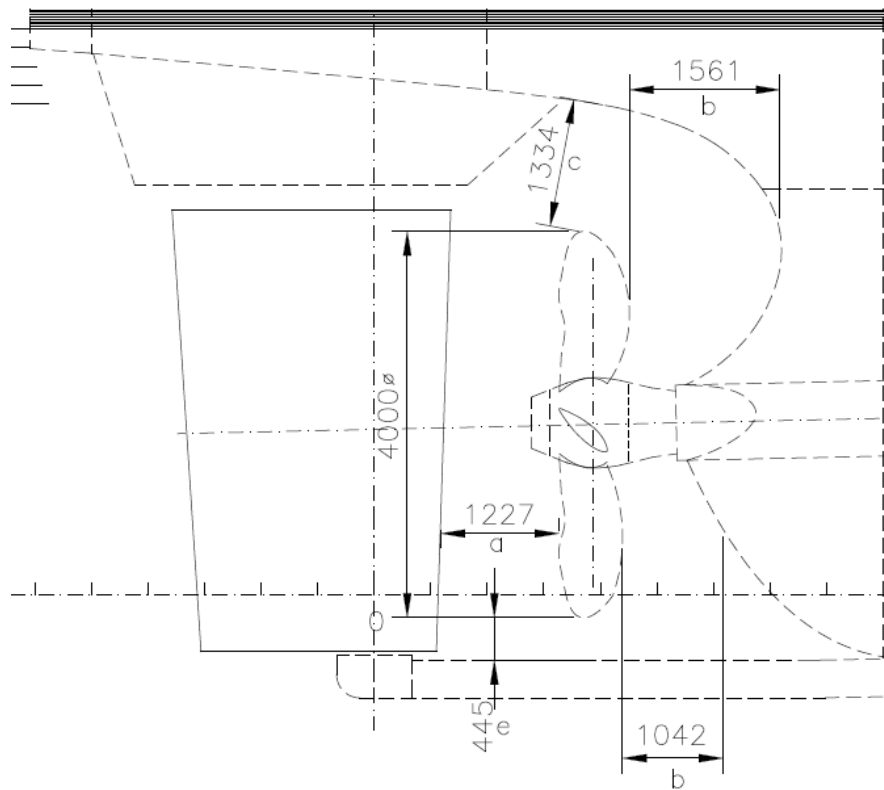
Se comprueban los huelgos en el vano del codaste con el fin de asegurar la disponibilidad de espacio requerida para el propulsor obtenido. Para ello se calculan las claras mínimas exigidas por la sociedad de clasificación Det Norske Veritas, ya que el reglamento de Bureau Veritas no hace referencia alguna a estas dimensiones.

El reglamento ofrece el siguiente gráfico y las siguientes expresiones para calcular los huelgos:



- $a > 0,2 \cdot r = 0,4 \text{ m.}$
- $b > (0,7 - 0,04 \cdot Z) \cdot r = 1 \text{ m.}$
- $c > (0,48 - 0,02 \cdot Z) \cdot r = 0,76 \text{ m.}$
- $e > 0,07 \cdot r = 0,14 \text{ m.}$

Como comprobación, se adjunta la siguiente figura, que verifica el cumplimiento de las medidas mínimas obtenidas anteriormente.



CÁLCULO DEL TIMÓN

GEOMETRÍA

El diseño del timón se ha hecho acorde a los requerimientos expuestos por la sociedad de clasificación Bureau Veritas en su reglamento; Parte B, Capítulo 9, sección 1.

Se ha escogido un timón de tipo suspendido, ya que es el más habitual en este tipo de buques.

- Superficie de la pala del timón.

La superficie del timón irá en relación al área de deriva del buque, con objeto de obtener una buena maniobrabilidad. En este tipo de buques el área lateral del timón oscila entre un 2,9 % y un 3 % del área de deriva del buque.

El área de deriva para el calado preliminar obtenido en el Cuaderno 1 es de 412,6 m². La superficie lateral del timón se obtuvo aplicando un 2,95% al área anterior, resultando 12,17 m².

Se comprueba que esta superficie obtenida es similar a la de otros timones usados en buques de similares características.

- Contorno del timón.

El contorno del timón es el normal en este tipo de buques, de forma trapezoidal. A continuación se obtienen las dimensiones del mismo:

Altura: Para determinar la altura del timón se aplica el reglamento Bureau Veritas. Este reglamento dice que la altura será igual a un 115% el diámetro de la hélice. El propulsor de este buque es de 4 metros de diámetro, por lo que el timón tendrá una altura de 4,6 metros. Esta longitud está condicionada por la disposición del codaste, aunque en este caso cuenta con espacio suficiente para un timón de este tamaño.

Cuerda: El valor de la cuerda está relacionado con la altura y el área de la pala.

$$C = A_t / h = 12,17 / 4,6 = 2,64 \text{ metros.}$$

Relación de compensación: La relación de compensación es el área de la pala a popa de la mecha del timón en relación con el área de la pala a proa de la mecha. Según las SSCC esta relación no deberá ser superior al 33%. En este caso se usará una relación de compensación igual a 27,2%, que corresponde a la relación de compensación del buque de la base de datos "Montelucía".

$$C = (A_{pr} / A_t) \cdot 100 = 27,2 \%$$

$$A_{pr} = (C \cdot A_t) / 100 = 3,31 \text{ m}^2$$

Teniendo en cuenta la forma trapezoidal, la altura total del timón y el área de compensación se obtiene una longitud media de compensación por proa de la mecha:

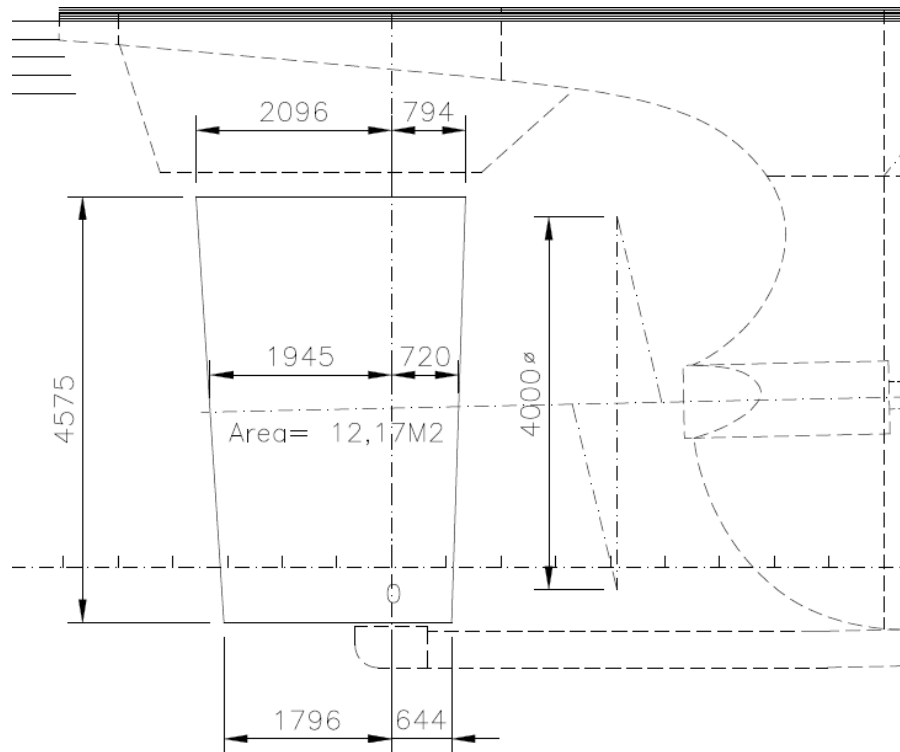
$$L_{mc} = A_{pr} / h = 0,72 \text{ m}$$

- Perfil del timón.

Los perfiles utilizados para timones navales son del tipo currentiformes o aerodinámicos. En este caso se usará un perfil de la conocida familia de perfiles tipo NACA. Esta familia de perfiles se caracteriza por tener el máximo espesor a una distancia del 70% de la línea de cuerda, medido desde el borde de salida, y son simétricos respecto a su eje longitudinal.

Estos perfiles suministran un mayor valor de sustentación y además penaliza la resistencia al avance del buque de forma más reducida que otros perfiles. Otra de sus características es que conduce a un reparto de presiones de tal forma que el centro de las mismas no se mueve excesivamente con el aumento del ángulo del timón.

La geometría final del timón se representa en la siguiente figura:



PAR TORSOR Y FUERZA SOBRE LA PALA DEL TIMÓN

En este apartado se calcularán las fuerzas que afectarán sobre la pala y mecha del timón cuando este se meta a una banda. Estas fuerzas y el momento que generan son importantes de cara al escantillonado de la estructura del timón, mechas y apoyos, así como la elección del accionamiento.

Para el cálculo de las fuerzas, se utiliza el reglamento Bureau Veritas, Pt B, CH 9, Sec 2.

En este apartado el reglamento ofrece la siguiente expresión para calcular dichas fuerzas:

$$CR = 123 \cdot N_R \cdot A \cdot V^2 \cdot r_1 \cdot r_2 \cdot r_3$$

Dónde:

- N_R : Es un coeficiente de navegación. Depende de si el buque navega sin restricciones, en zonas costeras o en zonas protegidas. En este caso tomaremos el valor $N_R=1$, para buques con navegación sin restricciones.

- V: Es la velocidad V_d o V_a . La velocidad de marcha adelante no deberá ser menor a la V_{min} definida en el reglamento Bureau Veritas.

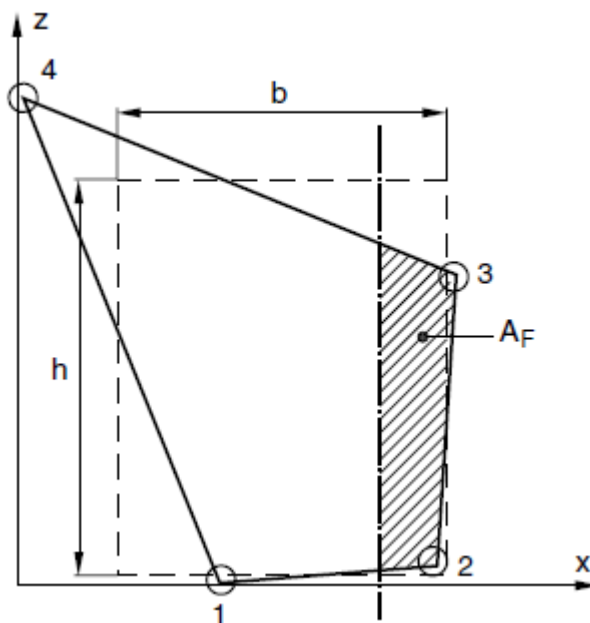
$$V_{min} = (V_d + 20)/3 = (16,5 + 20)/3 = 12,16 \text{ kn.}$$

La velocidad marcha atrás V_a no será inferior a $0,5 V_d$ ó $0,5 V_{min}$, escogiéndose la mayor.

$$V_{ad} = 0,5 \cdot 12,16 = 6,08 \text{ kn.}$$

- R_1 : Factor de forma, igual a:

$$R1 = \frac{\lambda+2}{3} = \frac{1,73+2}{3} = 1,243 \quad \lambda = \frac{h^2}{At} = \frac{4,6^2}{12,17} = 1,73 \quad h = \frac{z3+z4-z2}{2}$$



- R_2 : Coeficiente que depende del tipo de perfil. Para perfil NACA 00xy es 1,10 para marcha adelante y 0,80 para marcha atrás.
- R_3 : Coeficiente que depende de la posición del timón respecto a la estela del propulsor. Se tomará igual a uno.

Sustituyendo todos los datos anteriores con valores del buque de proyecto, se obtienen las fuerzas del timón para las condiciones de marcha adelante y marcha atrás:

- $CR_{av} = 123 \cdot N_R \cdot A \cdot v^2 \cdot r_1 \cdot r_2 \cdot r_3$
 $CR_{av} = 123 \cdot 1 \cdot 12,17 \cdot 12,16^2 \cdot 1,24 \cdot 1,10 \cdot 1 = 301,909 \text{ kN}$

- $CR_{at} = 123 \cdot N_R \cdot A \cdot v^2 \cdot r_1 \cdot r_2 \cdot r_3$
 $CR_{at} = 123 \cdot 1 \cdot 12,17 \cdot 6,08^2 \cdot 1,24 \cdot 0,80 \cdot 1 = 54,892 \text{ kN}$

Por otra parte, el par de diseño del timón vendrá dado por la siguiente ecuación, contenida en el reglamento BV, Pt B, Ch 9, Sec 2; tanto para marcha avante como marcha atrás:

$$M_{TR} = C_R \cdot r$$

Dónde:

r: Palanca de la fuerza, en metros, igual a:

$$r = b \cdot \left(\alpha - \frac{AF}{A} \right)$$

- b: Longitud del timón, en metros.
- α : Coeficiente que depende de marcha avante o atrás
 - $\alpha=0,33$ para marcha avante
 - $\alpha=0,66$ para marcha atrás
- AF: Área, en metros, de la porción de timón a proa de la mecha del timón.

$$r_{AVANTE} = 2,64 \cdot (0,33 - 3,29/12,17) = 0,157 \text{ m.}$$

$$r_{ATRAS} = 2,64 \cdot (0,66 - 3,29/12,17) = 1,029 \text{ m.}$$

Acorde a todo lo anterior, obtenemos un par de diseño del timón igual a:

- Condición de avante:
 $M_{TR_AVANTE} = C_R \cdot r = 301,9 \cdot 0,157 = 47,39 \text{ kN}\cdot\text{m}$
- Condición de atrás:
 $M_{TR_ATRAS} = C_R \cdot r = 54,892 \cdot 1,029 = 56,48 \text{ kN}\cdot\text{m}$