

BONITERO DEL CANTÁBRICO
PROYECTO 077.
CURSO 2009-2010

Memoria explicativa del tipo de buque y servicio al que se destina.

DOCUMENTO 1
AUTOR: JOSE LUIS CERCOS PITA
COTUTOR: ANDER LASA GALLURRALDE
TUTOR: ANTONIO SOUTO IGLESIAS

1 Índice de contenidos.

1	<i>Índice de contenidos.....</i>	2
2	<i>Especificación del proyecto.</i>	4
3	<i>Objetivos</i>	5
4	<i>Análisis de la misión y enfoque conceptual del proyecto.</i>	5
4.1	Estado del sector.....	5
4.2	Marco del buque de cebo vivo dentro del sector.....	5
4.3	Aspectos biológicos de la anchoa.....	6
4.4	Aspectos biológicos del Bonito del norte.....	6
4.5	La pesquería de superficie del Bonito del norte.....	8
4.6	Flota pesquera de superficie.	8
4.7	Buque de cebo vivo.	9
4.7.1	1.1 Modelo de operación.	9
4.7.2	Descripción del buque, dentro de su familia.....	10
5	<i>Problemas principales del proyecto.....</i>	10
5.1	Generales a cualquier buque pesquero.....	10
5.2	Específicos de nuestro buque.....	11
6	<i>Metodología y criterios aplicados en el desarrollo del proyecto. Bases de datos....</i>	12
6.1	Normativa a aplicar en el desarrollo del proyecto.....	12
6.2	Base de datos.....	12
6.2.1	Volumen del tanque estabilizador pasivo.	13
6.2.2	Cálculo del volumen de bodegas	14
6.2.3	Buques similares.....	17
6.2.4	Cálculo del desplazamiento	17
6.2.5	Peso Muerto.....	19
6.2.6	Eslora entre perpendiculares.....	20
6.2.7	Calado.....	21
6.2.8	Manga.....	22
6.2.9	Puntal.....	22
7	<i>Soluciones adoptadas.....</i>	22
7.1	Criterios para filtraje de soluciones.....	22
7.1.1	Estabilidad	22
7.1.2	Flotabilidad.....	24
7.1.3	Restricciones volumétricas	24
7.1.4	Relativas a Desplazamiento.....	25
7.1.5	Relativas a Peso Muerto	25
7.1.6	Comportamiento en la mar.	25
7.2	Script de filtraje.....	26
7.3	Resultados obtenidos.....	26
8	<i>Bibliografía general.....</i>	27
9	<i>Acrónimos.....</i>	29

<i>Anexo I: Base de datos.....</i>	<i>31</i>
<i>Anexo II: Script Octave/Matlab para el dimensionamiento.....</i>	<i>32</i>
1 main.m	32

2 Especificación del proyecto.

- CLASIFICACIÓN: **Bureau Veritas**
- TRB: **149**
- GT: **230**
- VOLUMEN DE COMBUSTIBLE: **70 m³**
- VOLUMEN DE VIVEROS: **50 m³**
- VELOCIDAD EN PRUEBAS: **12 .5 kn al 90% MCR**
- EQUIPO PROPULSOR: **Motor Diesel**
- ALOJAMIENTOS: **15 tripulantes**
- ASPECTOS ADICIONALES:
 - 1.- El buque dispondrá de una planta de oxigenación del agua de viveros.
 - 2.- El buque dispondrá de un tanque estabilizador pasivo que reduzca al menos un 50% el movimiento de balance durante la maniobra de pesca.
 3. Se presentará además una planificación para la construcción asociada a los medios de un astillero de la sociedad PYMAR del que se disponga de información suficiente.

3 Objetivos

En éste documento se estudia el buque y su misión, lo que implica introducir la forma de trabajo de este tipo de pesqueros, para así poder entender las necesidades del mismo.

Una vez presentada la misión del buque, introduciremos los aspectos más relevantes de este tipo de buques, seguido de un breve estudio de las particularidades de este proyecto. Se explicarán también las soluciones que se proponen para cada uno de los problemas.

Con toda esa información podremos introducir una base de datos de buques de la misma familia de aquel que nos ocupa, y realizar el dimensionamiento de nuestro buque.

4 Análisis de la misión y enfoque conceptual del proyecto.

4.1 Estado del sector.

Antes de concretar los aspectos de la misión llevada a cabo por este buque, se debe arrojar un poco de luz sobre actual del sector pesquero en nuestro país, sobretodo teniendo en cuenta los importantes cambios sufridos por el mismo en los últimos años.

Antes de la entrada en la Unión Europea, España era una de las mayores potencias en materia de pesca, ya que disponía de una de las flotas más modernas y numerosas del mundo, y un consumo per cápita realmente elevado.

Pero tras la adhesión a la UE, el 1 de Enero de 1986, España se vio obligada a cumplir las políticas de pesca comunitarias, lo que ha provocado que durante estas dos décadas la presencia de nuestros buques en aguas comunitarias se haya visto mermada de una forma significativa.

Este efecto se ha visto en buena parte compensado por la presencia de nuestra flota en otros países no comunitarios, gracias al esfuerzo llevado a cabo por armadores y empresas pesqueras.

Ante ésta expectativa, protagonizada por tendencias a la baja de capturas nacionales, y expansión del sector a ámbitos internacionales, y frente al elevado consumo de productos pesqueros, en constante crecimiento, la industria pesquera muestra en estos años pasados un fuerte crecimiento internacional.

No obstante, el reciente levantamiento de la restricción de pesca de anchoa en las costas del Cantábrico puede volver a provocar un aumento en la flota del tipo de buques que nos ocupan.

4.2 Marco del buque de cebo vivo dentro del sector.

El barco que nos ocupa es, dentro de lo cabe, un tanto especial, ya que durante la temporada estival, y el otoño, se emplea en la pesca del Bonito, y durante la primavera a la pesca de la Anchoa. No obstante hay que recalcar que en la pesca del Atún emplea cebo vivo compuesto por anchoa principalmente, y por tanto debe pescar anchoa también durante los meses de Verano y Otoño con el objeto de poder usarla como cebo.

Este tipo de barco representa una de las más grandes fuentes de ingresos de la pesca en el Cantábrico. Aunque el tamaño de estos barcos suele ser considerablemente más grande que los buques de Cacea, es debido a la necesidad de disponer de tanques de viveros donde almacenar el cebo vivo, siendo la realidad que la zona de pesca de estos buques es mucho más cercana a la costa que los de Cacea, ya que la pesca del cebo consiste en especies pelágicas capturadas mediante cerco.

Por tanto debemos hablar de los aspectos biológicos de la Anchoa y del Bonito del Norte, capturas objetivo de nuestro barco.

4.3 Aspectos biológicos de la anchoa.

La anchoa, también conocida comúnmente como boquerón, pertenece a la familia de los Engraulidae, y se trata de una especie pelágica distribuida en las zonas costeras de los océanos Atlántico, Pacífico, Índico y en el Mar Mediterráneo, a la vez que en grandes lagos de agua tanto salada como dulce.

Los peces de esta familia son pequeños, en torno a los 15 centímetros, de aspecto fusiforme, con la cabeza grande y el hocico puntiagudo, y están cubiertos de escamas que se desprenden fácilmente. Su color varía desde azul oscuro hasta gris claro, pero generalmente presentan una banda plateada en el flanco.

La anchoa europea (*Engraulis encrasicolus*) concretamente es un pescado azul, de unos 20 cm de largo, que presenta un hocico puntiagudo, un maxilar inferior corto, barbilla y contorno facial suave, que alcanza prácticamente la parte frontal del pre-opérculo branquial y utiliza para defenderse en caso de amenaza de algún depredador.



Engraulis encrasicolus

Figura 1. Fotografía de la anchoa europea.

Forman densos cardúmenes que ascienden a la superficie durante la noche desde profundidades medias, para alimentarse de plancton.

Efectúa la puesta entre junio y julio. Los huevos, de una peculiar forma alargada, flotan durante dos o tres días tras la fecundación hasta la eclosión de los alevines. Estos crecen muy lentamente (ejemplares de un año pueden medir menos de 3 cm) hasta alcanzar el tamaño adulto.

4.4 Aspectos biológicos del Bonito del norte.

El bonito del norte (*Thunnus alalunga*) pertenece a la familia de los Escómbridos¹. Sólo es bonito del norte aquel que sobrepasa los 4 kilos de peso y se captura en el Cantábrico, mediante anzuelo con objeto de que el pez sufra lo menos posible y ofrezca una mayor calidad de su carne. El bonito se diferencia del atún principalmente por la longitud de la aleta pectoral, que en el bonito es bastante más larga, así como por las rayas oblicuas de

color oscuro que el bonito presenta a ambos lados de la zona dorsal, tal como se aprecia en la Figura 2.



Figura 2. Fotografiadle Bonito del norte.

Posee un cuerpo esbelto y alargado, algo comprimido. Se caracteriza por su enorme boca, con dientes cónicos y pequeños, así como por sus ojos grandes y redondos. Es azul plateado. En el vientre pueden observarse reflejos irisados. Los ejemplares más jóvenes presentan el dorso azul con rayas oscuras que descienden de los costados y que son atravesadas por otras longitudinales. En los peces adultos, éstas últimas son las más visibles. Puede pesar hasta 10 kilos y alcanzar una longitud de unos 90cm, si bien es cierto lo más común es que su longitud sea de 30 a 50 cm y su peso de 1 a 3 kilos.

Ocupa las aguas oceánicas y en general son gregarios cuando son juveniles (50 a 85 cm de talla), reuniéndose en bancos más o menos densos que se desplazan a gran velocidad en aguas superficiales y subsuperficiales hasta la termoclina próxima a la superficie (35 m), siguiendo la isoterma de 18° C y los frentes térmicos de 16 a 20 ° C. Cuando alcanza la madurez sexual, con una talla aproximada de 90 cm, ocupan aguas más profundas, situadas entre los 100 y 200 metros, pudiendo alcanzar hasta los 500 m, en ocasiones, habitando la columna de agua con un rango de temperaturas de 10 a 24° C.

Realiza migraciones tróficas y de reproducción, cruzando el Atlántico de oeste a este y viceversa, según la fase de su ciclo vital en que se encuentre. Así, el área de reproducción única conocida en el Atlántico norte, se localiza al oeste, en el mar de los Sargazos, en aguas tropicales superiores a 25° C, a donde acuden los bonitos blancos adultos en los meses de primavera y verano a realizar la puesta. Una vez las larvas alcanzan la fase juvenil, en los meses de otoño, estos peces ya muestran su instinto migratorio desplazándose hacia el este, dirigiéndose hacia las aguas del Atlántico central, próximas al archipiélago de Azores, donde pasan su primer invierno de vida. En la primavera siguiente, comienzan a migrar hacia latitudes septentrionales, en paralelo a las costas de la península ibérica, hasta alcanzar las costas sur de Irlanda. Parte de estos bonitos se dirigen en los meses de verano al Golfo de Vizcaya, área rica en alimento, donde permanecen hasta bien entrado el otoño, cuando regresan al área de invernada en las Azores. Hasta que alcanzan los 5 años de edad, cada año realizan esta migración de carácter trófico. Forma parte importante de su dieta: pequeños crustáceos del zooplancton (eufasiáceos) y peces pelágicos costeros como: la anchoa, el chicharro y la caballa entre otras presas, que capturan en menor cantidad (cefalópodos y especies mesopelágicas). Son muy voraces, con un metabolismo alto que se observa en picos de alimentación concentrados al amanecer, al mediodía y al atardecer. Este alto metabolismo

se debe a la capacidad de retener el calor corporal, a través de un sistema interno que impide la pérdida de calor que tienen la mayoría de los peces a través de las branquias. Gracias a este mecanismo fisiológico puede soportar ambientes térmicos diversos (10-25 ° C), realizar migraciones y ocupar la columna de agua a distintas profundidades.

4.5 La pesquería de superficie del Bonito del norte.

Como hemos visto, el Bonito del norte ocupa zonas de la columna de agua diversas, no obstante, las formas de pesca superficiales, que son la cacea, y el cebo vivo, son las únicas que han tenido aceptación en España, probablemente debido a que la calidad del pescado obtenido es muy superior a la que se obtiene mediante palangre o arrastre, que dañan mucho más la presa y prolongan su sufrimiento.

Es por eso que nuestro buque no estará diseñado para ninguno de estos dos últimos artes, y por ello no nos ocuparemos de ellos, centrándonos en este estudio en la pesquería superficial.

Como ya hemos mencionado, las dos artes superficiales son, la cacea y el cebo vivo:

- Cacea: Es una técnica de pesca desde embarcación consistente en arrastrar un cebo o señuelo, de tal forma que el pez se sienta tentado en su captura.
- Cebo vivo: Pesca con caña, atrayendo al pescado mediante cebo vivo consistente en anchoa o chicharrillo vivo que se conserva en unos viveros que lleva el buque, y que previamente ha sido pescado al cerco.

El arte de cacea es más antiguo, ya que la pesca mediante cebo vivo tuvo que esperar hasta los años 50 para hacer aparición. Esta técnica, procedente del Pacífico, se extendió por las costas de España y Francia.

La pesquería de superficie de atún blanco se desarrolla en los meses de verano y otoño cuando estos peces comienzan a migrar desde las islas Azores hacia latitudes más al norte alcanzando el sur de Irlanda y dirigiéndose una parte hacia el Cantábrico para acabar concentrándose en el Golfo de Vizcaya.

Mientras que en junio las capturas se localizan principalmente en el océano Atlántico al Norte de Azores, en julio y agosto las capturas se localizan en el interior del golfo de Vizcaya y mar Cantábrico. Este comportamiento migratorio a estas latitudes, en líneas generales, es constante de un año a otro; sin embargo varía la cantidad de capturas mensuales de una flota a otra dependiendo de la presencia de los atunes blancos en la zona más Atlántica o en el golfo, influenciado por las condiciones de temperatura superficial y de concentración de alimento.

4.6 Flota pesquera de superficie.

La flota artesanal en los puertos del Cantábrico se nutre, en buena parte, por la pesca de anchoa durante la primavera, y la pesca de Atún blanco durante el periodo estival. Participan en ello un promedio de 130 barcos de cebo vivo, y 400 de cacea.

Los barcos de cacea suelen ser de muy distinto tamaño, oscilando entre embarcaciones inferiores a los 10 TRB, y de hasta los 300 TRB, concentrando su grueso en los buques de entre 10TRB y 100 TRB.

En cambio, la flota de cebo vivo se sitúa entre los 50 TRB, y los 200 TRB, concentrando la mayor parte de buque de este tipo en el intervalo de 100 a 150 TRB.

Efectivamente, los buques de cebo vivo son, en general, buques de mayor porte, además de ser más homogéneos. Esto es debido a su necesidad de mantener cebo vivo, para lo que disponen de tanques de viveros en cubierta.

Así, los buques de cacea de gran porte se dedican habitualmente a realizar mareas más largas en busca de las aguas oceánicas, mientras que los buques de cebo vivo se limitan a zonas más cercanas a la costa.

4.7 Buque de cebo vivo.

4.7.1 1.1 Modelo de operación.

Los buques de cebo vivo se dedican a la pesca del atún, pero a ello debe preceder la pesca del cebo, compuesto por la Anchoa. La Anchoa se pesca mediante cerco, habitualmente aprovechando la noche, que permite, ayudados de un bote, atraer al pez mediante potentes focos de luz. Una vez se ha reunido una concentración de Anchoa suficiente, se lanza el cerco mediante la grúa-halador, rodeando así al banco de peces. Una vez cercado, se recoge la red haciendo uso del molinete y del pescantillo, y se procede a introducir el cebo vivo en los viveros.

Normalmente, los viveros deben disponer de unos 500 litros de agua por cada kilo de carnada, pero nuestro buque dispone de un sistema de oxigenación que permite prácticamente doblar la cantidad de carnada para ese mismo volumen.

La Anchoa pescada, y almacenada en los viveros es susceptible ahora de emplearse como carnaza para pescar el Atún.

Para ello, el barco navega en busca de bancos del valioso pez, y una vez detectado uno, se acerca a él con el mayor sigilo posible¹. Una vez está situado a una distancia óptima, desembarca cebo vivo para atraer al bonito, que guiado por su voracidad se lanza a por la carnaza que se encuentra a alcance de los pescadores y que dan buena cuenta del Atún con sus cañas. Así, los pescadores lanzan sus cañas sin cebar, capturando y embarcando Atunes.

Para evitar que los atunes puedan ver lo que ocurre en la superficie, estos buques suelen disponer de un sistema que rocía agua sobre la superficie, restando visibilidad.

Además, dicho sistema de riego genera una turbulencia alrededor del buque en el agua haciendo creer al bonito que se encuentra en las proximidades de un cardumen de anchoa de una magnitud considerable, lo que crea un mayor poder de atracción del pescado a las proximidades del buque, aumentando de esta forma el número de probables capturas.

Un pescador suele permanecer en cubierta, sin caña, encargado de liberar los peces embarcados del anzuelo, y de dar fin a su vida, y a su movimiento, lo antes posible, mediante un fuerte golpe en la cabeza con un mazo.

De esta forma, no sólo el pez embarcado dificultará la labor de los pescadores el menor tiempo posible, sino que el tiempo de sufrimiento del pescado es lo más breve posible, lo que mejora la calidad de las capturas.

Durante esta operación, la tripulación se encarga de almacenar del bonito obtenido en las bodegas, acompañando a la valiosa recompensa con hielo.

Esta técnica consigue unas capturas de gran calidad, ya que el sufrimiento del pez no se prolonga más de lo estrictamente necesario, y desde luego, un periodo de tiempo considerablemente menor al de las técnicas comunes que se emplean para su captura.

Lo realmente cierto es que el pescado que finalmente llega al mercado es de una calidad notablemente superior al que ofertan pescadores que emplean otras técnicas, como por ejemplo la interceptación o Enmalle, muy extendidas en la flota francesa, alcanzando así precios significativamente más altos, que aumentan la rentabilidad.

Por tanto, la pesca con cebo vivo muestra claras ventajas en cuanto a la rentabilidad obtenible del pescado, pareciendo por tanto que la técnica de pesca del bonito del norte con cebo vivo es la más idónea de cuantas se aplican en la actualidad.

4.7.2 Descripción del buque, dentro de su familia.

Nuestro buque se trata de un buque de cebo vivo, de 149 toneladas de registro bruto (TRB), con una capacidad de viveros de 50 m³.



Figura 3. Fotografía de barco bonitero del Cantábrico.

La capacidad de los tanques de viveros antes mencionada es, comparada con los buques de este tipo, claramente pequeña, ello es debido a que nuestro buque dispondrá de un tanque de oxigenación que permite condensar más carga viva en viveros menores.

La introducción de este sistema permite disponer al mismo tiempo de un tanque estabilizador pasivo, que será diseñado para reducir el balance del buque al menos un 50%, cuando este se encuentre en maniobras de pesca.

5 Problemas principales del proyecto.

El proyecto tiene la problemática general de los buques pesqueros, a la que se añade la problemática especial de este proyecto en concreto.

5.1 Generales a cualquier buque pesquero

En primera instancia, no se trata únicamente de un sistema de transporte, sino que al mismo tiempo es una factoría destinada a la misión de captación de recursos del mar, producto final del buque en cuestión.

En este caso, el buque no necesita de un parque de pesca, pues la elaboración del mismo se realizará en tierra, y en este caso el pescado embarcado será almacenado, vivo en los viveros para ser empleado más tarde en la pesca del bonito, haciendo las veces de cebo vivo, o muerto y congelado en la bodega de carga.

Pero no deja de ser cierto que en los buques pesqueros, que son factorías y al mismo tiempo medios de transporte, el espacio disponible es relativamente reducido, siendo necesario aprovechar cada espacio al máximo posible.

El buque puede necesitar realizar las operaciones de pesca en situaciones de la mar realmente adversas, lo que no sólo hace difícil su operación, sino que reduce la seguridad a bordo. Además, las operaciones de estiba de la carga en esos casos también se realizan en situaciones adversas, que comprometen la estabilidad del buque.

Es importante reseñar, a colación de lo anteriormente expuesto, que con las artes largadas el buque tiene su maniobrabilidad claramente restringida, no pudiendo optar por huir de las condiciones adversas, ni pudiendo en muchas ocasiones cambiar su posición frente al oleaje para evitar condiciones especialmente peligrosas.

Además de esto, los buques pesqueros son buques cuya estabilidad suele ser relativamente baja, pues son buques de pequeño porte donde la manga no suele ser muy grande, pero que por lo citado anteriormente, debe respetar unos criterios de estabilidad muy estrictos que complican ciertamente su diseño.

La tripulación a bordo participa activamente en las operaciones de pesca, sacrificando en buena medida su destreza como navegante para aportar una superior habilidad como productor.

Añadiendo a lo anterior el pequeño espacio disponible, que dificulta o imposibilita la redundancia de los equipos hacen que los equipos empleados deban tener una probada fiabilidad, y un sencillo manejo y mantenimiento, pues una avería o disfunción en cualquier equipo de navegación, pesca o conservación pueden resultar en graves perjuicios económicos para el armador.

Los buques pesqueros tienen la particularidad de que la máxima condición de carga se suele dar en alta mar, durante las operaciones de pesca y estiba a bordo.

La disposición general del buque estará condicionada al pez a cuya pesca está destinado el buque, de tal forma que:

1. Se debe estudiar el pez o peces que se pretende capturar.
2. Se debe estudiar el arte de pesca que se empleará.
3. Se debe estudiar el caladero, o caladeros donde operará el buque, con la meteorología, posibilidades, y competencia previsible en el mismo.

Al margen de lo anteriormente dicho, los buques pesqueros, por su tamaño y condición, se regulan por normativas específicas a ellos, que les confiere una identidad única.

Por último, para el desarrollo de cualquier buque (sea pesquero o no) la consecución de las especificaciones ofrecidas es un objetivo principal a conseguir, ya que el no cumplimiento de éstas puede dar lugar a consecuencias nefastas como el rechazo del buque por el armador. Por ello será fundamental para desarrollar un buen proyecto el llevar a cabo un cierto bucle, cuyo fin estará puesto cuando el coste desarrollado por una iteración no sea compensable con el resultado de la misma.

5.2 Específicos de nuestro buque

Probablemente, una de las principales peculiaridades del proyecto es la inclusión de un tanque estabilizador pasivo en el espacio liberado por los viveros gracias al sistema de oxigenación. Tanto es así, que gran parte del proyecto se centrará, en gran medida, en su diseño.

Por otro lado, vemos que en el proyecto se nos dan requisitos relativos al arqueo, cosa lógica ya que este tipo de buque se trata de un buque de volumen, pero como podemos observar se nos ofrecen dos requisitos en el arqueo en TBR y GT, lo cual no será para nada

fácil de encajar (si bien es cierto que los dos nos dan una idea del volumen aprovechable en el barco, sus cálculos se basan en métodos diferentes).

Además nuestro buque debe dar una velocidad, en las condiciones indicadas, de 12 nudos y medio, una velocidad realmente elevada. Lo cierto, tal y como muestra la base de datos, es que este tipo de buques no suelen dar velocidades tan elevadas (los más rápidos se sitúan en los 12 nudos), lo que complica el proyecto.

Por la forma de trabajo de este tipo de barcos, se necesitarán cubiertas amplias de trabajo.

6 Metodología y criterios aplicados en el desarrollo del proyecto.

Bases de datos.

6.1 Normativa a aplicar en el desarrollo del proyecto.

La normativa a aplicable a este proyecto es la siguiente:

- Reglamento de la sociedad de clasificación Bureau Veritas.
- Convenio de Torremolinos.
- Reglamento para el reconocimiento de alojamientos a bordo de buques pesqueros de 1970.
- Convenio Internacional para las Líneas de carga de 1932.
- Reglamento Español de Arqueo de 1909 (Aplicación del sistema Moorsom).
- Convenio Internacional sobre Arqueo de Buques de la IMO (1969).
- Convenio de Seguridad de buques pesqueros, incluido en el SOLAS 74/88.
- Circular 9/77 de la Dirección General de Marina Mercante del Ministerio de Fomento.

6.2 Base de datos

Con el objetivo de dimensionar nuestro buque, en un punto de la espiral suficientemente próximo al final, tomaremos una base de datos de buques similares para extraer información sobre el nuestro.

No obstante, a parte de la información extraída de las bases de datos, se realizarán otras dos operaciones a la hora de dimensionar el buque.

Primeramente, tomando el arqueo en GT, y el buque más parecido al nuestro, que tomaremos como buque base, calcularemos un volumen de bodegas plausible para nuestro buque, ya que en la especificación del proyecto no se nos impone dicha capacidad de bodegas.

Además realizaremos un método directo de dimensionamiento mediante la referencia [32] para corroborar los resultados obtenidos en el dimensionamiento mediante regresiones en la base de datos.

En este caso se ha tomado una base de datos de 24 buques similares al nuestro. De esa base de datos, y mediante regresiones lineales, obtendremos las dimensiones de nuestro barco, que para que tengan la mayor validez posible, se les aplicará el siguiente contraste de hipótesis:

$$H_0 : \rho_{xy} = 0$$

$$H_1 : \rho_{xy} \neq 0$$

Siendo el estadístico del contraste:

$$t = \frac{r_{xy} \sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r_{xy}^2}} \text{ donde la región crítica es: } t/|t| > t_{\frac{\alpha}{2}, n-2}$$

Bajo H_0 sigue una distribución t de Student con $n-2$ grados de libertad.

De esta forma podremos descartar barcos que no pertenezcan a la familia del nuestro, obteniendo resultados mejores.

Las regresiones lineales nos darían ya datos aceptables, no obstante, el haber asumido regresiones lineales hace que exista un error asociado relacionado con el error cuadrático¹:

$$y_o - t_{\frac{\alpha}{2}} s \sqrt{1 + \frac{1}{n} + \frac{(x_o - \bar{x})^2}{S_{xx}}} < \mu_{\frac{y}{x_o}} < y_o + t_{\frac{\alpha}{2}} s \sqrt{1 + \frac{1}{n} + \frac{(x_o - \bar{x})^2}{S_{xx}}} \rightarrow \text{Ec. 1}$$

$$S_{xx} = \frac{n \sum_1^n x_i^2 - (\sum_1^n x_i)^2}{n}; S_{yy} = \frac{n \sum_1^n y_i^2 - (\sum_1^n y_i)^2}{n}; S_{xy} = \frac{n \sum_1^n x_i y_i - (\sum_1^n x_i)(\sum_1^n y_i)}{n}$$

$$s = \sqrt{\frac{SSE}{n-2}}; SSE = S_{yy} - bS_{xy}$$

Por tanto, lo que realmente obtendremos de las regresiones serán los intervalos entre los que se situarán nuestros valores. Para especificar los valores concretos se utilizará un script para Octave/Matlab que nos devolverá las combinaciones capaces de cumplir con las especificaciones y con requisitos impuestos de flotabilidad y estabilidad.

Se ha elaborado una base de datos de 24 buques, que se puede observar en el Anexo I.

De esta base de datos vamos a extraer información de nuestro buque.

6.2.1 Volumen del tanque estabilizador pasivo.

Nuestro proyecto dispone en sus tanques de viveros un sistema de oxigenación que permite reducir el volumen de los mismos aproximadamente un 50%. El espacio liberado pasa a ocuparlo el tanque estabilizador pasivo.

Por tanto podemos escribir que:

$$VV_{so} = 0.5 \cdot VV;$$

$$VV_{so} = VV + VTE;$$

De ambas ecuaciones sacamos que:

$$VTE = VV = 50 \text{ m}^3; \rightarrow \text{Ec. 2}$$

Esto no quiere decir que el tanque estabilizador vaya a tener 50 m^3 de volumen, y de hecho probablemente no los tenga, sino que ocupará ese espacio. El volumen del mismo dependerá de su diseño.

Lo que si que es cierto es que de cara a comparar nuestro buque con los de la base de datos se deberá tener en cuenta que el volumen de viveros de los otros buques se debe

¹ Conviene no olvidar que la regresión lineal no deja de ser un caso particular de las interpolaciones por mínimos cuadrados, o lo que es lo mismo, es la recta que cumple que todos los errores cuadráticos son mínimos.

comparar con la suma de los viveros y del tanque estabilizador del nuestro (que es dos veces el volumen de los tanques de viveros).

6.2.2 Cálculo del volumen de bodegas

El volumen de bodegas es un dato que necesitamos, y que por tanto debemos tomar como origen, y no podemos someter a un intervalo.

En primera aproximación, el volumen de bodegas lo podemos obtener como:

$$VB = VT - VV - VTE - VC \rightarrow \text{Ec. 3}$$

Pero para poder aplicar esa expresión debemos conocer nuestro volumen total², que obtendremos mediante regresión lineal regida por la expresión:

$$VT = f(VV + VC) \rightarrow \text{Ec. 4}$$

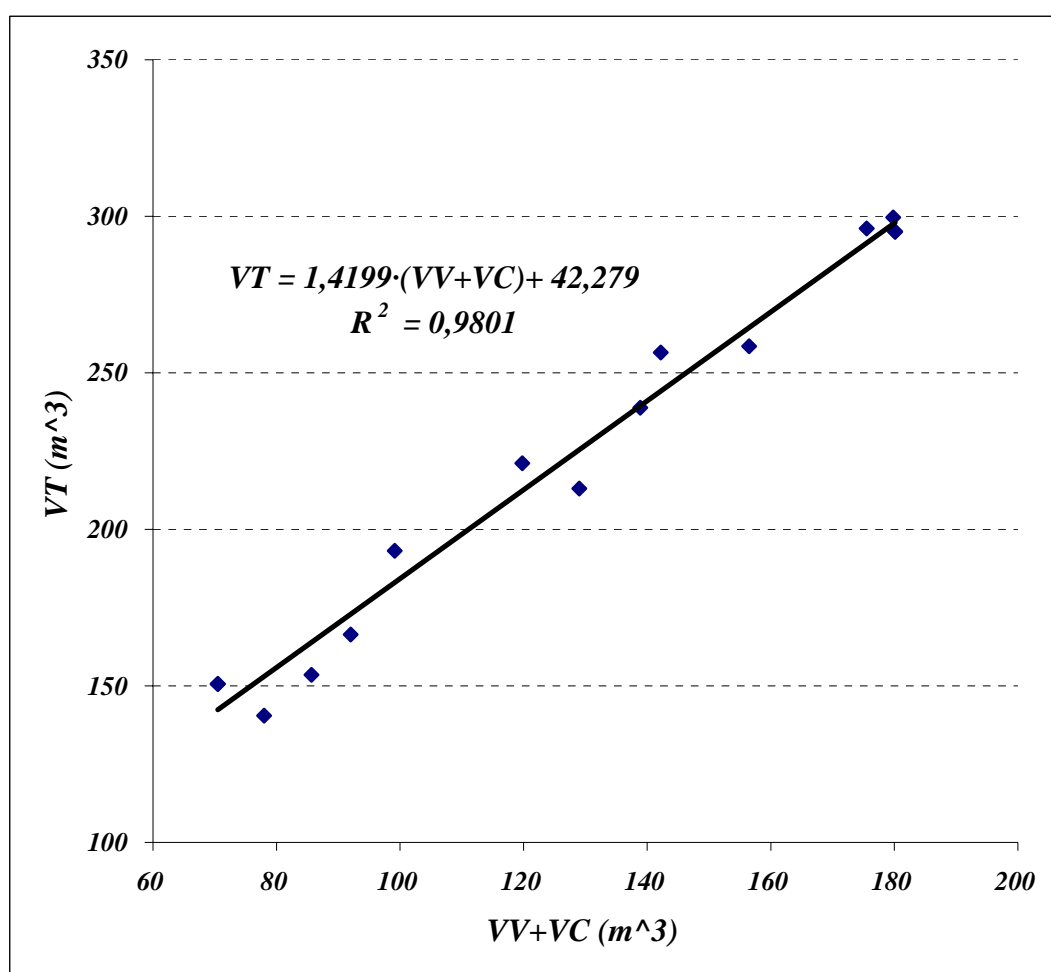


Figura 4. Regresión lineal del volumen total.

Llevamos a cabo el contraste de hipótesis antes explicado, con objeto de conocer la validez de la misma:

² Tomando como tal la suma de los volúmenes de tanques de viveros, bodegas, combustible, y estabilizadores pasivos en su caso.

$$t_{\frac{\alpha}{2}} = 2.1604 \text{ (13 grados de libertad)}$$

$$t = 25.30$$

Como:

$$|t| > t_{\frac{\alpha}{2}, n-2}$$

Podemos decir que la regresión es válida.

Así pues, conocida la función que relaciona el volumen total con el volumen de viveros y de combustible, y teniendo en cuenta la presencia del sistema de oxigenación y del tanque estabilizador pasivo, tenemos que:

$$VT = 1.4199 \cdot (50 + 50 + 70) + 42.279 \text{ m}^3 = 283 \text{ m}^3$$

Y aplicando la ecuación 3:

$$VB = 283 - 50 - 50 - 70 \text{ m}^3 = 113 \text{ m}^3 \rightarrow \text{Ec. 5}$$

No obstante, el volumen de bodegas es un dato crítico, y además es nuestro dato de partida, luego para dar validez al resultado tomaremos el buque Maral, el cuál es muy parecido a nuestro buque, y disponemos de una gran cantidad de información del mismo, y la información de la especificación del proyecto para obtener la capacidad de la bodega a partir de las toneladas de registro bruto.

De cara a dar cierta validez al razonamiento, al cuál se le podrían poner objeciones en cuanto a la razón de usar los GT, y no los TRB³, haremos uso de la siguiente expresión, extraída de la ref. [[41].-], que relaciona los TRB con los GT:

$$TRB = 0.3942 \left(\frac{GT}{0.1696} \right)^{\frac{2}{2.265}} - 8.3238 \left(\frac{GT}{0.1696} \right)^{\frac{1}{2.265}} + 102.52 = 131.4 \rightarrow \text{Ec. 6}$$

La especificación establecía concretamente 149TRB, luego existe una desviación del 12%, que partiendo del error asociado a la regresión, y el grado de aproximación que vamos a aplicar en el cálculo del volumen de bodega, indica que el resultado obtenido usando los TRB o los GT sería lo suficientemente próximo.

La expresión que establece la administración para el arqueo de buques en GT (Convenio Internacional sobre Arqueo de Buques del 23 junio de 1969) es la siguiente:

$$GT = K_1 \cdot V \rightarrow \text{Ec. 7}$$

Donde V es la suma del volumen de todos los espacios cerrados del buque (guardacalor específicamente exento).

K_1 es un factor que se define como sigue:

$$K_1 = 0.2 + 0.02 \cdot \log_{10}(V) \rightarrow \text{Ec. 8}$$

Por tanto, el arqueo en función del volumen resulta de combinar **Ec. 6** y **Ec. 7**:

$$GT = [0.2 + 0.02 \cdot \log_{10}(V)] V \rightarrow \text{Ec. 9}$$

³ En la actualidad la gran mayoría de los barcos se arquean en GT, luego sería razonable en cualquier caso usar ese dato.

Ecuación cuya solución no es trivial, pero que podemos resolver numéricamente. Así, para un arqueo de 230GT, el volumen total del buque debe ser tal que:

$$V_{230GT} = 895\text{m}^3 \rightarrow \text{Ec. 10}$$

Ahora debemos desglosar volúmenes hasta llegar al volumen de la bodega.

Primeramente debemos descartar todos los volúmenes sobre la cubierta de arqueo, que se puede suponer que serán los mismos que los de nuestro buque base:

$$V_{SCub} = 150\text{m}^3 \rightarrow \text{Ec. 11}$$

A este volumen debemos añadir un 10% en concepto de aberturas como escotillas, cuellos de viveros, tambuchos, etc.

$$V_{aberturas} = 0.1 \cdot V_{SCub} = 15\text{m}^3 \rightarrow \text{Ec. 12}$$

Por otra parte, el volumen de combustible es un dato del proyecto, por tanto podemos desglosarlo:

$$V_{Comb} = 70\text{m}^3 \rightarrow \text{Ec. 13}$$

Y podemos asumir que el volumen de tanques de3 aceite es del 10% del volumen de combustible:

$$V_{Aceite} = 0.1 \cdot V_{Comb} = 7\text{m}^3 \rightarrow \text{Ec. 14}$$

El agua dulce que el buque transportará a bordo del buque dependerá en gran medida de la autonomía del mismo, y del número de tripulantes, que viene determinada de alguna forma del volumen de combustible. Podemos por tanto establecer una relación del tipo:

$$V_{AD} = k \cdot n_{trip} \cdot V_{Comb} \rightarrow \text{Ec. 15}$$

Si calculamos k para el Maral, obtenemos 0.03, de tal forma que:

$$V_{AD} = 0.03 \cdot 15 \cdot 70\text{m}^3 = 32\text{m}^3 \rightarrow \text{Ec. 16}$$

De la especificación también podemos extraer el volumen de viveros:

$$V_{Viveros} = 50\text{m}^3 \rightarrow \text{Ec. 17}$$

Y como ya habíamos mencionado, el sistema de oxigenación permite reducir el volumen de viveros en un 50% aproximadamente, destinando el espacio liberado a la instalación de un tanque estabilizador, luego:

$$V_{TEstabilizador} = 50\text{m}^3 \rightarrow \text{Ec. 18}$$

El volumen de la cámara de máquinas lo podemos asumir igual al volumen de la cámara de máquinas del buque Maral:

$$V_{CM} = 150\text{m}^3 \rightarrow \text{Ec. 19}$$

El local del servo podemos considerar un local del servo con una superficie de 10m^2 , y un puntal de 2m:

$$V_{LS} = 20\text{m}^3 \rightarrow \text{Ec. 20}$$

Respecto al volumen destinado a habilitación y paños podemos considerar que:

$$V_{\text{Hab}} = k \cdot n_{\text{trip}} \rightarrow \text{Ec. 21}$$

Donde k lo podemos tomar como 10m^2 por tripulante, de tal forma que tenemos un volumen para habilitación de:

$$V_{\text{Hab}} = 10 \cdot 15\text{m}^3 = 150\text{m}^3 \rightarrow \text{Ec. 22}$$

Por último debemos considerar un 10% del volumen total en tanques de lastre, doubles fondos vacíos, espacios de la línea de ejes, y otros espacios:

$$V_{\text{Otros}} = 0.1 \cdot V_{230\text{GT}} = 0.1 \cdot 895\text{m}^3 = 90\text{m}^3 \rightarrow \text{Ec. 23}$$

Sumando todos estos volúmenes desglosados obtenemos:

$$V = 784\text{m}^3 \rightarrow \text{Ec. 24}$$

De tal forma que el volumen de la bodega se puede calcular como el resto hasta alcanzar el volumen correspondiente al arqueo del buque:

$$V_{\text{Bodega}} = V_{230\text{GT}} - V = 895 - 783\text{m}^3 = 111\text{m}^3 \rightarrow \text{Ec. 25}$$

Luego un buen volumen de bodegas parece ser de 110m^3 aproximadamente.

6.2.3 Buques similares

En este punto estamos en posición de determinar que buques guardan un mayor parecido con nuestro buque. Si tomamos el siguiente indicador:

$$\lambda = 100 - \frac{\frac{VV_b}{VV_p + VTE_p} + \frac{VC_b}{VC_p} + \frac{VB_b}{VB_p}}{3} \cdot 100 \rightarrow \text{Ec. 26}$$

Como función de similitud de nuestro buque a los de la base de datos, podemos extraer los barcos más parecidos al nuestro. Los subíndices b definen los datos provenientes de la base de datos, mientras que los subíndices p marcan los datos provenientes del buque a proyectar.

Buques similares al de proyecto	
Nombre	λ (%)
MARAL	0.2
IRIGOIEN BERRIA	8.0
AZKOITIA	9.3
RIA DE MUROS	10.5
SAN ROQUE DIVINO	11.32
SANTÍSIMO BARQUERO	12.7
SANTA LUCÍA	13.1

Tabla 1. Buques de la base de datos más parecidos al proyecto.

Estos cálculos nos serán de gran utilidad más adelante, cuando tengamos que elegir entre las distintas alternativas posibles.

6.2.4 Cálculo del desplazamiento

El desplazamiento lo obtendremos aplicando la regresión lineal regida por la expresión:

$$\Delta = f(VT) \rightarrow \text{Ec. 27}$$

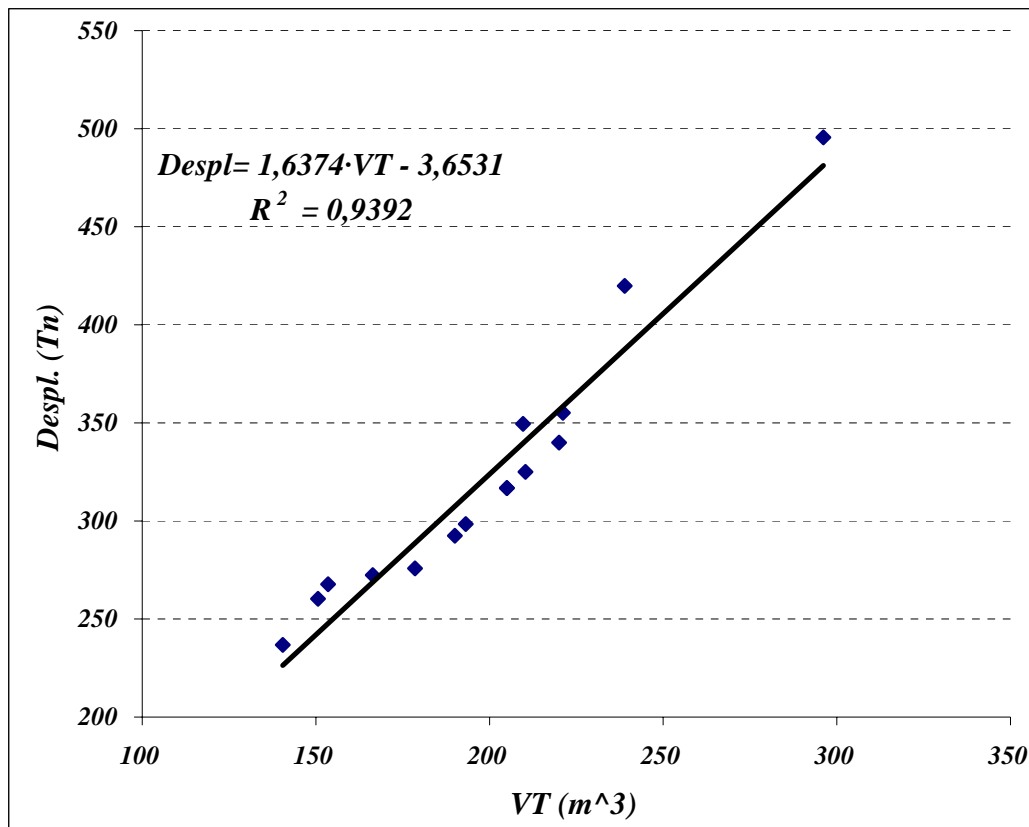


Figura 5. Desplazamiento en función del volumen total.

Comenzamos comprobando la validez de la regresión aplicando el contraste de hipótesis.

$$t_{\frac{\alpha}{2}} = 2.1604 \text{ (13 grados de libertad)}$$

$$t = 14.17$$

Como:

$$|t| > t_{\frac{\alpha}{2}, n-2}$$

Tendremos que la suposición de linealidad es válida.

De esta forma podemos obtener el desplazamiento:

$$\Delta = 1.6374 \cdot (283) - 3.6531 \text{ Tn} = 460 \text{ Tn} \rightarrow \text{Ec. 28}$$

Pero lo cierto es que alrededor de ese valor del desplazamiento existe un intervalo de incertidumbre marcado por el error cuadrático, y dentro del cuál cualquier valor es plausible⁴. Calculamos el radio máximo del intervalo:

$$S_{xx} = 21702.28; S_{yy} = 61971.73; S_{xy} = 35535.47; SSE = 3765.69; s = 17.02$$

$$t_{\frac{\alpha}{2}} s \sqrt{1 + \frac{1}{n} + \frac{(x_0 - \bar{x})^2}{S_{xx}}} = 37 \text{ Tn}$$

⁴ Esto no quiere decir que los valores fuera del intervalo no sean posibles, pero la probabilidad de que se encuentre allí el valor más acertado es muy baja.

Y por tanto podemos establecer como intervalo de valores de desplazamiento deseables los siguientes:

$$\Delta = 460 \pm 37 \text{ Tn}$$

No obstante, con esa información no nos es suficiente, necesitamos una relación entre el desplazamiento y el calado.

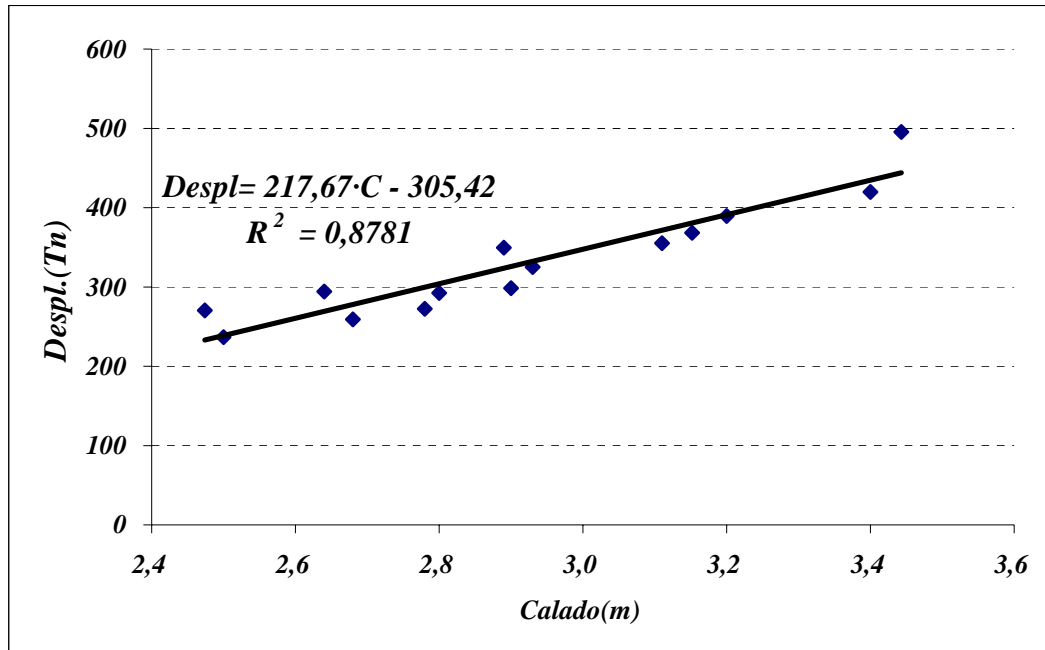


Figura 6. Relación entre desplazamiento y calado.

Al que debemos aplicar el contraste de hipótesis para conocer su validez:

$$t_{\frac{\alpha}{2}} = 2.1604 \text{ (13 grados de libertad)}$$

$$t = 14.17$$

Como:

$$|t| > t_{\frac{\alpha}{2}, n-2}$$

Tendremos que la hipótesis es válida.

6.2.5 Peso Muerto.

El peso muerto puede establecerse como según una relación lineal del volumen total de tanques, aunque nosotros dejaremos fuera los tanques de agua dulce, como ya hemos hecho antes, pues no tenemos información sobre la misma en este momento.

Así pues aplicamos la regresión lineal regida por la siguiente ecuación:

$$PM = f(VT) \rightarrow \text{Ec. 29}$$

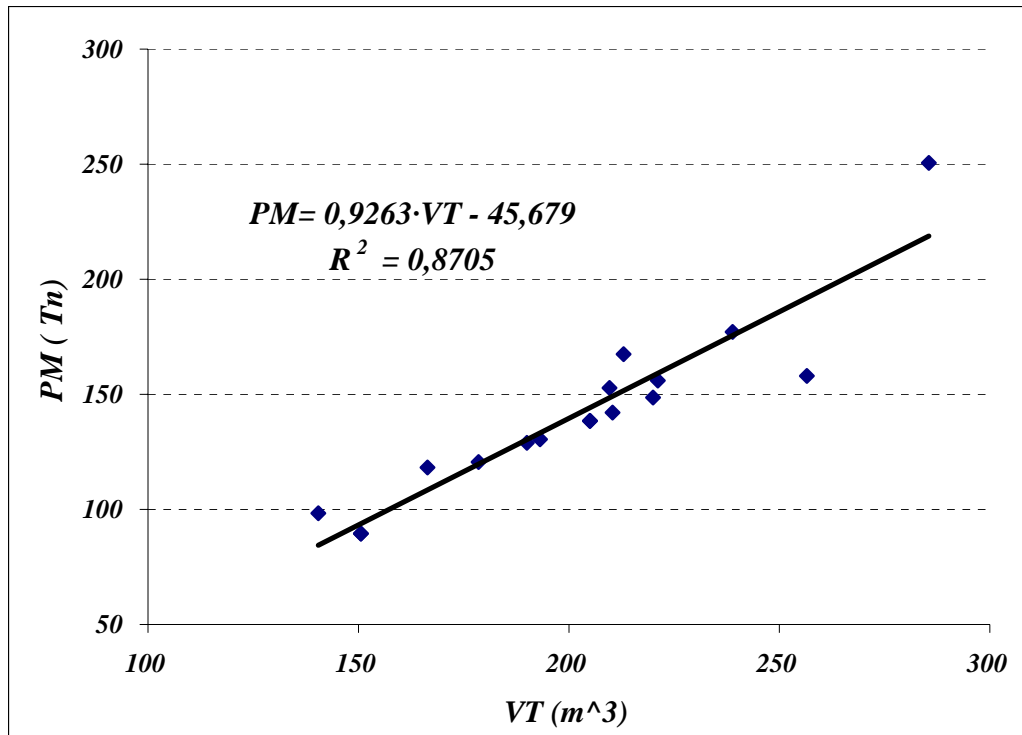


Figura 7. Relación entre peso muerto y volumen total de tanques.

Necesitamos garantizar que todos los barcos pertenecían a la misma familia:

$$t_{\frac{\alpha}{2}} = 2.1314 \text{ (15 grados de libertad)}$$

$$t = 10.04$$

Como:

$$|t| > t_{\frac{\alpha}{2}, n-2}$$

La regresión es válida. Así pues, podemos obtener el peso muerto:

$$PM = 0.9263 \cdot (283) - 45.679 \text{ Tn} = 216.5 \text{ Tn} \rightarrow \text{Ec. 30}$$

Igual que antes, este valor está ligado a un intervalo de confianza:

$$S_{xx} = 23780.62; S_{yy} = 23044.18; S_{xy} = 21657.01; SSE = 2983.72; s = 14.10$$

$$t_{\frac{\alpha}{2}} s \sqrt{1 + \frac{1}{n} + \frac{(x_0 - \bar{x})^2}{S_{xx}}} = 30.3 \text{ Tn}$$

Lo que nos da el intervalo de valores posibles del peso muerto:

$$PM = 216.5 \pm 30.3 \text{ Tn} \rightarrow \text{Ec. 31}$$

El peso en rosca lo calcularemos más tarde, cuando el script de Octave/Matlab nos devuelva los posibles valores de peso muerto y desplazamiento, y elijamos uno de ellos, aplicando la siguiente expresión:

$$\Delta = PM + PR \rightarrow \text{Ec. 32}$$

6.2.6 Eslora entre perpendiculares

Para hallar la eslora entre perpendiculares se supone al igual que en los anteriores que ésta procede de una función lineal del volumen total.

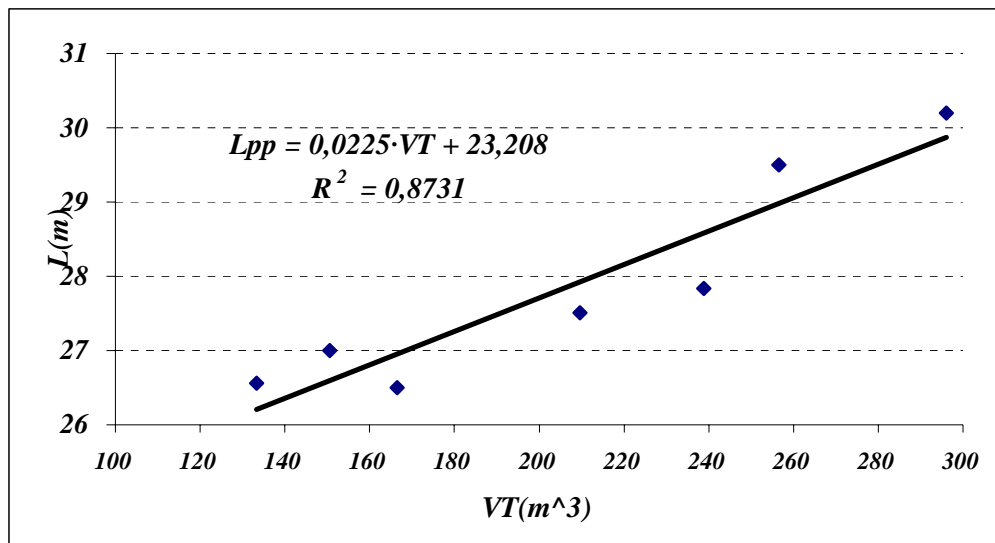


Figura 8. Relación entre la eslora entre perpendiculares y el volumen total.

Nuevamente aplicamos el contraste de hipótesis:

$$t_{\frac{\alpha}{2}} = 2.571 \text{ (5 grados de libertad)}$$

$$t = 5.87$$

Como:

$$|t| > t_{\frac{\alpha}{2}, n-2}$$

Tendremos que la regresión lineal es válida.

Obtenemos por tanto el centro del intervalo de confianza:

$$Lpp = 0.0225 \cdot (283) + 23.208 \text{ m} = 29.5 \text{ m} \rightarrow \text{Ec. 33}$$

Valor asociado al intervalo de confianza:

$$S_{xx} = 21678.25; S_{yy} = 12.57; S_{xy} = 487.70; SSE = 1.59; s = 0.56$$

$$t_{\frac{\alpha}{2}} s \sqrt{1 + \frac{1}{n} + \frac{(x_0 - \bar{x})^2}{S_{xx}}} = 1.5 \text{ m}$$

Lo que nos da el conjunto de posibles valores de la eslora entre perpendiculares:

$$Lpp = 29.5 \pm 1.5 \text{ m} \rightarrow \text{Ec. 34}$$

6.2.7 Calado

El cálculo del calado no será realizado directamente, puesto que al igual que ocurría con el peso en rosca, es una magnitud que depende de otra aún desconocida.

Concretamente la relacionaremos con la eslora, hallando la relación adimensional:

$$\frac{Lpp}{C}$$

Esta se obtendrá como promedio de las de los buques más parecidos al nuestro.

$$\frac{Lpp}{C} = 8.9 \pm 1.9$$

Una vez conozcamos el valor de la eslora, conoceremos el del calado.

6.2.8 Manga

Actuamos de la misma forma que en el apartado anterior, buscando el promedio de las relaciones adimensionales:

$$\frac{L}{B}$$

Que resulta como:

$$\frac{L_{pp}}{B} = 3.92 \pm 0.76$$

6.2.9 Puntal

Y de la misma forma la manga la obtendremos según:

$$\frac{B}{P} = 2.02 \pm 0.39$$

7 Soluciones adoptadas.

Tenemos ya unos intervalos de valores plausibles para las distintas dimensiones del buque, y ahora nos disponemos a dar las combinaciones de los mismos que podrían ser válidas, para, en el próximo cuaderno, optar por una de ellas.

Empecemos estableciendo los criterios que aplicaremos para obtenerlas.

7.1 *Criterios para filtraje de soluciones*

7.1.1 Estabilidad

La estabilidad será evaluada a partir de los criterios ofrecidos por Grávalos en su artículo “Proyecto de Buques Pesqueros”, este artículo permitía evaluar la estabilidad inicial a partir de la altura metacéntrica ⁵(por la Administración ésta no debe ser inferior a 0.35 m) y la estabilidad a grandes ángulos evaluando el brazo metacéntrico a 30° (por el criterio de Rahola el brazo adrizante no debe ser inferior a 0.2 m.).

La evaluación de éstos según el artículo de Grávalos se debía hacer por medio de gráficos, evidentemente este formato de resolución no era viable para su programación en MATLAB por lo que se emplearon polinomios de tercer orden para su resolución.

En el caso de GM , el polinomio tendrá la forma:

$$\frac{GM}{\sqrt{B \cdot C}} = 1.3717 \cdot \left(\frac{B}{P}\right)^3 - 7.9833 \cdot \left(\frac{B}{P}\right)^2 + 15.857 \cdot \left(\frac{B}{P}\right) - 10.631$$
$$GM = (\sqrt{B \cdot C}) \cdot (1.3717 \cdot \left(\frac{B}{P}\right)^3 - 7.9833 \cdot \left(\frac{B}{P}\right)^2 + 15.857 \cdot \left(\frac{B}{P}\right) - 10.631) \rightarrow \text{Ec. 35}$$

Para el caso de GZ , tendremos que el polinomio empleado tiene la forma:

⁵ Para el cálculo de estos polinomios se obtuvo el suficiente número de puntos de las gráficas ofrecidas por Grávalos, para poder realizar un adecuado ajuste por el método de mínimos cuadrados.

$$\frac{GZ}{\sqrt{B \cdot C}} = -0.157 \cdot \left(\frac{B}{P}\right)^3 + 0.8985 \cdot \left(\frac{B}{P}\right)^2 - 1.5961 \cdot \left(\frac{B}{P}\right) + 0.9105$$

$$GZ = (\sqrt{B \cdot C}) \cdot (-0.157 \cdot \left(\frac{B}{P}\right)^3 + 0.8985 \cdot \left(\frac{B}{P}\right)^2 - 1.5961 \cdot \left(\frac{B}{P}\right) + 0.9105) \rightarrow \text{Ec. 36}$$

En la **figura 9**, se han dibujado ambos polinomios cúbicos, explicando que en abscisas se han puesto los coeficientes adimensionales que empleo Grávalos en su artículo, estos coeficientes adimensionales son:

La altura metacéntrica:

$$a \dim.GM = \frac{GM}{\sqrt{B \cdot C}}$$

El brazo metacéntrico:

$$a \dim.GZ = \frac{GM}{\sqrt{B \cdot C}}$$

Esta forma de cálculo ha sido validada con resultados reales de los buques más parecidos al nuestro y vemos que el cálculo de la altura metacéntrica es comparativamente pobre, ya que da valores más pequeños de los reales⁶, aunque nosotros emplearemos estas fórmulas directamente, ya que son más conservadoras, aunque luego en el Cuaderno 2 serán debidamente corregidas.

⁶ Con una relación de ajuste de un 1.45, por lo que los valores son aproximadamente un 45% más pequeños que lo que deberían ser en realidad.

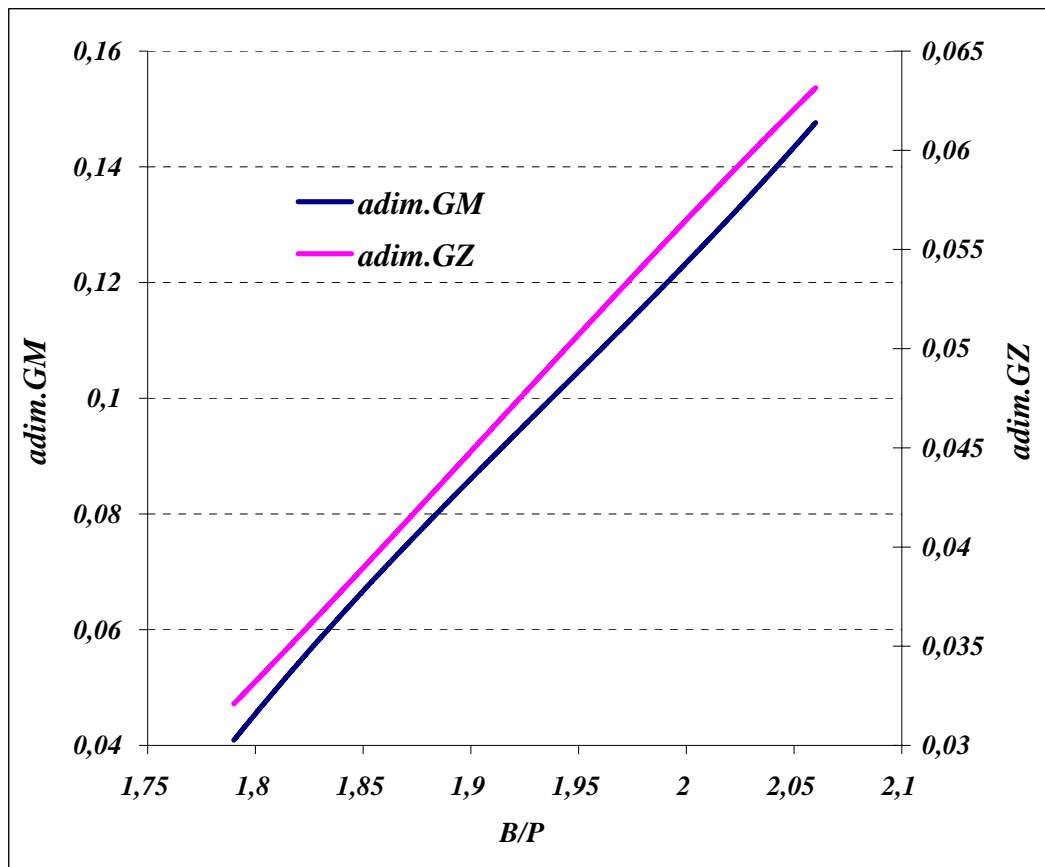


Figura 9. Polinomios cúbicos de interpolación.

7.1.2 Flotabilidad

La flotabilidad es garantizada por medio de la comprobación del francobordo de nuestro buque. Como bien sabemos la normativa para buques pesqueros de acero de puntales inferiores de 4,5 metros⁷ deben tener un francobordo mínimo igual o superior al que se deduce de la fórmula:

$$f \geq \frac{P}{15} + 0.15 \rightarrow \text{Ec. 37}$$

7.1.3 Restricciones volumétricas

Debemos hacer comprobaciones referidas tanto del TBR como de GT. Para ejecutar la comprobación del TBR, emplearemos una relación del siguiente tipo:

$$TBR = k_{TBR} \cdot L_{pp} \cdot B \cdot P \rightarrow \text{Ec. 38}$$

Donde todo lo anterior es conocido menos k_{TBR} , la que se calculará recurriendo a nuestra base de datos y haciendo el promedio de las más significativas:

⁷ Para buques de puntal mayor se calcularía el valor del francobordo utilizando las Reglas del Convenio Internacional de Líneas de Carga.

$$k_{TBR} = 0.211^8 \rightarrow \text{Ec. 39}$$

Por otro lado, para comprobar el GT, se ha tenido en cuenta que:

$$\begin{aligned} V_{arqueo} &= k_{arqueo} \cdot L_{pp} \cdot B \cdot P \\ GT &= (0.2 + 0.02 \log_{10}(V_{arqueo})) \cdot V_{arqueo} \end{aligned} \rightarrow \text{Ec. 40}$$

En donde todo sería conocido menos k_{arqueo} , realizando su cálculo de forma similar a k_{TBR} , tenemos que:

$$k_{arqueo} = 1.235$$

7.1.4 Relativas a Desplazamiento

A partir de la base de datos hemos obtenido un intervalo para el desplazamiento, éste está basado en buques ya construidos, por lo que se ha puesto la condición de que el desplazamiento esté contenido en el espacio ofrecido. Así nuestro barco, no nos saldrá con unas condiciones muy distintas a los de la base de datos.

7.1.5 Relativas a Peso Muerto

Al igual que en el caso del desplazamiento se ha puesto una restricción en cuanto al intervalo (6.2.5), además de una de valor máximo que viene dada en función del peso en rosca, para que nos salgan soluciones en las que el peso muerto sea muy mayor al peso en rosca, solución que no es típica en este tipo de buques (según observamos en la base de datos.)

Para el cálculo del peso en rosca se han empleado las fórmulas de J. María Garcés⁹ según las cuales:

$$PR = PEst + PRe \rightarrow \text{Ec. 41}$$

$$PEst = pesp_{est} \cdot L^{1.5} \cdot B \cdot P^{0.5} \rightarrow \text{Ec. 42}$$

$$PRe = pesp_{re} \cdot L^{1.3} \cdot B^{0.8} \cdot P^{0.3} \rightarrow \text{Ec. 43}$$

Donde con $PEst$, nos referimos al peso de la estructura del buque, así como PRe involucra el resto de pesos no considerados en la anterior (viveros, material de pesca, habilitación del buque...)

Por medio de sistemas similares a los empleados para el arqueo se ha obtenido que:

$$pesp_{est} = 0.06524$$

Por otro lado:

$$pesp_{re} = 0.13106$$

7.1.6 Comportamiento en la mar.

Se han programado también criterios mínimos de inmersión de la hélice, el diámetro de la ésta es hallada por el método de Amadeo, y sabiendo que ésta debe tener su extremo a una

⁸ Este cálculo se ha tomado como válido, sin considerar el posible error. En cualquier caso se ha visto que la desviación estándar es de 0.024, bastante pequeña por lo que el valor obtenido es significativo.

⁹ Doctor Ingeniero Naval

distancia mínima de la flotación de $0.1D_h$, podemos realizar la correspondiente comprobación si bien es cierto como se verá luego este criterio es superado por todas las alternativas.

$$D_h = 1 + \frac{L_{pp}}{0.07 \cdot L_{pp} + 20} \rightarrow \text{Ec. 44}$$

7.2 Script de filtraje

El script Octave/Matlab está básicamente dividido en dos partes, una primera de filtraje, donde se obtienen las alternativas posibles, o combinaciones válidas de valores, y una segunda que busca entre esas soluciones la más indicada.

En este cuaderno nos ocupa exclusivamente la parte que obtiene los valores posibles.

La idea principal es una rutina que prueba las posibles combinaciones posibles de Eslora, calado, manga y puntal, estos tres últimos a partir de sus coeficientes adimensionales citados en 6.2.7, 6.2.8 y 6.2.9. A cada combinación posible se la aprueba o descarta aplicando los criterios de filtrado expuestos en 7.1.1, 7.1.2, 7.1.3, 7.1.4, 7.1.5 y ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..

Por simples cuestiones numéricas, no se pueden analizar todas las alternativas en el espacio continuo, así que se optará por buscar alternativas cada 0.1 metros de eslora entre perpendiculares, y a incrementos de 0.05 en las relaciones adimensionales. Un conjunto de incrementos menor llevaría un tiempo de cálculo considerablemente más grande, sin un beneficio palpable.

La rutina puede encontrarse en el **Anexo II**.

7.3 Resultados obtenidos

Una vez completado el script este nos devuelve la siguiente información:

Condiciones analizadas = 94464

Validas = 11

Rechazadas = 94453

Por francobordo = 43.9891%

Por GZ = 19.8914%

Por GM = 33.3944%

Por TRB = 46.9673%

Por GT = 57.1247%

Por C. en la mar = 0%

Por peso muerto = 83.5347%

Por peso muerto máximo = 29.3373%

Por desplazamiento = 80.1923%

Ahora puedes acceder los vectores soluciones (ver script).

Solamente el 0.01% de las alternativas eran válidas, el resto han sido descartadas, la mayoría porque nos sacarían de los intervalos de peso muerto y desplazamiento que habíamos establecido como válidos.

Podemos entonces presentar las alternativas válidas:

Alt.	Lpp(m)	B(m)	C(m)	P(m)	PM(Tn)	PR(Tn)	Despl(Tn)	GM(m)	GZ(m)	TBR	GT
1 ^a	28.0	7.3	3.4	3.8	218.4	210.5	428.9	0.426	0.347	149	230
2 ^a	28.2	7.3	3.4	3.9	219.4	214.7	434.1	0.429	0.348	149	232
3 ^a	28.2	7.5	3.4	3.8	207.6	217.7	425.3	0.620	0.447	149	232
4 ^a	28.2	7.3	3.4	3.9	210.6	214.7	425.3	0.427	0.350	150	232
5 ^a	28.4	7.2	3.4	3.8	219.0	211.5	430.5	0.424	0.347	149	230
6 ^a	28.6	7.2	3.4	3.8	220.0	215.7	435.7	0.427	0.348	149	231
7 ^a	28.8	7.2	3.4	3.8	211.3	215.7	427.0	0.425	0.350	150	231
8 ^a	28.8	7.3	3.4	3.8	221.0	219.9	440.9	0.430	0.349	151	233
9 ^a	28.8	7.3	3.4	3.8	212.2	219.9	432.1	0.428	0.351	151	233
10 ^a	28.8	7.3	3.3	3.8	203.6	219.9	423.5	0.425	0.353	151	233
11 ^a	29.2	7.2	3.4	3.8	204.3	220.9	425.2	0.423	0.353	149	230

Tabla 2. Resumen de alternativas.

8 Bibliografía general.

En este apartado se presenta la bibliografía empleada a lo largo de todo el proyecto. Con esta forma de proceder, la bibliografía se mantendrá viva a lo largo de todo el proyecto, creciendo según vayamos realizando trabajo, y acudiendo a nueva bibliografía.

- [1].- Meizoso Fernández, M. (1997) *Apuntes de proyectos*.
- [2].- García Garcés, J.L., Meizoso Fernández, M. (2000) Desplazamiento, cálculo iterativo del peso en rosca y peso muerto.
- [3].- Grávalos, J.J. (1968) *Proyecto de buques pesqueros*. Ingeniería Naval.
- [4].- García. (1991) *Predicción de potencia y optimización del bulbo de proa en buques pesqueros*. Canal Experiencias Hidrodinámicas del Pardo.
- [5].- Garza, M.D. (2008) *La actividad pesquera mundial: una revisión por países*.
- [6].- Nuñez Basáñez, J.F., Santos Rodríguez, L. (1994) *Fundamentos de Pesca*.
- [7].- Nuñez Basáñez, J.F. (1984) *Apuntes sobre buques pesqueros*.
- [8].- Nuñez Basáñez, J.F. (2008) *Oceanografía biológica*.
- [9].- Martín Landaluce, A. Moreu Gamazo, J. (2009) *Buque de investigación oceanográfica y pesquera*.
- [10].- Revistas Ingeniería Naval y Rotación.
- [11].- O'Dogherty, P. Carlier, M. (1982) *Proyecto Hidrodinámico de buques atuneros*.

- [12].- Meizoso Fernández, M. (1990) *Ecuación del desplazamiento, peso en rosca y peso muerto*.
- [13].- Olivilla Puig, J. *Teoría del buque. Flotabilidad y Estabilidad, Casos Prácticos*.
- [14].- Olivella Puig, J. *Teoría del buque. Flotabilidad y Estabilidad*.
- [15].- Pérez Rojas, L. *Hidroestática y Estabilidad*.
- [16].- Souto Iglesias, A. Sanchez Sanchez, J.M. *Problemas de cálculo numérico para ingenieros con aplicaciones matlab*.
- [17].- García Gómez (1991), A. *Predicción de potencia y optimización del bulbo de proa en buques pesqueros*. Canal de Experiencias Hidrodinámicas del Pardo. Madrid.
- [18].- Carlier de Laval, M. (1985) *Análisis hidrodinámico y proyecto del bulbo de proa*. E.T.S.I. Navales (UPM). Madrid.
- [19].- Instituto Nacional de Estadística. <http://www.ine.es>
- [20].- Mayador GID. <http://gid.cimne.upc.es/>
- [21].- Pérez Gómez, G. (1998) *Detailed design of ship propellers..* Fondo Editorial de Ingeniería Naval.
- [22].- Souto Iglesias, A. (2001) *Nuevas herramientas de diseño de formas de buques basadas en códigos de flujo potencial*.
- [23].- Baquero, A. (1987) *La maniobrabilidad del buque pesquero*.
- [24].- Torroja, J. (1987). *Apuntes de proyectos*. ETSIN.
- [25].- Fernández González, F. (2004). *Fundamentos de la Construcción Naval y Oceánica*. Francisco. ETSIN.
- [26].- Panadero Pastrana, J. (2004). *Fundamentos de la Construcción Naval y Oceánica*. ETSIN.
- [27].- *Convenio Internacional para la seguridad de buques pesqueros*. Torremolinos 77.
- [28].- Motores MTU: <http://www.mtu-online.com/>
- [29].- Martín Pérez, J. y Martín Juan, J. *Apuntes de electricidad aplicada a los buques*. ECU.

- [30].- López Piñeiro, A. (2007). *Sistemas eléctricos y electrónicos a bordo: diseño general de la planta eléctrica*. ETSIN..
- [31].- López Piñeiro, A. (2004). *Electricidad aplicada al buque: iluminación a bordo*. ETSIN.
- [32].- Apostolos D. Papanikolaou (1994). *Estimation of general characteristics of fishing vessels*. ETSIN.
- [33].- O' Dogherty. (1984). *Comportamiento en la mar de buques pesqueros*. Ingeniería Naval.
- [34].- Meizoso Fernández, M. (1977). *Cálculo del peso de equipo con precisión progresiva en las diferentes etapas del proyecto del buque*.
- [35].- Timoshenko , S. (1959). *Theory of Plates and Shells*.
- [36].- G.Å. Øye and K.M. Gjerde. (2009). *3D CFD Simulation of Roll Passive Dampening Tanks*. III International Conference on Computational Methods in Marine Engineering, Trondheim, Norway.
- [37].- Abad Arroyo, R. (1988). *Estudio de los movimientos del buque y su amortiguamiento por estabilizadores activos*. ETSIN.
- [38].- Álvarez Campana. J. M. *Comportamiento del buque en la mar, Fundamentos*. E.T.S.I.N.
- [39].- Álvarez Campana. J. M. *Comportamiento del buque en la mar, Aplicación*. E.T.S.I.N.
- [40].- Torroja, J. (1987). *Apuntes de proyectos*. E.T.S.I.N.
- [41].- Sub-Committee on stability and load lines and on fishing vessels safety of IMO (International Maritime Organization). (2010). *Legal and technical options to facilitate and expedite the earliest possible entry into force of the 1993 Torremolinos protocol*. IMO.

9 Acrónimos

λ , Coeficiente comparador con buques de la base de datos (6.2)

VV , Volumen de viveros (6.2)

VC , Volumen de combustible (6.2)

VB , Volumen de bodegas (6.2)

VT , Volumen total, incluye viveros, combustible, bodegas, y tanque estabilizador en su caso. (6.2.2)

$Despl$, Desplazamiento (6.2.4)

PM , Peso muerto (6.2.5)

PR , Peso rosca (6.2.5)

Lpp , Eslora entre perpendiculares (6.2.6)

C , Calado (6.2.7)

B , Manga(6.2.8)

P , Puntal (6.2.9)

GM , Altura metacéntrica (7.1.1)

GZ , Brazo metacéntrico (7.1.1)

f , Francobordo (7.1.2 **Figura 9.**)

k_{TBR} , Coeficiente de ajuste TBR (7.1.3)

TBR , Toneladas de registro bruto(7.1.3)

k_{arqueo} , Coeficiente de ajuste GT (7.1.3)

$pesp_{est}$, Coeficiente de ajuste peso de estructura (7.1.5)

$pesp_{re}$, Coeficiente de ajuste del peso no contenido en el de la estructura (7.1.5)

D_h , Diámetro hélice (7.1.6)

Anexo I: Base de datos.

BUQUES/DIMEN.	Tripulación	Ltotal (m)	Lreg (m)	Lpp (m)	B (m)	P (m)	Despl. (Tn)	P.R. (Tn)	X rosca (m)	Z rosca (m)	P.M. (Tn)	Cm (m)	f (m)	VComb. (m^3)
BETI SAN LUIS	10	33,80	32,10	29,50	7,30	3,80	355,17	199,18	12,66	2,45	155,99	3,11	0,69	44,53
BETI SAN JUAN	14	31,20	29,24	26,56	6,20	3,18	270,39	161,41	11,99	2,30	108,98	2,47	0,71	21,34
IRIGOIEN BERRIA	12	32,10	30,10	29,50	6,80	3,60	368,34	210,33	13,33	2,79	158,00	3,15	0,45	64,84
NUEVO VIRGEN DE PIEDAD	14	29,85	28,20	27,10	6,90	3,25	236,83	138,49	12,40	2,33	98,33	2,50	0,75	27,05
GUILLERMITA	14	28,21	27,90	26,50	6,30	3,16	272,42	165,58	12,38	2,48	118,25	2,78	0,38	40,11
SANTA GEMA QUINTO	14	29,20	28,50	27,00	7,20	3,60	385,61	266,08	12,16	2,79	89,48	2,63	0,97	26,01
NUEVO ERMITA	14	29,20	27,40	24,00	6,80	3,30	292,45	128,95	10,28	2,64	128,95	2,80	0,50	60,00
MARAL	14	28,60	28,10	27,51	7,00	3,14	349,53	196,75	12,51	2,33	152,78	2,89	0,25	89,80
MONTE MAZANTEU	14	27,30	25,23	22,40	7,00	3,13	325,05	182,97	12,89	2,43	142,08	2,93	0,20	63,36
RÍA DE MUROS	11	25,00	24,05	23,10	7,00	3,13	275,85	155,27	12,49	2,36	120,58	2,91	0,22	76,52
TOBALINA	13	26,30	24,30	23,88	7,00	3,21	298,42	167,98	11,49	2,52	130,44	2,90	0,31	72,13
STANFISHER 2700	15	27,00	23,95	26,61	7,70	3,75	339,94	191,35	11,45	2,52	148,59	3,54	0,21	78,00
RIAZOR	13	29,20	25,00	27,38	7,30	3,80	316,76	178,30	12,35	2,53	138,46	3,01	0,79	90,00
XEOS	13	29,20	25,00	23,46	7,30	3,80	316,76	178,30	12,35	2,53	138,46	3,01	0,79	90,00
AITA FRAXKU	14	31,50	29,60	28,40	8,00	3,80	291,35	178,15	12,28	2,76	113,20	2,96	0,84	60,00
SAN ROQUE DIVINO	14	27,50	26,10	24,00	6,80	3,35	329,20	135,17	12,18	2,73	130,00	2,68	0,67	70,00
SATÍSIMO BARQUERO	14	28,10	25,95	24,58	7,20	3,60	294,16	1189,45	10,61	2,85	175,00	2,64	0,96	60,00
EZEQUIEL	14	29,29	27,85	26,00	7,12	3,57	260,31	170,83	12,16	2,79	89,48	3,05	0,52	26,01
SANTA LUCÍA	16,00	29,98	28,10	26,00	7,20	3,82	389,44	222,00	13,40	2,34	167,44	3,20	0,62	60,00
RIAZOR	13,00	29,20	25,00	27,38	7,30	3,80	316,76	178,30	12,35	2,53	138,46	3,01	0,79	90,00
AZKOITIA	14,00	30,34	29,10	27,84	7,40	4,00	419,87	242,73	10,30	2,45	177,14	3,40	0,60	63,23
SATÍSIMO BARQUERO	14,00	28,10	25,95	24,58	7,20	3,60	294,16	119,16	10,61	2,85	175,00	2,64	0,96	60,00
EZEQUIEL	14,00	29,29	27,85	26,00	7,12	3,57	260,31	170,83	12,16	2,79	89,48	3,05	0,52	26,01
AGUSTÍN DEUNA	16,00	34,60	31,60	30,20	7,20	4,05	495,54	245,00	13,20	2,57	250,54	3,44	0,61	82,24

Tabla 3. Base de datos de buques boniteros del Cantábrico.

Anexo II: Script Octave/Matlab para el dimensionamiento.

1 main.m

```
%% Script que busca entre todas las combinaciones plausibles
% de valores aquellos que son validos, siguiendo criterios de:
% - Flotabilidad
% - Estabilidad
% - Restricciones volumetricas
% - Desplazamiento
% - Peso muerto
% - Comportamiento en la mar
%

% Limpiamos el buffer
clear all
% Establecemos los enteros como "long int"
format long

%% Bloque 1.
% Establecemos las variables del problema.
%

% Inputs para la funcion Amadeo (estimacion de la resistencia)
bul=0;           % Sin bulbo
lb=0;            % Eslora del bulbo
etad=0.6;        % Rendimiento propulsivo
etam=0.97;       % Rendimiento mecanico

% Especificacion del proyecto
vb=12.5*0.5144;  % Velocidad en m/s

% Propiedades del agua
```

ro=1.025; % densidad del agua salada_en Tn/m^3
roa=1025; % densidad del agua salada en kg/m^3
visc=1.1883e-6; % viscosidad cinemática en m2/s

% Intervalo de desplazamientos validos (Tn)
DesplInt=[460-37,460+37];

% Intervalo de Pesos muertos validos (Tn)
PMInt=[216.5-30.3,216.5+30.3];

% Esloras posibles (m)
eslora=(29.5-1.5):0.2:(29.5+1.5);

% Coeficientes adimensionales de calado posibles (L/C)
calado=(9.0-2.0):0.1:(9.0+2.0);

% Coeficientes adimensionales de manga posibles (L/B)
manga=3.90-0.75:0.1:3.90+0.75;

% Coeficientes adimensionales de puntal posibles (B/P)
puntal=2.00-0.40:0.1:2.00+0.40;

% Coef. Experiencia de la maestra
kexpma=0.894;

% Factores de arqueo
factorarqueo=1.1;
factorTBR=0.17;

%% Bloque 2.

% Buques similares (los dos mas proximos).

%

```
% MARAL
```

```
Lm=27.51;
```

```
Bm=7;
```

```
Cm=2.89;
```

```
Displm=349.53;
```

```
Volm=Displm*ro;
```

```
Pm=3.14;
```

```
coefma=(Lm/(Volm^(1/3)));
```

```
coefmb=Bm/Pm;
```

```
coefmc=Lm/Cm;
```

```
vm = 9.0*0.5144;
```

```
% IRRIGOIEN
```

```
Li=29.5;
```

```
Bi=6.8;
```

```
Ci=3.6;
```

```
Displi=368.34;
```

```
Voli=Displi*ro;
```

```
Pi=3.6;
```

```
coefia=(Li/(Voli^(1/3)));
```

```
coefib=(Bi/Pi);
```

```
coefic=Li/Ci;
```

```
vi = 10.3*0.5144;
```

```
%% Bloque 3.
```

```
% Resolucion del problema.
```

```
%
```

```
% Inicializacion
```

```
e=0;
```

```
sumador=0;
```

```

sumadorGM=0;
sumadorGZ=0;
sumadorfrancobodo=0;
sumadorTBR=0;
sumadorGT=0;
sumadorinmersion=0;
sumadorPM=0;
sumadorPMmax=0;
sumadordespl=0;
PercentageCount=0;

% Busqueda entre las esloras posibles
for j=1:length(eslora)

    % Busqueda entre los posibles calados (L/C)
    for i=1:length(calado)
        % Porcentage analizado (informe)
        PercentageCount += 1;
        PercentageTotal = length(eslora)*length(calado);
        fprintf('%g%%,          alternativas          validas          =
%d\n',PercentageCount/PercentageTotal*100, e);

    % Busqueda entre las posibles mangas (L/B)
    for k=1:length(manga)

        % Busqueda entre los posibles puntales (B/P)
        for g=1:length(puntal)

            % Variable de control
            control=0;

            % Incrementamos el numero total de alternativas estudiadas
            sumador=sumador+1;

```

%% Bloque 3.1

% Calculo de las dimensiones principales.

%

% Calado (m)

$C = \text{eslora}(j) / \text{calado}(i);$

% Manga (m)

$B = \text{eslora}(j) / \text{manga}(k);$

% Puntal (m)

$D = B / \text{puntal}(g);$

%% Bloque 3.2

% Regresion desplazamiento/calado

%

$\text{despl} = 217.67 * C - 305.42;$

%% Bloque 3.3

% Criterio de flotabilidad

%

% Criterio de la administracion (m)

$\text{francobordoad} = (D / 15) + 0.15;$

% Francobordo resultante (m)

$\text{francobordo} = D - C;$

%% Bloque 3.4

% Criterio de estabilidad segun Gravalos

%

$\text{kin} = B / D;$

% Ajuste_ingeniería_naval_revista

$\text{kp0l} = -0.157 * (\text{kin}^3) + 0.8985 * (\text{kin}^2) - 1.5961 * \text{kin} + 0.9105;$

% GZ (Rahola)

$\text{GZ} = \text{kp0l} * \text{sqrt}(B * \text{calado}(i));$


```
kpolgm=1.3717*(kin^3)-7.9833*(kin^2)+15.857*kin-10.631;  
GM=kpolgm*sqrt(B*C);
```

```
%% Bloque 3.5
```

```
% Restricciones volumetricas  
%
```

```
Varqueo=factorarqueo*eslora(j)*B*D;  
GT=(0.2+0.02*log10(Varqueo))*Varqueo;  
TBR=factorTBR*D*B*eslora(j);
```

```
%% Bloque 3.6
```

```
% Criterio de comportamiento en la mar  
%
```

```
% Diametro
```

```
Dia=1+(eslora(j))/(0.07*eslora(j)+20));  
% Calado minimo para garantizar inmersión del propulsor  
inm=(1+0.1)*Dia;
```

```
%% Bloque 3.7
```

```
% Distribucion de pesos  
%
```

```
% Peso de la estructura (ver Garcés)
```

```
Peq=0.06524*eslora(j)^(1.5)*B*D^(0.5);  
% Peso del resto (sin maquinaria principal)  
Pres=0.13106*eslora(j)^(1.3)*B^(0.8)*D^(0.3);  
% Peso en rosca  
Pros=Peq+Pres;  
% Peso muerto  
PM=despl-Pros;  
PMmax=Pros*(1+0.05);
```

```
%% Bloque 3.8
```

```

% Coeficientes adimensionales
%
% De bloque
cb=despl/(B*eslora(j)*C*ro);
% De la maestra
cm=kexpma*(1.006-0.0056*cb^(-3.56));
% Prismatico
cp=cb/cm;

if despl>DesplInt(1) && despl<DesplInt(2)
    if PM>PMInt(1) && PM<PMInt(2)
        %francobordo
    endif
endif

%% Bloque 3.9
% Filtrado de alternativas.
%
if    GM<=0.35    ||    GZ<=0.2    ||    GT<230    ||
francobordo<=francobordoad || PM<PMInt(1) || PM>PMInt(2) || PM>PMmax ||
TBR<149 || despl<DesplInt(1) || despl>DesplInt(2) || C<=inm

% Lo establecemos como no apto
control=1;

% Por estabilidad GM
if GM<=0.35
    sumadorGM=sumadorGM+1;
end
% Por estabilidad GZ
if GZ<=0.2
    sumadorGZ=sumadorGZ+1;

```

```

end
% Por flotabilidad
if francobordo<=francobordoad
    sumadorfrancobodo=sumadorfrancobodo+1;
end
% Por peso muerto
if PM<PMInt(1) || PM>PMInt(2)
    sumadorPM=sumadorPM+1;
end
% Por desplazamiento
if despl<DesplInt(1) || despl>DesplInt(2)
    sumadordespl= sumadordespl+1;
end
% Por arqueo
if TBR<149
    sumadorTBR= sumadorTBR+1;
end
% Por c. en la mar
if C<=inm
    sumadorinmersion=sumadorinmersion+1;
end
% Por arqueo GT
if GT<230
    sumadorGT=sumadorGT+1;
end
% Por peso muerto maximo
if PM>PMmax
    sumadorPMmax=sumadorPMmax+1;
end
% Borrarnos todas las variables que ya no necesitaremos mas
clear B D francobordoad Peq Pres Pros PM Calado francobordo
kin kpol GZ GM D cb cm cp Varqueo GT TBR Dia;

```

```

end
%% Bloque 3.10
% Estudio de buques validos.
%
if control==0
    % Añadimos un buque valido al contador
    e=e+1;

    % Guardamos los datos necesarios
    Lest(e)=eslora(j);
    Mest(e)=B;
    Dest(e)=D;
    Caladoest(e)=C;
    GMes(e)=GM;
    GZes(e)=GZ;
    francobordoest(e)=francobordo;
    Pequest(e)=Peq;
    Presest(e)=Pres;
    Prosest(e)=Pros;
    Despest(e)=despl;
    PMuert(e)=PM;
    cbest(e)=cb;
    cpest(e)=cp;
    cmes(e)=cm;
    TBRest(e)=TBR;
    GTest(e)=GT;

    % Estimacion de la resistencia al avance segun Amadeo (N)

    Ramadeo(e)=Amadeo(roa,visc,vb,vb,bul,Mest(e),Caladoest(e),Lest(e),Despest(
e),cbest(e),lb);

```

```

        % Pot.maquinaria principal (CV)
        Pot(e)=Ramadeo(e)*vb/(750*etad*etam);

        % Helice segun Amadeo
        Diaest(e)=Dia;

        % Estimacion de costes
        % Estructura en Euros
        Costeestimadoest(e)=5268*Pequest(e);
        % Maquinaria en Euros
        Costeestimadomaq(e)=433*Pot(e);
        % Otros en Euros
        Costeestimadorest(e)=15749*Presest(e);
        % Total en Euros

Costeestimado(e)=Costeestimadoest(e)+0.95*Costeestimadorest(e)+Costeesti
madomaq(e);

        % Borrarnos todas las variables que ya no necesitaremos mas
        clear B D francobordoad Peq Pres Pros PM Calado francobordo
kin kpol GZ GM D cb cm cp Varqueo GT TBR
    end
    end
    end
    end
end

%% Bloque 4.
% Salida.
%
fprintf('Condiciones analizadas = %d\n', sumador)
fprintf('\tValidas = %d\n', e)

```

```
fprintf('\tRechazadas = %d\n', sumador - e)
Resign = sumador - e;
fprintf('\t\tPor francobordo = %g%%\n', 100*sumadorfrancobordo / Resign)
fprintf('\t\tPor GZ = %g%%\n', 100*sumadorGZ / Resign)
fprintf('\t\tPor GM = %g%%\n', 100*sumadorGM / Resign)
fprintf('\t\tPor TRB = %g%%\n', 100*sumadorTBR / Resign)
fprintf('\t\tPor GT = %g%%\n', 100*sumadorGT / Resign)
fprintf('\t\tPor C. en la mar = %g%%\n', 100*sumadorinmersion / Resign)
fprintf('\t\tPor peso muerto = %g%%\n', 100*sumadorPM / Resign)
fprintf('\t\tPor peso muerto maximo = %g%%\n', 100*sumadorPMmax / Resign)
fprintf('\t\tPor desplazamiento = %g%%\n', 100*sumadordespl / Resign)

fprintf('Ahora puedes acceder los vectores soluciones (ver script).\n')
```

BONITERO DEL CANTÁBRICO
PROYECTO 077.
CURSO 2009-2010

Dimensionamiento.

DOCUMENTO 2
AUTOR: JOSE LUIS CERCOS PITA
COTUTOR: ANDER LASA GALLURRALDE
TUTOR: ANTONIO SOUTO IGLESIAS

1 Índice de contenidos.

1	<i>Índice de contenidos.</i>	2
2	<i>Especificación del proyecto.</i>	4
3	<i>Objetivos.</i>	5
4	<i>Definición de la configuración, de las dimensiones y de los coeficientes de forma. Alternativas.</i>	5
4.1	Dimensionamiento mediante un método directo.	5
4.1.1	Volumen de bodegas.	5
4.1.2	Desplazamiento.	6
4.1.3	Dimensiones principales	6
4.1.4	Coeficientes de forma.	7
4.1.5	Peso en rosca.	7
4.1.6	Peso muerto.	8
4.2	Coeficientes de forma.	10
4.2.1	Coeficiente de bloque	10
4.2.2	Coeficiente de la maestra.	10
4.2.3	Coeficiente cilíndrico o prismático	11
4.2.4	Coeficiente de la flotación	11
4.2.5	Coeficiente prismático vertical	12
4.3	Coeficientes de Forma	12
5	<i>Criterios de evaluación económica de alternativas.</i>	12
6	<i>Evaluación técnico-económica. Selección de la alternativa óptima.</i>	13
6.1	Estimación de potencia.	13
6.2	Estimación de coste del buque.	16
6.3	Estudio técnico de las distintas alternativas.	18
6.4	Elección de la alternativa óptima.	19
6.5	Comparación con el método directo.	21
7	<i>Viabilidad técnica de la alternativa seleccionada (potencia-velocidad, pesos, volúmenes, francobordo).</i>	21
7.1	Curva de potencia-velocidad	21
7.2	Parámetros estabilidad inicial transversal	22
7.2.1	Corrección altura metacéntrica transversal	22
7.2.2	Cálculo del radio metacéntrico transversal	23
7.2.3	Cálculo de la altura del centro de carena	23
7.3	Distribución de pesos.	24
7.3.1	Cálculo de la altura del centro de gravedad vertical	24
7.3.2	Cálculo de la posición longitudinal del centro de gravedad.	24
7.4	Cálculo de volúmenes.	25
7.4.1	Arqueo	25
7.5	Francobordo.	25
8	<i>Acrónimos.</i>	25

<i>Anexo I: Rutina para Octave/Matlab que resuelve la regresión de Amadeo.</i>	<i>27</i>
1 Amadeo.m.....	27
2 Potencia-velocidad.	29

2 Especificación del proyecto.

- CLASIFICACIÓN: **Bureau Veritas**
- TRB: **149**
- GT: **230**
- VOLUMEN DE COMBUSTIBLE: **70 m³**
- VOLUMEN DE VIVEROS: **50 m³**
- VELOCIDAD EN PRUEBAS: **12 .5 kn al 90% MCR**
- EQUIPO PROPULSOR: **Motor Diesel**
- ALOJAMIENTOS: **15 tripulantes**
- ASPECTOS ADICIONALES:
 - 1.- El buque dispondrá de una planta de oxigenación del agua de viveros.
 - 2.- El buque dispondrá de un tanque estabilizador pasivo que reduzca al menos un 50% el movimiento de balance durante la maniobra de pesca.
 3. Se presentará además una planificación para la construcción asociada a los medios de un astillero de la sociedad PYMAR del que se disponga de información suficiente.

3 Objetivos

En el presente documento estudiaremos las alternativas ofertadas en el anterior cuaderno para elegir la más adecuada.

Comenzaremos estudiando algunos parámetros de las alternativas disponibles, como por ejemplo los coeficientes de forma, y así deduciremos, mediante una evaluación técnico-económica, fundada principalmente en la predicción de potencia de la regresión de Amadeo, la alternativa que mejores oportunidades nos ofrece.

4 Definición de la configuración, de las dimensiones y de los coeficientes de forma. Alternativas.

En el Cuaderno 1, se propusieron 11 alternativas viables para nuestro proyecto. Ahora nos disponemos a estudiar más en profundidad estas alternativas, empezando por sus coeficientes adimensionales.

Las alternativas propuestas eran las siguientes:

Alt.	Lpp(m)	B(m)	C(m)	P(m)	PM(Tn)	PR(Tn)	Despl(Tn)	GM(m)	GZ(m)	TBR	GT
1 ^a	28.0	7.3	3.4	3.8	218.4	210.5	428.9	0.426	0.347	149	230
2 ^a	28.2	7.3	3.4	3.9	219.4	214.7	434.1	0.429	0.348	149	232
3 ^a	28.2	7.5	3.4	3.8	207.6	217.7	425.3	0.620	0.447	149	232
4 ^a	28.2	7.3	3.4	3.9	210.6	214.7	425.3	0.427	0.350	150	232
5 ^a	28.4	7.2	3.4	3.8	219.0	211.5	430.5	0.424	0.347	149	230
6 ^a	28.6	7.2	3.4	3.8	220.0	215.7	435.7	0.427	0.348	149	231
7 ^a	28.8	7.2	3.4	3.8	211.3	215.7	427.0	0.425	0.350	150	231
8 ^a	28.8	7.3	3.4	3.8	221.0	219.9	440.9	0.430	0.349	151	233
9 ^a	28.8	7.3	3.4	3.8	212.2	219.9	432.1	0.428	0.351	151	233
10 ^a	28.8	7.3	3.3	3.8	203.6	219.9	423.5	0.425	0.353	151	233
11 ^a	29.2	7.2	3.4	3.8	204.3	220.9	425.2	0.423	0.353	149	230

Tabla 1. Resumen de alternativas.

4.1 *Dimensionamiento mediante un método directo.*

Vamos realizar el dimensionamiento del buque mediante un método directo propuesto por Apostolos D. Papanikolaou en ref. [32].

El objetivo será contrastar los resultados obtenidos a partir de regresiones, que nos ha permitido proponer las alternativas de la Tabla 1.

4.1.1 **Volumen de bodegas.**

El método parte del volumen de bodegas del buque, algo, que como ya vimos en el anterior cuaderno, no es un dato proporcionado en la especificación, no obstante, para garantizar los mejores resultados, obtuvimos ese dato de dos modos, extrayendo información de la base de datos a partir del volumen total, y deduciéndolo del arqueo en GT de la especificación de nuestro proyecto.

El volumen de bodegas de nuestro buque que resultó fue:

$$V_{bodega} = 110m^3 \rightarrow \text{Ec. 1}$$

Pero nuestro buque es de una naturaleza un tanto especial, pues dispone de viveros, los cuales, para actuar correctamente, deben añadirse al volumen de bodega. Pero para añadir este volumen también debemos tener en cuenta que los viveros disponen de un

sistema de oxigenación, lo que hace que su volumen se reduzca a la mitad. Por tanto, para el uso del método directo, el volumen de carga del buque es de:

$$V_{FH} = V_{Bodega} + 2 \cdot V_{viveros} = 110 + 2 \cdot 50 \text{m}^3 = 210 \text{m}^3 \rightarrow \text{Ec. 2}$$

4.1.2 Desplazamiento.

Si entramos con ese valor en la figura 4 de la ref. [32], obtenemos un desplazamiento de:

$$\Delta = 430 \text{Tn} \rightarrow \text{Ec. 3}$$

Desplazamiento muy adecuado a las alternativas propuestas.

4.1.3 Dimensiones principales

Para el desplazamiento obtenido, en buques de acero, el autor propone la siguiente expresión para conocer la eslora total del buque:

$$L_{OA} = 3.9 \cdot \Delta^{0.3657} = 31.2 \text{m} \rightarrow \text{Ec. 4}$$

Las alternativas propuestas tienen esloras entre perpendiculares de unos 28.8 metros, luego la relación entre la eslora total y la eslora entre perpendiculares sería:

$$\frac{L_{OA}}{L_{pp}} = 1.08 \rightarrow \text{Ec. 5}$$

Un valor también muy apropiado.

La manga se puede obtener seleccionando los coeficientes L/B , B/T , y el coeficiente de Bloque.

Para el coeficiente de bloque se propone en la tabla 3.6 la siguiente expresión (Velocidad en nudos, y eslora en pies):

$$Cb = 0.92 - 0.35 \cdot \frac{V}{\sqrt{L}} = 0.92 - 0.35 \cdot \frac{12.5}{\sqrt{102.4}} = 0.50 \rightarrow \text{Ec. 6}$$

Valor notablemente más bajo que el obtenido mediante regresiones en la base de datos. Existe una clara discrepancia entre los valores que se pueden obtener por regresiones (ver Tabla 2, sobre los coeficientes de forma de las distintas alternativas), y el valor propuesto por el método directo.

Esto hace difícil decidir un coeficiente de bloque antes del estudio de las formas del buque.

Respecto a la relación eslora-manga, se propone la siguiente expresión:

$$\frac{L}{B} = 1.166 \Delta^{0.2298} = 1.166 \cdot 430^{0.2298} = 4.1 \rightarrow \text{Ec. 7}$$

Y la relación manga calado se nos propone la siguiente relación:

$$\frac{B}{T} = 2.3 \rightarrow \text{Ec. 8}$$

También se nos propone un último coeficiente tal que:

$$\frac{B}{D} = 2.0 \rightarrow \text{Ec. 9}$$

Con estos coeficientes, se nos propone la siguiente fórmula para conocer la manga:

$$B = \sqrt[3]{\frac{\Delta}{\rho_{as}} \cdot \frac{B}{Cb} \cdot \frac{T}{L} \cdot \frac{L}{B}} = \sqrt[3]{\frac{430}{1.025} \cdot 2.2 \cdot \frac{1}{0.50}} \cdot 4.1\text{m} = 7.6\text{m} \rightarrow \text{Ec. 10}$$

Valor muy próximo a los de las alternativas propuestas, aunque un poco elevado.

Utilizando el resto de coeficientes, las dimensiones principales del buque mediante el método directo son las siguientes:

1. Eslora: $L_{OA} = 31.2\text{m}$
2. Manga: $B = 7.6\text{m}$
3. Calado: $C = 3.3\text{m}$
4. Puntal: $P = 3.8\text{m}$

Todos ellos valores muy cercanos a los de las alternativas propuestas mediante regresiones en la base de datos.

4.1.4 Coeficientes de forma.

El coeficiente hidrodinámico más importante es el coeficiente de forma, no obstante, el autor advierte de la dificultad de proponer un coeficiente de forma mediante métodos directos o regresiones.

Ya obtuvimos en 4.1.3 un coeficiente de bloque de 0.5, no obstante el autor especifica que de disponerse de información más fiable, como un buque base, o una serie sistemática, el valor adecuado a emplear será el obtenido de esas fuentes.

En nuestro caso, y de cara al método directo, usaremos el coeficiente de bloque calculado de 0.5, pero será el estudio de las formas el que determinará finalmente el coeficiente de bloque.

Este problema es extensible a todos los coeficientes de forma.

Se propone, para el coeficiente de la flotación la siguiente expresión:

$$CWP = \sqrt{Cb} - 0.025 = 0.68 \rightarrow \text{Ec. 11}$$

De donde se puede deducir el coeficiente prismático para buques con secciones en V, según:

$$Cp = CWP^{3/2} = 0.56 \rightarrow \text{Ec. 12}$$

Y entrando con el coeficiente de bloque y el coeficiente prismático en la figura 8, obtenemos un coeficiente de la maestra tal que:

$$Cm = 0.89 \rightarrow \text{Ec. 13}$$

Por tanto, los coeficientes de forma del buque son los siguientes:

5. Coeficiente de bloque: $Cb = 0.5$
6. Coeficiente de la maestra: $Cm = 0.89$
7. Coeficiente de la flotación: $CWP = 0.68$
8. Coeficiente prismático: $Cp = 0.56$

4.1.5 Peso en rosca.

Como es habitual en arquitectura naval, se puede dividir el peso en rosca del buque en tres componentes, una primera debida al peso de la estructura W_{ST} , una segunda debida al peso de la maquinaria principal W_M , y una última debida al resto de equipos W_{OT} , incluyendo ejes y propulsores.

$$W_L = W_{ST} + W_M + W_{OT} + R \rightarrow \text{Ec. 14}$$

Se añade un factor R de margen que se sitúa entre el 2% y el 10% (valores altos en buques pesqueros).

El peso de la estructura se establece en la tabla 4.1 de la ref. [32], para buques pesqueros de 33.5 metros de eslora en la flotación (muy parecida al nuestro) un peso de 130Tn, siempre que se construya en acero.

El peso de la maquinaria puede estimarse, tal y como se observa en la tabla 4.1 de la ref. [32], con 25 kg/m^3 . Para el caso de nuestro buque:

$$W_M = 25 \cdot \frac{425}{1.025} \text{ kg} = 10\text{Tn} \rightarrow \text{Ec. 15}$$

Por último, el peso del resto de los equipos se puede estimar entrando con la eslora del buque en la figura 12b de la ref. [32], obteniendo lo siguiente:

$$W_{OT} = 60\text{Tn} \rightarrow \text{Ec. 16}$$

Como el margen R es del 10% del peso en rosca total del buque, la expresión 14 la podemos reescribir como sigue:

$$\begin{aligned} W_L &= W_{ST} + W_M + W_{OT} + 0.1 \cdot W_L; \\ W_L &= \frac{W_{ST} + W_M + W_{OT}}{0.9} \end{aligned} \rightarrow \text{Ec. 17}$$

Entrando con los valores de los pesos calculados anteriormente obtenemos el siguiente peso en rosca:

$$W_L = \frac{130 + 10 + 60}{0.9} \text{ Tn} = 222\text{Tn} \rightarrow \text{Ec. 18}$$

Además, en la tabla 4.1 de la ref. [32] se establece un peso en rosca que debe situarse entre las 210Tn, y las 230Tn, luego el valor calculado parece satisfactorio.

4.1.6 Peso muerto.

El peso muerto se divide en los siguientes conceptos:

1. Peso de la tripulación y sus pertrechos W_{Cr} .
2. Peso de los aparejos de pesca W_{FG} .
3. Peso del combustible W_F .
4. Peso de las provisiones W_{Fi} .
5. Peso del hielo W_{Ice} .
6. Peso del agua dulce W_{FW} .
7. Peso del lastre W_B .

El peso de la tripulación se estima en 100 kg/persona, y por tanto tendremos el siguiente peso:

$$W_{Cr} = 0.1 \cdot 15\text{Tn} = 1.5\text{Tn} \rightarrow \text{Ec. 19}$$

El peso de los aparejos de pesca se puede estimar con valores entre 0.5 y 1.0 toneladas. En nuestro caso tendremos aparejos más bien pequeños, luego podemos tomar el siguiente valor:

$$W_{FG} = 0.6\text{Tn} \rightarrow \text{Ec. 20}$$

El peso del combustible viene dado por la especificación, pues nos obliga a disponer 70m³ de combustible, que suponiendo una densidad de 0.85kg/m³ resulta en un peso tal que:

$$W_F = 70 \cdot 0.85 = 59.5 \text{ Tn} \rightarrow \text{Ec. 21}$$

El peso de las provisiones depende del número de tripulantes y de los días de marea. En nuestro caso ya propusimos periodos de marea de 20 días, luego el peso de las provisiones resulta como sigue:

$$W_{Pr} = 5 \cdot n_{trip} \cdot n_{dias} = 5 \cdot 15 \cdot 20 \text{ kg} = 1.5 \text{ Tn} \rightarrow \text{Ec. 22}$$

El peso del pescado es un caso particular en este buque.

Por un lado tenemos los viveros, donde se almacena el cebo vivo en agua salada. Bien es cierto que el factor de estiba del pescado en los viveros no es el mismo que la densidad del agua en la que se mantienen con vida, pero también es cierto que existe mucha más cantidad de agua que de pescado en los viveros, y por tanto podemos suponer un factor de estiba en los viveros igual a la densidad del agua, lo que resulta en el siguiente peso:

$$W_{viveros} = \rho_{as} \cdot V_{viveros} = 1.025 \cdot 50 \text{ kg} = 51.25 \text{ Tn} \rightarrow \text{Ec. 23}$$

Pero por otro lado existe una bodega donde se almacenan las capturas. El volumen de la bodega fue estimado por dos métodos, mediante regresiones con buques similares, y desglosando pesos del arqueo en GT, para obtener así un valor lo más fiable posible del mismo, que resultó ser de 100m³ aproximadamente.

Así pues, el peso del pescado en bodegas suponiendo, tal y como se recomienda en la ref. [32], un factor de estiba de 0.5Tn/m³, resulta ser de:

$$W_{bodega} = 0.5 \cdot 110 \text{ Tn} = 55 \text{ Tn} \rightarrow \text{Ec. 24}$$

Así pues, el peso debido al pescado toma el siguiente valor:

$$W_{Fi} = W_{viveros} + W_{bodega} = 51.3 + 55.0 \text{ Tn} = 106.3 \text{ Tn} \rightarrow \text{Ec. 25}$$

El peso del hielo se puede estimar como 0.5Tn/Tn_{pescado}, siempre teniendo en cuenta que las toneladas de pescado se refieren únicamente a la bodega, pues los viveros no llevan sistema de refrigeración:

$$W_{Ice} = 0.5 \cdot W_{bodega} = 0.5 \cdot 55 \text{ Tn} = 27.5 \text{ Tn} \rightarrow \text{Ec. 26}$$

El peso de agua dulce se estima, para buques pequeños, como 10kg por persona y día de marea:

$$W_{FW} = 10 \cdot n_{trip} \cdot n_{dias} = 10 \cdot 15 \cdot 20 \text{ kg} = 3.0 \text{ Tn} \rightarrow \text{Ec. 27}$$

El peso del lastre, en un principio, se mantiene nulo, pues no se planea disponer de lastre, aunque en caso de disponerlo, probablemente sea poco significativo, luego:

$$W_B = 0 \text{ Tn} \rightarrow \text{Ec. 28}$$

Sumando todos estos conceptos tenemos el peso muerto del buque:

$$DWT = 1.5 + 0.6 + 59.5 + 1.5 + 106.3 + 27.5 + 3.0 \text{ Tn} = 199.9 \text{ Tn} \rightarrow \text{Ec. 29}$$

200 toneladas de peso muerto. Si sumamos el peso muerto y el peso en rosca obtenidos tenemos un desplazamiento de 422Tn, muy próximo a las 430Tn estimadas en 4.1.2 (2% de desviación).

4.2 Coeficientes de forma.

4.2.1 Coeficiente de bloque

El coeficiente de bloque es la relación entre el volumen ocupado por las formas del buque y el bloque de dimensiones eslora, manga y calado que lo rodea. En este coeficiente se debería usar la eslora en la flotación, no obstante ese es un dato del que no disponemos, y suponemos que la eslora entre perpendiculares es suficientemente parecida.

$$Cb = \frac{\nabla}{L_{pp} \cdot B \cdot C} \rightarrow \text{Ec. 30}$$

Los coeficiente de bloque típicos son:

- 0.38 en buques rápidos.
- 0.80 en buques lentos.

Nuestros coeficientes de bloque rondan los valores de 0.6¹, es decir, son buques con formas que tienden a buques lentos, pero en cambio el número de Froude se sitúa próximo a 0.35, un número de Froude propio de buques muy rápidos. Este tipo de problemas son bastante normales en buques pesqueros rápidos, debido a sus problemas típicos de estabilidad.

Por esta razón el estudio de las formas es fundamental.

4.2.2 Coeficiente de la maestra

El coeficiente de la maestra se define como la relación entre el área sumergida de la cuaderna maestra y el área del rectángulo definido por la manga de trazado en la flotación y el calado de trazado hasta la flotación.

$$Cm = \frac{Am}{B \cdot C} \rightarrow \text{Ec. 31}$$

Para su cálculo usaremos la regresión de Kerlen, pues no tenemos información suficiente para recurrir de otra forma.

Propiamente dicho podríamos haber actuado tal y como lo hacen Ainara Martín Landaluce y Jaime Moreu en su proyecto “Buque de investigación oceanográfica y pesquera” (ref. [9]), no obstante, eso implicaría usar únicamente las formas de los dos buques más parecidos al nuestro (algo que ya hicimos en nuestro anterior cuaderno), pudiendo resultar en algunas incongruencias con el método estadístico aplicado, no obstante si se tomara la idea para obtener una constante de experiencia que corrija la regresión.

$$Cm_{\text{Kerlen}} = 1.006 - 0.0056 \cdot Cb^{-3.56} \rightarrow \text{Ec. 32}$$

A la cuál le aplicamos un coeficiente de experiencia, que definimos como:

$$Cm = k_{\text{exp}}^{Cm} \cdot Cm_{\text{Kerlen}} \rightarrow \text{Ec. 33}$$

¹ Se presentarán los resultados un poco más adelante.

Si tomamos para el cálculo del anterior coeficiente experimental los valores relativos al buque IRIGOIEN BERRIA², tendremos que:

$$\begin{aligned}Cm_{Kerlen} &= 1.006 - 0.0056 \cdot 0.568^{-3.56} = 0.96 \\Cm &= 0.859 \quad \rightarrow \text{Ec. 34} \\k_{\text{exp}}^{Cm} &= \frac{0.859}{0.96} = 0.894\end{aligned}$$

Aplicando **Ec. 4** con el coeficiente de experiencia obtenido en **Ec. 5** podremos tener una aceptable estimación de los coeficientes de la maestra para las distintas alternativas.

Todas las alternativas tienen como estimación del coeficiente de la maestra un valor de 0.87, valor perfectamente aceptable entre unos límites de 0.75 y 0.95.

4.2.3 Coeficiente cilíndrico o prismático

Se define como la relación entre el volumen de carena y el volumen de un prisma con base el área de la cuaderna maestra, y altura la eslora del buque en la flotación:

$$Cp = \frac{\nabla}{Lpp \cdot Am} = \frac{\nabla \cdot B \cdot C}{Lpp \cdot Am \cdot B \cdot C} = \frac{Cb}{Cm} \rightarrow \text{Ec. 35}$$

Como se ve, el coeficiente prismático resulta ser la relación entre el coeficiente de bloque y el coeficiente de la maestra, ambos datos conocidos.

Su valor oscila entre 0.55 y 0.80, y nuestras alternativas entre 0.67 y 0.70, lo que hace pensar que es un buen valor.

4.2.4 Coeficiente de la flotación

También llamado coeficiente de afinamiento de las líneas de agua si se aplica a cada línea de agua. Es una relación entre el área de la flotación y el área de un rectángulo de longitud la eslora y de anchura la manga de trazado de la flotación.

$$Cf = \frac{Af}{Lpp \cdot B} \rightarrow \text{Ec. 36}$$

Al igual que en el caso del coeficiente de la sección media, el coeficiente de la flotación no lo podemos calcular por medio de cálculos directos, por lo que para su cálculo emplearemos la siguiente relación ofrecida en los apuntes de la asignatura de “Proyectos” (ref. [1]):

$$Cf_{reg} = 1 - 0.3 \cdot (1 - Cp) \rightarrow \text{Ec. 37}$$

Definiendo un coeficiente de experiencia al igual que en el caso del coeficiente de la maestra tendremos que:

$$k_{\text{exp}}^{Cf} = 0.95$$

Quedándonos por tanto la siguiente relación, para calcular el coeficiente de la flotación:

$$Cf = k_{\text{exp}}^{Cf} \cdot Cf_{reg} \rightarrow \text{Ec. 38}$$

² Cm=0.859 y Cb=0.568.

Valores normales son los situados entre 0.67 y 0.87, estando todas nuestras alternativas en 0.86, un valor muy próximo al límite superior.

4.2.5 Coeficiente prismático vertical

Se define como la relación entre el volumen de carena (en la línea de agua considerada) y el volumen de un prisma de altura igual al calado de trazado y base igual al área de la línea de agua correspondiente al calado y desplazamiento considerado, en nuestro caso lo referiremos a la flotación.

$$C_{pv} = \frac{\nabla}{C \cdot A_f} \rightarrow \text{Ec. 39}$$

El área de la flotación se obtiene a partir del coeficiente de la flotación:

$$A_f = C_f \cdot L_{pp} \cdot B \rightarrow \text{Ec. 40}$$

Obtenemos valores situados en torno a 0.7, un buen valor para este coeficiente.

4.3 Coeficientes de Forma

Estamos por tanto en condiciones de presentar los coeficientes de forma³.

Alt.	C_b	C_m	C_p	C_f	C_{pv}
1 ^a	0.61	0.87	0.70	0.86	0.70
2 ^a	0.60	0.87	0.69	0.86	0.70
3 ^a	0.58	0.87	0.67	0.86	0.68
4 ^a	0.60	0.87	0.69	0.86	0.69
5 ^a	0.61	0.87	0.70	0.86	0.70
6 ^a	0.60	0.87	0.69	0.86	0.70
7 ^a	0.60	0.87	0.69	0.86	0.69
8 ^a	0.60	0.87	0.69	0.86	0.69
9 ^a	0.59	0.87	0.68	0.86	0.69
10 ^a	0.59	0.87	0.68	0.86	0.68
11 ^a	0.59	0.87	0.68	0.86	0.68

Tabla 2. Coeficientes de forma de las distintas alternativas.

5 Criterios de evaluación económica de alternativas.

Para elegir la alternativa más adecuada se utilizarán tres criterios:

- Coste operativo.
- Coste de construcción.
- Superficie de trabajo.

De los dos primeros podremos hacer una estimación del tiempo de reintegro de la inversión inicial, o de un indicador suyo, y del tercero sacaremos un último criterio que nos permitirá discernir entre las mejores alternativas devueltas por el anterior, ya que serán las que mejores condiciones de trabajo ofrecerían.

³ Siguiendo la numeración de la **Tabla 1**.

6 Evaluación técnico-económica. Selección de la alternativa óptima.

Lo primero que vamos a calcular es una estimación de la potencia necesaria.

6.1 Estimación de potencia

La estimación de la potencia será llevada a cabo por medio del método de Amadeo García, el cual es específico para buques pesqueros con esloras comprendidas entre 25 y 60 m. Amadeo es una regresión suficientemente contrastada, y por tanto será nuestro valor de referencia a falta de otro mejor, como pudiera ser el de las pruebas en canal. Se indica esto debido a que se van a utilizar códigos CFD para la optimización de formas, pero los valores devueltos por ellos sólo se utilizarán para comparar las distintas alternativas, nunca como valor de estimación de la potencia necesaria.

La regresión de Amadeo distingue entre buques con bulbo o sin él. Nosotros de momento partiremos de que no tenemos bulbo, y cuando los cálculos de CFD nos devuelvan las formas óptimas, caso de que nuestro buque disponga de bulbo, repetiremos los cálculos, para la alternativa seleccionada, añadiéndoselo.

Para el cálculo de la potencia instalada el método Amadeo realiza una estimación de la resistencia total al avance, la cual divide en tres componentes: resistencia de fricción, de rugosidad y la residual.

$$R_{TOTAL} = R_{FRICCIÓN} + R_{RUGOSIDAD} + R_{RESIDUAL} \rightarrow \text{Ec. 41}$$

Como suele ser convencional, podemos adimensionalizar la expresión con el conocido factor:

$$f_{adim} = 0.5 \cdot \rho_{as} \cdot S \cdot v^2; \rightarrow \text{Ec. 42}$$

Que dividiendo a **Ec. 12** nos daría la expresión:

$$C_T = C_F + C_A + C_R \rightarrow \text{Ec. 43}$$

Se utiliza la definición de la resistencia tal vez menos habitual, y es la regida por la hipótesis de Froude (finales del siglo XIX), quién estimaba la resistencia de los buques a través de los de una placa plana equivalente:

C_F , representa los fenómenos de fricción de la placa plana equivalente

C_A , representa los efectos de rugosidad

C_R , representa los fenómenos debidos a las formas, lo que afecta principalmente a la estela y a la formación de olas.

La placa plana equivalente tiene una línea de fricción recomendada por la ITTC, en su norma ITTC-57:

$$C_F = \frac{0.075}{(\log Re - 2)^2} \rightarrow \text{Ec. 44}$$

Re es el número de Reynolds, que para la placa tomaría los valores siguientes:

$$Re = \frac{v \cdot L_f}{\nu} \rightarrow \text{Ec. 45}$$

ν , es la viscosidad cinemática del agua salada a 15 ° C que se tomará como $1.1883 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$.

La ITTC-57 también ofrece una forma de estimar la eslora en la flotación a partir de la eslora entre perpendiculares y el volumen de carena:

$$L_f = 1.11 \cdot \nabla^{1/3} + 0.874 \cdot L_{pp} - 2.56 \rightarrow \text{Ec. 46}$$

Es decir, el primer término de la hipótesis de Holtrop se obtendría mediante **Ec. 15**, **Ec. 16**, y **Ec. 17**.

Por otro lado, para la evaluación del coeficiente de rugosidad se ofrece la siguiente fórmula:

$$C_A = (69 + 200 \cdot C_b \cdot \frac{B}{L_{pp}} - 0.26 \cdot L_{pp} + \frac{1300}{L_{pp}} - 29.5 \cdot \log L_{pp} + 17 \cdot \frac{B}{C}) \cdot 10^{-5} \rightarrow \text{Ec. 47}$$

Para el cálculo de la resistencia residual se nos ofrece una relación que liga la resistencia total y la resistencia residual.

$$\frac{R_{RESIDUAL}}{R_{TOTAL}} = 1.24 \cdot C_b \cdot \frac{B}{L_{pp}} + 0.265 \cdot Fr^2 + 2.151 \cdot Fr - 0.298 \rightarrow \text{Ec. 48}$$

Estando el número de Froude referido a la eslora entre perpendiculares.

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{g \cdot L_{pp}}} \rightarrow \text{Ec. 49}$$

El coeficiente residual vendrá dado entonces por:

$$C_R = C_T \cdot \frac{R_{RESIDUAL}}{R_{TOTAL}} \rightarrow \text{Ec. 50}$$

Donde entrando con **Ec. 14**, quedará que:

$$C_T = \frac{C_F + C_A}{1 - \frac{R_{RESIDUAL}}{R_{TOTAL}}} \rightarrow \text{Ec. 51}$$

Devolviendo el carácter dimensional a la resistencia total:

$$R_T = 0.5 \cdot \rho \cdot S \cdot v^2 \cdot C_T \rightarrow \text{Ec. 52}$$

La superficie mojada del casco (sin apéndices) puede ser aproximada por la siguiente ecuación:

$$S_C = 1.13 \cdot \nabla^{2/3} + 0.602 \cdot L_{pp} \cdot \nabla^{1/3} - 1.734 \rightarrow \text{Ec. 53}$$

Por otro lado la superficie del timón y el codaste también se pueden estimar según:

$$S_A = 0.1 \cdot L_{pp} \cdot C \rightarrow \text{Ec. 54}$$

Y combinando **Ec. 24** y **Ec. 25**:

$$S = S_C + S_A \rightarrow \text{Ec. 55}$$

Tras el cálculo de la resistencia al avance calculamos la potencia de remolque:

$$EHP = R_T \cdot v \rightarrow \text{Ec. 56}$$

Por último, para estimar la potencia al freno:

$$BHP = \frac{EHP}{\eta_p \cdot \eta_m} \rightarrow \text{Ec. 57}$$

En donde: η_p , es el rendimiento propulsivo y η_m es el rendimiento mecánico.

Para el coeficiente propulsivo se ofrece una fórmula si se conocen las revoluciones de la hélice, aunque como éstas no son conocidas se aconseja emplear $\eta_p = 0.6$. Por otro lado, el rendimiento mecánico se aconseja que se estime entre 0.94 y 0.97.

Todos estos cálculos (**Ec. 12 a Ec. 28**) se calculan en la rutina Amadeo.m, que se puede observar en el **Anexo I**.

Todo ello nos devuelve los siguientes valores para cada una de las alternativas:

Alt.	Lpp(m)	<i>Fr</i>	<i>EHP (CV)</i>	<i>BHP (CV)</i>
1 ^a	28.0	0.39	792	1360
2 ^a	28.2	0.39	780	1340
3 ^a	28.2	0.39	768	1319
4 ^a	28.2	0.39	766	1316
5 ^a	28.4	0.39	754	1295
6 ^a	28.6	0.38	743	1277
7 ^a	28.8	0.38	731	1256
8 ^a	28.8	0.38	734	1260
9 ^a	28.8	0.38	722	1240
10 ^a	28.8	0.38	710	1220
11 ^a	29.2	0.38	681	1170

Tabla 3. Estimación de potencia para cada alternativa.

Estos resultados se pueden imprimir en una gráfica:

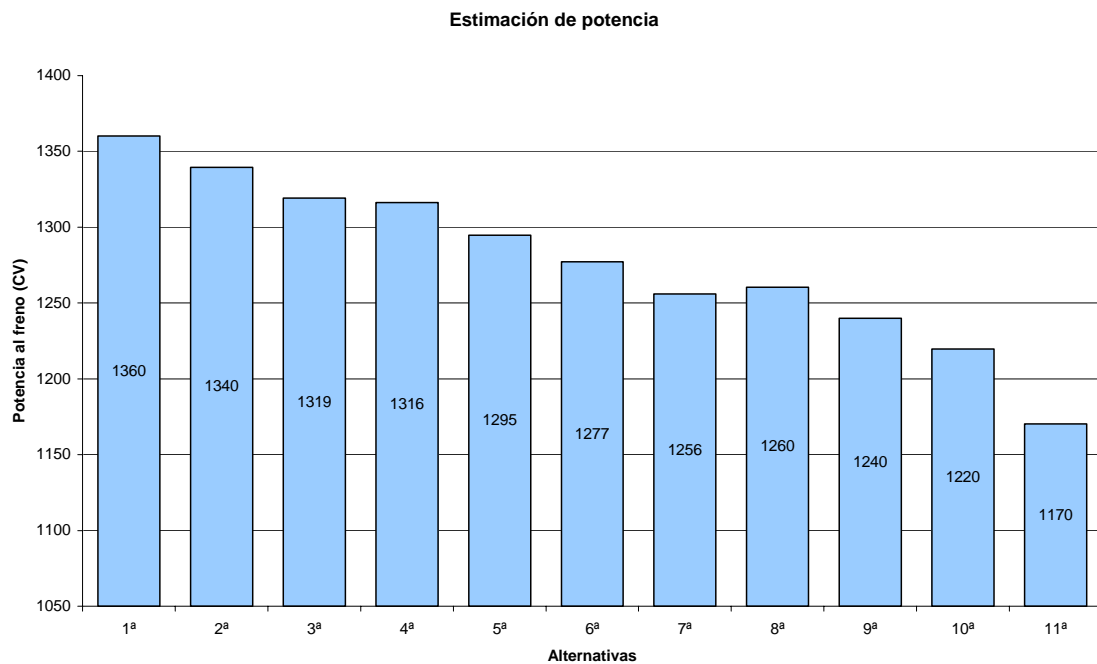


Figura 1. Gráfico de estimación de potencia necesaria para cada alternativa.

6.2 Estimación de coste del buque

Nos interesa ahora estimar el coste constructivo del buque, que dividiremos en tres partes (ref. [2]):

- Coste de la estructura.
- Coste de la maquinaria.
- Coste del resto del equipo.

$$Cost_{Total} = Cost_{Est} + Cost_{Maq} + 0.95 \cdot Cost_{Re.s} \rightarrow \text{Ec. 58}$$

El 5% que se resta al coste del resto de equipo es debido a la presencia en este de costes de maquinaria, que ya contemplamos aparte, y por tanto no nos interesa que se mantengan incluidos. Se estima que será un 5% aproximadamente.

El coste de la estructura se puede obtener usando como indicativo el peso de la estructura, usando un coste unitario por cada kilo de estructura (acero, y su montaje a fin de cuentas):

$$Cost_{Est} = c_{Estr} \cdot P_{Est} \rightarrow \text{Ec. 59}$$

Pero el peso de la estructura se puede estimar a partir de las dimensiones del buque, usando entre medias un peso específico de estructura (ref. [2]):

$$P_{Est} = p_{esp_{est}} \cdot L^{1.5} \cdot B \cdot P^{0.5} \rightarrow \text{Ec. 60}$$

Es decir, que combinando **Ec. 30** y **Ec. 31**, podemos conocer una primera estimación del coste de la estructura.

De forma completamente análoga se puede estimar el coste del resto de equipos:

$$Cost_{Re} = c_{Re} \cdot P_{Re} \rightarrow \text{Ec. 61}$$

$$P_{Re} = p_{esp_{re}} \cdot L^{1.3} \cdot B^{0.8} \cdot P^{0.3} \rightarrow \text{Ec. 62}$$

La maquinaria sigue un esquema parecido, solo que empleando en su lugar se usa la potencia:

$$Cost_{Maq} = c_{Maq} \cdot PMaq \rightarrow \text{Ec. 63}$$

Necesitamos por tanto conocer los costes unitarios de estructura, equipos y maquinaria. Para evaluar los anteriores empleamos la información obtenida relativa al buque MARAL en la que, a fecha de su construcción:

$$c_{Estr} = 4750 \text{ €/Tn}$$

$$c_{re} = 14200 \text{ €/Tn}$$

$$c_{Maq} = 390 \text{ €/CV}$$

Pero esos datos deben ser actualizados a valores actuales mediante correcciones del IPC, que se pueden tomar de la ref. [17], y que se resumen en la siguiente tabla.

Año	Variación del IPC
2006*-2007	2.5%
2007-2008	4.3%
2008-2009	0.8%
2009-2010	1.0%
2010-2010*	1.9%

Tabla 4. Evolución del IPC.

Lo que nos permite actualizar los valores según:

$$NPV = Value * \prod_i (1 + IPC_i);$$

Lo que nos permite actualizar los valores según la siguiente tabla:

Año	Cest (€/Tn)	Cre (€/Tn)	Cmaq (€/CV)
2006*-2007	4869	14555	400
2007-2008	5078	15181	417
2008-2009	5119	15302	420
2009-2010	5170	15455	424
2010-2010*	5268	15749	433

Tabla 5. Actualización de costes unitarios.

Y aplicando el procedimiento podemos llegar a los siguientes costes:

Alt.	Cost _{Est} (€)	Cost _{Maq} (€)	Cost _{Re} (€)	Cost _{Total} (€)
1 ^a	724546	588960	1148866	2404929
2 ^a	740183	580039	1168660	2430449
3 ^a	750490	571242	1184616	2447117
4 ^a	740183	569948	1168660	2420358
5 ^a	727516	560644	1155591	2385971
6 ^a	742994	553006	1175219	2412458
7 ^a	742994	543813	1175219	2403265
8 ^a	758691	545765	1195039	2439743
9 ^a	758691	536868	1195039	2430846
10 ^a	758691	528159	1195039	2422138
11 ^a	761639	506694	1201753	2409998

Tabla 6. Tabla de estimación de costes constructivos de las distintas alternativas.

Que podemos plasmar en un gráfico:

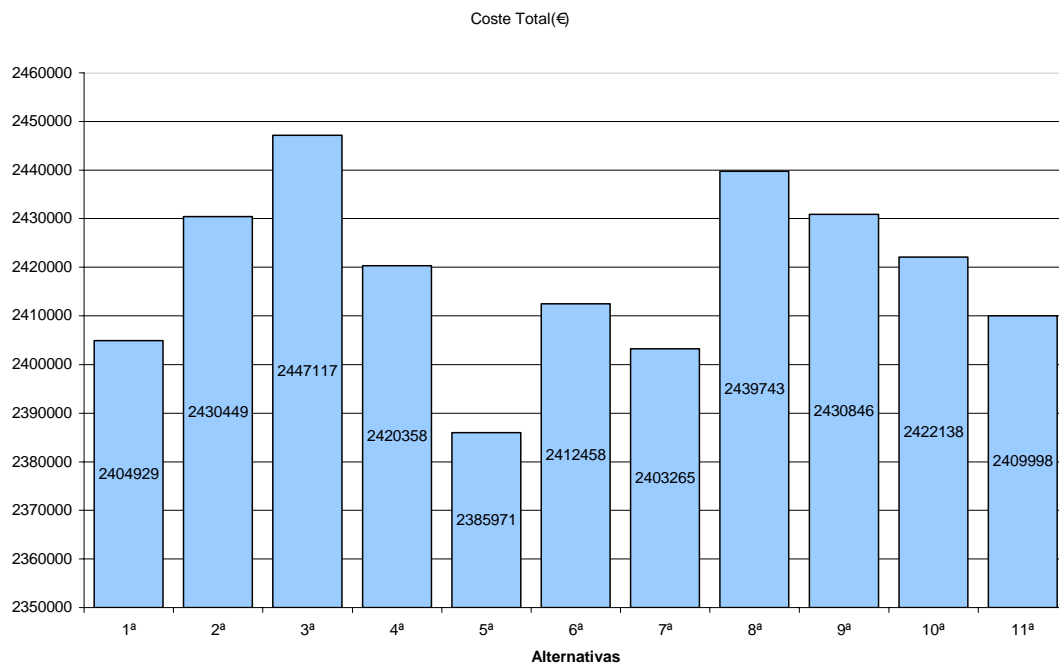


Figura 2. Gráfica de costes constructivos estimados para cada alternativa.

6.3 Estudio técnico de las distintas alternativas

El último criterio, que nos permitirá elegir entre dos alternativas muy próximas por los dos criterios anteriores, consiste en un indicador del área de trabajo. Un área de trabajo mayor mejora las condiciones de trabajo de los marineros, sobre todo en las operaciones de pesca con caña del bonito, momento crítico durante la vida operativa del buque, y por esa razón, a falta de una alternativa clara, el que mantenga mejores condiciones de trabajo será la opción elegida.

El indicador empleado será un indicador del área de trabajo, que puede ser la eslora multiplicada por la manga, algo que se resume en la siguiente tabla:

Alt.	$L \cdot B \text{ (m}^2\text{)}$
1ª	204
2ª	207
3ª	212
4ª	207
5ª	204
6ª	207
7ª	209
8ª	210
9ª	210
10ª	210
11ª	211

Tabla 7. Indicadores del área de trabajo de las distintas alternativas.

Que podemos presentar gráficamente:

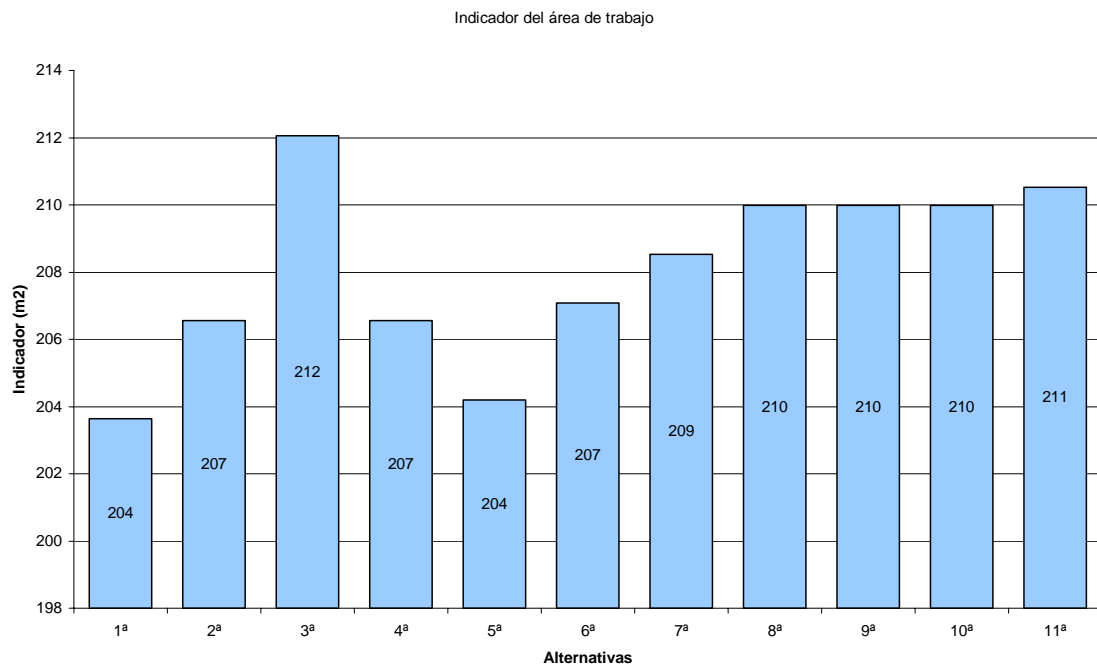


Figura 3. Indicador del área de trabajo para todas las alternativas.

6.4 Elección de la alternativa óptima

Para elegir la alternativa que mejor se adecue a nuestros intereses debemos definir una función indicadora de la alternativa óptima. En un principio los criterios más relevantes son los de estimación de los costes, pues afectan directamente a las ventajas de inversión en el proyecto. Hemos calculado una estimación del coste inicial como costes constructivos, y un indicador del coste operativo en la potencia necesaria, por tanto podemos definir un retorno de la inversión marginal según:

$$RI_{Mar} = K_{IPC} \cdot (K_{Ing} - Cost_{KW} \cdot BHP) \rightarrow \text{Ec. 64}$$

Como la evolución del IPC es la misma para todas las alternativas, a la hora de compararlas esta constante no nos ofrece ninguna información, y puede ser descartada.

Además podemos dividir todo por el coste por kilovatio, agrupando ambas constantes.

El retorno de la inversión marginal son los euros de la inversión que se recuperan cada año, luego si dividimos el coste inicial por los el retorno de la inversión marginal, obtenemos el retorno de la inversión.

$$RI = \frac{C_T}{K_{Ing} - BHP'} = \frac{C_T}{K_{Ing}} - \frac{C_T}{BHP'} \rightarrow \text{Ec. 65}$$

Donde la potencia al freno tiene una prima ya que debe estar en euros. Si multiplicamos todo por ese valor tenemos que:

$$\chi_i = BHP' \frac{C_T}{K_{Ing}} - C_T \rightarrow \text{Ec. 66}$$

Y obviando el segundo término, que desplaza el resultado pero cuyo efecto es menos relevante, podemos reescribir **Ec.37** como:

$$\chi_i = BHP' \frac{C_T}{K_{Ing}} \rightarrow \text{Ec. 67}$$

Pero al ser un cálculo comparativo podemos eliminar todas las constantes (incluido el coste por kilovatio inmerso en la potencia entregada al freno):

$$\chi_i = BHP' \cdot C_T \rightarrow \text{Ec. 68}$$

Valor, que cuanto más pequeño, mejor sitúa a la alternativa, pues antes se recuperaría la inversión. Podemos crear una gráfica con el indicador, al que podemos llamar indicador comparativo.

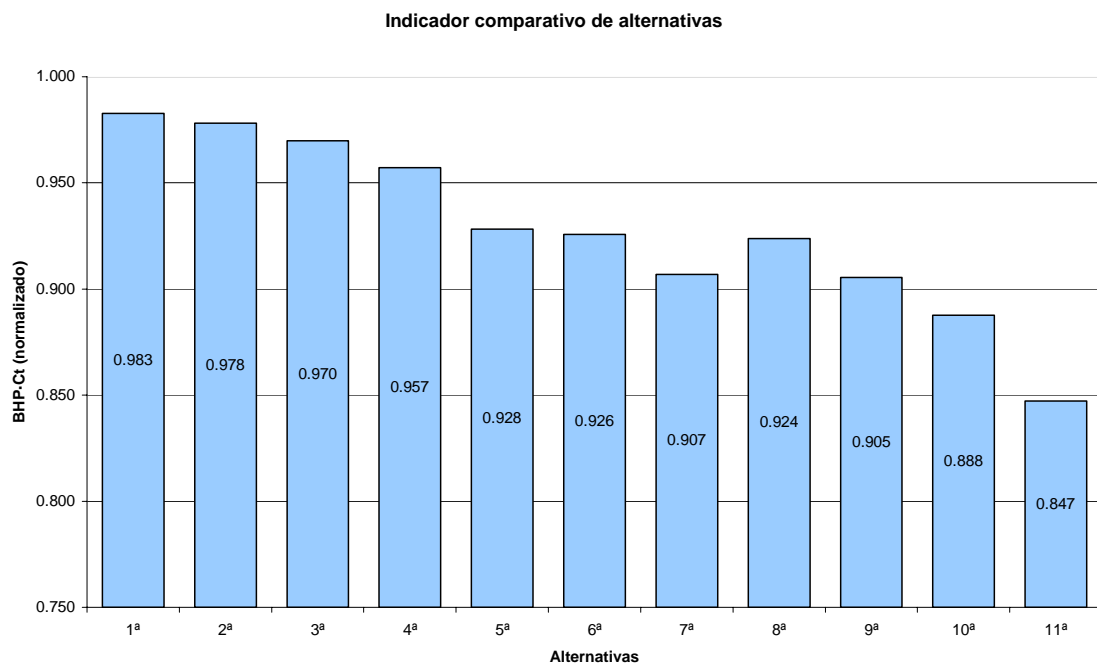


Figura 4. Valores del indicador comparativo de cada alternativa.

Para evitar obtener valores demasiado grandes y confusos, se han normalizado tanto la potencia entregada al freno como los costes constructivos dividiéndolos por el máximo valor de entre los presentes en las alternativas.

En la Figura 4. se comprueba fácilmente que la mejor alternativa es la **alternativa 11**. Además esta alternativa es la que tenía el segundo mejor indicativo del área de trabajo, luego es nuestra alternativa.

Podemos presentar por tanto las dimensiones de nuestro buque:

Eslora entre perpendiculares: **29.2 m**

Manga: **7.2 m**

Calado: **3.4 m**

Puntal: **3.8 m**

Peso muerto: **204.3 Tn**

Peso en rosca: **220.9 Tn**

Desplazamiento: **425.2 Tn**

TBR: **136**

Coefficiente de bloque: **0.59**

Número de Froude: **0.38**

Aunque alguno de estos datos pueda variar más adelante.

6.5 Comparación con el método directo.

Seleccionada la alternativa óptima, vamos a compararla con el dimensionamiento resultante de aplicar un método directo (ref. [32]).

La eslora total obtenida mediante el método directo era de 31.2m, luego la relación eslora total-eslora entre perpendiculares sería de 1.07, un buen valor.

La manga resultante mediante el método directo fue de 7.6m, con lo que existe una desviación del 5% respecto de la alternativa elegida.

El calado obtenido mediante el método directo fue de 3.3m, y por tanto existe una desviación del 3% respecto de la alternativa elegida.

El peso muerto calculado con el método directo fue de 200Tn, existiendo por tanto una desviación del 2%, mientras que para el peso en rosca, que resultó de 222Tn, la desviación es del 0.1%.

El coeficiente de bloque resultante al utilizar el método directo fue de 0.5, lo que hace que exista una desviación del 15%.

Como se puede observar todos los valores devueltos por el método directo, a excepción del coeficiente de bloque, tiene un grado de similitud con la alternativa elegida muy alto, lo que da ciertas garantías de que el dimensionamiento del buque es lo más acertado posible. Respecto del coeficiente de bloque, D. Apostolos D. Papanikolaou advierte de la dificultad de establecer un coeficiente de bloque, e insta al proyectista a usar, en cualquier caso, la información extraíble de buques similares.

7 Viabilidad técnica de la alternativa seleccionada (potencia-velocidad, pesos, volúmenes, francobordo).

En este apartado vamos a estudiar la alternativa en busca de datos que hicieran inviable el proyecto.

7.1 Curva de potencia-velocidad

Aprovechando la regresión de Amadeo, suficientemente contrastada y validada, podemos pintar la curva de potencia-velocidad, para analizarla.

El cálculo se hace mediante el script que se puede observar en el **Anexo I**.

La curva resultante es la siguiente:

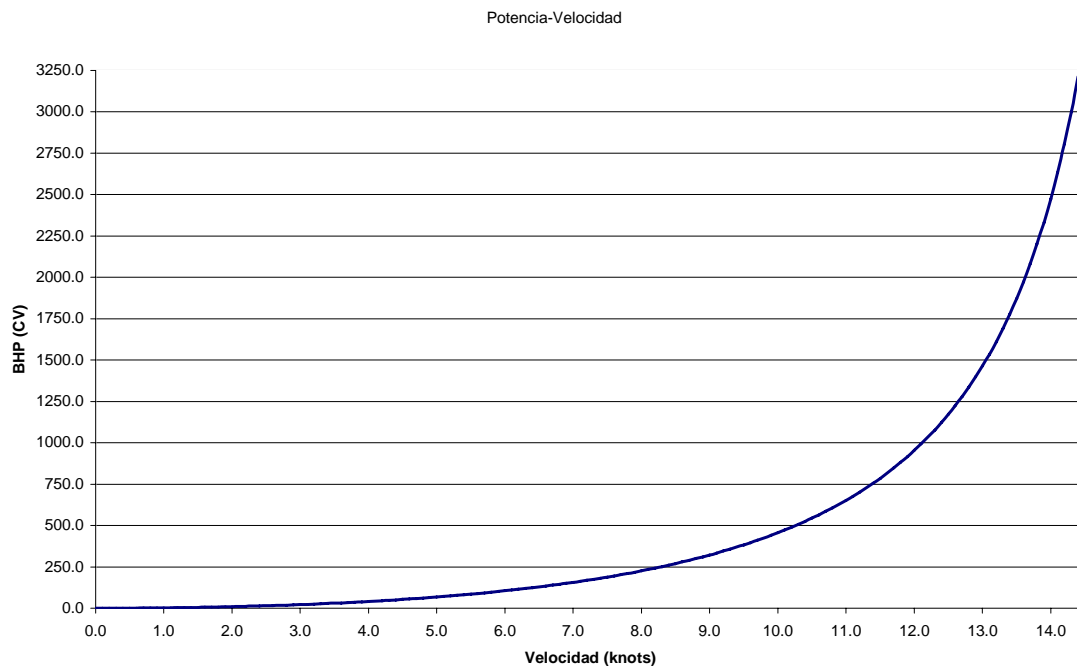


Figura 5. Curva de potencia-velocidad.

Se puede observar que a 12.5 nudos todavía estamos en una buena posición de la curva, aunque poco más adelante nos encontraríamos en la parte saturada de la misma.

A 12.5 nudos los BHP necesarios ya los habíamos calculado y eran 1170 caballos de potencia entregada al freno. Como a esa velocidad el régimen debe ser del 90% del MCR, al 100% del MCR la potencia entregada al freno sería de:

$$BHP_{100} = BHP_{90} \frac{100}{90} = 1170 \cdot 1.11 \text{ CV} = 1300 \text{ CV} \rightarrow \text{Ec. 69}$$

Lo que corresponde a una velocidad máxima de:

$$V_{MAX} = 12.75 \text{ kn} \rightarrow \text{Ec. 70}$$

Lo que quiere decir que aún se podría obtener una punta de un cuarto de nudo adicional en determinadas situaciones. Pero lo importante es ver que para dar la velocidad de proyecto aún podríamos jugar un poco con la potencia, pues en un principio no harán falta inadmisibles incrementos de potencia para adecuar la velocidad.

7.2 Parámetros estabilidad inicial transversal

La estabilidad transversal, o estabilidad a pequeños ángulo, viene determinada por la altura metacéntrica. Nosotros ya obtuvimos la altura metacéntrica en el cuaderno 1, pero la expresión de Grávalos es a todas luces demasiado conservadora, luego necesitamos re-estimar este valor, lo que se hará aplicando una corrección con un factor de experiencia que extraeremos del Maral, y usando otra regresión diferente, usando finalmente el valor medio.

7.2.1 Corrección altura metacéntrica transversal

El valor del GM calculado por el método Grávalos es: 0.423 m. Si ahora realizamos la corrección del mismo sabiendo que para el buque Maral:

$$k_{\text{exp}}^{GM} = \frac{GM_{\text{real}}}{GM_{\text{calculado}}} = 1.45$$

Para nuestro buque tendríamos:

$$GM_{\text{corregido}}^1 = 1.45 \cdot 0.423 = 0.610 \text{ m} \rightarrow \text{Ec. 71}$$

Y si empleamos otra regresión diferente:

$$GM_{\text{calculado}}^2 = 0.099 \frac{B^2}{\Delta^{1/3}} = 0.099 \frac{7.2^2}{425.2^{1/3}} = 0.682 \text{ m}$$

Siendo en este caso el coeficiente corrector 1.15 para el Maral y teniendo por tanto que:

$$GM_{\text{corregido}}^2 = 1.15 \cdot 0.682 = 0.784 \text{ m}$$

Valores un tanto dispares, de los que tomamos su valor medio.

$$GM_{\text{corregido}} = \frac{GM_{\text{corregido}}^1 + GM_{\text{corregido}}^2}{2} = \frac{0.682 + 0.784}{2} \text{ m} = 0.733 \text{ m}$$

7.2.2 Cálculo del radio metacéntrico transversal

Para el cálculo del radio metacéntrico transversal emplearemos la siguiente relación:

$$BM = \frac{\zeta \cdot B^2}{Cb \cdot P} \rightarrow \text{Ec. 72}$$

Donde todos son conocidos, menos ζ que se calcula a partir del coeficiente κ .

$$\kappa = 0.6 \cdot Cb + 0.4 = 0.6 \cdot 0.59 + 0.4 = 0.75$$

Valor con el que se entra en la siguiente tabla:

κ	ζ
0.5	0.026
0.6	0.035
0.7	0.048
0.8	0.061

Tabla 8. Tabla de coeficientes para el radio metacéntrico transversal.

En nuestro caso $\kappa = 0.75$, lo que nos permite interpolar un valor de:

$$\zeta = 0.0545$$

Y así, entrando en **Ec. 43**:

$$BM_{\text{calculada}} = \frac{\zeta \cdot B^2}{Cb \cdot P} = \frac{0.0545 \cdot 7.2^2}{0.59 \cdot 3.8} \text{ m} = 1.26 \text{ m}$$

Si tomamos nuestros buques de la base de datos más similares, obtenemos un factor de corrección de experiencia de 1.25:

$$BM_{\text{corregido}} = 1.25 \cdot 1.26 = 1.575 \text{ m}$$

7.2.3 Cálculo de la altura del centro de carena

Para el cálculo del centro de carena para el desplazamiento de trazado emplearemos la siguiente relación:

$$Z_B = 0.55 \cdot C$$

Si calculamos la corrección, al igual que en las anteriores tendremos que en este caso el coeficiente corrector será de 1.20, y por tanto:

$$Z_B = 1.20 \cdot 3.4 \text{ m} = 4.08 \text{ m}$$

7.3 Distribución de pesos

Ahora nos disponemos a estimar la posición del centro de gravedad del buque, un punto de extrema importancia en el desarrollo del proyecto. Realmente este punto es difícil de establecer hasta que no se avanza en el desarrollo del proyecto, pero tener una estimación del mismo es fundamental.

7.3.1 Cálculo de la altura del centro de gravedad vertical

Existen algunas otras formas de obtener su posición, pero nosotros usaremos las técnicas típicas de la hidrostática de buques, y más concretamente, de la estabilidad transversal a pequeños ángulos, tal y como puede observarse en ref.[15].

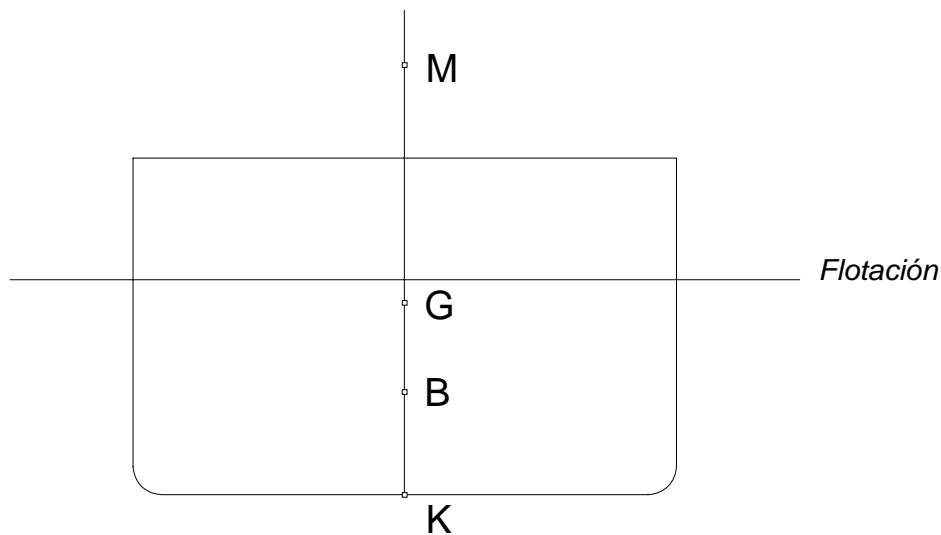


Figura 6. Distribución de centros de gravedad, metacéntrico, y de carena
Como puede verse en la Figura 6. , tendremos que:

$$Z_G = Z_B + BM - GM$$

Todos estos valores han sido calculados en el apartado 7.2, luego tenemos que:

$$Z_G = 4.08 + 1.575 - 0.733 \text{ m} = 4.92 \text{ m}$$

7.3.2 Cálculo de la posición longitudinal del centro de gravedad.

La posición longitudinal, en este caso, se puede llevar a cabo mediante regresión de los dos buques más parecidos al nuestro, pues conocemos sus centros de gravedad.

Buque	Lpp(m)	$X_G^4(m)$	X_G/Lpp
MARAL	29.50	13.53	0.459
I.BERRIA	27.51	12.51	0.456

Tabla 9. Centros de gravedad de buques de la base de datos.

Ambos tienen el centro de gravedad cerca del 45% de la eslora.

⁴ Respecto a la perpendicular de popa.

A la vista de los anteriores resultados tenemos que el coeficiente $\frac{X_G}{L_{pp}}$, permanece prácticamente constante, nos quedaremos con el del buque MARAL por parecerse más al nuestro como se vio en el Cuaderno 1. Entonces tendemos que:

$$X_G = L_{pp} \cdot 0.459 = 13.4 \text{ m}$$

7.4 Cálculo de volúmenes

7.4.1 Arqueo

Ya calculamos el arqueo en mientras obteníamos todas las alternativas viables en el cuaderno 1, y entonces obtuvimos que:

<i>TBR</i>	<i>GT</i>
149	230

Tabla 10. Arqueo de nuestro buque.

7.5 Francobordo

El francobordo también fue explicado en el Cuaderno 1, siendo el resultado de 0.44 m.

8 Acrónimos.

C_b , Coeficiente de bloque(4.2.1)

∇ , Volumen de carena (4.2.1)

C_m , Coeficiente de la maestra(4.2.2)

A_m , Área de la maestra(4.2.2)

$k_{exp}^{C_m}$, Coeficiente de experiencia maestra del coeficiente adimensional de la maestra (4.2.2)

C_p , Coeficiente prismático (4.2.3)

C_f , Coeficiente de la flotación(4.2.4)

A_f , Área de la flotación (4.2.4)

$k_{exp}^{C_f}$, Coeficiente de experiencia del coeficiente adimensional de la flotación (4.2.4)

C_{pv} , Coeficiente prismático vertical (4.2.5)

C_T , Coeficiente adimensional de la resistencia total del buque(6.1)

C_F , Coeficiente adimensional de fricción(6.1)

C_A , Coeficiente adimensional de rugosidad(6.1)

C_R , Coeficiente adimensional residual(6.1)

Re , Número de Reynolds(6.1)

ν , Viscosidad cinemática del agua salada(6.1)

L_f , Eslora de la flotación(6.1)

Fr , Número de Froude, respecto a la eslora entre perpendiculares(6.1)

$Cost_{Total}$, Coste total (6.2)

$Cost_{Est}$, Coste debido a la estructura montada(6.2)

$Cost_{Re}$, Coste debido al resto de la estructura(6.2)

$Cost_{Maq}$, Coste debido a la maquinaria montada(6.2)

NPV , *Net Present Value*, o Valor Neto Actualizado.(6.2)

$Value$, Valor sin actualizar. (6.2)

RI_{Mar} , Beneficio marginal (6.4)

K_{IPC} , Evolución del IPC (6.4)

K_{Ing} , Ingresos por día de vida útil (6.4)

$Cost_{KW}$, Coste por cada kilovatio (6.4)

χ , Coeficiente de optimización(6.4)

Anexo I: Rutina para Octave/Matlab que resuelve la regresión de Amadeo.

1 Amadeo.m

```
%% Rutina que resuelve la regresión de Amadeo.
% @param ro densidad del agua (kg/m3)
% @param visc viscosidad cinematica del agua (m2/s)
% @param v velocidad actual del buque (m/s)
% @param vb velocidad del buque (m/s)
% @param bul existencia de bulbo.
% @param B Manga del buque (m)
% @param T Calado del buque (m)
% @param Lpp Eslora entre perpendiculares del buque (m)
% @param Displ Desplazamiento del buque (Tn)
% @param cb Coeficiente de bloque del buque.
% @param lb Eslora del bulbo.
% @return Estimacion de la resistencia al avance.
%
function R=Amadeo(ro,visc,v,vb,bul,B,T,Lpp,Displ,cb,lb)

% Establecemos los enteros como "long int"
format long

% Eslora en la flotacion (m)
Ld=1.11*(Displ^(1/3))+0.874*Lpp-2.56;

% Numero de reynolds (placa plana equivalente)
Re=v*Ld/visc;

% Coeficiente de resitencia por friccion (ITTC-57)
cf=0.075/((log10(Re)-2)^2);
```

```
% Coeficiente de resistencia rugosa.
ca=[69+200*cb*(B/Lpp)-0.26*Lpp+(1300/Lpp)-29.5*log10(Lpp)+(17*B/T)-
((B/T)^2)]*(10^(-5));

% Numero de Froude
Fr=v/sqrt(9.81*Lpp);

% Relacion de coeficientes (Ec 19)
coc=1.24*cb*(B/Lpp)+0.265*(Fr^2)+2.151*Fr-0.298;

% Superficie mojada sin apendices (m2)
Sup=3.019*(Displ^(2/3))+0.602*Lpp*(Displ^(1/3))-1.734;

% Superficie de timon y codaste (m2)
Sut=0.1*Lpp*T;

% Caso en el que no existe bulbo
if bul==0
% Coeficiente de resistencia total
ct=(cf+ca)/(1-coc);
% Superficie mojada total (m2)
St=Sut+Sup;
% Resistencia al avance (N)
R=ct*0.5*ro*St*v^2;
% Caso de que exista bulbo
else
% Con otras protuberancias
if lb==0
[opt]=optbulamadeo(vb,Lpp,B,cb);
lb=opt(1,1);
end
% efecto del bulbo
```

```
Fb=v/((9.81*lb)^0.5);
a=-47.3*(Fb^3)+292.7*(Fb^2)-579.7*(Fb)+351.7;
b=166.7*(Fb)^3-1037.6*(Fb^2)+2062.8*Fb-1244.8;
des=a*(Lpp/B)+b;
% Relacion de coeficientes (Ec 19)
cocc=coc/(1+des/100);
% Coeficiente de resistencia total
ct=(cf+ca)/(1-cocc);
% Superficie mojada del bulbo
Sb=4.420*(Displ^(2/3))+0.378*(Displ^(1/3))*Lpp-26.5;
% Superficie mojada total
St=Sut+Sb;
% Resistencia al avance
R=ct*0.5*ro*St*v^2;
end
```

2 Potencia-velocidad.

```
%% Script que calcula la curva potencia-velocidad.
%

% Limpiamos el buffer
clear all
% Establecemos los enteros como "long int"
format long

%% Bloque 1.
% Establecemos las variables del problema.
%

% Inputs para la funcion Amadeo (estimacion de la resistencia)
bul=0;           % Sin bulbo
lb=0;            % Eslora del bulbo
```

```
etad=0.6;          % Rendimiento propulsivo
etam=0.97;         % Rendimiento mecanico

% Especificacion del proyecto
vb=12.5*0.5144;    % Velocidad en m/s

% Propiedades del agua
ro=1.025;          % densidad del agua salada_en Tn/m^3
roa=1025;          % densidad del agua salada en kg/m^3
visc=1.1883e-6;    % viscosidad cinemática en m2/s

% Propiedades del buque (Apartado 6.4)
Lpp = 29.2;        % Eslora entre perpendiculares en m
B = 7.2;           % Manga en m
T = 3.4;           % Calado en m
Disp = 425.2;      % Desplazamiento en m
Cb = 0.59;         % Coeficiente de bloque

% Velocidades a probar
v = 0:0.05144:vb+1; % De cero hasta la velocidad del buque + 1kn

%% Bloque 2.
% Resolucion del problema.
%

% Iniciamos el vector de potencias
BHP = 0;

% Bucle alrededor de las velocidades
for i=1:length(v)
    fprintf('%g%%\n', i/length(v)*100);
    % Estimacion de la resistencia
```

```
Ramadeo=Amadeo(roa,visc,v(i),vb,bul,B,T,Lpp,Disp,Cb,lb);  
% EHP  
EHP=Ramadeo*vb/750;  
% BHP  
BHP(i)=EHP / etad / etam;  
end  
v /= 0.5144;  
fprintf('Calculo terminado\n');  
fprintf('Accede a los vectores con "v" y "BHP"\n');
```

BUQUE BONITERO DEL CANTÁBRICO
PROYECTO 077.
CURSO 2009-2010

Formas.

DOCUMENTO 3
AUTOR: JOSE LUIS CERCOS PITA
COTUTOR: ANDER LASA GALLURRALDE
TUTOR: ANTONIO SOUTO IGLESIAS

1 Índice de contenidos.

1	<i>Índice de contenidos.</i>	2
2	<i>Especificación del proyecto.</i>	3
3	<i>Objetivos.</i>	4
4	<i>Análisis previo de la calidad del tipo de formas adoptadas.</i>	4
5	<i>Coefficientes de bloque, de la maestra y de la flotación.</i>	5
5.1	Coefficiente de bloque.	5
5.2	Coefficiente de la maestra.	6
5.3	Coefficiente de la flotación.	6
6	<i>Perfiles de proa y popa.</i>	6
6.1	Perfil de proa.	6
6.2	Perfil de popa.	7
7	<i>Parámetros de los bulbos de proa y popa, en su caso.</i>	8
7.1	Estudio de los beneficios potenciales de incorporar un bulbo.	8
7.2	Definición del bulbo.	12
7.3	Estudio comparativo mediante códigos potenciales.	13
7.3.1	Código potencial ETSIN-CFD.	13
7.3.2	Preprocesado con GID.	13
7.3.3	Postprocesado.	15
8	<i>Generación o derivación de formas.</i>	18
9	<i>Curva de áreas transversales normalizada.</i>	19
10	<i>Plano de formas con dos longitudinales y dos diagonales.</i>	19
	<i>Anexo I: Curva de áreas normalizada.</i>	20
	<i>Anexo II: Plano de formas.</i>	21

2 Especificación del proyecto.

- CLASIFICACIÓN: **Bureau Veritas**
- TRB: **149**
- GT: **230**
- VOLUMEN DE COMBUSTIBLE: **70 m³**
- VOLUMEN DE VIVEROS: **50 m³**
- VELOCIDAD EN PRUEBAS: **12 .5 kn al 90% MCR**
- EQUIPO PROPULSOR: **Motor Diesel**
- ALOJAMIENTOS: **15 tripulantes**
- ASPECTOS ADICIONALES:
 - 1.- El buque dispondrá de una planta de oxigenación del agua de viveros.
 - 2.- El buque dispondrá de un tanque estabilizador pasivo que reduzca al menos un 50% el movimiento de balance durante la maniobra de pesca.
 3. Se presentará además una planificación para la construcción asociada a los medios de un astillero de la sociedad PYMAR del que se disponga de información suficiente.

3 Objetivos

En este documento vamos a tratar el problema de las formas, lo que implicará la generación de las formas, las variaciones implicadas, el estudio y elección de las alternativas, los coeficientes de forma resultantes, que con toda probabilidad variarán respecto de los estimados en los cuadernos anteriores, los perfiles resultantes en proa y popa, los parámetros del bulbo, la curva de áreas transversales normalizada, y la presentación del plano de formas.

4 Análisis previo de la calidad del tipo de formas adoptadas.

Las formas del buque deben ajustarse, en la medida de lo posible, a las dimensiones elegidas en el cuaderno anterior (6.4)¹:

Eslora entre perpendiculares: 29.2 m

Manga: 7.2 m

Calado: 3.4 m

Puntal: 3.8 m

Desplazamiento: 425.2 Tn

Coeficiente de bloque: 0.59

Los resultados de nuestras formas son:

Eslora entre perpendiculares: 29.2 m

Manga: 7.2 m

Calado: 3.4 m

Puntal: 3.8 m

Desplazamiento: 423.7 Tn

Coeficiente de bloque: 0.51

Lo que quiere decir que tenemos un error en el desplazamiento del 0.3%, completamente admisible, y un error del 14% en el coeficiente de bloque.

Las formas resultantes son las de una serie de buques boniteros, a la que, como ya veremos, se le aplican transformaciones para alcanzar las dimensiones deseadas, con las formas más hidrodinámicas posibles, y la presencia de un bulbo de proa y una popa de crucero. Las formas de partida tenían ya un coeficiente de bloque relativamente bajo, de 0.56, y tras las modificaciones de las formas el coeficiente de bloque se ha reducido hasta 0.51.

El número de Froude de nuestro buque es 0.38, un valor realmente elevado que indica que la resistencia a la avance va a ser grande, luego su minimización va a ser un factor clave.

En ese sentido las formas han sido estudiadas con códigos CFD potenciales, ya que con números de Froude tan altos la componente de resistencia por formación de olas es claramente dominante, y como ya veremos más adelante, nos han sido útiles para

¹ Sólo se incluyen aquellos valores que realmente podemos comparar.

encontrar las formas óptimas de cara a la resistencia al avance, y las ventajas de incorporar un bulbo.

Las nuevas formas, con sus nuevos datos, requerirán repetir el cálculo de la regresión de Amadeo para obtener una nueva curva de potencia-velocidad, que será nuestra referencia final a falta de datos más fiables, como ensayos en canal.

Vamos, en este documento, a estudiar las alternativas, y las formas elegidas, y las razones que a ello nos ha llevado.

Si con estas nuevas formas repetimos la curva potencia-velocidad mediante la regresión de Amadeo, obtenemos lo siguiente:

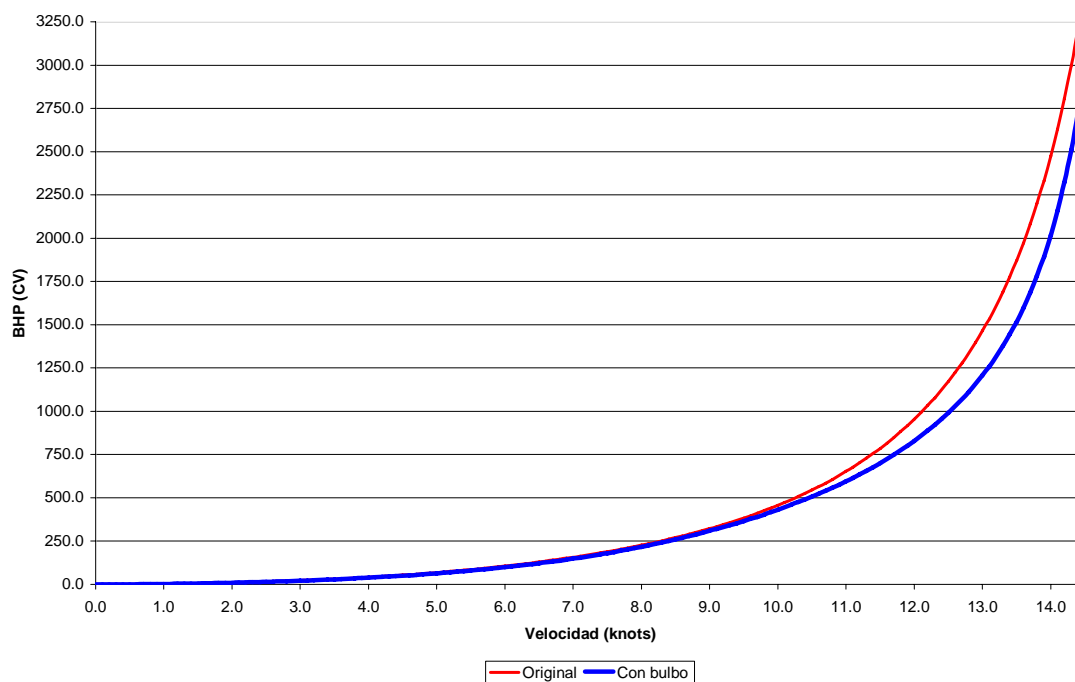


Figura 1. Comparación de la curva de potencia-velocidad, con los datos originales, y con las nuevas formas.

Se ve una apreciable mejora en la resistencia al avance² según la predicción de Amadeo, que a 12.5 nudos se concreta en una reducción de 180 caballos de potencia entregada al freno necesaria.

5 Coeficientes de bloque, de la maestra y de la flotación.

Los coeficientes resultantes son los siguientes:

Coeficiente de bloque: **0.51**

Coeficiente de la maestra: **0.88**

Coeficiente de la flotación: **0.85**

5.1 Coeficiente de bloque.

Si los comparamos con los que estimamos en el anterior cuaderno (4.1.1, 4.1.2 y 4.1.4), podemos obtener las desviaciones relativas³:

² Indicada por la potencia entregada al freno necesaria.

$$\frac{\Delta Cb}{Cb} = \frac{abs(0.51 - 0.59)}{0.59} = 0.14 \rightarrow \text{Ec. 1}$$

El coeficiente de bloque se ha desviado un 14% respecto del valor que estimamos. Esa desviación es demasiado elevada, y por tanto el afinamiento de las formas ha sido, probablemente, excesivo.

Un coeficiente de bloque demasiado bajo puede traer consecuencias negativas en la resistencia al avance, o en la estabilidad.

La resistencia al avance en un principio ha sido disminuida significativamente basándonos en la regresión de Amadeo, pero dicha regresión lleva asociados errores suficientemente grandes como para que la reducción en la resistencia al avance no sea tal.

Respecto a la estabilidad, en sucesivos cuadernos realizaremos todos los cálculos de la misma, y comprobaremos si la reducción del coeficiente de bloque tiene efectos excesivamente negativos.

Por tanto, en sucesivas vueltas a la espiral del proyecto se debería estudiar la posibilidad de recuperar en buena medida parte del coeficiente de bloque perdido en el afinamiento de las formas.

5.2 Coeficiente de la maestra.

$$\frac{\Delta Cm}{Cm} = \frac{abs(0.88 - 0.87)}{0.87} = 0.01 \rightarrow \text{Ec. 2}$$

El coeficiente de la maestra en cambio sólo se ha desviado un 1%, indicativo de la bondad de las formas elegidas.

5.3 Coeficiente de la flotación.

$$\frac{\Delta Cf}{Cf} = \frac{abs(0.85 - 0.86)}{0.86} = 0.01 \rightarrow \text{Ec. 3}$$

Y de la misma forma, el coeficiente de la flotación sólo se ha desviado otro 1%, lo que sigue denotando unas formas fiables.

Cuanto mejor se conserven los valores, mejores resultados nos devolverá la regresión de Amadeo, entendiéndolo como tal, resultados más fiables.

6 Perfiles de proa y popa.

Los perfiles de proa y de popa, siguen, de forma general, los de la serie de boniteros empleada, no obstante tienen algunas particularidades que debemos analizar.

6.1 Perfil de proa.

El perfil de proa original (sin bulbo) se ha proyectado en abanico, con un apreciable lanzamiento, con la intención de afinar las formas a proa, y así reducir en la medida de lo posible la resistencia al avance. Este tipo de formas son más caras de construir, pero en este buque, rápido como es, es estrictamente necesario.

³ Es discutible, pero se utilizan relativos al estimado, pues es el dato original.

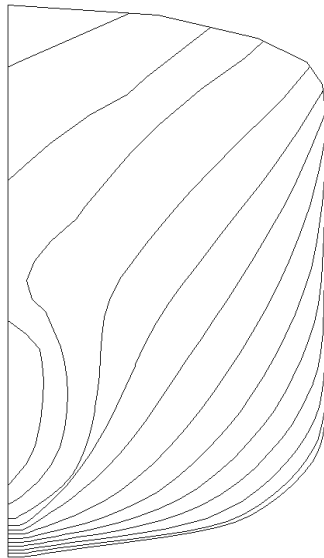


Figura 2. Imagen de las formas de proa.

6.2 Perfil de popa.

Las formas en popa también se han afinado en la medida de lo posible, usando para ello unos perfiles U-V. La realidad es que dominan claramente los perfiles en V, pero en la unión con el cuerpo cilíndrico, si se pueden ver formas U-V.

Estas formas también son más caras, pero al igual que ocurría con el perfil de proa, correctamente llevadas a cabo contribuyen de forma decisiva a la resistencia al avance, y en este buque tan rápido, y de un porte relativamente pequeño, el incremento en los costes constructivos es aceptable en comparación con el posible ahorro en potencia necesaria.

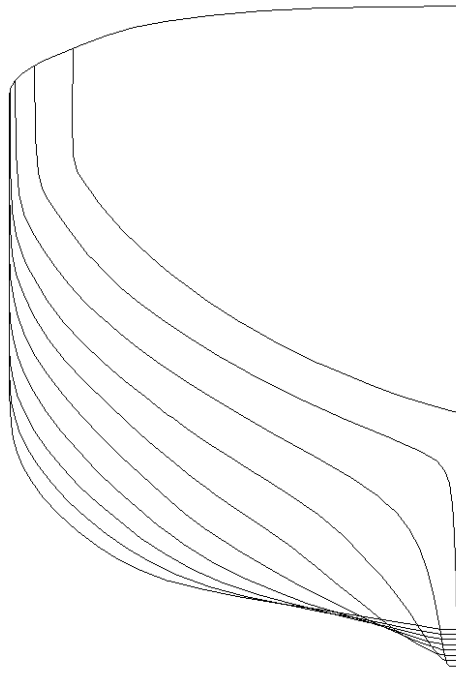


Figura 3. Perfil de popa (tipo U-V).

Por otra parte, se ha optado por una popa de crucero. Lo cierto es que la mayoría de los buques boniteros del Cantábrico llevan popas de espejo, que entre otras cosas son

más baratas, pero el cotutor, Ander Lasa Gallurralde, insistió en que las popas de crucero son más “marineras”, y su experiencia le enseña que dan mejores resultados. Al tratarse de un buque construido en acero, el incremento del coste constructivo no es demasiado elevado.

Lo bien cierto es que, salvo en caso de números de Froude realmente altos (> 0.45), si la popa se sumerge suelen dar mejores resultados las popas de crucero que las popas de espejo, y al tener este barco un número de Froude alto, pero no lo suficiente como para considerar, hidrodinámicamente hablando, la popa de espejo como la mejor opción, resulta aceptable optar por popas de crucero si la experiencia enseña que son beneficiosas.

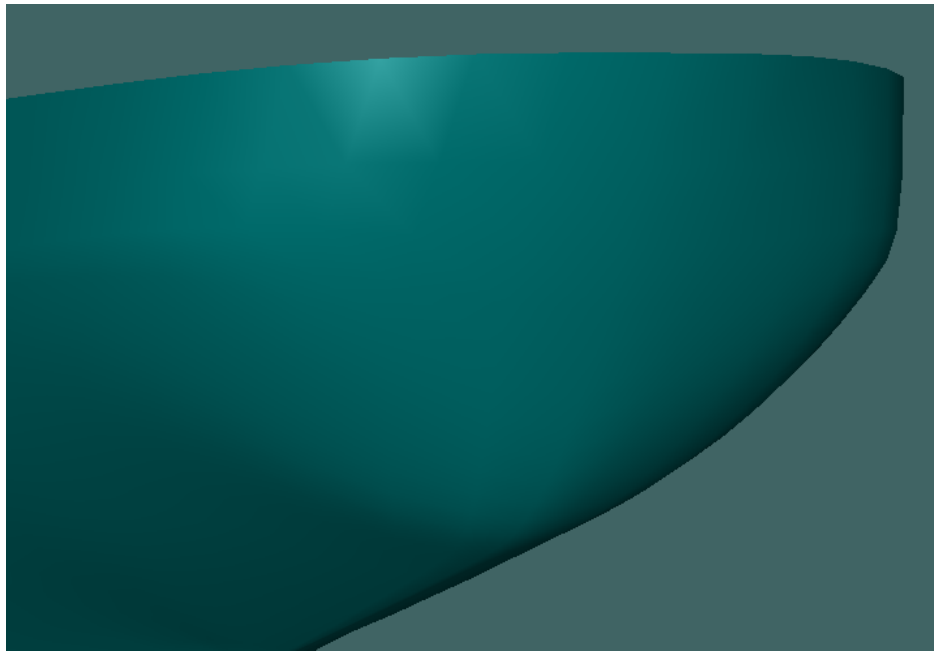


Figura 4. Popa de crucero.

En la **Figura 4.** se puede observar el aspecto de la popa de crucero.

7 Parámetros de los bulbos de proa y popa, en su caso.

Nuestro barco carece de bulbo de popa, pues su pequeño tamaño hace difícil utilizar uno para mejorar la hidrodinámica en la popa.

Conviene en cambio discutir si convendría utilizar un bulbo en la proa.

7.1 Estudio de los beneficios potenciales de incorporar un bulbo.

La experiencia con estos barcos parece indicar que no, puesto que es realmente complicado encontrar buques de este tipo que presente un bulbo de proa.

Probablemente esta experiencia se basa en el ciclo de vida de estos barcos, puesto que, aunque deben ser capaces de alcanzar grandes velocidades, la realidad es que estos buques no se encuentran navegando gran parte de su vida útil.

Por otra parte volvemos a remitirnos al número de Froude de nuestro barco, que es de 0.38. A esa velocidad la resistencia por formación de olas es claramente dominante, que riendo decir esto que cualquier reducción en la misma será muy significativa.

Todo esto llama a saber hasta que punto una incorporación del bulbo puede afectar a la inversión en el buque, puesto que, encareciendo el barco en su inversión inicial, puede conllevar una reducción de costes que lo haga claramente rentable.

El efecto del bulbo será doble, pues a altas velocidades tendrá un efecto positivo⁴, pero a bajas velocidades su efecto será probablemente negativo⁵, puesto que aumenta la superficie mojada. Efectos sobre la carena sólo afectan a buques más grandes.

Podemos añadir en este punto, que caso de que la mejora no sea realmente palpable, se debe evitar el uso del bulbo de proa, pues agrava los problemas de *slamming* en caso de mala mar.

El efecto positivo de la incorporación del bulbo de proa en buques pesqueros fue estimado por el propio Amadeo (ref. [16]), que creo el siguiente indicador de mejora:

$$\%DES = a \cdot \left(\frac{Lb}{B} \right) + b \rightarrow \text{Ec. 4}$$

Para evitar tener que resolver el problema de optimización (en el que buscaríamos el máximo del indicador), Amadeo presento la siguiente gráfica:

⁴ Algo que estudiaremos mediante CFD, y que caso de no dar un efecto positivo, se descartará.

⁵ Los barcos de gran porte, y bajo número de Froude, pueden verse favorecidos por la presencia de un bulbo, aún siendo buques lentos, por un efecto homogenizador de las líneas de corriente (ref. [17]).

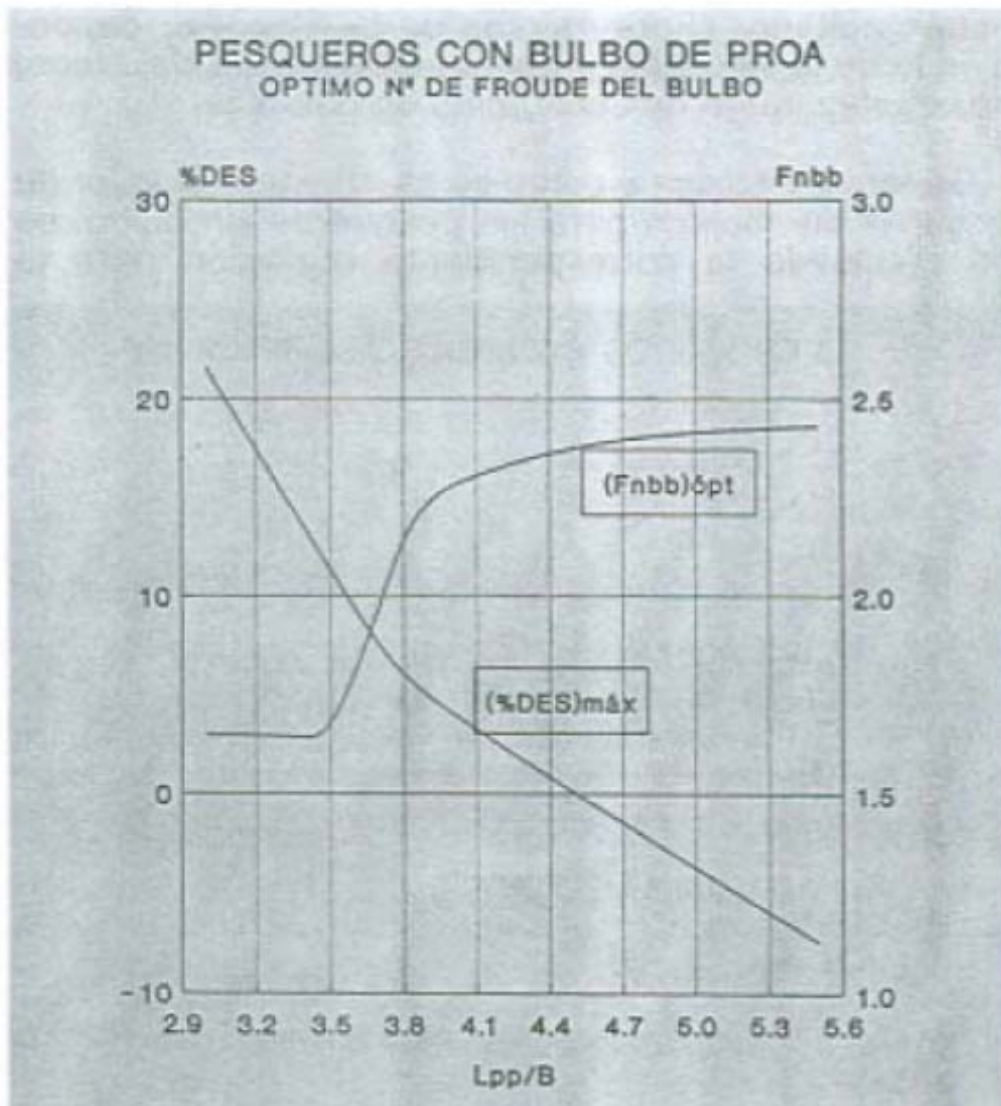


Figura 5. Porcentaje de mejora máximo en función de la relación eslora-manga. Nuestra relación eslora-manga es:

$$\frac{L_{pp}}{B} = \frac{29.2}{7.2} = 4.06 \rightarrow \text{Ec. 5}$$

Así que entrando con **Ec. 4** en la **Figura 5**, tenemos que el porcentaje de mejora máximo es del 12%.

Podemos ahora empezar a plantear hipótesis.

Propongamos que al número de Froude de 0.38 la componente de resistencia por olas representa el 50% de la resistencia total. Una hipótesis probablemente algo conservadora.

Propongamos también que sólo el 20% del tiempo nuestro buque se encuentra navegando.

Según eso, el factor de mejora positivo, a altas velocidades, es de:

$$f_{\text{positivo}} = 0.12 \cdot 0.5 \cdot 0.2 = 0.012 \rightarrow \text{Ec. 6}$$

Veamos ahora los posibles efectos adversos. Propongamos que el aumento de superficie mojada es del 1%, muy por encima de la realidad. El incremento de la

resistencia puede tomarse como lineal con la superficie mojada a velocidades muy pequeñas.

Si el 20% del tiempo esta navegando, supongamos que el otro 80% esta realizando operaciones que requieren una velocidad pequeña.

Supongamos que a esa velocidad pequeña la resistencia era del 10% de la resistencia a altas velocidades, una suposición probablemente demasiado conservadora.

Entonces, el efecto negativo será de:

$$f_{\text{positivo}} = 0.01 \cdot 0.8 \cdot 0.1 = 0.001 \rightarrow \text{Ec. 7}$$

Luego tenemos un factor de mejora global estimado de:

$$f_{\text{mejora}} = f_{\text{positivo}} - f_{\text{negativo}} = 0.012 - 0.001 = 0.011 \rightarrow \text{Ec. 8}$$

Un 1% de mejora global, con estas hipótesis tan conservadoras. Una mejora del 1% en el consumo de combustible es un factor clave, que convierte el bulbo en una opción muy considerable. Luego vamos a estudiar la posibilidad de que nuestro buque tenga un bulbo de proa.

El método de Amadeo nos permite ver la mejora en una curva potencia-velocidad (Figura 6.).

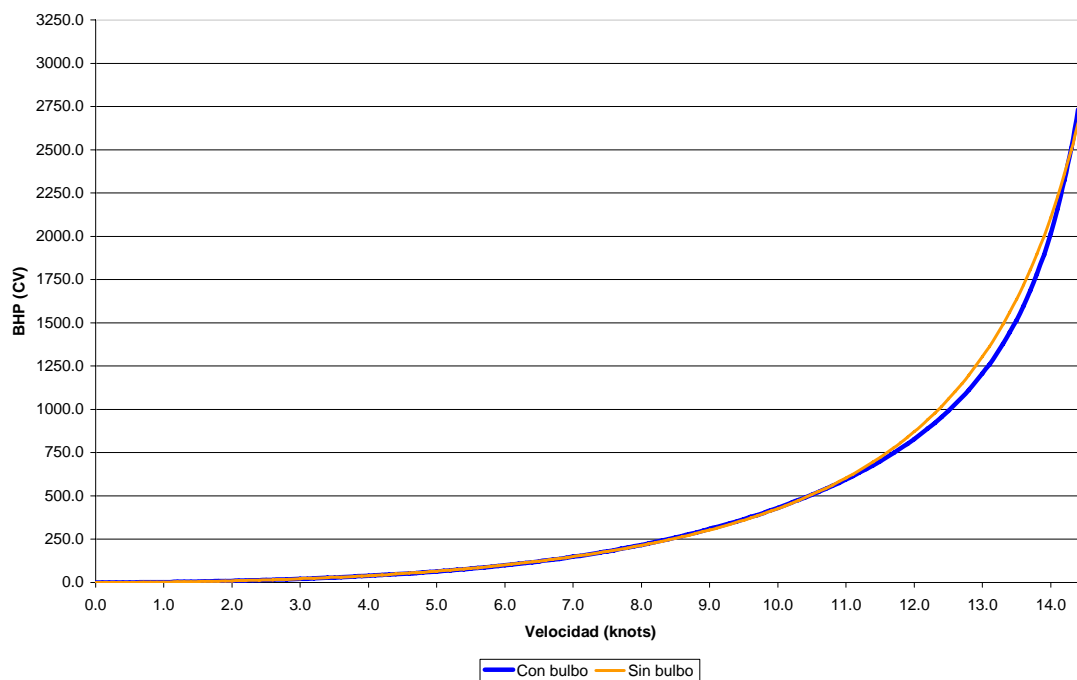


Figura 6. Comparación de las curvas de potencia-velocidad con las nuevas formas, con o sin bulbo, según la regresión de Amadeo.

Se puede observar como a la velocidad de 12.5 nudos existe una mejora muy considerable, y como a bajas velocidades los efectos negativos no parecen muy grandes. Después de definir el bulbo mediante sus parámetros vamos a tratar de contrastar estos resultados con códigos potenciales.

Nótese la diferencia de la Figura 1. y la Figura 6. En la primera figura se comparan las estimaciones originales según Amadeo con las formas resultantes, incluido el cambio del coeficiente de bloque, y la incorporación del bulbo⁶. En cambio, en la Figura 6. se comparan las formas resultantes, con o sin bulbo.

⁶ Amadeo no contempla la diferencia entre popa de espejo y popa de crucero, luego huelga su estudio.

7.2 Definición del bulbo.

De cara a definir el bulbo por parámetros nos apoyaremos en la referencia [17], una forma muy convencional de definirlos:

- **Altura (h):** Es la ordenada sobre la línea de base del punto de protuberancia máxima.
- **Protuberancia:** Es la abscisa del punto más a proa del contorno longitudinal del bulbo, referida a la perpendicular de proa.
- **Área:** Es el área de la sección transversal del bulbo por la perpendicular de proa.

Estos tres parámetros serán suficientes, puesto que el bulbo que planeamos crear será un bulbo de tipo peonza, que dan mejores resultados cuando el buque se encuentra a plena carga, y minimizan los efectos adversos del *slamming*.

Diseñaremos un bulbo según lo describe Amadeo, puesto que en un principio es la fuente más fiable que tenemos para estimar la resistencia al avance. Probablemente podríamos diseñar otros bulbos mejores, y compararlos con los CFD, pero lo cierto es que los CFD son peligrosos, pues pueden dar resultados extraños, y puesto que no disponemos de ensayos de canal, ni posibilidad de acceder a ellos, parece una mejor idea, a la par que más conservadora, diseñar un bulbo que se ajuste lo máximo posible a los ensayos por Amadeo.

Si volvemos a entrar con **Ec. 5** en la **Figura 5**, observamos que el número de Froude de nuestro bulbo es 2.3, y de aquí podemos sacar la eslora de nuestro bulbo:

$$L_b = \frac{v^2}{g Fn^2} = \frac{(12.5 \cdot 0.5144)^2}{9.81 \cdot 2.3^2} m = 0.797 m \rightarrow \text{Ec. 9}$$

Una vez calculada la protuberancia óptima, vamos a calcular los otros parámetros que definen el bulbo, lo cual hizo el autor aplicando regresiones. Para definir el área del bulbo obtuvo la siguiente regresión:

$$\frac{A_{20}}{A_{10}} = 0.08 \cdot C_b - 0.002 \rightarrow \text{Ec. 10}$$

Por tanto:

$$\frac{A_{20}}{A_{10}} = 0.04672$$

Mientras que para definir la altura de la nariz:

$$\frac{h}{T_{pr}} = 0.98 - 3.8 \cdot C_b \cdot \frac{B}{L_{pp}} \rightarrow \text{Ec. 11}$$

$$\frac{h}{T_{pr}} = 0.444$$

A la vista de los resultados mostrados en la tabla de más abajo, llegamos a la conclusión de que el bulbo que nos propone D. Amadeo García Gómez es mucho más pequeño que el primer bulbo estudiado.

	Área del bulbo(m ³)	C.d.g(m)	Altura de nariz(m)	Lb (m)
Bulbo	0.837	1.230	1.229	0.797

Tabla 1. Parámetros del bulbo de proa.

7.3 Estudio comparativo mediante códigos potenciales.

De cara a contrastar los resultados estimados según Amadeo vamos a usar códigos potenciales, puesto que los efectos de la incorporación del bulbo, tal y como hemos visto, son relevantes solamente en la resistencia por formación de olas, luego no sería de gran utilidad emplear códigos viscosos.

7.3.1 Código potencial ETSIN-CFD.

El código que se va a emplear es **ETSIN-CFD**, desarrollado por CEHINAV. Los códigos potenciales son aquellos que resuelven la ecuación de Laplace para los fluidos, en la que se supone que el rotacional del fluido es nulo, permitiendo resolver el potencial de velocidades⁷.

ETSIN-CFD emplea el método de paneles para la resolución del problema, el cuál tiene la ventaja de que tan sólo necesita mallas del contorno (buque) y de la superficie libre, lo que los hace considerablemente rápidos frente a otras alternativas como pudieran ser elementos finitos.

7.3.2 Preprocesado con GiD.

ETSIN-CFD emplea **GiD** (ref. [19]) en el preprocesado y en el postprocesado.

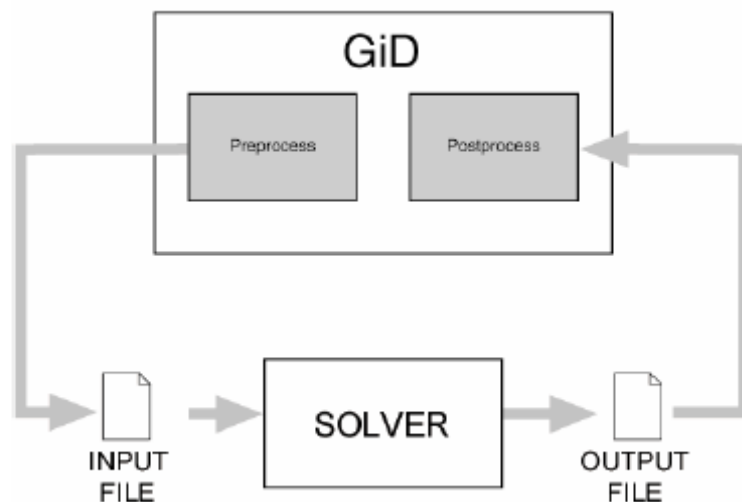


Figura 7. Esquema de funcionamiento de ETSIN-CFD con GiD.

Se han importado las formas con bulbo, y sin el, y se ha generado una superficie de control para la superficie libre, con media eslora aguas arriba, y una eslora aguas abajo, y dos mangas según el eje y. La malla es de tipo estructurada, y para asegurarnos de la convergencia y coherencia de los resultados se han creado tres mallados parecidos de densidades de malla crecientes. Como el objetivo de esto era solamente comprobar que había una consistencia mínima exigible, sólo se presentan los resultados para el mallado más denso:

⁷ La otra alternativa de códigos no viscosos son aquellos en los que establece que los efectos viscosos son nulos, llegándose a la notación de Euler.



Figura 8. Mallado sin bulbo.

En la **Figura 8.** se puede observar el mallado sin bulbo de malla estructurada. Se puede observar que la densidad de malla en el contorno, o buque, es realmente alta frente al de la malla de la superficie libre.

También se deben buscar mallados los más uniformes posibles, pues mejorarán de forma notable, los resultados devueltos.

Para la densidad de malla de la superficie libre en cambio se puede usar una relación con respecto de la longitud de onda de la ola generada, que para aguas profundas es:

$$\lambda = \frac{2 \cdot \pi \cdot v^2}{g} = \frac{2 \cdot \pi \cdot (12.5 \cdot 0.5144)^2}{9.81} \text{ m} = 26.4 \text{ m} \rightarrow \text{Ec. 12}$$

Se necesitan al menos 14 paneles para capturar la onda, luego al tener 3.5 esloras en la dirección de x (dirección de avance del buque), necesitamos:

$$n_x = \frac{3.5 \cdot L}{\lambda} \cdot 14 = \frac{3.5 \cdot 29.2}{26.4} \cdot 14 = 55 \rightarrow \text{Ec. 13}$$

Al menos 55 paneles en el eje x, y en el eje y aquellos que consigan que los paneles sean lo más uniformes posible.

Estrictamente hablando, la densidad de la malla de la superficie libre no suele ser crítica en los resultados, siempre que se alcances estos mínimos, luego con cumplir este criterio, cualquier malla será suficiente.

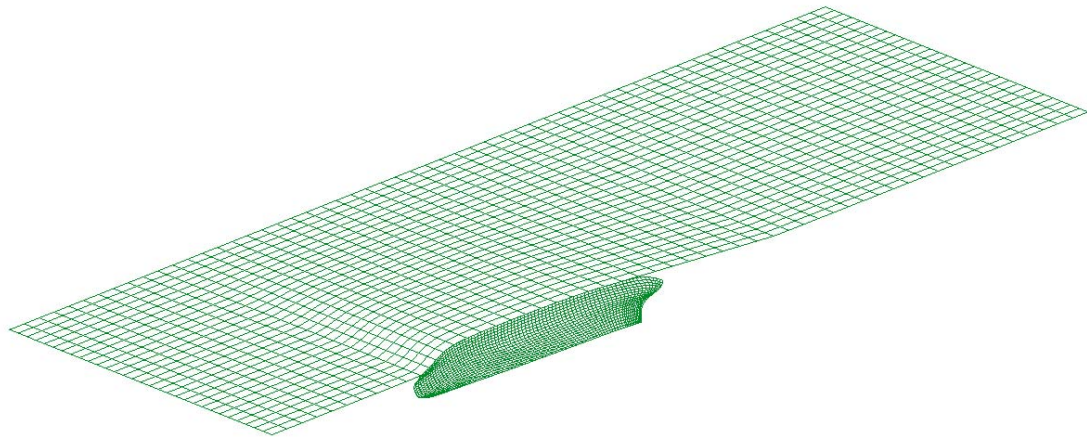


Figura 9. Mallado con bulbo.

Respecto a las formas con bulbo actuaremos de la misma forma.

7.3.3 Postprocesado.

Una vez corrido el caso con **ETSIN-CFD**, podemos observar los resultados. Nos interesa el comparar los cortes de ola de ambas formas (sin bulbo, o con bulbo de Amadeo).

Podemos empezar haciendo una apreciación de ambos cortes de ola en el propio GID:

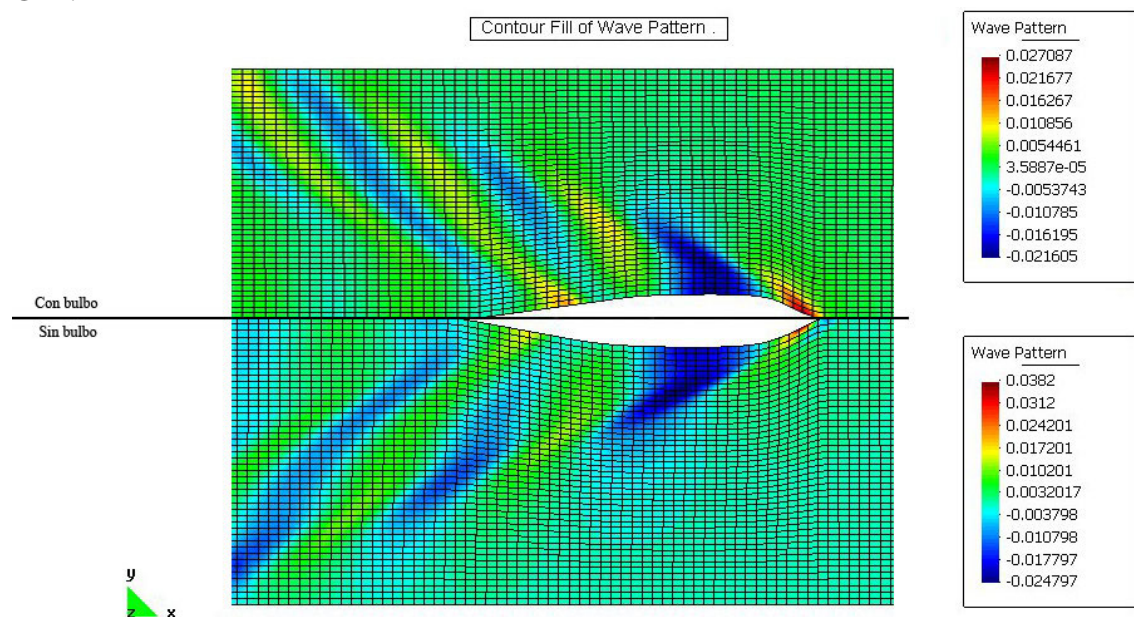


Figura 10. Comparación de cortes de ola del buque con bulbo y sin bulbo.

Si prestamos atención a las escalas comprobamos que el bulbo tiene ya unos valores máximos y mínimos más reducidos, luego el tamaño máximo de la ola es menor. Podemos también apreciar que las olas formadas por el buque sin bulbo son menos uniformes.

Pero de cara a hacer comparaciones necesitamos comparar los cortes de ola de una forma más analítica.

ETSIN-CFD nos devuelve tres cortes de ola, a 0.5665 veces la manga, a 1.0587 veces la manga, y a 1.5508 veces la manga. Podemos *plotear* estos cortes de ola comparando ambas formas del buque, algo que se observa en las figuras Figura 11. , Figura 12. , y Figura 13.

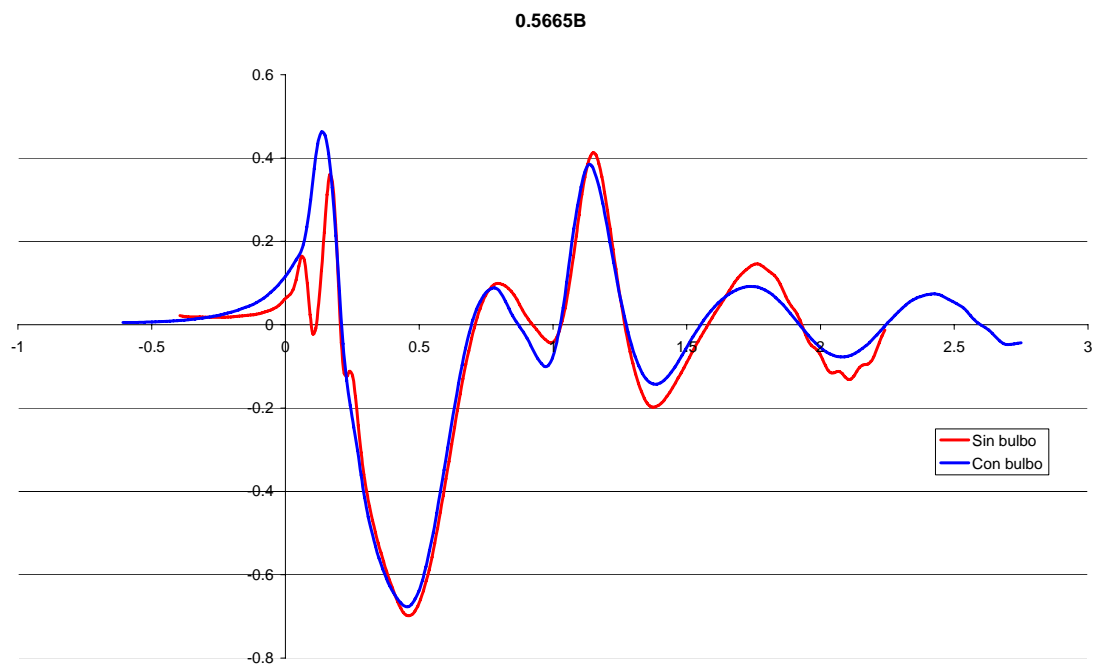


Figura 11. Cortes de ola a 0.5665·B

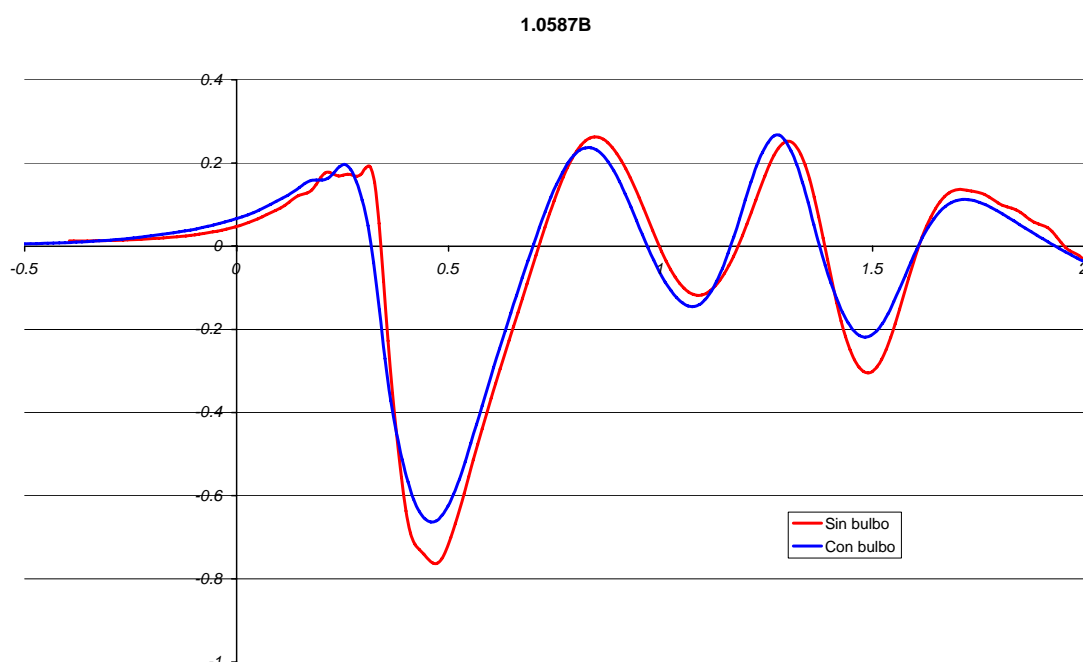
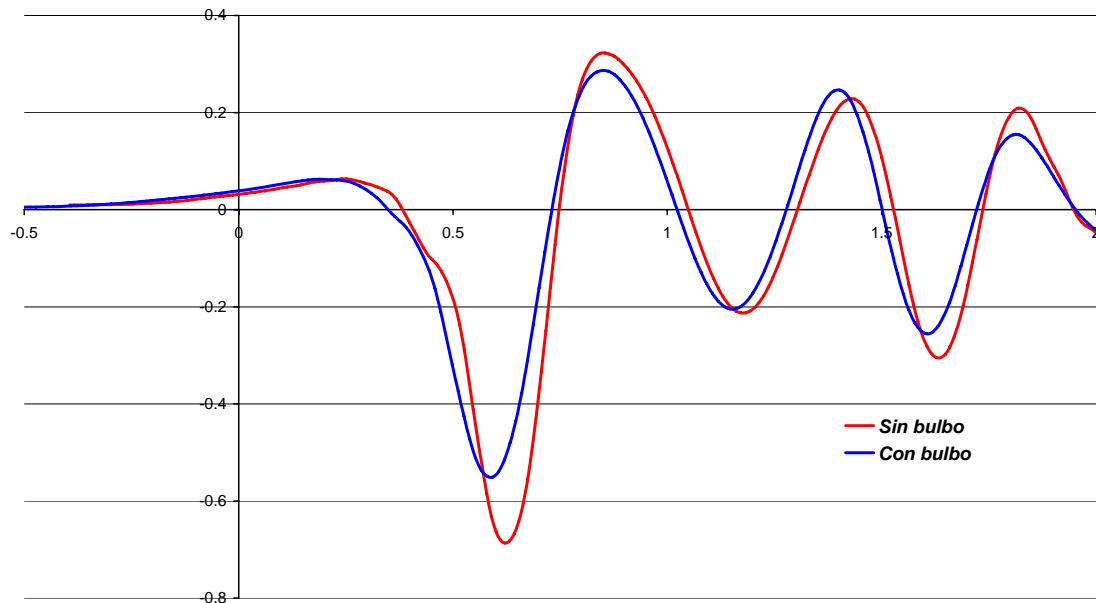


Figura 12. Cortes de ola a 1.0587·B**1.5508B****Figura 13. Cortes de ola a 1.5508·B**

Vemos unos cortes que, salvo en el primer caso, tienen alturas apreciablemente menores, pero necesitamos evaluar de alguna forma esta posible mejora.

Un buen indicativo de la resistencia por formación de olas es la integral del cuadrado de la función⁸. Algo que debido a la densidad de puntos se haya fácilmente integrando por ejemplo, integrando mediante trapecios, con una aproximación suficiente para nuestros intereses.

	<i>Sin bulbo</i>	<i>Con bulbo</i>
<i>0.5665·B</i>	0.148790	0.151400
<i>1.0587·B</i>	0.137960	0.128604
<i>1.5508·B</i>	0.106223	0.094437

Tabla 2. Valores de la integral del cuadrática de los cortes de ola.

Si buscamos la variación relativa de las formas con bulbo respecto al de las formas sin bulbo encontramos los siguientes valores (positivo si mejora):

$$\Delta_{0.5B} = \frac{0.148790 - 0.151400}{0.148790} = -0.017;$$

$$\Delta_{1.0B} = \frac{0.137960 - 0.128604}{0.137960} = 0.068; \rightarrow \text{Ec. 14}$$

$$\Delta_{1.5B} = \frac{0.106223 - 0.094437}{0.106223} = 0.111;$$

⁸ El cuadrado de la altura de la ola es un excelente indicativo de la energía disipada en su generación.

Aunque el indicativo indica efectos negativos en el corte más próximo al buque, con un 2% de desviación, los dos cortes siguientes marcan fuertes mejoras de un 7%, y de un 11%. Esto nos da algo más de seguridad de que la regresión de Amadeo, que nos aconseja incorporar un bulbo, es acertada.

A pesar de que los códigos CFD nos invitan a creer en mejoras mayores de la resistencia al avance, mantendremos el valor de la regresión de Amadeo, que es más fiable.

Por tanto incorporaremos el bulbo descrito en 7.2, y usaremos como resistencia al avance la estimada según Amadeo (ver Figura 1.).

8 Generación o derivación de formas.

La creación de las formas ha seguido el guión de la generación de formas habitual a partir de una serie. Se han tomado las formas de un buque bonitero perteneciente a una serie, lo más parecido posible al nuestro, y se han realizado sucesivas transformaciones paramétricas hasta alcanzar las dimensiones que elegimos en el anterior cuaderno (6.4). Después se han aplicado los cambios que se han creído oportunos, como la adición del bulbo, o la popa de crucero, que ya han sido estudiadas.

Ese proceso, tal y como se ha descrito, habría sido suficiente en un caso convencional, pero como en nuestro caso hemos empleado códigos CFD para comparar, estos son algo sensibles a imperfecciones que pueden provenir del proceso de generado del buque original, por esa razón se han reconstruido las formas del buque original de la serie, lo que permite garantizar ciertas propiedades matemáticas deseables en la definición de la superficie.



Figura 14. Imagen de las formas resultantes, sin bulbo.

De esa manera se obtienen unas formas que, de cara a la definición final, y su presentación (plano de formas por ejemplo), hubieran resultado similares a las obtenidas directamente transformando las originales, pero que de cara a ser pasadas por un código CFD, son aptas para un buen mallado, lo que mejorará los resultados devueltos por el código.

A esas formas se les puede entonces añadir un bulbo.

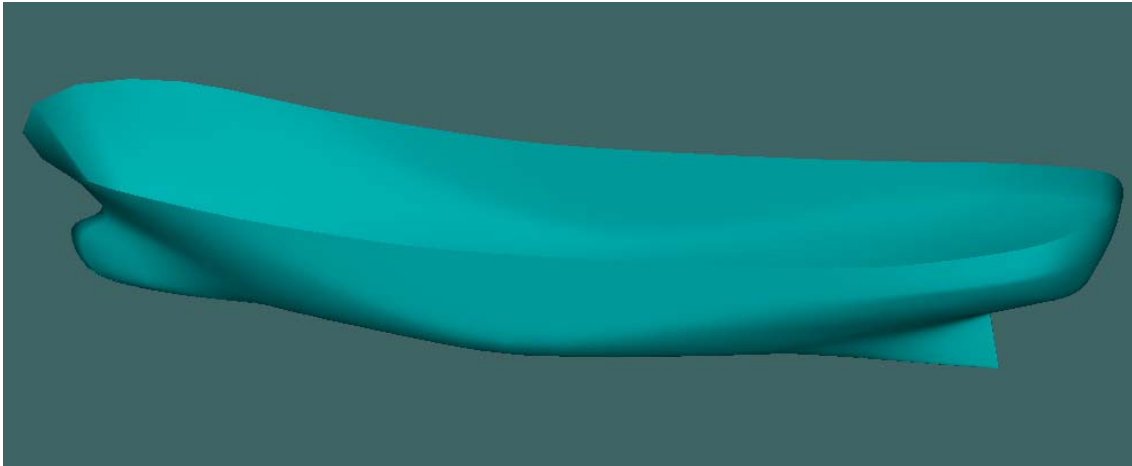


Figura 15. Imagen de las formas resultantes, con bulbo.

9 Curva de áreas transversales normalizada.

Podemos encontrar la curva de áreas en el **Anexo I**.

La curva de áreas presenta, como es de esperar en estos buques, un cuerpo cilíndrico muy pequeño.

También se puede notar ligeramente la presencia del bulbo.

Los ángulos de entrada y de salida, un tanto elevados, indican unas formas romas, pero la, prácticamente, ausencia de cuerpo cilíndrico hace que no existan codillos, lo que suaviza los efectos adversos de los altos ángulos de entrada y salida.

10 Plano de formas con dos longitudinales y dos diagonales.

El plano de formas se encuentra en el **Anexo II**. Se ha realizado con asiento de proyecto, y con la línea base en el canto alto de la quilla.

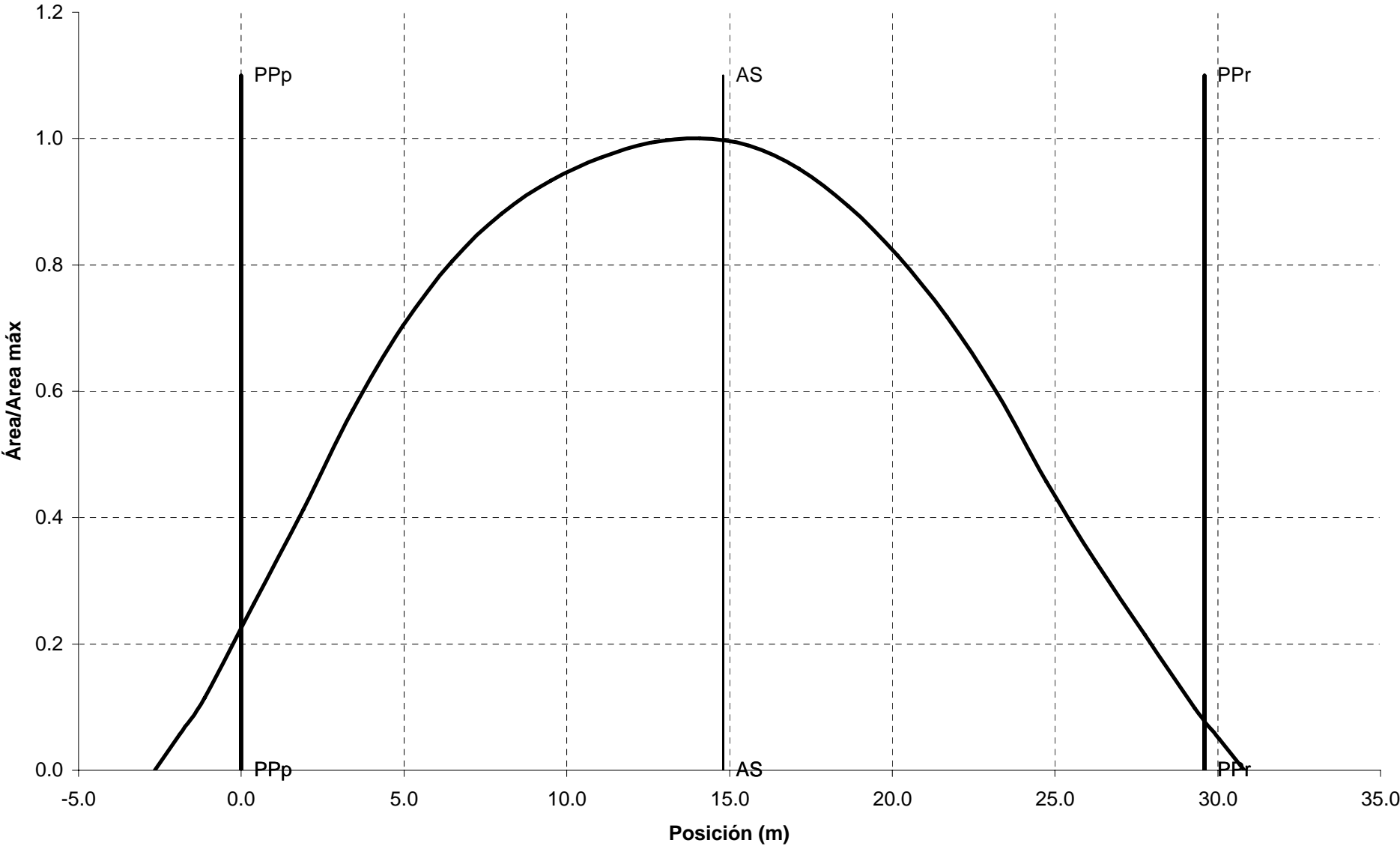
Se presenta con las 21 cuadernas entre perpendiculares (0 a 20) desde la popa hasta la proa, y otras dos a proa, a media distancia, para poder apreciar mejor las formas de la proa (20,5 y 21).

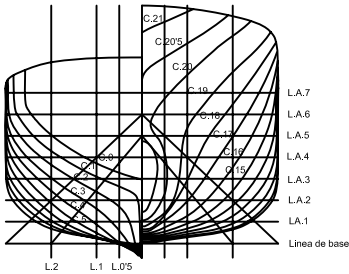
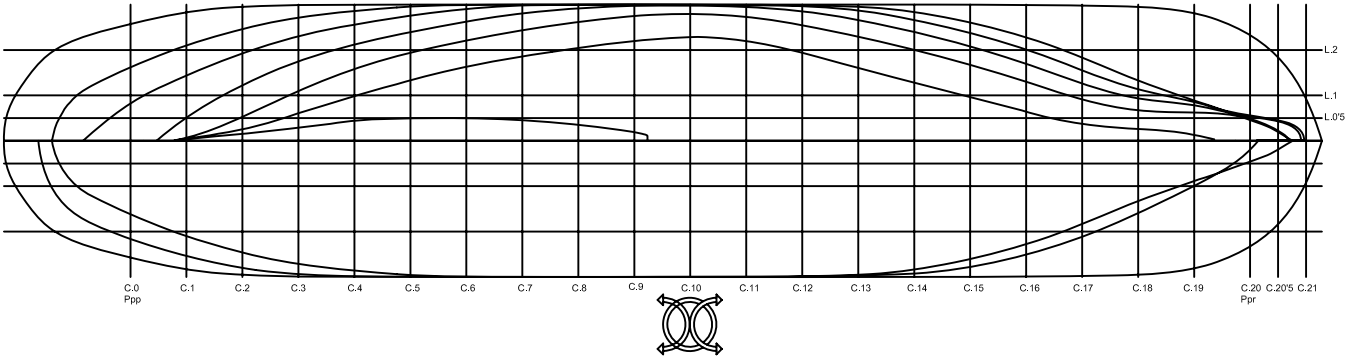
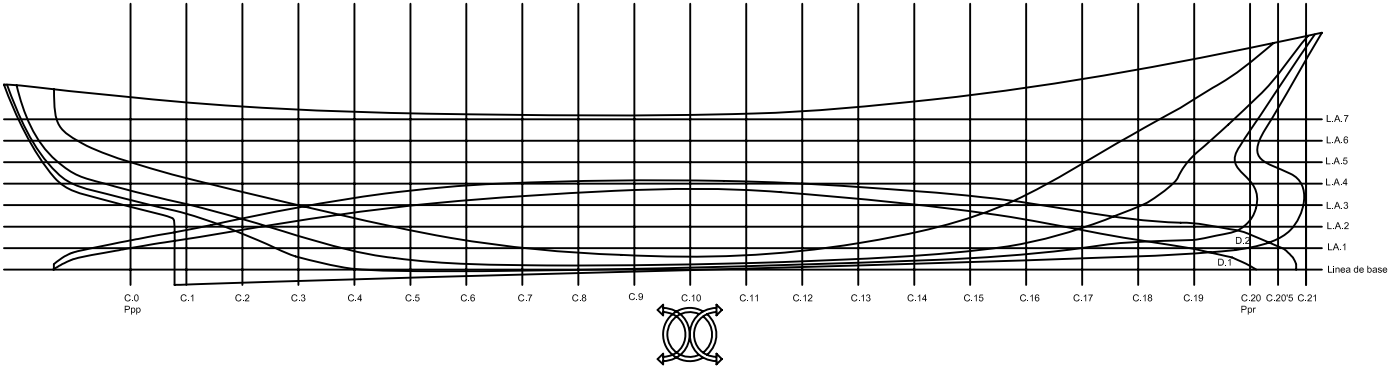
Se presenta también con dos longitudinales, y una añadida a media distancia entre crujía y el primer longitudinal (L 0.5).

Se utilizan siete líneas de agua, a parte de la línea base, coincidiendo la sexta con la línea de flotación.

También se disponen las dos diagonales para describir la curvatura del pantoque.

Anexo I: Curva de áreas normalizada.





CARACTERÍSTICAS

- Eslora de flotación.....32.26 m
- Eslora entre perpendiculares.....29.60 m
- Manga de trazado.....7.2 m
- Asiento de proyecto.....0.88 m
- Calado de trazado.....3.41 m
- Desplazamiento.....423.70 t

BONITERO DEL CANTÁBRICO	
- Plano de formas -	1/200
Tutor: Antonio Souto Iglesias Cotutor: Ander Lasa Gallurralde Autor: Miguel Ángel Marín Fuentes	Nº Proyecto: 077

BUQUE BONITERO DEL CANTÁBRICO
PROYECTO 077.
CURSO 2009-2010

Disposición general (DG).

DOCUMENTO 4
AUTOR: JOSE LUIS CERCOS PITA
COTUTOR: ANDER LASA GALLURRALDE
TUTOR: ANTONIO SOUTO IGLESIAS

1 Índice de contenidos.

1	<i>Índice de contenidos.</i>	2
2	<i>Especificación del proyecto.</i>	4
3	<i>Objetivos</i>	5
4	<i>Presentación y justificación de la DG.</i>	5
4.1	Espaciado de cuadernas, bulárcamas, mamparos y puntales.	5
4.1.1	Espaciado de cuadernas.	5
4.2	Disposición de longitudinales, mamparos, cubiertas y doble fondo.	5
4.2.1	Doble fondo.	5
4.2.2	Cubierta principal.	5
4.2.3	Cubierta del puente.	6
4.2.4	Mamparos.	6
4.3	Zona de carga, parque de pesca o zona de trabajo.	6
4.4	Zona de cámara de máquinas. Situación. Alturas de doble fondo y plataformas.	7
4.5	Disposición de tanques	7
4.5.1	Tanque de aceite 1.	7
4.5.2	Tanque de aceite 2.	8
4.5.3	Tanque de aceite hidráulico	8
4.5.4	Tanque de servicio diario.	8
4.5.5	Tanque de agua dulce 1.	8
4.5.6	Tanque de agua dulce 2.	9
4.5.7	Tanque de lodos.	9
4.5.8	Tanque de combustible 1 (Estribor).	9
4.5.9	Tanque de combustible 1 (babor).	9
4.5.10	Tanque de combustible 2 (Estribor).	9
4.5.11	Tanque de combustible 2 (babor).	9
4.5.12	Tanque de combustible 3 (estribor).	9
4.5.13	Tanque de combustible 3 (babor).	10
4.5.14	Tanque de combustible 4 (estribor).	10
4.5.15	Tanque de combustible 4 (babor).	10
4.5.16	Pique de proa.	10
4.5.17	Tanque de combustible de popa (estribor).	10
4.5.18	Tanque de combustible de popa (babor).	10
4.5.19	Vivero 1 (estribor).	10
4.5.20	Vivero 1 (crujía).	11
4.5.21	Vivero 1 (babor).	11
4.5.22	Vivero 2 (estribor).	11
4.5.23	Vivero 2 (central).	11
4.5.24	Vivero 2 (babor).	11
4.5.25	Sistema de oxigenación de los viveros.	11
4.5.26	Tanque estabilizador	11
4.5.27	Bodega	12
4.5.28	Tanque de lastre.	12
4.5.29	Pañol	12
4.6	Habilitación. Tripulación mínima.	12
4.6.1	Camarote del capitán.	13
4.6.2	Camarotes en la zona de habilitación de popa.	13
4.6.3	Camarotes en la zona de habilitación de proa 1	13

4.6.4	Camarotes en la zona de habilitación de proa 2	13
4.6.5	Pañol	13
4.6.6	Habilitación en cubierta principal	13
4.6.7	Accesos	14
4.7	Zonas de amarre y fondeo. Local del servo.....	14
5	<i>Plano de DG incluyendo perfil longitudinal, cubiertas y secciones transversales significativas.....</i>	14
6	<i>Acrónimos.....</i>	14
	<i>Anexo I: Reglamento para el reconocimiento de alojamientos.....</i>	16
1	Aplicabilidad	16
2	Construcción de los alojamientos	16
3	Ventilación y calefacción de los alojamientos.....	16
4	Iluminación de los alojamientos	17
5	Situación, dimensiones, número, capacidad y mobiliario de los camarotes y camaretas.....	17
6	Situación y número de cámaras.....	18
7	Instalaciones sanitarias.....	18
8	Enfermería.....	18
9	Estiba de los trajes de faena.....	18
10	Cocina	18
	<i>Anexo II: Plano de distribución general.....</i>	19

2 Especificación del proyecto.

- CLASIFICACIÓN: **Bureau Veritas**
- TRB: **149**
- GT: **230**
- VOLUMEN DE COMBUSTIBLE: **70 m³**
- VOLUMEN DE VIVEROS: **50 m³**
- VELOCIDAD EN PRUEBAS: **12 .5 kn al 90% MCR**
- EQUIPO PROPULSOR: **Motor Diesel**
- ALOJAMIENTOS: **15 tripulantes**
- ASPECTOS ADICIONALES:
 - 1.- El buque dispondrá de una planta de oxigenación del agua de viveros.
 - 2.- El buque dispondrá de un tanque estabilizador pasivo que reduzca al menos un 50% el movimiento de balance durante la maniobra de pesca.
 3. Se presentará además una planificación para la construcción asociada a los medios de un astillero de la sociedad PYMAR del que se disponga de información suficiente.

3 Objetivos

Atendiendo a las especificaciones del proyecto, y a la normativa aplicable, impuesta en gran medida por la sociedad de clasificación, **Bureau Veritas**, en el presente documento estudiaremos y definiremos la disposición general del buque.

4 Presentación y justificación de la DG.

Se va a aprovechar el doble fondo para situar tanques de aceite, agua dulce, gasoil, y lodos.

Bajo la cubierta principal se situarán locales de habitación, la cámara de máquinas, el local del servo, los viveros para el almacenamiento del cebo vivo, y las bodegas para el almacenamiento de las capturas.

Sobre la cubierta principal se situarán locales de habitación, accesos, y pañoles, además del sistema de oxigenación.

En la cubierta del punte se situarán locales de habitación, y el puente de mando.

4.1 Espaciado de cuadernas, bulárcamas, mamparos y puntales.

4.1.1 Espaciado de cuadernas.

La sociedad de clasificación del buque, **Bureau Veritas**, ofrece la siguiente fórmula para conocer la clara máxima entre cuadernas.

$$E = 0.48 + \frac{L}{400} \rightarrow \text{Ec. 1}$$

Donde la eslora L se define como la distancia, medida en el calado máximo de verano entre la roda y la caña del timón, siempre que esa distancia no sea menor del 96% de la eslora total para este calado.

Nosotros no conocemos en principio esa magnitud, así que podemos estimarla según el calado máximo del buque. En ese calado la eslora que nos definen es 31.33 metros, luego entrando en **Ec 1** tenemos que la clara entre cuadernas debe ser como máximo 0.558 metros.

Como hemos sobreestimado ese valor usando el calado máximo, podemos tomar **0.5 metros de clara entre cuadernas**, un buen valor para este tipo de buques. De esta forma nos posicionamos en un punto que nos asegura respetar los criterios impuestos por la sociedad de clasificación.

4.2 Disposición de longitudinales, mamparos, cubiertas y doble fondo.

4.2.1 Doble fondo.

El doble fondo del buque es de 1.5 metros, más que suficiente para cumplir sobradamente los requisitos de la sociedad de clasificación.

4.2.2 Cubierta principal.

La cubierta principal cubre toda la obra viva, siendo el puntal mínimo de 2.59 metros. Con objeto de mejorar el acceso a la habitación y los pañoles en el castillo de

proa, y el trabajo en el mismo, la cubierta principal y la cubierta del castillo se hacen horizontales, y así además se obtiene una mayor amurada en proa.

4.2.3 Cubierta del puente.

En la superestructura, a 3.25 metros de altura sobre la cubierta principal, se sitúa la cubierta del puente.

4.2.4 Mamparos.

Los mamparos obligatorios para este buque son:

- Mamparo de colisión.
- Mamparo a proa de la cámara de máquinas.
- Mamparo a popa de la cámara de máquinas.

El mamparo de colisión, establece la sociedad de clasificación, que en buques de menos de 45 metros, como es el nuestro, debe situarse al menos al 5% de la eslora desde la perpendicular de proa:

$$L^1_{colision} = 29.6 \cdot 0.05 \text{ m} = 1.48 \text{ m} \rightarrow \text{Ec. 2}$$

Pero también establece que para buques de más de 24 metros de eslora, esta distancia nunca será inferior a 2 metros:

$$L^2_{colision} = 2 \text{ m} \rightarrow \text{Ec. 3}$$

Por tanto tomamos el criterio más restrictivo, que es aquél que nos impone una mayor eslora para el dique de proa, en este caso **2 metros**.

$$L_{colision} = 2 \text{ m} \rightarrow \text{Ec. 4}$$

Por tanto situaremos el mamparo de colisión en la cuaderna número 55.

Respecto de los mamparos de la cámara de máquinas, dependen de la situación y tamaño de la misma. La cámara de máquinas es, relativa al resto de buque, una zona muy pesada, y por tanto se ha situado lo más al centro posible. Por otra parte, el centro del buque también debe ocuparse, en la medida de lo posible, por el tanque estabilizador.

Teniendo en cuenta esto, y que se requerirá un eje más corto si la cámara de máquinas se sitúa más a popa, el mamparo de proa de la cámara de máquinas se situará en la cuaderna 30.

La cámara de máquinas de estos buques mide unos 7.5 metros, lo que hace que situemos el mamparo de popa de la cámara de máquinas en la cuaderna 15.

Aún así se sitúan algunos mamparos adicionales:

- Mamparo a popa del local del servo (cuaderna -2.)
- Mamparo de popa de habilitación de popa (cuaderna 2.)
- Mamparo de proa de habilitación de popa (cuaderna 7.)
- Mamparo de proa de los viveros 2 (cuaderna 15.)
- Mamparo de popa de la bodega (cuaderna 37.)

4.3 Zona de carga, parque de pesca o zona de trabajo.

Este buque carece de parque de pesca, puesto que el pescado se pesca con caña (o cerco en caso de la anchoa), y se almacena en las bodegas, o en los viveros en caso de tratarse del cebo vivo.

Las zonas de carga son los dos viveros, y la bodega, cuya disposición se estudia en el apartado de disposición de tanques (4.5).

Como resultado los tanques de viveros suman una capacidad de 60 m³, lo que, eliminando estructura, tiene 57 m³, lo que cumple también sobradamente los requisitos del proyecto.

Y la bodega de carga tiene 105.6 m³, muy cerca del valor de 100 m³ estimados en el cuaderno 2.

4.4 Zona de cámara de máquinas. Situación. Alturas de doble fondo y plataformas.

La cámara de máquinas se sitúa, tal y como ya se mencionó en el apartado 4.2.4 entre las cuadernas 15 y 30.

La cámara de máquinas se distribuye en dos niveles. En el inferior se encuentra el motor principal, la reductora y algunos equipos que les dan servicio. El resto de los equipos de la cámara de máquinas se encuentran en un nivel superior para conseguir de este modo una mayor superficie utilizable.

4.5 Disposición de tanques

Con la disposición general elegida se consigue un volumen de tanques de combustible de 75.4 m³, valor que con toda probabilidad se reducirá al aplicar la estructura en torno a un 5%, lo que implica un volumen real de 71.7 m³, que cumple los requisitos del proyecto.

Comenzamos con los tanques situados en el doble fondo, para luego pasar a los tanques situados bajo la cubierta principal.

Para el cálculo de masas se emplearán las siguientes densidades:

$$\rho_{a.dulce} = 1.000Tn / m^3$$

$$\rho_{a.salada} = 1.025Tn / m^3$$

$$\rho_{combustible} = 0.850Tn / m^3$$

$$\rho_{aceite} = 0.920Tn / m^3$$

$$\rho_{lodos} = 0.950Tn / m^3$$

Respecto de tanques de menor porte, que no resultan especialmente relevantes ni para la distribución general, ni para la estabilidad del buque, y que irán incluidos en la cámara de máquinas, o en el espacio sobrante del tanque estabilizador¹, como por ejemplo el tanque de servicio diario de máquinas auxiliares, tanque de reboses, tanque de compensación, etc, no se incluyen en la distribución general, entre otras cosas porque la distribución de la cámara de máquinas no se llevará a cabo hasta el cuaderno 7.

4.5.1 Tanque de aceite 1.

El tanque de aceite 1 se sitúa bajo la cámara de máquinas, en el doble fondo, entre las cuadernas 15 y 18. Se sitúa a estribor con el mamparo de babor a 1.25 metros de crujía, y el estribor coincidiendo con el casco del barco.

¹ No se dispone de información aún de las dimensiones finales del tanque estabilizador, pero visto que la manga total de la que dispondrá, para poder mantener caras planas y paralela, será de unos 6.4 metros, conviene reservar una gran eslora para el mismo.

El volumen que computa este tanque es de 1.3 m^3 , lo que corresponde a 1.2 toneladas de aceite.

Estos tanques de aceite, y el tanque de servicio diario deberían ir situados encima de la cámara de máquinas, para disponer de presión a la llegada a la bomba, pero el espacio disponible en el buque no permite hacerlo, puesto que la cámara de máquinas ya se encuentra bajo la cubierta principal, y no se la puede bajar al doble fondo.

Dependiendo del espacio que finalmente necesite el tanque estabilizador pasivo, en una segunda vuelta del proyecto se podría estudiar situarlos en el espacio liberado por este.

Se podría estudiar la posibilidad de situar los tanques sobre la plataforma superior de la sala de máquinas, pero como todavía no se dispone de información previa sobre la distribución y espacios ocupados de la cámara de máquinas, no podemos arriesgarnos a encontrarnos con falta de espacio.

4.5.2 Tanque de aceite 2.

Inmediatamente a proa del tanque de aceite 1, este tanque se sitúa entre las cuadernas 18 y 22, también a la banda de estribor, delimitado a babor por el mamparo a 1.25 metros de crujía, y delimitado a estribor por el casco.

Este tanque computa un volumen de 2.5 m^3 , lo que corresponde a 2.3 toneladas de aceite.

4.5.3 Tanque de aceite hidráulico

Dispuesto a proa de los dos tanques de aceite, ocupa el espacio entre las cuadernas 22 y 24, también a estribor, y con su mamparo de babor a 1.25 metros de crujía, y delimitado por el casco por su banda de estribor.

El volumen del tanque resultante es de 1.6 m^3 , y por tanto podrá almacenar 1.5 toneladas de aceite.

4.5.4 Tanque de servicio diario

El tanque de servicio diario se instala entre las cuadernas 24 y 30, a proa del tanque de aceite hidráulico, con el mamparo longitudinal de babor a 1.25 metros de crujía, y delimitado a estribor por el casco del buque.

Este tanque tiene una capacidad de 5.2 m^3 , lo que significa 4.4 toneladas de combustible.

4.5.5 Tanque de agua dulce 1.

Situado en el doble fondo, se dispone bajo la cámara de máquinas, con la popa en el mamparo, ocupando las cuadernas 15 a 22. Se encuentra en la banda de babor, con el costado de estribor delimitado por un mamparo a 1.25 metros de crujía.

El volumen del tanque es de 3.7 m^3 , lo que permite albergar 3.7 toneladas de agua dulce.

Al igual que los tanques de aceite, y de servicio diario, estos tanques de agua dulce deberían ir situados encima de la cámara de máquinas, no sólo con el objeto de que tengan más presión en la succión de la bomba, sino para que puedan dar servicio incluso con las bombas estropeadas. En caso de que el tanque estabilizador no precise finalmente de toda la eslora, se podría estudiar la posibilidad de incluir estos tanques en el espacio liberado para conseguir que tengan altura.

Pero nuevamente surgen problemas de espacio que no se pueden, en un principio, solucionar por falta de información sobre la disposición y distribución de la cámara de máquinas, que se estudiará en el cuaderno de máquinas y equipos.

4.5.6 Tanque de agua dulce 2.

Este tanque de agua dulce no puede estar en contacto con tanques de combustible o lodos.

Dispuesto inmediatamente a proa del anterior, ocupa el espacio entre las cuadernas 22 a 29, y entre el mamparo a 1.25 m de crujía y el costado del buque.

El volumen del tanque es de 5.6 m^3 , lo que permite almacenar 5.6 toneladas de agua dulce.

4.5.7 Tanque de lodos

El tanque de lodos se sitúa en el doble fondo, bajo la cámara de máquinas, a proa de esta, y en crujía. Esta delimitado por las cuadernas 26 y 30, y por mamparos a 0.75 metros respecto de crujía. Tiene una altura de 0.79 metros (en lugar de ocupar todo el doble fondo).

El volumen del tanque es por tanto 2.1 m^3 , lo que permite almacenar 2 toneladas de lodos.

4.5.8 Tanque de combustible 1 (Estribor).

Para minimizar los efectos de las superficies libres, y los de un eventual derrame, el tanque se divide en dos, una mitad a cada banda.

Este tanque se sitúa bajo el tanque estabilizador, entre las cuadernas 30 y 34, ocupando todo el doble fondo, y delimitado en las bandas por un mamparo a crujía, y el casco del buque.

Con esto, el volumen del tanque es de 8.2 m^3 , lo que representan 6.8 toneladas de combustible.

4.5.9 Tanque de combustible 1 (babor).

Es el tanque simétrico respecto a crujía del anterior, con todos los datos sobre volúmenes y pesos iguales.

4.5.10 Tanque de combustible 2 (Estribor).

Para minimizar los efectos de las superficies libres, y los de un eventual derrame, el tanque se divide en dos, una mitad a cada banda.

Este tanque se sitúa bajo la bodega de carga, entre las cuadernas 34 y 41, ocupando todo el doble fondo, y delimitado por un mamparo a crujía, y el casco del buque.

Con esto, el volumen del tanque es de 12.5 m^3 , lo que representan 10.5 toneladas de combustible.

4.5.11 Tanque de combustible 2 (babor).

Es el tanque simétrico respecto a crujía del anterior, con todos los datos análogos.

4.5.12 Tanque de combustible 3 (estribor).

Para minimizar los efectos de las superficies libres, y los de un eventual derrame, el tanque se divide en dos, una mitad a cada banda.

También se encuentra situado bajo las bodegas, entre las cuadernas 41 y 48, y delimitado por la crujía y el costado de estribor del buque.

El volumen del tanque es de 8.0 m^3 , lo que equivale a 7 toneladas de combustible.

4.5.13 Tanque de combustible 3 (babor).

Es el tanque simétrico respecto a crujía al anterior. Teniendo el mismo volumen y peso que el tanque de estribor.

4.5.14 Tanque de combustible 4 (estribor).

Para minimizar los efectos de las superficies libres, y los de un eventual derrame, el tanque se divide en dos, una mitad a cada banda.

Situado bajo la habilitación de proa, inmediatamente a proa del anterior tanque, y delimitado por proa, se encuentra el tanque de combustible 4.

Ocupa por tanto el espacio entre las cuadernas 48 a 55, y está delimitado por la crujía y el costado de estribor del buque. Ocupa todo el alto del doble fondo.

El volumen de este tanque es de 2.0 m^3 , lo que equivale a 1.7 toneladas de combustible.

4.5.15 Tanque de combustible 4 (babor).

Es el tanque simétrico respecto a crujía del comentado en el apartado anterior. La capacidad y peso lógicamente será la misma que la del anterior.

4.5.16 Pique de proa.

El convenio de Torremolinos solo nos permite transportar en este espacio agua dulce, o agua salada. Nosotros aprovecharemos este espacio para almacenar agua dulce.

El pique de proa se sitúa en la cuaderna 55. El volumen disponible en este espacio es de 9.0 m^3 , lo que nos permite transportar 9 toneladas de agua dulce.

4.5.17 Tanque de combustible de popa (estribor).

Para minimizar los efectos de las superficies libres, y los de un eventual derrame, el tanque se divide en dos, una mitad a cada banda.

Es el tanque más a popa del buque en la banda de estribor, se encuentra limitado por el forro del buque y por un mamparo transversal que separa este tanque del local del servo-timón. Teniendo una capacidad de 7 m^3 , lo que corresponde a un peso de 6 toneladas de combustible.

4.5.18 Tanque de combustible de popa (babor).

Tanque simétrico al anterior, respecto al plano de crujía.

4.5.19 Vivero 1 (estribor).

Los viveros son tanques semilleros de agua, con seres vivos en su interior, luego se deben dividir al menos en tres partes por las siguientes razones:

- Las posibles superficies libres de agua salada reducirían drásticamente la estabilidad del buque.
- Tanques corridos implicarían violentos movimientos de masas de agua que pueden dañar el cebo vivo.

- Los tanques de viveros, a diferencia del tanque estabilizador, colindan con zonas de habitación, luego el violento movimiento de masas se debe minimizar para reducir los ruidos.

Por esa razón los tanques de viveros se dividen transversalmente en tres espacios.

Se encuentra entre las cuadernas 7 y 11. Lateralmente está delimitado por el Vivero 1 central (distancia de 1.14 m respecto a crujía.) Tiene una capacidad para 6.973 m^3 , lo que corresponde a un peso 7.147 Tn.

4.5.20 Vivero 1 (crujía).

Se encuentra entre las cuadernas 7 y 11. Lateralmente está delimitado por los dos viveros laterales Tiene una capacidad para 12.341 m^3 , teniendo un peso de 12.649 Tn.

4.5.21 Vivero 1 (babor).

Se encuentra entre las cuadernas 7 y 11. Lateralmente está delimitado por el Vivero 1 central (distancia de 1.14 m respecto a crujía.) Tiene una capacidad para 6.973 m^3 . Se trata del vivero simétrico al segundo de estribor.

4.5.22 Vivero 2 (estribor).

Se encuentra entre las cuadernas 11 y 15. Lateralmente está delimitado por el Vivero 2 central (distancia de 1.14 m respecto a crujía.) Tiene una capacidad para 9.881 m^3 .

4.5.23 Vivero 2 (central).

Se encuentra entre las cuadernas 11 y 15 Lateralmente está delimitado por los dos viveros laterales Tiene una capacidad para 14.339 m^3 .

4.5.24 Vivero 2 (babor).

Se encuentra entre las cuadernas 11 y 15. Lateralmente está delimitado por el Vivero 3 central (distancia de 1.14 m respecto a crujía.) Tiene una capacidad para 9.881 m^3 . Se trata del vivero simétrico al segundo de estribor.

Con todos los tanques de viveros se suma una capacidad de 60 m^3 , descontando estructura, luego cumple con las especificaciones.

4.5.25 Sistema de oxigenación de los viveros.

Como ya se mencionó, los tanques de viveros tienen una capacidad aparentemente reducida por la presencia de un sistema de oxigenación que permite almacenar hasta el doble de cebo vivo en el mismo volumen, o lo que es lo mismo, permite reducir la capacidad de los tanques de viveros al 50%.

El sistema de oxigenación de viveros se dispone, en la cubierta principal, junto al guardacalor. Su disposición en esta localización es debido a que debe estar siempre accesible, para poder reemplazar las bombonas cuando sea necesario, y además no puede estar en cámara de máquinas, ni disponer el acceso al mismo desde allí².

4.5.26 Tanque estabilizador

El espacio destinado al tanque estabilizador es el comprendido entre las cuadernas 30 y 36, sobre el doble fondo, y bajo la cubierta principal.

² Nunca de deben tener grandes masas de oxígeno cerca de la cámara de máquina por el riesgo de incendios y explosiones.

En un principio el tanque estabilizador será un tanque corrido que hará uso de todo el espacio disponible, aunque se recortará caso de ser necesario (por pérdida de estabilidad hidrostática). Los tanques estabilizadores corridos tienen la principal ventaja de permitir sincronizar el periodo del buque, mientras que los tanques de tipo U, o similares, sólo permiten sincronizar el buque a un determinado periodo, que variará en el buque en función de la situación de carga.

Con esto, el volumen disponible para el tanque estabilizador es de 60 m^3 , de los que hay que eliminar estructura, quedando 57 m^3 , cerca de los 50 metros cúbicos que habíamos planeado. Como el tanque estabilizador se llena de agua de lastre, tendrá un peso máximo (nunca alcanzado³) de 58 toneladas.

En un principio no se ha estudiado el tanque estabilizador, ni las hidrostáticas del buque, luego no se dispone de información sobre cuál es el tamaño máximo del mismo, algo que depende principalmente de las hidrostáticas, ni de sus dimensiones concretas.

4.5.27 Bodega

La bodega se dispone sobre el doble fondo y bajo la cubierta principal, y está delimitada a ambas bandas por el costado del buque, ocupando el espacio entre las cuadernas 36 y 50.

El volumen prestado por la misma es de 105.6 m^3 .

4.5.28 Tanque de lastre.

Se dispone un eventual tanque de lastre, cuya necesidad puede que no se haga patente, bajo las zonas de habilitación de proa.

La razón de esto es que la habilitación no percibe una especial mejora por incrementar aún más su altura, en cambio si dificulta los accesos, y por tanto es incluso preferible disponer de un espacio vacío antes que ampliar la zona de habilitación 1.

Además, el hecho de que la cámara de máquinas esté situada ligeramente a popa puede conllevar trimados que se podrán corregir con el tanque de lastre. Por último, el bulbo de proa debe permanecer sumergido, o sus efectos positivos pueden tornarse en negativos, incrementando la resistencia al avance. Un tanque de lastre a proa puede ayudar a mantener el bulbo sumergido, ofreciendo así el máximo de sus posibilidades.

4.5.29 Pañol

Se dispone un pañol en la cubierta intermedia, inmediatamente a proa de la zona de habilitación, y delimitado por el casco del buque.

4.6 *Habilitación. Tripulación mínima.*

Tenemos una dotación de 15 tripulantes a los que hay que disponer alojamientos.

Empezaremos por el local del capitán, y luego iremos presentando el resto de camarotes de popa a proa.

Por últimos presentaremos el resto de zonas de habilitación.

³ El tanque estabilizador se llena al nivel necesario para sincronizar su movimiento al del periodo propio del buque en cada situación de carga.

4.6.1 Camarote del capitán.

El camarote del capitán se sitúa junto al puente de mando, en la cubierta puente. En esta zona las aceleraciones son menores, y está alejado de cámara de máquinas, viveros, y tanque estabilizador, todos ellos, fuentes de ruido.

El camarote dispone de 4.2 m², y de un aseo (común) de 2 m². Está equipado con un escritorio propio (con cajones), silla, armario, estantería y frigorífico pequeño. El aseo está equipado con una ducha, un retrete y una pila.

4.6.2 Camarotes en la zona de habilitación de popa.

A popa se encuentran dos camarotes, uno a cada banda, de 2.9 m², incluyendo el área de las literas, lo que está por encima de los 1.8 m² mínimos (ver **Anexo I**). Tienen 2.5 metros de altura.

Estos camarotes dan alojamiento a 4 tripulantes.

4.6.3 Camarotes en la zona de habilitación de proa 1

Se encuentra limitada entre las cuadernas 50 y 55. Está localizada en la cubierta intermedia. En esta zona tenemos dos camarotes y un aseo. El camarote de babor dispone de dos literas, mientras que el de estribor tiene una única litera, puesto que dispone de menos área debido a los aseos. Están todos equipados de forma similar al de popa, y se superan las áreas mínimas establecidas por la normativa. Por otra parte, el aseo está formado por un retrete, ducha y pila.

4.6.4 Camarotes en la zona de habilitación de proa 2

Se localiza entre las cuadernas 50 y 55, inmediatamente debajo de la zona de habilitación anterior. Este recinto dispone de dos camarotes simétricos, los cuales tienen una litera, armarios, mesa abatible y silla.

4.6.5 Pañol

Se dispone un pañol en la cubierta intermedia, inmediatamente a proa de la zona de habilitación, y delimitado por el casco del buque.

4.6.6 Habilitación en cubierta principal.

En la cubierta principal, en la caseta, se dispone la mayor parte de las zonas comunes, y de servicios a la habilitación. Concretamente encontramos:

- Cocina: Capacitada para dar servicio a toda la tripulación, está dotada de lavaplatos, fregadero, cocina, y gambuza frigorífica.
- Lavandería: Estará equipada con una lavadora, una secadora, una plancha, mesa de plancha y fregadero de acero inoxidable.
- Local de ropas de agua: La misión de este local es ser antesala a la propia habilitación del buque, además que sirve para que los marineros puedan quitarse la ropa de trabajo (botas, impermeables...) y dejarla en sus perchas y armarios correspondientes. Esta sala tendrá un banco, así como armarios para la tripulación.
- Comedor: Dispone de mesas así como bancos para que se pueda sentar la tripulación, además según la normativa de habilitación antes comentada (ver **Anexo I**), los comedores deben hacer las veces de salas de ocio, por lo que se incluirá una televisión (apoyada sobre una mesa) y un reproductor DVD.

También dispondrá de un armario donde se almacenarán todos los utensilios propios de un comedor.

- Aseo: Cuenta con un retrete y una ducha, exclusivamente. En este aseo no se ha incluido un lavabo, por no haber suficiente espacio, no obstante en la sala de aguas (contigua al lavabo) tenemos una pila.

4.6.7 Accesos

Se disponen dos tambuchos para dar acceso a las zonas de habitación, a proa y a popa del buque.

En la cubierta principal existen 6 escotillas que dan acceso a los viveros, otra escotilla para acceder a la bodega, una escotilla de entrada para el local del servo, y otra para llegar al pañol, lo que hace un total de 9 escotillas distribuidas por la cubierta principal.

Todos estos accesos tendrán escalas y escaleras estas cumplirán el Convenio de SEVIMAR (Capítulo II), según el cual éstas deberán situarse en crujía o en sus proximidades para evitar fuerzas de balances, deben estar construidas de acero o material incombustible y con elementos antideslizantes en pisaderas.

	<i>Al. Entre peldaños (mm)</i>		<i>Pisadera (mm)</i>		<i>Inclinación (°)</i>	
	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>min</i>	<i>max</i>
<i>Esc. de pasaje</i>	152	197	279	381	30	40
<i>Esc. de tripulación.</i>	152	216	203	279	45	50
<i>Escalas</i>		216	165			

Tabla. 1→Datos orientativos para el cálculo de escalas y escaleras

A la vista de la anterior tabla, nosotros intentaremos adoptar la parte de la tabla relativa a tripulación, ya que en nuestro buque en principio no hay pasaje.

4.7 Zonas de amarre y fondeo. Local del servo.

Las zonas de amarre y fondeo se distribuyen a lo largo de la cubierta principal, y en el pañol de proa.

Respecto al local del servo se sitúa en la popa, entre las cuadernas -2 a 2, y de banda a banda del buque, con una superficie de 10 m².

5 Plano de DG incluyendo perfil longitudinal, cubiertas y secciones transversales significativas.

El plano de distribución general se puede encontrar en el **Anexo II**. En el se muestra una vista del perfil del buque, y las cinco cubiertas. La cubierta intermedia podría ser parte de la cubierta principal, no obstante se opta por mantener la cubierta superior del castillo como cubierta principal, y la inmediatamente inferior como cubierta intermedia.

6 Acrónimos.

E, espaciado de cuadernas (4.1.1)

L , eslora definida por la sociedad de clasificación Bureau Veritas en el cálculo de la clara entre cuadernas (4.1.1)

Anexo I: Reglamento para el reconocimiento de alojamientos.

1 Aplicabilidad

El Reglamento para el reconocimiento de alojamientos a bordo de buques pesqueros entró en vigor el 1 de septiembre de 1970. Esta normativa se aplica a todos los buques nacionales de cualquier naturaleza que sean propiedad pública o privada, renavegación marítima, propulsados mecánicamente, que se dediquen a la pesca marítima, mayores de 24.5 metros de eslora⁴, así como a los buques que permanezcan alejados de su puerto más de 36 horas. Nuestro buque Bonitero tiene una eslora entre perpendiculares de 28.7 muy superior a los 24.5⁵ y por otro lado para este tipo de buques los caladeros en los que faenará estarán a una distancia de 500 millas del puerto base, una vez allí primeramente realizará la captura del cebo, por medio de cerco, para luego poder pescar el bonito blanco⁶ por medio del cebo vivo, así tendremos una duración de marea de unos 22 días que superan con mucho a las 36 horas.

2 Construcción de los alojamientos

La parte relativa a la construcción de los alojamientos se encuentra en el *Art.5*, ésta es bastante descriptiva y no entra en valores cuantitativos, aunque es cierto que establece que los alojamientos de la tripulación deberán garantizar seguridad suficiente, protección contra la intemperie y el mar y aislamiento del calor, del frío, del ruido excesivo (5.1), por otro lado las cubiertas a la intemperie situadas encima de los alojamientos de la tripulación estarán forradas de una capa aislante de madera o material equivalente(5.13.)

3 Ventilación y calefacción de los alojamientos

La ventilación y calefacción⁷ está regulada en los *Art.6* y *Art.7*, los cuales no ofrecen valores cuantitativos, estableciéndose para la ventilación que debe disponer de un sistema⁸ que sea regulable para que permita mantener el aire en condiciones satisfactorias y para que garantice suficientemente su circulación en todas las condiciones atmosféricas y climáticas (6.3), para el sistema de calefacción se establece que deberá funcionar cuando sea factible, durante todo el tiempo en que la tripulación habite o trabaje a bordo y las circunstancias lo requieran(7.2.)

⁴ Eslora: Longitud medida desde la parte exterior más saliente de la roda hasta la cara de popa del codaste popel, o la cara de proa de la mecha del timón si no hay codaste.

⁵ Es cierto que la eslora entre perpendiculares no corresponde con la eslora definida con anterioridad, aunque es más restrictiva.

⁶ Estos buques tienen dos formas de explotación, en la primera y más importante, el buque se dedicará a la pesca de túnidos durante las estaciones de verano y otoño. En la segunda fase, correspondiente a la primavera, se dedicará a la pesca de bocarte o anchoa.

⁷ Lógicamente están prohibidos todos los sistemas de calefacción con llama descubierta.

⁸ No serán necesarios sistemas especiales de ventilación, ya que la zona de operación de nuestro buque no está en los trópicos.

4 Iluminación de los alojamientos

La iluminación es tratada en el Art.8, en este artículo se establece la siguiente imposición relativa⁹: “*Todos los locales destinados a la tripulación deberán estar suficientemente iluminados. La luz natural en los alojamientos deberá permitir que una persona cuya vista sea normal pueda leer en un día claro, un periódico corriente en cualquier parte del espacio disponible para circular. Cuando no fuese posible obtener luz natural suficiente se deberá instalar un sistema de alumbrado artificial que ofrezca los mismos resultados*” (8.1.) Por otra parte se establece que todos los alojamientos de la tripulación deben disponer de luz eléctrica (8.2.), así como se deberá instalar un alumbrado azulado permanente en camaratas durante la noche (8.5.)

5 Situación, dimensiones, número, capacidad y mobiliario de los camarotes y camaratas

Se encuentra contenido en el Art.9, en este se establece que: “*Los camarotes y camaratas deberán estar situados en el centro o en la popa del buque. La Inspección General de Buques podrá autorizar en casos particulares la instalación de camarotes o camaratas a proa del buque, pero nunca a proa del mamparo de colisión, si cualquier otro emplazamiento se considerase inconveniente o no práctico a causa del tipo del buque, de sus dimensiones o del servicio a que se destina.*” En este artículo se ofrecen algunos valores cuantitativos acerca de la superficie¹⁰ por ocupante en cada camarote o camarata:

<i>Eslora (m)</i> ¹¹	<i>Superficie (m²)</i> ¹²
<i>13.7<L<19.9</i>	0.5
<i>19.8<L<26.8</i>	0.75
<i>26.8<L<35.1</i>	0.90
<i>35.1<L</i>	1.00

Tabla. 2

Nuestro bonitero tiene una eslora que está comprendida entre 26.7 y 35.1 metros, por tanto en cada camarote tendremos que tener una superficie como mínimo de 0.90 m² por ocupante.

En 9.5 queda reflejado el número de personas autorizadas a ocupar cada camarote o camarata, lo cual se muestra en la Tabla.7.

<i>Eslora (m)</i>	<i>Ocupantes</i> ¹³
<i>35.1<L</i>	6
<i>35.1>L</i>	4

Tabla. 3

En nuestro caso, tendremos que no podremos poner por camarote a más de 6 ocupantes (subalternos), mientras que el Capitán lo pondremos aparte.

⁹ Ya qué es una persona normal, así como qué letra del periódico, todo ello nos hace ver que es una imposición relativa.

¹⁰ Sin contar el espacio ocupado por literas y armarios.

¹¹ Podría parecer contradictorio a *L*, poner barcos pesqueros de eslora inferior a 24.5, aunque en *1.1* se establece que excepcionalmente, previa consulta al Sindicato Nacional de la Pesca, se aplicará a los buque con eslora comprendida entre 13 y 24.5 metros.

¹² Superficie mínima por ocupante.

¹³ Referido a personal subalterno, ya que los oficiales y asimilados, nunca será superior a dos.

Los miembros de la tripulación dispondrán de literas¹⁴ individuales (9.8). En caso de que las literas estén superpuestas la litera¹⁵ inferior no deberá estar a menos de 0.3 metros del suelo, así como la litera superior estará colocada aproximadamente a la mitad de la distancia entre fondo de la litera inferior y la cara inferior de los baos del techo.

En 9.18, se establece que: *“El mobiliario deberá incluir para cada ocupante un armario provisto de candado y de una barra con perchas para colgar la ropa”*. Por otro lado, todo camarote o camareta debe tener una mesa o escritorio de tablero fijo o abatible (9.19), así como cada ocupante tiene que disponer de un cajón o espacio semejante no inferior a 0.056m³(9.21.)

6 Situación y número de cámaras

Las cámaras deben disponer del número de asientos y mesas para el número más probable¹⁶ de personas que los utilicen al mismo tiempo (10.4.) Por otra parte se nos explica que las cámaras deberán estar lo más cerca de la cocina (10.5.)

7 Instalaciones sanitarias

Según 11.2, se establece las siguientes proporciones:

- Una bañera o una ducha por cada ocho personas.
- Un retrete¹⁷ por cada ocho personas o menos.
- Un lavabo por cada seis personas o menos.

En todas las instalaciones comunes para el aseo personal se deberá disponer de agua dulce, caliente y fría, o a falta de agua caliente, de medios para calentarla (11.3.)

“Todos los buque pesqueros deberán estar provistos de medios para lavar y secar la ropa en proporción con el número de tripulantes y la duración normal del viaje”(11.9.)

8 Enfermería

Por tener nuestro buque una eslora menos a 45.7 metros no debe disponer de enfermería (12.1.)

9 Estiba de los trajes de faena

En 13.1, se dice que: *“Se deberán instalar armarios en número suficiente y debidamente aireados, para colgar los trajes de agua fuera de los camarotes y camaretas, pero en sitios fácilmente accesibles desde éstos.”*

10Cocina

Todo buque pesquero debe disponer de cocina¹⁸ y siempre que sea posible debe estar separada. Se dispondrá también de una gambuza.

¹⁴ No se deberán superponer más de dos literas.

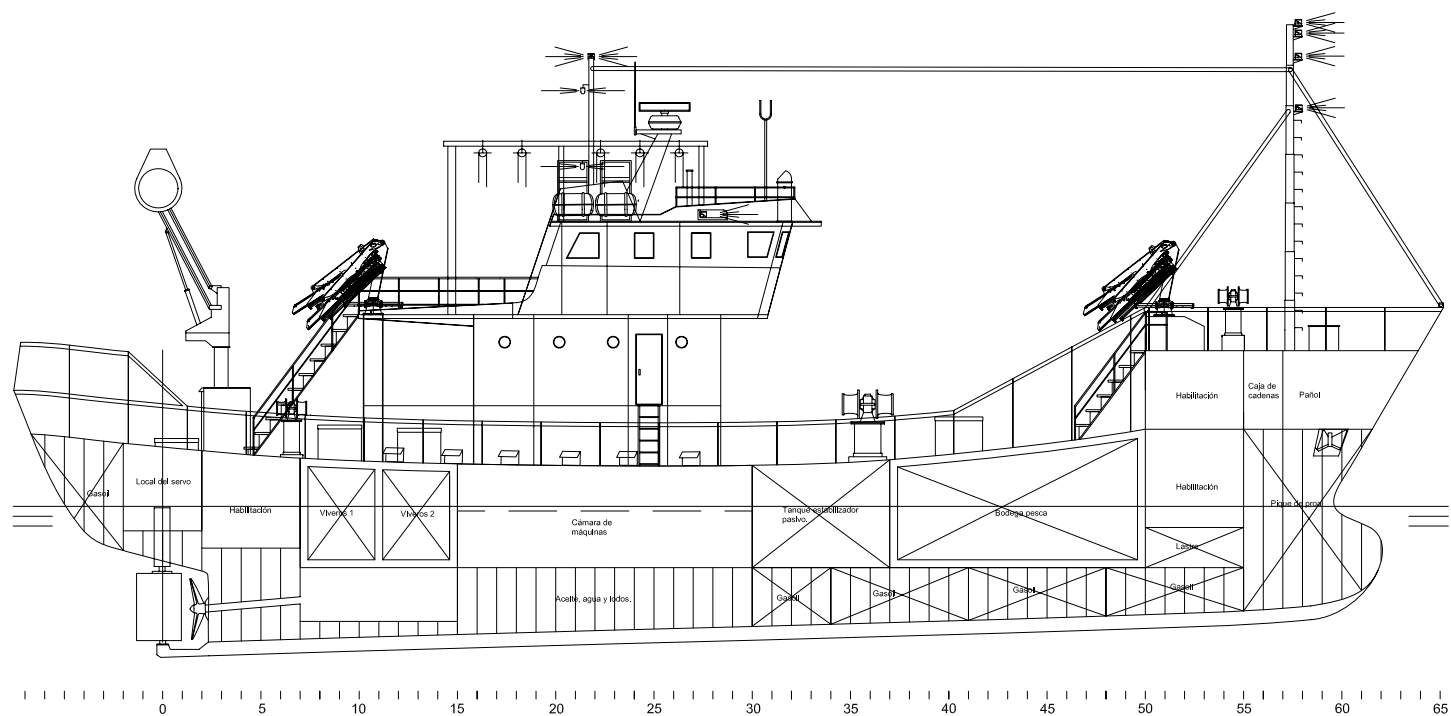
¹⁵ Las dimensiones mínimas de toda litera deberá ser de 1.69 por 0.68 metros.

¹⁶ No para todos.

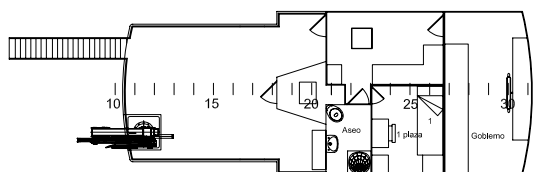
¹⁷ Todos los locales de retretes deberán tener ventilación por medio de una comunicación directa con el aire libre (11.5.)

¹⁸ La cual debe ser de dimensiones adecuadas y estar debidamente iluminada y ventilada (15.1.)

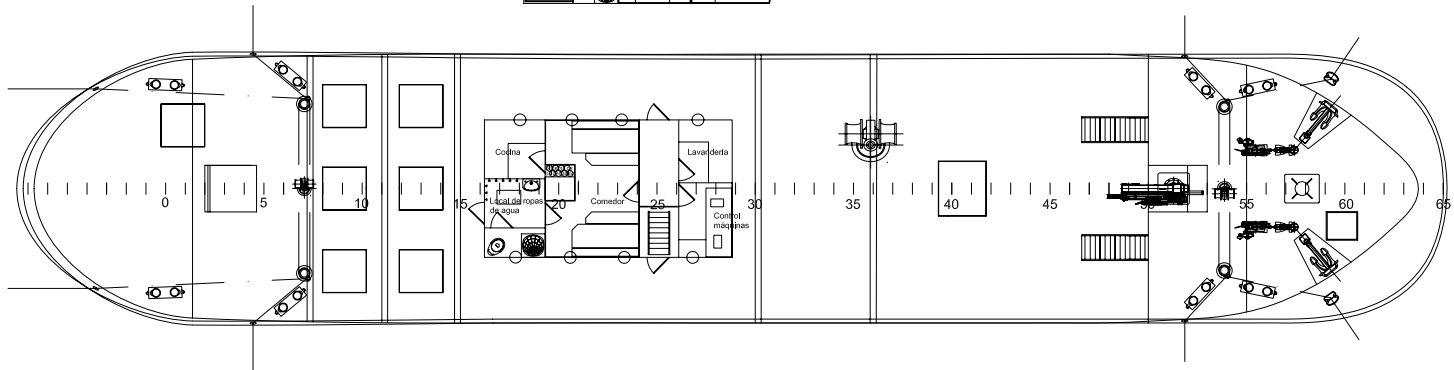
Anexo II: Plano de distribución general.



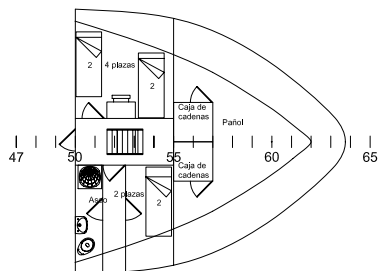
PERFIL



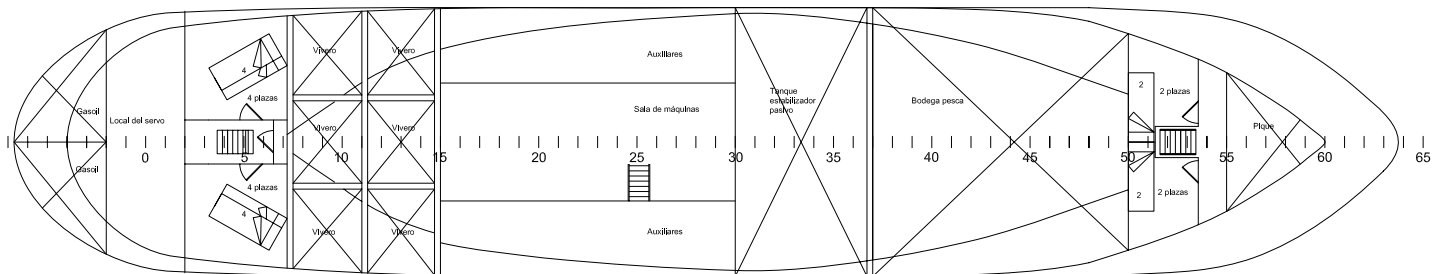
CBTA PUENTE



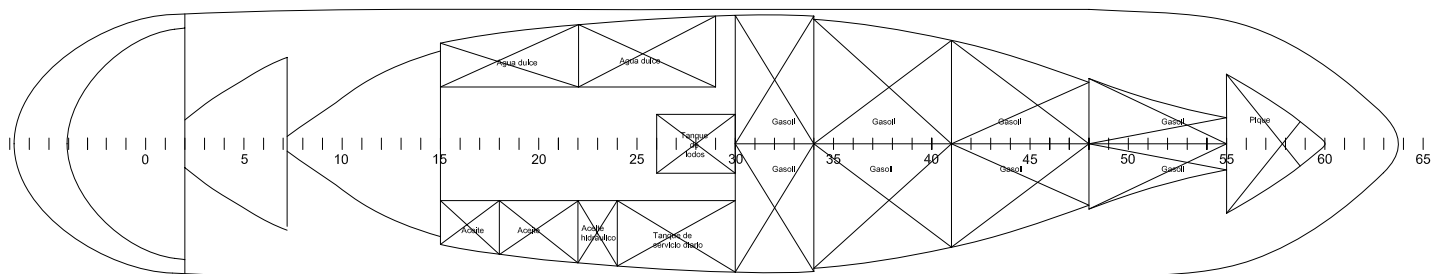
CBTA SUPERIOR



CBTA. INTERMEDIA



CBTA. DOBLE FONDO



DOBLE FONDO

BONITERO DEL CANTÁBRICO	
- Disposición general -	1/200
Tutor: Antonio Souto Iglesias	Nº Proyecto:
Cotutor: Ander Lasa Gallurralde	077
Autor: Jose Luis Cercós Pita	

BUQUE BONITERO DEL CANTÁBRICO
PROYECTO 077.
CURSO 2009-2010

Cálculos de Arquitectura Naval.

DOCUMENTO 5
AUTOR: JOSE LUIS CERCOS PITA
COTUTOR: ANDER LASA GALLURRALDE
TUTOR: ANTONIO SOUTO IGLESIAS

1 Índice de contenidos.

1	<i>Índice de contenidos.</i>	2
2	<i>Especificación del proyecto.</i>	4
3	<i>Objetivos</i>	5
4	<i>Tabla de hidrostáticas.</i>	5
4.1	Introducción.	5
4.2	Sistema de referencia.	5
4.3	Cálculo de hidrostáticas.	6
4.3.1	Trimado de 1 metro a popa.	6
4.3.2	Trimado de 0.5 metros a popa.	7
4.3.3	Trimado de 0.25 metros a popa.	7
4.3.4	Trimado de 0.1 metros a popa.	8
4.3.5	Buque sin trimar.	9
4.3.6	Trimado de 0.1 metros a proa.	10
4.3.7	Trimado de 0.25 metros a proa.	11
4.3.8	Trimado de 0.5 metros a proa.	12
5	<i>Carenas inclinadas.</i>	13
5.1	Introducción.	13
5.2	Cálculo de las carenas inclinadas.	14
5.2.1	Trimado de 1 metro a popa.	14
5.2.2	Trimado de 0.5 metros a popa.	15
5.2.3	Trimado de 0.25 metros a popa.	15
5.2.4	Trimado de 0.1 metros a popa.	16
5.2.5	Buque sin trimar.	16
5.2.6	Trimado de 0.1 metros a proa.	17
5.2.7	Trimado de 0.25 metros a proa.	17
5.2.8	Trimado de 0.5 metros a proa.	18
6	<i>Tabla y plano de capacidades y c. de g. de espacios, con resúmenes por tipo de contenido.</i>	18
6.1	Tabla de capacidades y centros de gravedad.	18
6.2	Plano de capacidades y centros de gravedad.	19
6.3	Resumen por espacios.	19
6.3.1	Tanque de aceite 1.	19
6.3.2	Tanque de aceite 2.	20
6.3.3	Tanque de aceite hidráulico.	20
6.3.4	Tanque de servicio diario.	21
6.3.5	Tanque de agua dulce 1.	21
6.3.6	Tanque de agua dulce 2.	22
6.3.7	Tanque de lodos.	22
6.3.8	Tanque de combustible 1 (estribor).	23
6.3.9	Tanque de combustible 1 (babor).	23
6.3.10	Tanque de combustible 2 (estribor).	24
6.3.11	Tanque de combustible 2 (babor).	24
6.3.12	Tanque de combustible 3 (estribor).	24
6.3.13	Tanque de combustible 3 (babor).	25
6.3.14	Tanque de combustible 4 (estribor).	25

6.3.15	Tanque de combustible 4 (babor).....	25
6.3.16	Pique de proa.....	26
6.3.17	Tanque de combustible de popa (estribor).	26
6.3.18	Tanque de combustible de popa (babor).	27
6.3.19	Viveros 1 (estribor).	27
31.1.1.	Viveros 1 (crujía).	28
6.3.20	Viveros 1 (babor).	29
6.3.21	Viveros 2 (estribor).	29
33.1.1.	Viveros 2 (crujía).	29
6.3.22	Viveros 2 (babor).	30
6.3.23	Tanque estabilizador pasivo.	30
6.3.24	Tanques de lastre.....	31
6.3.25	Bodega de carga.	32
7	<i>Situaciones de carga preliminares.</i>	33
8	<i>Esloras inundables si lo requieren los reglamentos.....</i>	34
9	<i>Cálculos del francobordo y del arqueo.</i>	34
9.1	Francobordo.....	34
9.1.1	Francobordo tabular.....	35
9.1.2	Correcciones	35
9.1.3	Francobordos mínimos	36
9.2	Arqueo.	36
9.2.1	Sistema Moorsom	37
9.2.2	Convenio Internacional sobre Arqueo de Buques de la IMO (1969).....	38
10	<i>Acrónimos.</i>	39
	<i>Anexo I: Curvas hidrostáticas.</i>	41
	<i>Anexo II: Curvas de carenas inclinadas.....</i>	49
	<i>Anexo III: Plano de capacidades y centros de gravedad.....</i>	57

2 Especificación del proyecto.

- CLASIFICACIÓN: **Bureau Veritas**
- TRB: **149**
- GT: **230**
- VOLUMEN DE COMBUSTIBLE: **70 m³**
- VOLUMEN DE VIVEROS: **50 m³**
- VELOCIDAD EN PRUEBAS: **12 .5 kn al 90% MCR**
- EQUIPO PROPULSOR: **Motor Diesel**
- ALOJAMIENTOS: **15 tripulantes**
- ASPECTOS ADICIONALES:
 - 1.- El buque dispondrá de una planta de oxigenación del agua de viveros.
 - 2.- El buque dispondrá de un tanque estabilizador pasivo que reduzca al menos un 50% el movimiento de balance durante la maniobra de pesca.
 3. Se presentará además una planificación para la construcción asociada a los medios de un astillero de la sociedad PYMAR del que se disponga de información suficiente.

3 Objetivos

A lo largo del presente documento nos disponemos a realizar todos los cálculos de arquitectura naval, todos ellos muy relacionados con la estabilidad y la flotabilidad del buque.

4 Tabla de hidrostáticas.

4.1 *Introducción.*

Las curvas hidrostáticas son la principal herramienta para estudiar la estabilidad del buque, pues están constituidas por un conjunto de curvas que sólo dependen de la geometría del buque, y de su calado, y por tanto permitirán, para cada situación de carga, tener todos los datos necesarios para conocer la flotabilidad y estabilidad del buque.

Las curvas hidrostáticas calculadas serán las siguientes:

- Desplazamiento (*Despl*).
- Superficie mojada (*S*).
- Área de la flotación (*Af*).
- Posición longitudinal del centro de carena (*XB*).
- Posición longitudinal del centro de gravedad de la flotación (*XF*).
- Altura del centro de carena (*KB*).
- Altura del metacentro transversal (*KMT*).
- Altura del metacentro longitudinal (*KML*).
- Toneladas por centímetro de inmersión (*TPC*).
- Momento para trimar el barco un centímetro (*MCT*).

De las hidrostáticas anteriores se deducen inmediatamente los coeficientes de forma del buque en función del calado, y por tanto no se presentan en las curvas y tablas, a pesar de ser calculados, sólo por una cuestión de legibilidad del documento¹.

Nuestro buque pesquero puede navegar con varios trimados, y por tanto se presentan las hidrostáticas para el siguiente conjunto de trimados:

-0.5 m, -0.25 m, -0.1 m, 0 m, 0.1 m, 0.25 m, 0.5 m, 1 m.

Conviene aclarar que los trimados aplican al buque con asiento, tal y como se presentaba en el plano de formas.

4.2 *Sistema de referencia.*

Se toma como origen de coordenadas el punto que, estando en crujía, se encuentra en la sección media del buque, y en el canto alto de la quilla.

Se toman valores positivos aquellos que van de popa a proa, de babor a estribor, y de abajo a arriba.

Respecto a momentos y trimados, se toman como positivos los trimados a popa, y como negativos los trimados a proa.

Este mismo criterio se utilizará a lo largo del resto del cuadernillo.

¹ Este documento puede resultar un tanto árido, y no conviene cargarlo de datos más de lo que ya de por sí está.

4.3 Cálculo de hidrostáticas.

Para los trimados indicados en 4.1 vamos calcular las tablas de hidrostáticas.

Aunque como es lógico el barco nunca va a tener un calado de 0 metros, o no al menos en ninguna situación relevante, es usual calcular las hidrostáticas desde este punto. Respecto al punto final, podemos sumarle un 5% al calado de diseño, y tomar ese punto como punto final.

Para tener una resolución aceptable, podemos plantearnos incrementos del calado de 0.1 metros, lo que dará lugar a 37 punto, suficientes para nuestros objetivos.

Pasamos pues a presentar las tablas de hidrostáticas calculadas mediante el programa Hidromax.

4.3.1 Trimado de 1 metro a popa.

Para un trimado de un metro por popa las tablas de hidrostáticas que obtenemos son las siguientes:

Calado (m)	Despl (Tn)	S (m ²)	Af (m ²)	XB (m)	XF (m)	KB (m)	KMT (m)	KML (m)	TPC (Tn)	MCT (Tn-m)
0	4.4	24.7	19.0	-8.1	-6.5	0.1	1.4	35.5	0.2	0.0
0.1	6.7	33.3	26.6	-7.4	-5.6	0.1	2.1	40.5	0.3	0.1
0.2	9.9	43.7	36.0	-6.7	-4.8	0.2	2.8	45.0	0.4	0.1
0.3	14.1	55.2	46.5	-6.0	-4.1	0.3	3.6	48.7	0.5	0.2
0.4	19.5	67.2	57.3	-5.4	-3.4	0.3	4.2	51.6	0.6	0.3
0.5	25.9	78.7	67.7	-4.8	-2.8	0.4	4.5	53.3	0.7	0.4
0.6	33.3	89.4	77.0	-4.3	-2.4	0.4	4.5	54.1	0.8	0.6
0.7	41.6	99.5	85.6	-3.9	-2.0	0.5	4.5	54.1	0.9	0.7
0.8	50.8	109.0	93.5	-3.5	-1.8	0.6	4.4	53.7	1.0	0.9
0.9	60.8	118.2	100.8	-3.2	-1.6	0.6	4.3	53.0	1.0	1.0
1	71.5	127.1	107.7	-3.0	-1.4	0.7	4.2	52.1	1.1	1.2
1.1	82.8	135.8	114.3	-2.8	-1.3	0.7	4.2	51.3	1.2	1.3
1.2	94.9	144.1	120.7	-2.6	-1.3	0.8	4.1	50.5	1.2	1.5
1.3	107.6	152.8	127.0	-2.4	-1.3	0.8	4.0	50.0	1.3	1.7
1.4	120.9	161.5	133.0	-2.3	-1.3	0.9	4.0	49.5	1.4	1.9
1.5	134.8	170.1	138.8	-2.2	-1.3	1.0	3.9	49.0	1.4	2.1
1.6	149.3	178.7	144.3	-2.1	-1.4	1.0	3.9	48.3	1.5	2.3
1.7	164.4	187.2	149.6	-2.0	-1.5	1.1	3.8	47.7	1.5	2.5
1.8	180.0	195.8	154.6	-2.0	-1.6	1.2	3.8	46.9	1.6	2.6
1.9	196.1	204.3	159.3	-2.0	-1.7	1.2	3.8	46.2	1.6	2.8
2	212.6	212.5	163.7	-1.9	-1.8	1.3	3.7	45.2	1.7	3.0
2.1	229.6	220.7	167.7	-1.9	-1.8	1.3	3.7	44.2	1.7	3.2
2.2	247.0	228.7	171.4	-1.9	-1.9	1.4	3.7	43.1	1.8	3.3
2.3	264.7	236.7	174.9	-1.9	-2.0	1.5	3.7	42.1	1.8	3.5
2.4	282.8	244.4	178.0	-1.9	-2.1	1.5	3.7	41.0	1.8	3.6
2.5	301.2	252.2	181.0	-2.0	-2.1	1.6	3.7	40.0	1.9	3.7
2.6	319.9	259.7	183.7	-2.0	-2.2	1.6	3.7	38.9	1.9	3.8
2.7	338.8	267.3	186.3	-2.0	-2.3	1.7	3.7	37.9	1.9	3.9
2.8	358.0	274.8	188.6	-2.0	-2.3	1.8	3.7	37.0	1.9	4.1
2.9	377.5	282.1	190.8	-2.0	-2.4	1.8	3.7	36.0	2.0	4.2
3	397.1	289.5	192.8	-2.0	-2.4	1.9	3.7	35.1	2.0	4.2
3.1	417.0	296.9	194.7	-2.0	-2.4	1.9	3.7	34.2	2.0	4.3
3.2	437.0	304.0	196.4	-2.1	-2.5	2.0	3.7	33.4	2.0	4.4
3.3	457.2	311.2	197.9	-2.1	-2.5	2.1	3.7	32.5	2.0	4.5
3.4	477.6	318.0	199.3	-2.1	-2.6	2.1	3.7	31.7	2.0	4.6
3.5	498.1	324.5	200.5	-2.1	-2.6	2.2	3.7	30.9	2.1	4.6
3.6	518.7	329.9	201.5	-2.1	-2.6	2.2	3.7	30.1	2.1	4.7

Tabla 1. Tabla de hidrostáticas para el buque trimado 1 metro a popa.

Todas las tablas de trimados se plotean en el **Anexo I**, con la intención de dar una percepción visual.

4.3.2 Trimado de 0.5 metros a popa.

Para un trimado de 0.5 metros tenemos la siguiente tabla de hidrostáticas:

Calado (m)	Despl (Tn)	S (m ²)	Af (m ²)	XB (m)	XF (m)	KB (m)	KMT (m)	KML (m)	TPC (Tn)	MCT (Tn-m)
0	2.5	18.3	14.2	-8.3	-6.7	0.0	1.0	45.6	0.1	0.0
0.1	4.4	27.2	22.1	-7.3	-5.5	0.1	1.7	54.4	0.2	0.1
0.2	7.2	38.7	32.7	-6.4	-4.5	0.1	2.7	61.9	0.3	0.1
0.3	11.1	52.3	45.2	-5.5	-3.5	0.2	3.7	67.4	0.5	0.2
0.4	16.4	66.3	58.0	-4.7	-2.6	0.3	4.5	70.3	0.6	0.4
0.5	23.0	79.0	69.5	-4.0	-2.0	0.3	4.7	70.5	0.7	0.5
0.6	30.6	90.3	79.2	-3.5	-1.6	0.4	4.7	68.7	0.8	0.7
0.7	39.2	100.5	87.7	-3.0	-1.2	0.5	4.6	66.3	0.9	0.8
0.8	48.6	109.9	95.1	-2.6	-1.0	0.5	4.4	63.1	1.0	1.0
0.9	58.7	118.9	102.0	-2.3	-0.8	0.6	4.3	60.1	1.0	1.1
1	69.5	127.7	108.5	-2.1	-0.7	0.6	4.2	57.5	1.1	1.3
1.1	80.9	136.2	114.7	-1.9	-0.6	0.7	4.1	55.2	1.2	1.4
1.2	93.0	144.5	120.5	-1.7	-0.6	0.8	4.1	53.0	1.2	1.6
1.3	105.6	152.7	126.0	-1.6	-0.6	0.8	4.0	51.0	1.3	1.7
1.4	118.8	160.4	131.2	-1.5	-0.6	0.9	3.9	49.2	1.3	1.8
1.5	132.5	168.4	136.4	-1.4	-0.7	0.9	3.9	47.8	1.4	2.0
1.6	146.7	176.5	141.3	-1.3	-0.7	1.0	3.8	46.5	1.4	2.1
1.7	161.5	184.7	146.0	-1.3	-0.8	1.1	3.8	45.5	1.5	2.3
1.8	176.7	192.9	150.6	-1.2	-1.0	1.1	3.7	44.5	1.5	2.5
1.9	192.3	201.1	155.1	-1.2	-1.1	1.2	3.7	43.7	1.6	2.6
2	208.5	209.3	159.4	-1.2	-1.2	1.2	3.7	42.9	1.6	2.8
2.1	225.0	217.6	163.6	-1.2	-1.3	1.3	3.7	42.2	1.7	2.9
2.2	242.0	225.8	167.5	-1.2	-1.5	1.4	3.6	41.4	1.7	3.1
2.3	259.3	233.9	171.1	-1.3	-1.6	1.4	3.6	40.6	1.8	3.3
2.4	277.1	241.8	174.5	-1.3	-1.7	1.5	3.6	39.8	1.8	3.4
2.5	295.1	249.6	177.7	-1.3	-1.8	1.5	3.6	38.9	1.8	3.5
2.6	313.5	257.4	180.6	-1.3	-1.8	1.6	3.6	38.0	1.9	3.7
2.7	332.1	265.0	183.3	-1.4	-1.9	1.7	3.6	37.1	1.9	3.8
2.8	351.1	272.6	185.8	-1.4	-2.0	1.7	3.6	36.2	1.9	3.9
2.9	370.2	279.9	188.1	-1.4	-2.1	1.8	3.6	35.3	1.9	4.0
3	389.6	287.4	190.2	-1.5	-2.1	1.8	3.6	34.5	2.0	4.1
3.1	409.2	294.3	192.2	-1.5	-2.2	1.9	3.6	33.6	2.0	4.2
3.2	429.0	301.0	193.9	-1.5	-2.3	2.0	3.7	32.7	2.0	4.2
3.3	449.0	307.5	195.6	-1.6	-2.3	2.0	3.7	32.0	2.0	4.3
3.4	469.1	313.9	197.3	-1.6	-2.4	2.1	3.7	31.2	2.0	4.4
3.5	489.4	320.1	198.9	-1.6	-2.4	2.1	3.7	30.6	2.0	4.5
3.6	509.9	326.1	200.5	-1.7	-2.4	2.2	3.7	30.0	2.1	4.6

Tabla 2. Tabla de hidrostáticas para el buque trimado 0.5 metros a popa.

Esta información se puede encontrar en forma gráfica en el **Anexo I**.

4.3.3 Trimado de 0.25 metros a popa.

Trimando el buque 0.25 metros por proa obtenemos las siguientes hidrostáticas:

Calado (m)	<i>Despl</i> (Tn)	<i>S</i> (m ²)	<i>Af</i> (m ²)	<i>XB</i> (m)	<i>XF</i> (m)	<i>KB</i> (m)	<i>KMT</i> (m)	<i>KML</i> (m)	<i>TPC</i> (Tn)	<i>MCT</i> (Tn-m)
0	1.8	15.1	11.8	-8.4	-6.8	0.0	0.8	53.7	0.1	0.0
0.1	3.4	24.1	19.9	-7.3	-5.4	0.0	1.5	66.6	0.2	0.1
0.2	6.0	36.5	31.3	-6.2	-4.2	0.1	2.5	76.9	0.3	0.1
0.3	9.9	51.4	45.1	-5.1	-3.0	0.2	3.8	83.4	0.5	0.3
0.4	15.2	66.6	59.1	-4.2	-2.1	0.2	4.6	85.2	0.6	0.4
0.5	21.9	79.8	71.0	-3.5	-1.5	0.3	4.9	82.7	0.7	0.6
0.6	29.7	91.1	80.7	-2.9	-1.1	0.4	4.8	78.3	0.8	0.8
0.7	38.4	101.2	88.8	-2.5	-0.8	0.4	4.6	72.7	0.9	0.9
0.8	47.9	110.5	96.1	-2.1	-0.6	0.5	4.5	67.7	1.0	1.0
0.9	58.1	119.5	102.8	-1.8	-0.5	0.6	4.3	63.6	1.1	1.2
1	68.9	128.1	109.1	-1.6	-0.4	0.6	4.2	59.9	1.1	1.3
1.1	80.4	136.5	114.9	-1.4	-0.3	0.7	4.1	56.7	1.2	1.4
1.2	92.5	144.7	120.4	-1.3	-0.3	0.7	4.0	53.8	1.2	1.6
1.3	105.1	152.7	125.7	-1.2	-0.3	0.8	4.0	51.3	1.3	1.7
1.4	118.2	160.5	130.6	-1.1	-0.3	0.9	3.9	49.0	1.3	1.8
1.5	131.9	168.0	135.3	-1.0	-0.4	0.9	3.8	47.1	1.4	1.9
1.6	146.0	175.8	140.0	-1.0	-0.5	1.0	3.8	45.6	1.4	2.1
1.7	160.6	183.8	144.5	-0.9	-0.6	1.1	3.7	44.3	1.5	2.2
1.8	175.6	191.8	148.9	-0.9	-0.7	1.1	3.7	43.2	1.5	2.4
1.9	191.1	199.8	153.1	-0.9	-0.8	1.2	3.7	42.3	1.6	2.5
2	207.0	207.9	157.3	-0.9	-0.9	1.2	3.7	41.5	1.6	2.7
2.1	223.3	216.0	161.3	-0.9	-1.1	1.3	3.6	40.8	1.7	2.8
2.2	240.1	224.2	165.3	-0.9	-1.2	1.4	3.6	40.2	1.7	3.0
2.3	257.2	232.3	169.0	-0.9	-1.3	1.4	3.6	39.5	1.7	3.1
2.4	274.7	240.3	172.5	-1.0	-1.4	1.5	3.6	38.8	1.8	3.3
2.5	292.6	248.3	175.8	-1.0	-1.6	1.5	3.6	38.1	1.8	3.4
2.6	310.8	256.1	178.7	-1.0	-1.7	1.6	3.6	37.3	1.8	3.6
2.7	329.2	263.6	181.6	-1.1	-1.8	1.7	3.6	36.5	1.9	3.7
2.8	348.0	271.2	184.1	-1.1	-1.8	1.7	3.6	35.6	1.9	3.8
2.9	367.0	278.8	186.5	-1.1	-1.9	1.8	3.6	34.8	1.9	3.9
3	386.2	285.8	188.7	-1.2	-2.0	1.8	3.6	34.0	1.9	4.0
3.1	405.6	292.6	190.7	-1.2	-2.1	1.9	3.6	33.1	2.0	4.1
3.2	425.3	299.2	192.6	-1.3	-2.2	2.0	3.6	32.4	2.0	4.2
3.3	445.1	304.7	194.5	-1.3	-2.2	2.0	3.6	31.7	2.0	4.3
3.4	465.2	311.9	196.3	-1.3	-2.2	2.1	3.7	31.0	2.0	4.3
3.5	485.4	318.0	198.1	-1.4	-2.3	2.1	3.7	30.5	2.0	4.4
3.6	505.8	325.0	199.9	-1.4	-2.3	2.2	3.7	30.0	2.0	4.5

Tabla 3. Tabla de hidrostáticas para el buque trimado 0.25 metros a popa.

Para obtener el resultado gráficamente acúdase al **Anexo I**.

4.3.4 Trimado de 0.1 metros a popa.

Estando el buque trimado 0.1 metros por popa las hidrostáticas resultantes son las siguientes:

Calado (m)	<i>Despl</i> (Tn)	<i>S</i> (m ²)	<i>Af</i> (m ²)	<i>XB</i> (m)	<i>XF</i> (m)	<i>KB</i> (m)	<i>KMT</i> (m)	<i>KML</i> (m)	<i>TPC</i> (Tn)	<i>MCT</i> (Tn-m)
0	1.4	13.1	10.4	-8.6	-6.9	-0.1	0.7	60.1	0.1	0.0
0.1	2.8	22.3	18.6	-7.3	-5.4	0.0	1.4	77.1	0.2	0.1
0.2	5.3	35.3	30.6	-6.0	-3.9	0.1	2.5	89.9	0.3	0.2
0.3	9.2	51.2	45.4	-4.8	-2.7	0.2	3.8	96.8	0.5	0.3
0.4	14.6	67.1	60.1	-3.8	-1.8	0.2	4.7	96.7	0.6	0.5
0.5	21.4	80.5	72.0	-3.1	-1.2	0.3	4.9	91.4	0.7	0.6
0.6	29.3	91.7	81.5	-2.5	-0.8	0.4	4.8	83.6	0.8	0.8
0.7	38.1	101.7	89.5	-2.1	-0.6	0.4	4.6	76.4	0.9	0.9
0.8	47.6	111.0	96.7	-1.8	-0.4	0.5	4.5	70.4	1.0	1.1
0.9	57.9	119.9	103.2	-1.5	-0.3	0.6	4.3	65.4	1.1	1.2
1	68.8	128.4	109.3	-1.3	-0.2	0.6	4.2	61.1	1.1	1.3
1.1	80.3	136.7	115.0	-1.2	-0.2	0.7	4.1	57.4	1.2	1.5
1.2	92.4	144.8	120.4	-1.0	-0.2	0.7	4.0	54.1	1.2	1.6
1.3	105.0	152.7	125.5	-0.9	-0.2	0.8	3.9	51.3	1.3	1.7
1.4	118.1	160.5	130.3	-0.8	-0.2	0.9	3.9	48.8	1.3	1.8
1.5	131.7	168.2	134.8	-0.8	-0.3	0.9	3.8	46.7	1.4	1.9
1.6	145.7	175.5	139.2	-0.7	-0.3	1.0	3.8	45.0	1.4	2.0
1.7	160.2	183.3	143.6	-0.7	-0.4	1.0	3.7	43.6	1.5	2.2
1.8	175.1	191.2	147.9	-0.7	-0.5	1.1	3.7	42.5	1.5	2.3
1.9	190.5	199.1	152.0	-0.7	-0.6	1.2	3.7	41.5	1.6	2.5
2	206.3	207.1	156.1	-0.7	-0.8	1.2	3.6	40.7	1.6	2.6
2.1	222.5	215.2	160.1	-0.7	-0.9	1.3	3.6	40.0	1.6	2.8
2.2	239.1	223.3	163.9	-0.7	-1.0	1.3	3.6	39.4	1.7	2.9
2.3	256.1	231.4	167.7	-0.7	-1.2	1.4	3.6	38.8	1.7	3.1
2.4	273.5	239.4	171.2	-0.8	-1.3	1.5	3.6	38.2	1.8	3.2
2.5	291.2	247.4	174.5	-0.8	-1.4	1.5	3.6	37.5	1.8	3.4
2.6	309.3	255.3	177.6	-0.8	-1.5	1.6	3.6	36.8	1.8	3.5
2.7	327.6	262.8	180.4	-0.9	-1.6	1.6	3.6	36.0	1.8	3.6
2.8	346.3	270.5	183.0	-0.9	-1.7	1.7	3.6	35.3	1.9	3.7
2.9	365.1	277.6	185.4	-1.0	-1.8	1.8	3.6	34.4	1.9	3.8
3	384.3	284.5	187.7	-1.0	-1.9	1.8	3.6	33.6	1.9	3.9
3.1	403.6	291.2	189.8	-1.1	-2.0	1.9	3.6	32.9	1.9	4.0
3.2	423.2	297.7	191.8	-1.1	-2.1	1.9	3.6	32.1	2.0	4.1
3.3	443.0	304.0	193.8	-1.2	-2.1	2.0	3.6	31.5	2.0	4.2
3.4	462.9	310.2	195.7	-1.2	-2.2	2.1	3.7	31.0	2.0	4.3
3.5	483.1	317.3	197.6	-1.2	-2.2	2.1	3.7	30.4	2.0	4.4
3.6	503.4	324.4	199.5	-1.3	-2.2	2.2	3.7	30.0	2.0	4.5

Tabla 4. Tabla de hidrostáticas para el buque trimado 0.1 metros a popa.

Las gráficas correspondientes se pueden encontrar en el **Anexo I**.

4.3.5 Buque sin trimar.

Con un trimado de 0 metros, es decir, con el buque sin trimar, pero con su asiento de proyecto, las hidrostáticas resultantes son las siguientes.

Calado (m)	Despl (Tn)	S (m ²)	Af (m ²)	XB (m)	XF (m)	KB (m)	KMT (m)	KML (m)	TPC (Tn)	MCT (Tn-m)
0	1.1	11.8	9.4	-8.7	-7.0	-0.1	0.6	65.4	0.1	0.0
0.1	2.5	21.1	17.8	-7.3	-5.3	0.0	1.3	86.2	0.2	0.1
0.2	4.9	34.6	30.2	-5.9	-3.7	0.1	2.5	101.2	0.3	0.2
0.3	8.8	51.3	45.8	-4.6	-2.4	0.2	3.9	108.0	0.5	0.3
0.4	14.3	67.5	60.8	-3.6	-1.5	0.2	4.8	105.5	0.6	0.5
0.5	21.1	80.9	72.7	-2.8	-1.0	0.3	5.0	97.2	0.7	0.7
0.6	29.1	92.0	82.0	-2.2	-0.6	0.4	4.8	87.0	0.8	0.8
0.7	37.9	102.0	90.0	-1.8	-0.4	0.4	4.6	78.7	0.9	1.0
0.8	47.5	111.3	97.0	-1.5	-0.3	0.5	4.5	72.1	1.0	1.1
0.9	57.8	120.1	103.5	-1.3	-0.2	0.6	4.3	66.5	1.1	1.2
1	68.7	128.6	109.5	-1.1	-0.1	0.6	4.2	61.8	1.1	1.4
1.1	80.2	136.8	115.1	-1.0	-0.1	0.7	4.1	57.7	1.2	1.5
1.2	92.3	144.9	120.4	-0.8	-0.1	0.7	4.0	54.3	1.2	1.6
1.3	104.9	152.7	125.3	-0.8	-0.1	0.8	3.9	51.2	1.3	1.7
1.4	118.0	160.5	130.0	-0.7	-0.1	0.9	3.9	48.7	1.3	1.8
1.5	131.6	168.1	134.5	-0.6	-0.2	0.9	3.8	46.5	1.4	1.9
1.6	145.6	175.7	138.8	-0.6	-0.2	1.0	3.8	44.6	1.4	2.0
1.7	160.0	183.1	143.0	-0.6	-0.3	1.0	3.7	43.2	1.5	2.2
1.8	174.9	190.9	147.2	-0.5	-0.4	1.1	3.7	42.0	1.5	2.3
1.9	190.2	198.7	151.3	-0.5	-0.5	1.2	3.7	41.0	1.6	2.4
2	205.9	206.6	155.3	-0.5	-0.7	1.2	3.6	40.2	1.6	2.6
2.1	222.1	214.6	159.2	-0.6	-0.8	1.3	3.6	39.5	1.6	2.7
2.2	238.6	222.7	163.0	-0.6	-0.9	1.3	3.6	38.8	1.7	2.9
2.3	255.5	230.7	166.7	-0.6	-1.1	1.4	3.6	38.3	1.7	3.0
2.4	272.8	238.8	170.3	-0.6	-1.2	1.5	3.6	37.7	1.7	3.2
2.5	290.4	246.8	173.7	-0.7	-1.3	1.5	3.6	37.1	1.8	3.3
2.6	308.4	254.5	176.7	-0.7	-1.5	1.6	3.6	36.4	1.8	3.4
2.7	326.6	262.3	179.6	-0.8	-1.6	1.6	3.6	35.7	1.8	3.6
2.8	345.2	270.0	182.3	-0.8	-1.7	1.7	3.6	34.9	1.9	3.7
2.9	364.0	277.2	184.7	-0.9	-1.8	1.8	3.6	34.2	1.9	3.8
3	383.0	283.3	187.0	-0.9	-1.9	1.8	3.6	33.4	1.9	3.9
3.1	402.3	289.9	189.2	-1.0	-2.0	1.9	3.6	32.7	1.9	4.0
3.2	421.8	296.3	191.2	-1.0	-2.0	1.9	3.6	32.0	2.0	4.1
3.3	441.5	302.5	193.3	-1.0	-2.1	2.0	3.6	31.4	2.0	4.2
3.4	461.5	309.7	195.4	-1.1	-2.1	2.1	3.7	30.9	2.0	4.3
3.5	481.6	316.8	197.3	-1.1	-2.1	2.1	3.7	30.4	2.0	4.4
3.6	501.9	323.9	199.3	-1.2	-2.2	2.2	3.7	30.0	2.0	4.5

Tabla 5. Tabla de hidrostáticas para el buque sin trimar.

Como en anteriores casos, los resultados anteriores se pueden tomar en forma de gráfica acudiendo al **Anexo I**.

En este punto podemos apreciar algunas diferencias entre los valores que estimamos y los que realmente tenemos. El calado que en un principio establecimos de 3.407 se correspondía a un desplazamiento de 425.3 toneladas, pero ha resultado tener un desplazamiento de 461.5 toneladas. Eso quiere decir que para el anterior desplazamiento obtenemos un calado menor, de 3.2 metros, lo que siempre favorece al franco bordo, y es poco probable que tenga graves efectos sobre la estabilidad.

4.3.6 Trimado de 0.1 metros a proa.

Si el buque se encuentra aproado 0.1 metros las hidrostáticas resultantes son como se muestran en la siguiente tabla:

Calado (m)	<i>Despl</i> (Tn)	<i>S</i> (m ²)	<i>Af</i> (m ²)	<i>XB</i> (m)	<i>XF</i> (m)	<i>KB</i> (m)	<i>KMT</i> (m)	<i>KML</i> (m)	<i>TPC</i> (Tn)	<i>MCT</i> (Tn-m)
0	0.9	10.5	8.5	-8.8	-7.2	-0.1	0.5	71.7	0.1	0.0
0.1	2.2	20.0	16.9	-7.2	-5.2	0.0	1.2	97.9	0.2	0.1
0.2	4.5	34.0	29.9	-5.7	-3.5	0.1	2.4	115.5	0.3	0.2
0.3	8.4	51.5	46.3	-4.3	-2.1	0.1	4.0	121.5	0.5	0.3
0.4	14.0	68.0	61.6	-3.2	-1.2	0.2	4.9	115.2	0.6	0.5
0.5	20.9	81.3	73.3	-2.5	-0.7	0.3	5.0	102.5	0.8	0.7
0.6	28.9	92.4	82.5	-2.0	-0.5	0.4	4.9	90.3	0.8	0.9
0.7	37.8	102.3	90.4	-1.6	-0.3	0.4	4.6	81.0	0.9	1.0
0.8	47.4	111.6	97.4	-1.3	-0.1	0.5	4.5	73.6	1.0	1.1
0.9	57.8	120.4	103.8	-1.1	0.0	0.6	4.3	67.4	1.1	1.3
1	68.7	128.8	109.7	-0.9	0.0	0.6	4.2	62.3	1.1	1.4
1.1	80.2	137.0	115.2	-0.8	0.0	0.7	4.1	58.0	1.2	1.5
1.2	92.3	144.9	120.3	-0.7	0.0	0.7	4.0	54.3	1.2	1.6
1.3	104.9	152.7	125.2	-0.6	0.0	0.8	3.9	51.2	1.3	1.7
1.4	118.0	160.4	129.8	-0.5	0.0	0.9	3.9	48.5	1.3	1.8
1.5	131.5	168.1	134.2	-0.5	-0.1	0.9	3.8	46.2	1.4	1.9
1.6	145.5	175.6	138.4	-0.4	-0.1	1.0	3.8	44.3	1.4	2.0
1.7	159.9	182.9	142.5	-0.4	-0.2	1.0	3.7	42.8	1.5	2.1
1.8	174.7	190.6	146.6	-0.4	-0.3	1.1	3.7	41.5	1.5	2.3
1.9	189.9	198.4	150.6	-0.4	-0.5	1.2	3.6	40.5	1.5	2.4
2	205.6	206.2	154.6	-0.4	-0.6	1.2	3.6	39.7	1.6	2.5
2.1	221.6	214.1	158.4	-0.4	-0.7	1.3	3.6	39.0	1.6	2.7
2.2	238.1	222.1	162.2	-0.4	-0.8	1.3	3.6	38.3	1.7	2.8
2.3	254.9	230.1	165.8	-0.5	-1.0	1.4	3.6	37.7	1.7	3.0
2.4	272.1	238.2	169.4	-0.5	-1.1	1.5	3.6	37.2	1.7	3.1
2.5	289.6	246.2	172.7	-0.6	-1.3	1.5	3.6	36.6	1.8	3.3
2.6	307.5	253.9	175.9	-0.6	-1.4	1.6	3.6	36.0	1.8	3.4
2.7	325.7	261.8	178.8	-0.6	-1.5	1.6	3.6	35.3	1.8	3.5
2.8	344.1	269.0	181.5	-0.7	-1.6	1.7	3.6	34.6	1.9	3.6
2.9	362.9	276.0	184.0	-0.7	-1.7	1.8	3.6	33.9	1.9	3.7
3	381.9	282.8	186.3	-0.8	-1.8	1.8	3.6	33.1	1.9	3.8
3.1	401.1	289.4	188.6	-0.8	-1.9	1.9	3.6	32.5	1.9	3.9
3.2	420.5	295.8	190.8	-0.9	-2.0	1.9	3.6	31.9	2.0	4.0
3.3	440.2	302.0	192.9	-0.9	-2.0	2.0	3.6	31.3	2.0	4.2
3.4	460.1	309.2	195.0	-1.0	-2.1	2.1	3.6	30.8	2.0	4.3
3.5	480.2	316.4	197.0	-1.0	-2.1	2.1	3.7	30.4	2.0	4.4
3.6	500.5	323.4	199.0	-1.1	-2.1	2.2	3.7	30.0	2.0	4.5

Tabla 6. Tabla de hidrostáticas para el buque trimado 0.1 metros a proa.

Se disponen de gráficas con esta información en el **Anexo I**.

4.3.7 Trimado de 0.25 metros a proa.

Con un trimado de 25 centímetros por proa las tablas de hidrostáticas a aplicar son las siguientes:

Calado (m)	<i>Despl</i> (Tn)	<i>S</i> (m ²)	<i>Af</i> (m ²)	<i>XB</i> (m)	<i>XF</i> (m)	<i>KB</i> (m)	<i>KMT</i> (m)	<i>KML</i> (m)	<i>TPC</i> (Tn)	<i>MCT</i> (Tn-m)
0	0.6	8.5	7.0	-9.1	-7.4	-0.1	0.4	83.3	0.1	0.0
0.1	1.7	18.3	15.8	-7.1	-5.0	0.0	1.1	123.0	0.2	0.1
0.2	4.0	33.4	29.9	-5.3	-3.0	0.1	2.4	145.4	0.3	0.2
0.3	8.0	52.1	47.4	-3.7	-1.6	0.1	4.0	146.3	0.5	0.4
0.4	13.7	68.8	62.7	-2.7	-0.8	0.2	4.9	129.9	0.6	0.6
0.5	20.7	81.9	74.2	-2.0	-0.4	0.3	5.1	109.7	0.8	0.7
0.6	28.8	93.0	83.3	-1.5	-0.2	0.4	4.9	94.9	0.9	0.9
0.7	37.7	102.9	91.1	-1.2	0.0	0.4	4.6	84.0	0.9	1.0
0.8	47.4	112.0	97.9	-0.9	0.1	0.5	4.5	75.4	1.0	1.2
0.9	57.8	120.7	104.1	-0.7	0.1	0.6	4.3	68.6	1.1	1.3
1	68.8	129.0	109.9	-0.6	0.2	0.6	4.2	62.9	1.1	1.4
1.1	80.3	137.1	115.2	-0.5	0.2	0.7	4.1	58.3	1.2	1.5
1.2	92.4	145.0	120.2	-0.4	0.2	0.7	4.0	54.3	1.2	1.6
1.3	104.9	152.8	125.0	-0.3	0.1	0.8	3.9	51.0	1.3	1.7
1.4	118.0	160.5	129.5	-0.3	0.1	0.9	3.9	48.2	1.3	1.8
1.5	131.5	168.0	133.8	-0.2	0.0	0.9	3.8	45.8	1.4	1.9
1.6	145.4	175.5	137.9	-0.2	0.0	1.0	3.8	43.9	1.4	2.0
1.7	159.8	183.0	141.9	-0.2	-0.1	1.0	3.7	42.2	1.5	2.1
1.8	174.5	190.2	145.8	-0.2	-0.2	1.1	3.7	40.8	1.5	2.2
1.9	189.6	197.9	149.7	-0.2	-0.3	1.2	3.6	39.8	1.5	2.3
2	205.2	205.6	153.5	-0.2	-0.4	1.2	3.6	38.9	1.6	2.5
2.1	221.1	213.5	157.2	-0.2	-0.6	1.3	3.6	38.2	1.6	2.6
2.2	237.4	221.3	160.9	-0.3	-0.7	1.3	3.6	37.5	1.7	2.7
2.3	254.1	229.3	164.5	-0.3	-0.8	1.4	3.6	37.0	1.7	2.9
2.4	271.2	237.3	168.0	-0.3	-1.0	1.5	3.6	36.4	1.7	3.0
2.5	288.5	245.1	171.4	-0.4	-1.1	1.5	3.5	35.9	1.8	3.2
2.6	306.3	253.1	174.5	-0.4	-1.3	1.6	3.5	35.4	1.8	3.3
2.7	324.3	260.4	177.5	-0.5	-1.4	1.6	3.6	34.7	1.8	3.4
2.8	342.7	267.6	180.2	-0.5	-1.5	1.7	3.6	34.1	1.8	3.6
2.9	361.3	274.5	182.8	-0.6	-1.6	1.8	3.6	33.4	1.9	3.7
3	380.1	281.2	185.3	-0.6	-1.7	1.8	3.6	32.8	1.9	3.8
3.1	399.3	287.7	187.6	-0.7	-1.8	1.9	3.6	32.2	1.9	3.9
3.2	418.6	294.0	190.0	-0.7	-1.9	1.9	3.6	31.7	1.9	4.0
3.3	438.2	301.3	192.2	-0.8	-1.9	2.0	3.6	31.2	2.0	4.1
3.4	458.0	308.5	194.4	-0.8	-2.0	2.0	3.6	30.7	2.0	4.2
3.5	478.1	315.7	196.6	-0.9	-2.0	2.1	3.7	30.3	2.0	4.4
3.6	498.3	322.8	198.6	-0.9	-2.0	2.2	3.7	30.0	2.0	4.5

Tabla 7. Tabla de hidrostáticas para el buque trimado 0.25 metros a proa.

Las gráficas correspondientes se pueden encontrar en el **Anexo I**.

4.3.8 Trimado de 0.5 metros a proa.

Con el último de los trimados previstos, de 0.5 metros por proa, las tablas de hidrostáticas resultantes son las siguientes:

Calado (m)	<i>Despl</i> (Tn)	<i>S</i> (m ²)	<i>Af</i> (m ²)	<i>XB</i> (m)	<i>XF</i> (m)	<i>KB</i> (m)	<i>KMT</i> (m)	<i>KML</i> (m)	<i>TPC</i> (Tn)	<i>MCT</i> (Tn-m)
0	0.2	5.1	4.3	-9.8	-8.3	-0.2	0.2	110.1	0.0	0.0
0.1	1.1	15.9	14.2	-6.7	-4.4	-0.1	1.0	212.7	0.1	0.1
0.2	3.4	33.7	30.9	-4.1	-1.8	0.0	2.5	233.9	0.3	0.3
0.3	7.5	53.6	49.6	-2.4	-0.6	0.2	4.2	194.2	0.5	0.5
0.4	13.4	69.9	64.3	-1.5	-0.2	0.2	5.0	148.4	0.7	0.7
0.5	20.6	82.9	75.5	-1.0	0.1	0.3	5.1	119.9	0.8	0.8
0.6	28.8	93.9	84.5	-0.7	0.2	0.4	4.9	101.2	0.9	1.0
0.7	37.9	103.6	92.0	-0.4	0.3	0.4	4.6	87.7	0.9	1.1
0.8	47.6	112.6	98.6	-0.3	0.4	0.5	4.4	77.7	1.0	1.2
0.9	58.1	121.2	104.6	-0.2	0.4	0.6	4.3	69.8	1.1	1.3
1	69.1	129.4	110.1	-0.1	0.4	0.6	4.1	63.5	1.1	1.4
1.1	80.6	137.4	115.2	0.0	0.4	0.7	4.0	58.3	1.2	1.5
1.2	92.7	145.2	120.1	0.1	0.4	0.8	4.0	54.1	1.2	1.6
1.3	105.2	152.9	124.7	0.1	0.3	0.8	3.9	50.6	1.3	1.7
1.4	118.2	160.5	129.0	0.1	0.3	0.9	3.8	47.6	1.3	1.8
1.5	131.7	168.0	133.1	0.1	0.2	0.9	3.8	45.2	1.4	1.9
1.6	145.5	175.4	137.1	0.1	0.2	1.0	3.7	43.1	1.4	2.0
1.7	159.8	182.8	140.9	0.1	0.1	1.1	3.7	41.3	1.4	2.0
1.8	174.4	190.2	144.5	0.1	0.0	1.1	3.7	39.8	1.5	2.1
1.9	189.4	197.3	148.2	0.1	-0.1	1.2	3.6	38.6	1.5	2.3
2	204.8	204.8	151.8	0.1	-0.2	1.2	3.6	37.7	1.6	2.4
2.1	220.5	212.5	155.4	0.1	-0.3	1.3	3.6	36.9	1.6	2.5
2.2	236.6	220.2	158.9	0.0	-0.5	1.3	3.6	36.2	1.6	2.6
2.3	253.1	227.8	162.4	0.0	-0.6	1.4	3.5	35.7	1.7	2.8
2.4	269.9	235.7	165.7	0.0	-0.8	1.5	3.5	35.1	1.7	2.9
2.5	287.1	243.6	169.0	-0.1	-0.9	1.5	3.5	34.6	1.7	3.0
2.6	304.5	251.0	172.2	-0.1	-1.1	1.6	3.5	34.1	1.8	3.2
2.7	322.3	258.3	175.2	-0.2	-1.2	1.6	3.5	33.6	1.8	3.3
2.8	340.5	265.4	178.1	-0.3	-1.3	1.7	3.5	33.1	1.8	3.4
2.9	358.9	272.2	180.8	-0.3	-1.4	1.8	3.6	32.6	1.9	3.5
3	377.5	278.9	183.5	-0.4	-1.5	1.8	3.6	32.1	1.9	3.7
3.1	396.5	285.3	186.1	-0.4	-1.6	1.9	3.6	31.7	1.9	3.8
3.2	415.7	292.6	188.6	-0.5	-1.7	1.9	3.6	31.3	1.9	3.9
3.3	435.1	300.0	191.1	-0.5	-1.8	2.0	3.6	30.9	2.0	4.0
3.4	454.9	307.2	193.5	-0.6	-1.8	2.0	3.6	30.6	2.0	4.2
3.5	474.8	314.4	195.7	-0.6	-1.8	2.1	3.7	30.2	2.0	4.3
3.6	495.0	321.6	198.0	-0.7	-1.9	2.2	3.7	29.9	2.0	4.4

Tabla 8. Tabla de hidrostáticas para el buque trimado 0.5 metros a proa.

Con un equivalente gráfico presente en el **Anexo I**.

5 Carenas inclinadas.

5.1 Introducción.

Las carenas inclinadas son las curvas hidrostáticas que permiten conocer la estabilidad del buque a grandes ángulos.

La idea es que para ángulos pequeños la estabilidad del buque puede medirse por el brazo metacéntrico, pero lo realmente cierto es que el metacentro no es un punto fijo, como de alguna forma sería deseable, sino que se mueve, resultando que a grandes ángulos² altura metacéntrica, entendiéndose como tal el valor *GM*, debe recalcularse.

² Suele considerarse como tal los ángulos superiores a los 9°.

Lo cierto es que la práctica de obtener la posición del metacentro para todos los ángulos no es una práctica sencilla, ni tampoco práctica, luego lo más aconsejable es volver al razonamiento del brazo adrizante GZ .

El brazo adrizante es el modulo del vector, proyectado sobre la normal a la gravedad, que une el centro de gravedad y el centro de carena. Indica la magnitud del par adrizante del buque.

$$M_{adrizante} = \Delta \cdot GZ \rightarrow \text{Ec. 1}$$

Que a pequeños ángulos cumple que:

$$GZ = GM \cdot \sin \theta \rightarrow \text{Ec. 2}$$

Por tanto nos interesa conocer el brazo adrizante para cada situación de carga, ángulo, y trimado del buque.

Lamentablemente aún no disponemos de información sobre los centros de gravedad en cada una de esas situaciones, y por tanto no es viable obtener el brazo adrizante.

No obstante, podemos obtener un indicador del mismo estableciendo un centro de gravedad arbitrario, o *ficticio*, en un punto cualquiera, y más tarde, cuando se disponga de información sobre la posición del centro de gravedad, corregir el valor.

Aunque en un principio el punto es arbitrario, y se puede escoger cualquiera, elegir el punto del canto alto de la quilla, denominado usualmente por la letra K^3 , aporta la ventaja de que poder calcular brazos adrizantes aplicando simplemente Ec. 3.

$$GZ = KN - KG \cdot \sin \theta \rightarrow \text{Ec. 3}$$

Es decir, conociendo los brazos adrizantes que existirían si el centro de gravedad estuviera lo más abajo posible, en el canto alto de la hélice, y conociendo la posición real del centro de gravedad en cada caso, se puede conocer el brazo adrizante real del buque para cada ángulo.

Las carenas inclinadas, o también conocidas como pantocarenas, son precisamente esos brazos adrizantes *ficticios*.

5.2 Cálculo de las carenas inclinadas.

En este punto del proyecto no tenemos información sobre las situaciones de carga, así que necesitamos establecer curvas en las que se vayan a encontrar. Por el peso en rosca estimado de nuestro buque, ninguna situación de carga se va a encontrar con desplazamientos por debajo de las 300 toneladas, y atendiendo a la sección 4.3 tampoco se tendrán desplazamientos por encima de 520 toneladas⁴.

Usaremos los mismos trimados establecidos en 4.1, y ángulos entre 0 y 45 grados, cada 5 grados, lo que nos dará una buena resolución.

Todas las tablas de carenas inclinadas disponen de gráficas en el **Anexo II**.

5.2.1 Trimado de 1 metro a popa.

Con el buque trimado 1 metro por popa las carenas inclinadas resultantes son las que se observan en la siguiente tabla:

³ Del Inglés *Keel*.

⁴ A riesgo de superar el francobordo máximo.

Proyecto 077: Cálculos de arquitectura Naval.

Despl (Tn)	KN a 0° (m)	KN a 5° (m)	KN a 10° (m)	KN a 15° (m)	KN a 20° (m)	KN a 25° (m)	KN a 30° (m)	KN a 35° (m)	KN a 40° (m)	KN a 45° (m)
300	0.000	0.320	0.639	0.957	1.271	1.578	1.879	2.161	2.406	2.614
310	0.000	0.320	0.639	0.956	1.271	1.579	1.880	2.159	2.401	2.607
320	0.000	0.320	0.639	0.956	1.271	1.579	1.881	2.156	2.395	2.599
330	0.000	0.319	0.638	0.956	1.271	1.580	1.881	2.153	2.389	2.592
340	0.000	0.319	0.638	0.956	1.271	1.581	1.880	2.149	2.383	2.583
350	0.000	0.319	0.638	0.956	1.271	1.582	1.879	2.145	2.376	2.575
360	0.000	0.319	0.639	0.957	1.272	1.583	1.878	2.140	2.369	2.567
370	0.000	0.320	0.639	0.957	1.273	1.584	1.876	2.135	2.362	2.558
380	0.000	0.320	0.639	0.957	1.273	1.585	1.874	2.130	2.355	2.550
390	0.000	0.320	0.639	0.958	1.274	1.585	1.871	2.124	2.347	2.541
400	0.000	0.320	0.640	0.959	1.275	1.585	1.867	2.118	2.339	2.532
410	0.000	0.320	0.640	0.959	1.277	1.584	1.863	2.112	2.332	2.523
420	0.000	0.321	0.641	0.960	1.278	1.583	1.859	2.105	2.323	2.514
430	0.000	0.321	0.642	0.961	1.279	1.582	1.855	2.099	2.315	2.505
440	0.000	0.322	0.643	0.962	1.280	1.579	1.850	2.092	2.307	2.496
450	0.000	0.322	0.643	0.963	1.281	1.577	1.844	2.084	2.298	2.487
460	0.000	0.322	0.644	0.965	1.281	1.573	1.838	2.077	2.290	2.478
470	0.000	0.323	0.645	0.966	1.281	1.570	1.832	2.069	2.281	2.469
480	0.000	0.323	0.646	0.967	1.280	1.566	1.826	2.061	2.272	2.459
490	0.000	0.324	0.647	0.969	1.278	1.561	1.819	2.053	2.263	2.450
500	0.000	0.324	0.648	0.970	1.277	1.556	1.812	2.045	2.254	2.441
510	0.000	0.325	0.649	0.971	1.274	1.551	1.805	2.036	2.245	2.431
520	0.000	0.326	0.650	0.972	1.271	1.545	1.797	2.028	2.236	2.422

Tabla 9. Carenas inclinadas para un trimado de 1 metro a popa.

5.2.2 Trimado de 0.5 metros a popa.

Con el buque trimado 0.5 metros por popa las carenas inclinadas resultantes son las que se observan en la siguiente tabla:

Despl (Tn)	KN a 0° (m)	KN a 5° (m)	KN a 10° (m)	KN a 15° (m)	KN a 20° (m)	KN a 25° (m)	KN a 30° (m)	KN a 35° (m)	KN a 40° (m)	KN a 45° (m)
300	0.000	0.315	0.630	0.943	1.253	1.557	1.855	2.141	2.391	2.605
310	0.000	0.315	0.630	0.943	1.253	1.558	1.857	2.141	2.388	2.599
320	0.000	0.315	0.630	0.943	1.254	1.560	1.860	2.140	2.385	2.594
330	0.000	0.315	0.630	0.943	1.255	1.561	1.862	2.139	2.380	2.587
340	0.000	0.315	0.630	0.944	1.256	1.563	1.863	2.137	2.376	2.581
350	0.000	0.315	0.630	0.945	1.257	1.565	1.865	2.135	2.371	2.574
360	0.000	0.316	0.631	0.945	1.258	1.567	1.865	2.132	2.366	2.567
370	0.000	0.316	0.632	0.946	1.259	1.569	1.865	2.129	2.360	2.560
380	0.000	0.316	0.632	0.947	1.261	1.571	1.864	2.125	2.354	2.553
390	0.000	0.317	0.633	0.949	1.262	1.573	1.863	2.121	2.348	2.545
400	0.000	0.317	0.634	0.950	1.264	1.575	1.862	2.117	2.342	2.538
410	0.000	0.317	0.635	0.951	1.266	1.576	1.859	2.112	2.335	2.530
420	0.000	0.318	0.636	0.952	1.268	1.576	1.857	2.107	2.329	2.522
430	0.000	0.319	0.637	0.954	1.270	1.576	1.854	2.102	2.322	2.514
440	0.000	0.319	0.638	0.956	1.272	1.576	1.850	2.096	2.314	2.506
450	0.000	0.320	0.639	0.957	1.274	1.575	1.846	2.090	2.307	2.497
460	0.000	0.320	0.640	0.959	1.276	1.573	1.842	2.084	2.300	2.489
470	0.000	0.321	0.641	0.961	1.277	1.571	1.837	2.077	2.292	2.480
480	0.000	0.322	0.643	0.963	1.278	1.568	1.832	2.070	2.284	2.472
490	0.000	0.322	0.644	0.965	1.278	1.565	1.827	2.063	2.276	2.463
500	0.000	0.323	0.645	0.967	1.278	1.562	1.821	2.056	2.267	2.454
510	0.000	0.324	0.647	0.969	1.276	1.557	1.815	2.049	2.259	2.445
520	0.000	0.325	0.648	0.971	1.275	1.553	1.808	2.041	2.250	2.436

Tabla 10. Carenas inclinadas para un trimado de 0.5 metros a popa.

5.2.3 Trimado de 0.25 metros a popa.

Con el buque trimado 0.25 metros por popa las carenas inclinadas resultantes son las que se observan en la siguiente tabla:

Proyecto 077: Cálculos de arquitectura Naval.

Despl (Tn)	KN a 0° (m)	KN a 5° (m)	KN a 10° (m)	KN a 15° (m)	KN a 20° (m)	KN a 25° (m)	KN a 30° (m)	KN a 35° (m)	KN a 40° (m)	KN a 45° (m)
300	0.000	0.313	0.626	0.937	1.245	1.548	1.845	2.131	2.384	2.600
310	0.000	0.313	0.626	0.937	1.246	1.549	1.847	2.132	2.382	2.596
320	0.000	0.313	0.626	0.937	1.247	1.551	1.850	2.132	2.379	2.591
330	0.000	0.313	0.626	0.938	1.248	1.553	1.853	2.132	2.376	2.585
340	0.000	0.313	0.626	0.939	1.249	1.555	1.855	2.131	2.372	2.580
350	0.000	0.314	0.627	0.940	1.250	1.557	1.857	2.130	2.368	2.574
360	0.000	0.314	0.628	0.941	1.252	1.560	1.859	2.128	2.364	2.568
370	0.000	0.314	0.628	0.942	1.254	1.562	1.860	2.126	2.359	2.561
380	0.000	0.315	0.629	0.943	1.255	1.565	1.860	2.123	2.354	2.555
390	0.000	0.315	0.630	0.944	1.257	1.567	1.860	2.120	2.349	2.548
400	0.000	0.316	0.631	0.946	1.259	1.570	1.859	2.116	2.343	2.541
410	0.000	0.316	0.632	0.947	1.261	1.572	1.857	2.112	2.337	2.533
420	0.000	0.317	0.633	0.949	1.264	1.573	1.855	2.108	2.331	2.526
430	0.000	0.317	0.634	0.951	1.266	1.573	1.853	2.103	2.325	2.518
440	0.000	0.318	0.636	0.953	1.268	1.574	1.850	2.098	2.318	2.510
450	0.000	0.319	0.637	0.955	1.271	1.573	1.847	2.093	2.311	2.502
460	0.000	0.319	0.638	0.957	1.273	1.572	1.843	2.087	2.304	2.494
470	0.000	0.320	0.640	0.959	1.275	1.571	1.839	2.081	2.297	2.486
480	0.000	0.321	0.641	0.961	1.277	1.569	1.835	2.075	2.289	2.477
490	0.000	0.322	0.643	0.963	1.277	1.566	1.830	2.068	2.281	2.469
500	0.000	0.322	0.644	0.965	1.277	1.563	1.824	2.061	2.273	2.460
510	0.000	0.323	0.646	0.968	1.277	1.560	1.819	2.054	2.265	2.451
520	0.000	0.324	0.648	0.970	1.276	1.556	1.813	2.047	2.257	2.442

Tabla 11. Carenas inclinadas para un trimado de 0.25 metros a popa.

5.2.4 Trimado de 0.1 metros a popa.

Con el buque trimado 0.1 metros por popa las carenas inclinadas resultantes son las que se observan en la siguiente tabla:

Despl (Tn)	KN a 0° (m)	KN a 5° (m)	KN a 10° (m)	KN a 15° (m)	KN a 20° (m)	KN a 25° (m)	KN a 30° (m)	KN a 35° (m)	KN a 40° (m)	KN a 45° (m)
300	0.000	0.312	0.623	0.933	1.240	1.543	1.839	2.126	2.380	2.598
310	0.000	0.312	0.623	0.934	1.241	1.545	1.842	2.127	2.379	2.594
320	0.000	0.312	0.624	0.934	1.243	1.547	1.845	2.128	2.376	2.589
330	0.000	0.312	0.624	0.935	1.244	1.549	1.848	2.128	2.374	2.584
340	0.000	0.312	0.624	0.936	1.245	1.551	1.851	2.128	2.371	2.579
350	0.000	0.313	0.625	0.937	1.247	1.553	1.853	2.127	2.367	2.574
360	0.000	0.313	0.626	0.938	1.249	1.556	1.855	2.126	2.363	2.568
370	0.000	0.313	0.627	0.939	1.250	1.559	1.856	2.124	2.359	2.562
380	0.000	0.314	0.628	0.941	1.252	1.561	1.857	2.121	2.354	2.555
390	0.000	0.314	0.629	0.942	1.254	1.564	1.857	2.119	2.349	2.549
400	0.000	0.315	0.630	0.944	1.257	1.567	1.857	2.116	2.344	2.542
410	0.000	0.316	0.631	0.945	1.259	1.569	1.856	2.112	2.338	2.535
420	0.000	0.316	0.632	0.947	1.261	1.571	1.854	2.108	2.332	2.528
430	0.000	0.317	0.633	0.949	1.264	1.572	1.852	2.104	2.326	2.520
440	0.000	0.317	0.635	0.951	1.266	1.572	1.850	2.099	2.320	2.513
450	0.000	0.318	0.636	0.953	1.269	1.572	1.847	2.094	2.313	2.505
460	0.000	0.319	0.637	0.955	1.272	1.572	1.844	2.089	2.306	2.497
470	0.000	0.320	0.639	0.957	1.274	1.571	1.840	2.083	2.299	2.489
480	0.000	0.321	0.641	0.960	1.276	1.569	1.836	2.077	2.292	2.480
490	0.000	0.321	0.642	0.962	1.277	1.567	1.831	2.071	2.284	2.472
500	0.000	0.322	0.644	0.964	1.277	1.564	1.826	2.064	2.277	2.463
510	0.000	0.323	0.645	0.967	1.277	1.561	1.821	2.057	2.269	2.455
520	0.000	0.324	0.647	0.969	1.277	1.558	1.815	2.050	2.260	2.446

Tabla 12. Carenas inclinadas para un trimado de 0.1 metros a popa.

5.2.5 Buque sin trimar.

Con el buque sin trimar las carenas inclinadas resultantes son las que se observan en la siguiente tabla:

Proyecto 077: Cálculos de arquitectura Naval.

Despl (Tn)	KN a 0° (m)	KN a 5° (m)	KN a 10° (m)	KN a 15° (m)	KN a 20° (m)	KN a 25° (m)	KN a 30° (m)	KN a 35° (m)	KN a 40° (m)	KN a 45° (m)
300	0.000	0.311	0.622	0.931	1.238	1.540	1.835	2.122	2.378	2.596
310	0.000	0.311	0.622	0.932	1.239	1.541	1.838	2.124	2.376	2.592
320	0.000	0.311	0.622	0.932	1.240	1.544	1.842	2.125	2.374	2.588
330	0.000	0.311	0.623	0.933	1.241	1.546	1.845	2.126	2.372	2.584
340	0.000	0.312	0.623	0.934	1.243	1.548	1.848	2.126	2.369	2.579
350	0.000	0.312	0.624	0.935	1.245	1.551	1.851	2.125	2.366	2.574
360	0.000	0.312	0.625	0.936	1.246	1.554	1.853	2.124	2.362	2.568
370	0.000	0.313	0.626	0.938	1.248	1.556	1.854	2.123	2.358	2.562
380	0.000	0.313	0.627	0.939	1.250	1.559	1.855	2.121	2.354	2.556
390	0.000	0.314	0.628	0.941	1.253	1.562	1.856	2.118	2.349	2.550
400	0.000	0.314	0.629	0.942	1.255	1.565	1.856	2.115	2.344	2.543
410	0.000	0.315	0.630	0.944	1.257	1.567	1.855	2.112	2.339	2.536
420	0.000	0.316	0.631	0.946	1.260	1.569	1.854	2.108	2.333	2.529
430	0.000	0.316	0.633	0.948	1.263	1.571	1.852	2.104	2.327	2.522
440	0.000	0.317	0.634	0.950	1.265	1.571	1.850	2.100	2.321	2.514
450	0.000	0.318	0.635	0.952	1.268	1.572	1.847	2.095	2.315	2.507
460	0.000	0.319	0.637	0.955	1.271	1.571	1.844	2.090	2.308	2.499
470	0.000	0.319	0.639	0.957	1.273	1.571	1.841	2.084	2.301	2.491
480	0.000	0.320	0.640	0.959	1.275	1.569	1.837	2.078	2.294	2.483
490	0.000	0.321	0.642	0.962	1.276	1.567	1.832	2.072	2.286	2.474
500	0.000	0.322	0.643	0.964	1.277	1.565	1.828	2.066	2.279	2.466
510	0.000	0.323	0.645	0.967	1.277	1.562	1.822	2.059	2.271	2.457
520	0.000	0.324	0.647	0.969	1.277	1.559	1.817	2.052	2.263	2.448

Tabla 13. Carenas inclinadas para el buque sin trimar.

5.2.6 Trimado de 0.1 metros a proa.

Con el buque trimado 0.1 metros por proa las carenas inclinadas resultantes son las que se observan en la siguiente tabla:

Despl (Tn)	KN a 0° (m)	KN a 5° (m)	KN a 10° (m)	KN a 15° (m)	KN a 20° (m)	KN a 25° (m)	KN a 30° (m)	KN a 35° (m)	KN a 40° (m)	KN a 45° (m)
300	0.000	0.310	0.620	0.929	1.235	1.536	1.832	2.119	2.375	2.595
310	0.000	0.310	0.621	0.930	1.236	1.539	1.835	2.121	2.374	2.591
320	0.000	0.311	0.621	0.930	1.238	1.541	1.839	2.122	2.373	2.587
330	0.000	0.311	0.621	0.931	1.239	1.543	1.842	2.123	2.371	2.583
340	0.000	0.311	0.622	0.932	1.241	1.546	1.845	2.124	2.368	2.578
350	0.000	0.311	0.623	0.933	1.243	1.548	1.848	2.123	2.365	2.573
360	0.000	0.312	0.624	0.935	1.244	1.551	1.851	2.123	2.362	2.568
370	0.000	0.312	0.625	0.936	1.247	1.554	1.853	2.121	2.358	2.563
380	0.000	0.313	0.626	0.938	1.249	1.557	1.854	2.120	2.354	2.557
390	0.000	0.313	0.627	0.939	1.251	1.560	1.855	2.118	2.349	2.551
400	0.000	0.314	0.628	0.941	1.253	1.563	1.855	2.115	2.345	2.544
410	0.000	0.315	0.629	0.943	1.256	1.566	1.854	2.112	2.340	2.537
420	0.000	0.315	0.630	0.945	1.259	1.568	1.853	2.108	2.334	2.531
430	0.000	0.316	0.632	0.947	1.261	1.570	1.852	2.104	2.328	2.523
440	0.000	0.317	0.633	0.949	1.264	1.571	1.850	2.100	2.322	2.516
450	0.000	0.318	0.635	0.951	1.267	1.571	1.847	2.096	2.316	2.508
460	0.000	0.318	0.636	0.954	1.270	1.571	1.845	2.091	2.310	2.501
470	0.000	0.319	0.638	0.956	1.273	1.570	1.841	2.085	2.303	2.493
480	0.000	0.320	0.640	0.959	1.275	1.569	1.837	2.080	2.296	2.485
490	0.000	0.321	0.641	0.961	1.276	1.568	1.833	2.074	2.288	2.476
500	0.000	0.322	0.643	0.964	1.277	1.565	1.829	2.068	2.281	2.468
510	0.000	0.323	0.645	0.966	1.277	1.563	1.824	2.061	2.273	2.459
520	0.000	0.324	0.647	0.969	1.277	1.560	1.818	2.054	2.265	2.450

Tabla 14. Carenas inclinadas para un trimado de 0.1 metros a proa.

5.2.7 Trimado de 0.25 metros a proa.

Con el buque trimado 0.25 metros por proa las carenas inclinadas resultantes son las que se observan en la siguiente tabla:

Despl (Tn)	KN a 0° (m)	KN a 5° (m)	KN a 10° (m)	KN a 15° (m)	KN a 20° (m)	KN a 25° (m)	KN a 30° (m)	KN a 35° (m)	KN a 40° (m)	KN a 45° (m)
300	0.000	0.309	0.619	0.926	1.232	1.532	1.827	2.114	2.372	2.593
310	0.000	0.310	0.619	0.927	1.233	1.535	1.831	2.117	2.371	2.590
320	0.000	0.310	0.619	0.928	1.234	1.537	1.834	2.119	2.370	2.586
330	0.000	0.310	0.620	0.929	1.236	1.540	1.838	2.120	2.369	2.582
340	0.000	0.310	0.620	0.930	1.238	1.542	1.842	2.121	2.366	2.578
350	0.000	0.311	0.621	0.931	1.240	1.545	1.845	2.121	2.364	2.573
360	0.000	0.311	0.622	0.933	1.242	1.548	1.848	2.121	2.361	2.568
370	0.000	0.312	0.623	0.934	1.244	1.551	1.850	2.120	2.358	2.563
380	0.000	0.312	0.624	0.936	1.246	1.555	1.852	2.119	2.354	2.558
390	0.000	0.313	0.625	0.938	1.249	1.558	1.853	2.117	2.350	2.552
400	0.000	0.313	0.627	0.940	1.251	1.561	1.853	2.114	2.345	2.546
410	0.000	0.314	0.628	0.942	1.254	1.564	1.853	2.112	2.341	2.539
420	0.000	0.315	0.629	0.944	1.257	1.566	1.852	2.109	2.335	2.532
430	0.000	0.316	0.631	0.946	1.260	1.568	1.851	2.105	2.330	2.525
440	0.000	0.316	0.632	0.948	1.263	1.570	1.850	2.101	2.324	2.518
450	0.000	0.317	0.634	0.950	1.266	1.570	1.848	2.097	2.318	2.511
460	0.000	0.318	0.636	0.953	1.269	1.571	1.845	2.092	2.312	2.503
470	0.000	0.319	0.637	0.955	1.272	1.570	1.842	2.087	2.305	2.495
480	0.000	0.320	0.639	0.958	1.274	1.569	1.839	2.082	2.298	2.487
490	0.000	0.321	0.641	0.960	1.276	1.568	1.835	2.076	2.291	2.479
500	0.000	0.322	0.643	0.963	1.277	1.566	1.830	2.070	2.284	2.471
510	0.000	0.323	0.645	0.966	1.277	1.564	1.826	2.063	2.276	2.462
520	0.000	0.323	0.646	0.969	1.277	1.561	1.821	2.057	2.268	2.453

Tabla 15. Carenas inclinadas para un trimado de 0.25 metros a proa.

5.2.8 Trimado de 0.5 metros a proa.

Con el buque trimado 0.5 metros por proa las carenas inclinadas resultantes son las que se observan en la siguiente tabla:

Despl (Tn)	KN a 0° (m)	KN a 5° (m)	KN a 10° (m)	KN a 15° (m)	KN a 20° (m)	KN a 25° (m)	KN a 30° (m)	KN a 35° (m)	KN a 40° (m)	KN a 45° (m)
300	0.000	0.309	0.619	0.926	1.232	1.532	1.827	2.114	2.372	2.593
310	0.000	0.310	0.619	0.927	1.233	1.535	1.831	2.117	2.371	2.590
320	0.000	0.310	0.619	0.928	1.234	1.537	1.834	2.119	2.370	2.586
330	0.000	0.310	0.620	0.929	1.236	1.540	1.838	2.120	2.369	2.582
340	0.000	0.310	0.620	0.930	1.238	1.542	1.842	2.121	2.366	2.578
350	0.000	0.311	0.621	0.931	1.240	1.545	1.845	2.121	2.364	2.573
360	0.000	0.311	0.622	0.933	1.242	1.548	1.848	2.121	2.361	2.568
370	0.000	0.312	0.623	0.934	1.244	1.551	1.850	2.120	2.358	2.563
380	0.000	0.312	0.624	0.936	1.246	1.555	1.852	2.119	2.354	2.558
390	0.000	0.313	0.625	0.938	1.249	1.558	1.853	2.117	2.350	2.552
400	0.000	0.313	0.627	0.940	1.251	1.561	1.853	2.114	2.345	2.546
410	0.000	0.314	0.628	0.942	1.254	1.564	1.853	2.112	2.341	2.539
420	0.000	0.315	0.629	0.944	1.257	1.566	1.852	2.109	2.335	2.532
430	0.000	0.316	0.631	0.946	1.260	1.568	1.851	2.105	2.330	2.525
440	0.000	0.316	0.632	0.948	1.263	1.570	1.850	2.101	2.324	2.518
450	0.000	0.317	0.634	0.950	1.266	1.570	1.848	2.097	2.318	2.511
460	0.000	0.318	0.636	0.953	1.269	1.571	1.845	2.092	2.312	2.503
470	0.000	0.319	0.637	0.955	1.272	1.570	1.842	2.087	2.305	2.495
480	0.000	0.320	0.639	0.958	1.274	1.569	1.839	2.082	2.298	2.487
490	0.000	0.321	0.641	0.960	1.276	1.568	1.835	2.076	2.291	2.479
500	0.000	0.322	0.643	0.963	1.277	1.566	1.830	2.070	2.284	2.471
510	0.000	0.323	0.645	0.966	1.277	1.564	1.826	2.063	2.276	2.462
520	0.000	0.323	0.646	0.969	1.277	1.561	1.821	2.057	2.268	2.453

Tabla 16. Carenas inclinadas para un trimado de 0.5 metros a proa.

6 Tabla y plano de capacidades y c. de g. de espacios, con resúmenes por tipo de contenido.

En este apartado nos disponemos a situar los centros de gravedad, capacidades, y pesos de los distintos espacios presentes en el buque, en función del tipo de contenido.

6.1 Tabla de capacidades y centros de gravedad.

La siguiente tabla presenta las capacidades y centros de gravedad de los distintos espacios:

Identificador	Espacio	Capacidad (m ³)	Xg (m)	Yg (m)	Zg (m)
1	Tanque de aceite 1	1.439	-6.515	2.051	0.999
2	Tanque de aceite 2	2.497	-4.762	2.157	0.945
3	Tanque de aceite hidráulico	1.774	-3.287	2.226	0.934
4	Tanque de servicio diario	5.233	-1.277	2.276	0.915
5	Tanque de agua dulce 1	3.731	-5.430	-2.117	0.974
6	Tanque de agua dulce 2	5.584	-2.007	-2.261	0.921
7	Tanque de lodos	2.334	-0.798	0.000	0.501
8	Tanque de combustible 1 (Estribor)	7.954	1.197	1.590	0.872
9	Tanque de combustible 1 (Babor)	7.954	1.197	-1.590	0.872
10	Tanque de combustible 2 (Estribor)	12.514	3.876	1.428	0.914
11	Tanque de combustible 2 (Babor)	12.514	3.876	-1.428	0.914
12	Tanque de combustible 3 (Estribor)	8.281	7.307	1.072	0.914
13	Tanque de combustible 3 (Babor)	8.281	7.307	-1.072	0.914
14	Tanque de combustible 4 (Estribor)	2.041	10.752	0.604	1.016
15	Tanque de combustible 4 (Babor)	2.041	10.752	-0.604	1.016
16	Pique de proa	10.588	13.667	0.000	2.439
17	Tanque de combustible de popa (Estribor)	7.117	-16.681	1.082	3.525
18	Tanque de combustible de popa (Babor)	7.117	-16.681	-1.082	3.525
19	Viveros 1 (Estribor)	6.973	-10.287	2.292	2.831
20	Viveros 1 (Crujía)	12.340	-10.298	0.000	2.766
21	Viveros 1 (Babor)	6.973	-10.287	-2.292	2.831
22	Viveros 2 (Estribor)	9.881	-8.290	2.337	2.754
23	Viveros 2 (Crujía)	14.339	-8.296	0.000	2.727
24	Viveros 2 (Babor)	9.881	-8.290	-2.337	2.754
25	Tanque estabilizador pasivo	56.548	1.979	0.000	2.730
26	Tanque de lastre (Estribor)	2.533	11.344	0.791	1.836
27	Tanque de lastre (Babor)	2.533	11.344	-0.791	1.836
28	Bodega	105.639	6.985	0.000	3.049

Tabla 17. Tabla de capacidades y centros de gravedad.

6.2 Plano de capacidades y centros de gravedad.

El plano de capacidades y centros de gravedad de los espacios se encuentra en el **Anexo III**.

En los tanques de viveros, en la vista de perfil, se omiten los tanques de viveros centrales (20 y 23) por estar sus puntos demasiado cerca de los tanques de viveros de los costados.

6.3 Resumen por espacios.

6.3.1 Tanque de aceite 1.

El tanque de aceite 1 se encuentra bajo la cámara de máquinas, ocupa el espacio entre las cuernas 15 y 18 y del mamparo a 1.25 metros de crujía hasta el costado del buque.

Tipo de fluido = Aceite lubricante.
Permeabilidad = 98%

Densidad relativa = 0.92

Sonda (m)	Vaciado (m)	% Llenado	Capacidad (m ³)	Capacidad (Tn)	Xg (m)	Yg (m)	Zg (m)	FSM (Tn-m)
1.999	0.000	100.000	1.439	1.324	-6.515	2.051	0.999	0.000
1.974	0.024	98.000	1.410	1.298	-6.514	2.046	0.990	0.000
1.900	0.099	91.900	1.323	1.217	-6.513	2.027	0.959	1.056
1.800	0.199	83.900	1.207	1.111	-6.512	2.002	0.918	0.970
1.700	0.299	76.100	1.095	1.008	-6.510	1.975	0.877	0.882
1.600	0.399	68.600	0.987	0.908	-6.508	1.947	0.835	0.793
1.500	0.499	61.300	0.883	0.812	-6.506	1.918	0.794	0.706
1.400	0.599	54.400	0.783	0.720	-6.504	1.888	0.752	0.620
1.300	0.699	47.800	0.688	0.633	-6.502	1.857	0.711	0.537
1.200	0.799	41.500	0.597	0.549	-6.499	1.824	0.669	0.458
1.100	0.899	35.500	0.511	0.470	-6.496	1.790	0.627	0.384
1.000	0.999	29.900	0.431	0.397	-6.493	1.755	0.585	0.314
0.900	1.099	24.800	0.356	0.328	-6.488	1.718	0.543	0.251
0.800	1.199	20.000	0.287	0.264	-6.483	1.680	0.501	0.196
0.700	1.299	15.600	0.225	0.207	-6.477	1.640	0.459	0.147
0.600	1.399	11.700	0.168	0.154	-6.468	1.597	0.417	0.105
0.500	1.499	8.200	0.118	0.108	-6.457	1.551	0.374	0.070
0.400	1.599	5.300	0.076	0.069	-6.440	1.501	0.331	0.041
0.300	1.699	2.900	0.041	0.038	-6.412	1.445	0.288	0.020
0.200	1.799	1.200	0.017	0.016	-6.357	1.384	0.243	0.007
0.187	1.812	1.000	0.015	0.013	-6.345	1.376	0.237	0.006
0.100	1.899	0.200	0.003	0.003	-6.198	1.320	0.197	0.001

Tabla 18. Resumen de capacidades del tanque de aceite 1.

6.3.2 Tanque de aceite 2.

El tanque de aceite 2 se encuentra bajo la cámara de máquinas, ocupa el espacio entre las cuernas 18 y 22 y del mamparo a 1.25 metros de crujía hasta el costado del buque.

Tipo de fluido = Aceite lubricante.

Densidad relativa = 0.92

Permeabilidad = 98%

Sonda (m)	Vaciado (m)	% Llenado	Capacidad (m ³)	Capacidad (Tn)	Xg (m)	Yg (m)	Zg (m)	FSM (Tn-m)
2.034	0.000	100.000	2.497	2.297	-4.762	2.157	0.958	0.000
2.006	0.028	98.000	2.446	2.251	-4.761	2.152	0.947	0.000
2.000	0.034	97.600	2.436	2.241	-4.761	2.151	0.945	1.809
1.900	0.134	90.300	2.256	2.075	-4.760	2.131	0.907	1.747
1.800	0.234	83.200	2.078	1.911	-4.758	2.110	0.867	1.668
1.700	0.334	76.200	1.903	1.751	-4.756	2.087	0.828	1.575
1.600	0.434	69.400	1.732	1.594	-4.754	2.063	0.788	1.470
1.500	0.534	62.700	1.566	1.441	-4.752	2.036	0.748	1.357
1.400	0.634	56.200	1.404	1.291	-4.750	2.008	0.708	1.237
1.300	0.734	50.000	1.247	1.147	-4.748	1.979	0.667	1.113
1.200	0.834	43.900	1.097	1.009	-4.746	1.947	0.627	0.986
1.100	0.934	38.200	0.953	0.876	-4.744	1.914	0.586	0.860
1.000	1.034	32.700	0.816	0.750	-4.741	1.878	0.546	0.735
0.900	1.134	27.500	0.686	0.631	-4.738	1.841	0.505	0.616
0.800	1.234	22.600	0.564	0.519	-4.735	1.802	0.464	0.503
0.700	1.334	18.100	0.452	0.416	-4.731	1.759	0.423	0.399
0.600	1.434	13.900	0.348	0.320	-4.726	1.713	0.383	0.305
0.500	1.534	10.200	0.254	0.234	-4.720	1.663	0.341	0.221
0.400	1.634	6.900	0.171	0.158	-4.711	1.605	0.300	0.146
0.300	1.734	4.100	0.101	0.093	-4.698	1.538	0.258	0.082
0.200	1.834	1.900	0.047	0.043	-4.675	1.458	0.215	0.033
0.146	1.887	1.000	0.025	0.023	-4.652	1.407	0.192	0.015
0.100	1.934	0.400	0.011	0.010	-4.612	1.360	0.256	0.005

Tabla 19. Resumen de capacidades del tanque de aceite 2.

6.3.3 Tanque de aceite hidráulico.

Situado bajo la cámara de máquinas, ocupa el espacio entre las cuernas 22 y 24 y del mamparo a 1.25 metros de crujía hasta el costado del buque.

Tipo de fluido = Aceite lubricante.

Densidad relativa = 0.92

Permeabilidad = 98%

Sonda (m)	Vaciado (m)	% Llenado	Capacidad (m ³)	Capacidad (Tn)	Xg (m)	Yg (m)	Zg (m)	FSM (Tn-m)
2.035	0.000	100.000	1.774	1.632	-3.287	2.226	0.934	0.000
2.004	0.030	98.000	1.738	1.599	-3.287	2.222	0.923	0.000
2.000	0.035	97.700	1.733	1.595	-3.287	2.222	0.921	0.955
1.900	0.135	91.100	1.616	1.487	-3.286	2.207	0.884	0.947
1.800	0.235	84.500	1.499	1.379	-3.286	2.191	0.847	0.934
1.700	0.335	78.000	1.383	1.272	-3.286	2.172	0.809	0.911
1.600	0.435	71.500	1.268	1.167	-3.285	2.152	0.771	0.880
1.500	0.535	65.100	1.155	1.062	-3.285	2.129	0.732	0.839
1.400	0.635	58.800	1.043	0.959	-3.284	2.104	0.693	0.790
1.300	0.735	52.700	0.934	0.859	-3.284	2.077	0.655	0.733
1.200	0.835	46.700	0.828	0.762	-3.284	2.047	0.615	0.670
1.100	0.935	40.900	0.725	0.667	-3.283	2.016	0.576	0.601
1.000	1.035	35.300	0.627	0.577	-3.283	1.981	0.536	0.530
0.900	1.135	30.000	0.532	0.490	-3.282	1.944	0.496	0.458
0.800	1.235	25.000	0.443	0.408	-3.282	1.904	0.456	0.387
0.700	1.335	20.200	0.359	0.331	-3.281	1.860	0.416	0.318
0.600	1.435	15.800	0.281	0.258	-3.281	1.812	0.377	0.252
0.500	1.535	11.800	0.209	0.192	-3.280	1.758	0.336	0.191
0.400	1.635	8.100	0.144	0.132	-3.280	1.695	0.295	0.133
0.300	1.735	5.000	0.088	0.081	-3.279	1.618	0.254	0.080
0.200	1.835	2.400	0.042	0.039	-3.278	1.523	0.212	0.035
0.126	1.909	1.000	0.017	0.016	-3.278	1.434	0.180	0.012
0.100	1.935	0.600	0.011	0.010	-3.278	1.400	0.256	0.006

Tabla 20. Resumen de capacidades del tanque de aceite hidráulico.

6.3.4 Tanque de servicio diario.

Se encuentra bajo la cámara de máquinas, ocupa el espacio entre las cuadernas 24 y 30 y del mamparo a 1.25 metros de crujía hasta el costado del buque.

Tipo de fluido = Combustible Diesel.

Densidad relativa = 0.85

Permeabilidad = 98%

Sonda (m)	Vaciado (m)	% Llenado	Capacidad (m ³)	Capacidad (Tn)	Xg (m)	Yg (m)	Zg (m)	FSM (Tn-m)
2.034	0.000	100.000	5.233	4.396	-1.277	2.276	0.915	0.000
2.001	0.033	98.000	5.128	4.308	-1.277	2.273	0.903	0.000
2.000	0.034	97.900	5.125	4.305	-1.277	2.273	0.902	2.756
1.900	0.134	91.800	4.802	4.034	-1.276	2.263	0.867	2.751
1.800	0.234	85.600	4.479	3.762	-1.275	2.252	0.831	2.741
1.700	0.334	79.400	4.157	3.492	-1.274	2.239	0.795	2.723
1.600	0.434	73.300	3.835	3.221	-1.272	2.224	0.758	2.691
1.500	0.534	67.200	3.515	2.953	-1.271	2.207	0.722	2.643
1.400	0.634	61.100	3.198	2.686	-1.269	2.187	0.685	2.573
1.300	0.734	55.100	2.884	2.422	-1.267	2.165	0.647	2.478
1.200	0.834	49.200	2.574	2.162	-1.266	2.140	0.609	2.352
1.100	0.934	43.400	2.271	1.908	-1.264	2.112	0.571	2.192
1.000	1.034	37.800	1.976	1.660	-1.263	2.081	0.533	2.001
0.900	1.134	32.300	1.691	1.421	-1.261	2.047	0.494	1.788
0.800	1.234	27.100	1.418	1.191	-1.260	2.008	0.455	1.564
0.700	1.334	22.100	1.158	0.972	-1.259	1.966	0.416	1.336
0.600	1.434	17.400	0.911	0.766	-1.258	1.918	0.377	1.109
0.500	1.534	13.000	0.682	0.573	-1.259	1.862	0.338	0.883
0.400	1.634	9.000	0.472	0.396	-1.262	1.794	0.298	0.656
0.300	1.734	5.500	0.285	0.240	-1.272	1.706	0.258	0.421
0.200	1.834	2.500	0.133	0.111	-1.302	1.585	0.216	0.188
0.128	1.906	1.000	0.052	0.044	-1.367	1.470	0.184	0.057
0.100	1.934	0.600	0.030	0.025	-1.421	1.420	0.256	0.027

Tabla 21. Resumen de capacidades del tanque de servicio diario.

6.3.5 Tanque de agua dulce 1.

Se encuentra bajo la cámara de máquinas, ocupa el espacio entre las cuadernas 15 y 22 y del mamparo a 1.25 metros de crujía hasta el costado del buque.

Tipo de fluido = Agua dulce.

Densidad relativa = 1.0

Permeabilidad = 98%

Sonda (m)	Vaciado (m)	% Llenado	Capacidad (m ³)	Capacidad (Tn)	Xg (m)	Yg (m)	Zg (m)	FSM (Tn-m)
2.034	0.000	100.000	3.731	3.731	-5.430	-2.117	0.974	0.000
2.007	0.026	98.000	3.656	3.656	-5.428	-2.112	0.963	0.000
2.000	0.034	97.400	3.635	3.635	-5.428	-2.110	0.961	3.296
1.900	0.134	89.900	3.352	3.352	-5.422	-2.089	0.921	3.137
1.800	0.234	82.400	3.075	3.075	-5.415	-2.066	0.881	2.954
1.700	0.334	75.200	2.804	2.804	-5.409	-2.042	0.841	2.754
1.600	0.434	68.100	2.541	2.541	-5.402	-2.016	0.800	2.540
1.500	0.534	61.300	2.285	2.285	-5.395	-1.989	0.760	2.318
1.400	0.634	54.600	2.038	2.038	-5.387	-1.961	0.719	2.090
1.300	0.734	48.300	1.801	1.801	-5.378	-1.931	0.678	1.860
1.200	0.834	42.200	1.574	1.574	-5.369	-1.899	0.637	1.631
1.100	0.934	36.400	1.358	1.358	-5.359	-1.866	0.596	1.406
1.000	1.034	30.900	1.154	1.154	-5.347	-1.831	0.554	1.190
0.900	1.134	25.800	0.962	0.962	-5.333	-1.795	0.513	0.986
0.800	1.234	21.000	0.783	0.783	-5.317	-1.756	0.472	0.797
0.700	1.334	16.600	0.619	0.619	-5.298	-1.716	0.430	0.625
0.600	1.434	12.600	0.470	0.470	-5.273	-1.672	0.389	0.472
0.500	1.534	9.000	0.336	0.336	-5.240	-1.624	0.346	0.337
0.400	1.634	5.900	0.221	0.221	-5.195	-1.571	0.304	0.219
0.300	1.734	3.400	0.125	0.125	-5.125	-1.510	0.261	0.121
0.200	1.834	1.400	0.054	0.054	-5.000	-1.439	0.218	0.048
0.169	1.864	1.000	0.037	0.037	-4.939	-1.415	0.204	0.031
0.100	1.934	0.300	0.011	0.011	-4.736	-1.355	0.256	0.007

Tabla 22. Resumen de capacidades del tanque de agua dulce 1.

6.3.6 Tanque de agua dulce 2.

Se encuentra bajo la cámara de máquinas, ocupa el espacio entre las cuadernas 22 y 29 y del mamparo a 1.25 metros de crujía hasta el costado del buque.

Tipo de fluido = Agua dulce.

Densidad relativa = 1.0

Permeabilidad = 98%

Sonda (m)	Vaciado (m)	% Llenado	Capacidad (m ³)	Capacidad (Tn)	Xg (m)	Yg (m)	Zg (m)	FSM (Tn-m)
2.035	0.000	100.000	5.584	5.584	-2.007	-2.261	0.921	0.000
2.003	0.032	98.000	5.472	5.472	-2.006	-2.258	0.909	0.000
2.000	0.035	97.800	5.462	5.462	-2.006	-2.257	0.908	3.770
1.900	0.135	91.500	5.110	5.110	-2.004	-2.246	0.872	3.757
1.800	0.235	85.200	4.758	4.758	-2.001	-2.233	0.835	3.731
1.700	0.335	78.900	4.407	4.407	-1.999	-2.218	0.799	3.688
1.600	0.435	72.700	4.058	4.058	-1.995	-2.202	0.762	3.621
1.500	0.535	66.500	3.712	3.712	-1.992	-2.183	0.724	3.526
1.400	0.635	60.300	3.370	3.370	-1.989	-2.162	0.687	3.400
1.300	0.735	54.300	3.032	3.032	-1.986	-2.138	0.649	3.240
1.200	0.835	48.400	2.701	2.701	-1.982	-2.112	0.610	3.041
1.100	0.935	42.600	2.378	2.378	-1.979	-2.082	0.572	2.805
1.000	1.035	37.000	2.065	2.065	-1.976	-2.050	0.533	2.537
0.900	1.135	31.600	1.763	1.763	-1.972	-2.015	0.494	2.247
0.800	1.235	26.400	1.475	1.475	-1.969	-1.976	0.455	1.948
0.700	1.335	21.500	1.201	1.201	-1.965	-1.933	0.415	1.649
0.600	1.435	16.900	0.944	0.944	-1.962	-1.885	0.376	1.353
0.500	1.535	12.600	0.705	0.705	-1.960	-1.830	0.336	1.065
0.400	1.635	8.700	0.488	0.488	-1.959	-1.763	0.297	0.780
0.300	1.735	5.300	0.297	0.297	-1.964	-1.678	0.256	0.494
0.200	1.835	2.500	0.140	0.140	-1.987	-1.566	0.214	0.221
0.126	1.908	1.000	0.056	0.056	-2.041	-1.458	0.182	0.068
0.100	1.935	0.600	0.034	0.034	-2.081	-1.414	0.256	0.034

Tabla 23. Resumen de capacidades del tanque de agua dulce 2.

6.3.7 Tanque de lodos.

Se encuentra bajo la cámara de máquinas, ocupa el espacio entre las cuadernas 26 y 30 y espacio entre mamparos a 0.79 metros de crujía.

Tipo de fluido = Lodos.

Densidad relativa = 0.92

Permeabilidad = 98%

Sonda (m)	Vaciado (m)	% Llenado	Capacidad (m ³)	Capacidad (Tn)	Xg (m)	Yg (m)	Zg (m)	FSM (Tn-m)
1.430	0.000	100.000	2.334	2.147	-0.798	0.000	0.501	0.000
1.403	0.027	98.000	2.287	2.104	-0.798	0.000	0.492	0.000
1.400	0.030	97.800	2.283	2.100	-0.798	0.000	0.491	0.534
1.300	0.130	90.500	2.112	1.943	-0.799	0.000	0.458	0.534
1.200	0.230	83.100	1.940	1.785	-0.800	0.000	0.423	0.534
1.100	0.330	75.800	1.769	1.628	-0.800	0.000	0.390	0.534
1.000	0.430	68.500	1.598	1.470	-0.801	0.000	0.356	0.534
0.900	0.530	61.100	1.427	1.313	-0.802	0.000	0.323	0.534
0.800	0.630	53.800	1.256	1.156	-0.804	0.000	0.289	0.534
0.700	0.730	46.500	1.085	0.998	-0.806	0.000	0.256	0.534
0.600	0.830	39.100	0.914	0.841	-0.809	0.000	0.222	0.534
0.500	0.930	31.800	0.743	0.683	-0.812	0.000	0.189	0.534
0.400	1.030	24.500	0.572	0.526	-0.819	0.000	0.155	0.534
0.300	1.130	17.100	0.400	0.368	-0.830	0.000	0.121	0.534
0.200	1.230	9.800	0.229	0.211	-0.859	0.000	0.086	0.534
0.100	1.330	2.800	0.064	0.059	-0.987	0.000	0.046	0.273
0.063	1.367	1.000	0.023	0.022	-1.146	0.000	0.029	0.078

Tabla 24. Resumen de capacidades del tanque de lodos.

6.3.8 Tanque de combustible 1 (estribor).

Se encuentra en el doble fondo, ocupando el espacio entre las cuadernas 30 y 34 y el espacio entre crujía y el costado del buque.

Tipo de fluido = Combustible Diesel.

Densidad relativa = 0.85

Permeabilidad = 98%

Sonda (m)	Vaciado (m)	% Llenado	Capacidad (m ³)	Capacidad (Tn)	Xg (m)	Yg (m)	Zg (m)	FSM (Tn-m)
2.162	0.000	100.000	7.954	6.761	1.197	1.590	0.872	0.000
2.127	0.035	98.000	7.794	6.625	1.196	1.586	0.860	0.000
2.100	0.062	96.400	7.671	6.520	1.196	1.582	0.850	7.299
2.000	0.162	90.700	7.217	6.134	1.196	1.569	0.815	7.270
1.900	0.262	85.000	6.763	5.749	1.195	1.555	0.779	7.228
1.800	0.362	79.300	6.311	5.364	1.194	1.538	0.744	7.167
1.700	0.462	73.700	5.859	4.981	1.193	1.520	0.708	7.079
1.600	0.562	68.000	5.410	4.599	1.192	1.499	0.671	6.954
1.500	0.662	62.400	4.965	4.220	1.191	1.476	0.635	6.794
1.400	0.762	56.900	4.523	3.845	1.190	1.450	0.598	6.593
1.300	0.862	51.400	4.087	3.474	1.189	1.421	0.561	6.338
1.200	0.962	46.000	3.656	3.108	1.188	1.388	0.524	6.025
1.100	1.062	40.700	3.234	2.749	1.186	1.352	0.487	5.661
1.000	1.162	35.500	2.822	2.398	1.185	1.312	0.450	5.260
0.900	1.262	30.400	2.420	2.057	1.183	1.267	0.412	4.833
0.800	1.362	25.500	2.030	1.725	1.181	1.214	0.375	4.384
0.700	1.462	20.800	1.654	1.406	1.177	1.153	0.336	3.912
0.600	1.562	16.300	1.293	1.099	1.173	1.078	0.298	3.404
0.500	1.662	12.000	0.951	0.809	1.166	0.980	0.259	2.823
0.400	1.762	8.000	0.635	0.540	1.156	0.846	0.218	2.099
0.300	1.862	4.500	0.360	0.306	1.137	0.660	0.175	1.175
0.200	1.962	1.900	0.154	0.131	1.100	0.435	0.130	0.356
0.146	2.016	1.000	0.079	0.068	1.061	0.318	0.106	0.130
0.100	2.062	0.400	0.035	0.030	0.989	0.228	0.085	0.042

Tabla 25. Resumen de capacidades del tanque de combustible 1 (estribor).

6.3.9 Tanque de combustible 1 (babor).

Es el simétrico respecto de crujía del anterior.

6.3.10 Tanque de combustible 2 (estribor).

Se encuentra en el doble fondo, ocupando el espacio entre las cuadernas 34 y 41 y el espacio entre crujía y el costado del buque.

Tipo de fluido = Combustible Diesel.

Densidad relativa = 0.85

Permeabilidad = 98%

Sonda (m)	Vaciado (m)	% Llenado	Capacidad (m ³)	Capacidad (Tn)	Xg (m)	Yg (m)	Zg (m)	FSM (Tn-m)
2.101	0.000	100.000	12.514	10.637	3.876	1.428	0.914	0.000
2.100	0.001	99.900	12.503	10.628	3.876	1.427	0.913	0.000
2.070	0.031	98.000	12.263	10.423	3.875	1.422	0.902	0.000
2.000	0.101	93.500	11.698	9.943	3.872	1.408	0.876	10.974
1.900	0.201	87.100	10.900	9.265	3.869	1.387	0.839	10.657
1.800	0.301	80.800	10.112	8.595	3.866	1.365	0.801	10.295
1.700	0.401	74.600	9.333	7.933	3.862	1.341	0.764	9.890
1.600	0.501	68.400	8.566	7.281	3.858	1.315	0.726	9.445
1.500	0.601	62.400	7.812	6.641	3.854	1.287	0.688	8.965
1.400	0.701	56.500	7.073	6.012	3.849	1.257	0.651	8.450
1.300	0.801	50.700	6.350	5.397	3.844	1.225	0.612	7.903
1.200	0.901	45.100	5.644	4.797	3.839	1.190	0.574	7.332
1.100	1.001	39.600	4.957	4.214	3.832	1.153	0.536	6.742
1.000	1.101	34.300	4.292	3.648	3.825	1.111	0.498	6.137
0.900	1.201	29.200	3.649	3.101	3.816	1.065	0.459	5.517
0.800	1.301	24.200	3.031	2.576	3.804	1.014	0.421	4.881
0.700	1.401	19.500	2.441	2.075	3.790	0.954	0.381	4.222
0.600	1.501	15.100	1.885	1.602	3.773	0.884	0.342	3.527
0.500	1.601	10.900	1.369	1.164	3.749	0.798	0.302	2.785
0.400	1.701	7.200	0.903	0.768	3.714	0.690	0.261	1.986
0.300	1.801	4.000	0.507	0.431	3.659	0.549	0.218	1.142
0.200	1.901	1.700	0.208	0.177	3.542	0.374	0.174	0.389
0.160	1.941	1.000	0.124	0.106	3.449	0.302	0.155	0.194
0.100	2.001	0.300	0.039	0.033	3.117	0.211	0.127	0.045

Tabla 26. Resumen de capacidades del tanque de combustible 2 (estribor).

6.3.11 Tanque de combustible 2 (babor).

Es el simétrico respecto de crujía del anterior.

6.3.12 Tanque de combustible 3 (estribor).

Se encuentra en el doble fondo, ocupando el espacio entre las cuadernas 41 y 48 y el espacio entre crujía y el costado del buque.

Tipo de fluido = Combustible Diesel.

Densidad relativa = 0.85

Permeabilidad = 98%

Sonda (m)	Vaciado (m)	% Llenado	Capacidad (m ³)	Capacidad (Tn)	Xg (m)	Yg (m)	Zg (m)	FSM (Tn-m)
1.990	0.000	100.000	8.281	7.039	7.307	1.072	0.914	0.000
1.963	0.027	98.000	8.115	6.897	7.306	1.066	0.913	0.000
1.900	0.090	93.300	7.727	6.568	7.303	1.051	0.902	5.658
1.800	0.190	86.000	7.123	6.054	7.300	1.027	0.876	5.309
1.700	0.290	78.900	6.532	5.552	7.295	1.002	0.839	4.956
1.600	0.390	71.900	5.956	5.062	7.291	0.975	0.801	4.601
1.500	0.490	65.200	5.396	4.586	7.286	0.947	0.764	4.245
1.400	0.590	58.600	4.852	4.124	7.281	0.918	0.726	3.890
1.300	0.690	52.200	4.325	3.676	7.276	0.888	0.688	3.538
1.200	0.790	46.100	3.817	3.245	7.270	0.855	0.651	3.191
1.100	0.890	40.200	3.328	2.829	7.262	0.821	0.612	2.849
1.000	0.990	34.500	2.859	2.430	7.254	0.784	0.574	2.513
0.900	1.090	29.100	2.412	2.050	7.245	0.744	0.536	2.183
0.800	1.190	24.000	1.988	1.690	7.233	0.700	0.498	1.858
0.700	1.290	19.200	1.590	1.352	7.219	0.651	0.459	1.536
0.600	1.390	14.800	1.221	1.038	7.200	0.597	0.421	1.219
0.500	1.490	10.700	0.886	0.753	7.176	0.534	0.381	0.908
0.400	1.590	7.100	0.590	0.501	7.140	0.463	0.342	0.614
0.300	1.690	4.100	0.341	0.289	7.082	0.379	0.302	0.351
0.200	1.790	1.800	0.149	0.127	6.969	0.281	0.261	0.144
0.152	1.838	1.000	0.083	0.070	6.850	0.231	0.218	0.073
0.100	1.890	0.400	0.031	0.026	6.548	0.181	0.174	0.023

Tabla 27. Resumen de capacidades del tanque de combustible 3 (estribor).

6.3.13 Tanque de combustible 3 (babor).

Es el simétrico respecto de crujía del anterior.

6.3.14 Tanque de combustible 4 (estribor).

Se encuentra en el doble fondo, ocupando el espacio entre las cuadernas 48 y 55 y el espacio entre crujía y el costado del buque.

Tipo de fluido = Combustible Diesel.

Densidad relativa = 0.85

Permeabilidad = 98%

Sonda (m)	Vaciado (m)	% Llenado	Capacidad (m ³)	Capacidad (Tn)	Xg (m)	Yg (m)	Zg (m)	FSM (Tn-m)
1.867	0.000	100.000	2.041	1.735	10.752	0.604	1.016	0.000
1.843	0.023	98.000	2.000	1.700	10.752	0.599	1.007	0.000
1.800	0.067	94.300	1.925	1.636	10.752	0.591	0.990	1.265
1.700	0.167	86.000	1.755	1.492	10.751	0.572	0.949	1.145
1.600	0.267	77.900	1.591	1.352	10.751	0.552	0.908	1.032
1.500	0.367	70.200	1.432	1.217	10.750	0.532	0.867	0.924
1.400	0.467	62.700	1.279	1.087	10.749	0.511	0.827	0.821
1.300	0.567	55.500	1.132	0.962	10.747	0.489	0.786	0.723
1.200	0.667	48.600	0.992	0.843	10.745	0.467	0.744	0.631
1.100	0.767	42.000	0.858	0.729	10.741	0.443	0.704	0.543
1.000	0.867	35.800	0.731	0.621	10.737	0.417	0.663	0.460
0.900	0.967	29.900	0.611	0.519	10.731	0.391	0.621	0.382
0.800	1.067	24.400	0.499	0.424	10.724	0.362	0.580	0.308
0.700	1.167	19.400	0.396	0.336	10.713	0.332	0.538	0.240
0.600	1.267	14.800	0.302	0.257	10.698	0.299	0.496	0.178
0.500	1.367	10.700	0.218	0.185	10.677	0.264	0.454	0.123
0.400	1.467	7.200	0.146	0.124	10.643	0.227	0.411	0.078
0.300	1.567	4.200	0.086	0.073	10.583	0.189	0.369	0.042
0.200	1.667	2.000	0.040	0.034	10.446	0.151	0.327	0.018
0.143	1.724	1.000	0.020	0.017	10.242	0.132	0.302	0.009
0.100	1.767	0.500	0.009	0.008	9.980	0.120	0.282	0.004

Tabla 28. Resumen de capacidades del tanque de combustible 4 (estribor).

6.3.15 Tanque de combustible 4 (babor).

Es el simétrico respecto de crujía del anterior.

6.3.16 Pique de proa.

El pique de proa, cuyo comienzo se encuentra en la cuaderna 55, transporta agua dulce.

Tipo de fluido = Agua dulce.

Densidad relativa = 1.0

Permeabilidad = 98%

Sonda (m)	Vaciado (m)	% Llenado	Capacidad (m ³)	Capacidad (Tn)	Xg (m)	Yg (m)	Zg (m)	FSM (Tn-m)
4.878	0.000	100.000	10.588	9.000	13.667	0.000	2.439	0.000
4.628	0.250	94.875	8.539	8.539	13.592	0.000	2.314	0.000
4.378	0.500	89.750	8.077	8.077	13.517	0.000	2.189	1.265
4.128	0.750	84.625	7.616	7.616	13.442	0.000	2.064	1.145
3.878	1.000	79.500	7.155	7.155	13.367	0.000	1.939	1.032
3.628	1.250	74.375	6.694	6.694	13.292	0.000	1.814	0.924
3.378	1.500	69.250	6.232	6.232	13.217	0.000	1.689	0.821
3.128	1.750	64.125	5.771	5.771	13.142	0.000	1.564	0.723
2.878	2.000	59.000	5.310	5.310	13.067	0.000	1.439	0.631
2.628	2.250	53.875	4.849	4.849	12.992	0.000	1.314	0.543
2.378	2.500	48.749	4.387	4.387	12.917	0.000	1.189	0.460
2.128	2.750	43.624	3.926	3.926	12.842	0.000	1.064	0.382
1.878	3.000	38.499	3.465	3.465	12.767	0.000	0.939	0.308
1.628	3.250	33.374	3.004	3.004	12.880	0.000	0.814	0.240
1.378	3.500	28.249	2.542	2.542	12.992	0.000	0.689	0.178
1.128	3.750	23.124	2.081	2.081	13.105	0.000	0.564	0.123
0.878	4.000	17.999	1.620	1.620	13.217	0.000	0.439	0.078
0.628	4.250	12.874	1.159	1.159	13.330	0.000	0.314	0.042
0.378	4.500	7.749	0.697	0.697	13.442	0.000	0.189	0.018
0.128	4.750	2.624	0.236	0.236	13.555	0.000	0.064	0.009

Tabla 29. Resumen de capacidades del pique de proa.

6.3.17 Tanque de combustible de popa (estribor).

Se encuentra bajo la cubierta principal, y a popa de la cuaderna -2 (a popa del local del servo).

Tipo de fluido = Combustible Diesel.

Densidad relativa = 0.85

Permeabilidad = 98%

Sonda (m)	Vaciado (m)	% Llenado	Capacidad (m ³)	Capacidad (Tn)	Xg (m)	Yg (m)	Zg (m)	FSM (Tn-m)
3.380	0.000	100.000	7.117	6.050	-16.681	1.082	3.525	0.000
3.300	0.080	99.600	7.087	6.024	-16.676	1.084	3.519	0.000
3.210	0.170	98.000	6.975	5.928	-16.661	1.087	3.501	0.000
3.200	0.180	97.700	6.955	5.911	-16.659	1.087	3.498	1.191
3.100	0.280	93.900	6.680	5.678	-16.641	1.086	3.454	2.748
3.000	0.380	88.700	6.312	5.366	-16.630	1.080	3.396	2.883
2.900	0.480	83.600	5.948	5.056	-16.618	1.073	3.337	2.858
2.800	0.580	78.500	5.590	4.751	-16.607	1.064	3.278	2.811
2.700	0.680	73.500	5.234	4.449	-16.595	1.055	3.218	2.806
2.600	0.780	68.600	4.882	4.150	-16.583	1.044	3.157	2.793
2.500	0.880	63.700	4.535	3.855	-16.569	1.031	3.096	2.766
2.400	0.980	58.900	4.194	3.565	-16.555	1.017	3.034	2.675
2.300	1.080	54.200	3.860	3.281	-16.542	0.999	2.971	2.644
2.200	1.180	49.600	3.532	3.002	-16.526	0.979	2.907	2.592
2.100	1.280	45.100	3.211	2.730	-16.511	0.957	2.842	2.493
2.000	1.380	40.800	2.903	2.467	-16.494	0.932	2.776	2.276
1.900	1.480	36.700	2.609	2.217	-16.478	0.905	2.710	2.088
1.800	1.580	32.700	2.328	1.978	-16.461	0.877	2.643	1.896
1.700	1.680	29.000	2.061	1.752	-16.443	0.848	2.577	1.687
1.600	1.780	25.500	1.812	1.541	-16.425	0.817	2.510	1.470
1.500	1.880	22.200	1.578	1.341	-16.407	0.784	2.443	1.295
1.400	1.980	19.100	1.359	1.155	-16.387	0.751	2.376	1.118
1.300	2.080	16.200	1.156	0.982	-16.366	0.715	2.309	0.929
1.200	2.180	13.600	0.971	0.826	-16.347	0.678	2.242	0.783
1.100	2.280	11.300	0.801	0.681	-16.325	0.639	2.175	0.643
1.000	2.380	9.100	0.649	0.552	-16.304	0.597	2.108	0.501
0.900	2.480	7.200	0.513	0.436	-16.280	0.554	2.041	0.392
0.800	2.580	5.500	0.392	0.334	-16.254	0.510	1.973	0.291
0.700	2.680	4.100	0.289	0.246	-16.227	0.462	1.906	0.205
0.600	2.780	2.800	0.201	0.171	-16.195	0.412	1.838	0.138
0.500	2.880	1.800	0.129	0.110	-16.159	0.357	1.770	0.082
0.400	2.980	1.000	0.074	0.063	-16.111	0.299	1.701	0.043
0.395	2.986	1.000	0.071	0.060	-16.109	0.296	1.697	0.041
0.300	3.080	0.500	0.034	0.029	-16.050	0.236	1.630	0.018
0.200	3.180	0.200	0.011	0.010	-15.973	0.169	1.557	0.005
0.100	3.280	0.000	0.001	0.001	-15.887	0.096	1.482	0.000

Tabla 30. Resumen de capacidades del tanque de combustible de popa (estribor).

6.3.18 Tanque de combustible de popa (babor).

Es el simétrico respecto de crujía del anterior.

6.3.19 Viveros 1 (estribor).

Se encuentra bajo la cubierta principal, Entre las cuadernas 7 y 11, por el costado de estribor, limitado por un mamparo a 1.14 metros de crujía. Los viveros transportan, por un lado agua salada, y por otro cebo vivo.

Lo primero que hay que denotar es que estos tanques, o están llenos, o están vacíos, luego la única razón para estudiar todos sus estados de llenado es tener información de que pudiera ocurrir en caso de avería.

También cabe denotar que al llevar un sistema de oxigenación, la densidad de pescado en los tanques es mayor, hasta el punto de llegar a ser muy relevante, no obstante, no se considera en la permeabilidad puesto que el peso del pescado no es tan diferente del agua como para tratar de estudiarlo como carga heterogénea.

Tipo de fluido = Agua salada.

Densidad relativa = 1.025

Permeabilidad = 98%

Proyecto 077: Cálculos de arquitectura Naval.

Sonda (m)	Vaciado (m)	% Llenado	Capacidad (m ³)	Capacidad (Tn)	Xg (m)	Yg (m)	Zg (m)	FSM (Tn-m)
2.589	0.000	100.000	6.973	7.147	-10.287	2.292	2.831	0.000
2.500	0.089	98.400	6.861	7.033	-10.280	2.291	2.812	0.000
2.490	0.099	98.000	6.833	7.004	-10.280	2.291	2.807	0.000
2.400	0.189	94.200	6.567	6.731	-10.279	2.287	2.761	2.456
2.300	0.289	89.900	6.271	6.427	-10.279	2.284	2.710	2.455
2.200	0.389	85.700	5.975	6.124	-10.278	2.280	2.658	2.455
2.100	0.489	81.500	5.680	5.822	-10.278	2.275	2.607	2.454
2.000	0.589	77.200	5.384	5.519	-10.277	2.270	2.555	2.453
1.900	0.689	73.000	5.089	5.216	-10.276	2.265	2.504	2.451
1.800	0.789	68.700	4.793	4.913	-10.276	2.259	2.452	2.447
1.700	0.889	64.500	4.497	4.610	-10.275	2.252	2.399	2.443
1.600	0.989	60.300	4.203	4.308	-10.274	2.244	2.347	2.435
1.500	1.089	56.000	3.908	4.005	-10.272	2.235	2.294	2.423
1.400	1.189	51.800	3.614	3.704	-10.271	2.225	2.241	2.403
1.300	1.289	47.600	3.321	3.404	-10.270	2.214	2.188	2.367
1.200	1.389	43.500	3.030	3.106	-10.268	2.201	2.134	2.310
1.100	1.489	39.300	2.742	2.811	-10.267	2.187	2.080	2.230
1.000	1.589	35.300	2.458	2.519	-10.265	2.172	2.026	2.133
0.900	1.689	31.200	2.178	2.233	-10.263	2.155	1.972	2.023
0.800	1.789	27.300	1.905	1.952	-10.261	2.138	1.918	1.902
0.700	1.889	23.500	1.636	1.677	-10.260	2.119	1.864	1.773
0.600	1.989	19.700	1.376	1.410	-10.258	2.099	1.810	1.635
0.500	2.089	16.100	1.122	1.150	-10.255	2.078	1.757	1.491
0.400	2.189	12.600	0.877	0.899	-10.253	2.056	1.704	1.342
0.300	2.289	9.200	0.641	0.657	-10.250	2.033	1.651	1.188
0.200	2.389	6.000	0.416	0.427	-10.247	2.008	1.599	1.035
0.100	2.489	2.900	0.202	0.207	-10.244	1.983	1.547	0.887

Tabla 31. Resumen de capacidades del tanque de viveros 1 (estribor).

31.1.1. Viveros 1 (crujía).

Se encuentra bajo la cubierta principal, Entre las cuadernas 7 y 11, por el costado de estribor, limitado por mamparos a 1.14 metros de crujía.

Sonda (m)	Vaciado (m)	% Llenado	Capacidad (m ³)	Capacidad (Tn)	Xg (m)	Yg (m)	Zg (m)	FSM (Tn-m)
2.589	0.000	100.000	12.340	12.649	-10.298	0.000	2.766	0.000
2.500	0.089	98.500	12.156	12.460	-10.292	0.000	2.747	0.000
2.487	0.103	98.000	12.093	12.395	-10.292	0.000	2.740	0.000
2.400	0.189	94.600	11.672	11.964	-10.292	0.000	2.697	1.975
2.300	0.289	90.600	11.185	11.465	-10.292	0.000	2.647	1.975
2.200	0.389	86.700	10.699	10.967	-10.292	0.000	2.597	1.975
2.100	0.489	82.800	10.213	10.468	-10.292	0.000	2.547	1.975
2.000	0.589	78.800	9.726	9.970	-10.292	0.000	2.497	1.975
1.900	0.689	74.900	9.240	9.471	-10.292	0.000	2.447	1.975
1.800	0.789	70.900	8.754	8.973	-10.292	0.000	2.397	1.975
1.700	0.889	67.000	8.268	8.474	-10.292	0.000	2.347	1.975
1.600	0.989	63.100	7.781	7.976	-10.292	0.000	2.297	1.975
1.500	1.089	59.100	7.295	7.477	-10.292	0.000	2.247	1.975
1.400	1.189	55.200	6.809	6.979	-10.292	0.000	2.197	1.975
1.300	1.289	51.200	6.322	6.480	-10.292	0.000	2.147	1.975
1.200	1.389	47.300	5.836	5.982	-10.292	0.000	2.097	1.975
1.100	1.489	43.400	5.350	5.483	-10.292	0.000	2.047	1.975
1.000	1.589	39.400	4.863	4.985	-10.292	0.000	1.997	1.975
0.900	1.689	35.500	4.377	4.486	-10.292	0.000	1.947	1.975
0.800	1.789	31.500	3.891	3.988	-10.292	0.000	1.897	1.975
0.700	1.889	27.600	3.404	3.489	-10.292	0.000	1.847	1.975
0.600	1.989	23.600	2.918	2.991	-10.292	0.000	1.797	1.975
0.500	2.089	19.700	2.432	2.492	-10.292	0.000	1.747	1.975
0.400	2.189	15.800	1.945	1.994	-10.292	0.000	1.697	1.975
0.300	2.289	11.800	1.459	1.495	-10.292	0.000	1.647	1.975
0.200	2.389	7.900	0.973	0.997	-10.292	0.000	1.597	1.975
0.100	2.489	3.900	0.486	0.498	-10.292	0.000	1.547	1.975
0.025	2.564	1.000	0.124	0.127	-10.292	0.000	1.510	1.975

Tabla 32. Resumen de capacidades del tanque de viveros 1 (crujía).

6.3.20 Viveros 1 (babor).

Es el simétrico respecto de crujía del de estribor.

6.3.21 Viveros 2 (estribor).

Se encuentra bajo la cubierta principal, Entre las cuadernas 11 y 15, por el costado de estribor, limitado por un mamparo a 1.14 metros de crujía.

Tipo de fluido = Agua salada.

Densidad relativa = 1.025

Permeabilidad = 98%

Sonda (m)	Vaciado (m)	% Llenado	Capacidad (m ³)	Capacidad (Tn)	Xg (m)	Yg (m)	Zg (m)	FSM (Tn-m)
2.493	0.000	100.000	9.881	10.128	-8.290	2.337	2.754	0.000
2.412	0.080	98.000	9.683	9.925	-8.286	2.337	2.730	0.000
2.400	0.093	97.500	9.631	9.872	-8.286	2.336	2.724	2.480
2.300	0.193	93.300	9.218	9.448	-8.285	2.335	2.673	2.480
2.200	0.293	89.100	8.804	9.024	-8.285	2.333	2.623	2.480
2.100	0.393	84.900	8.391	8.601	-8.285	2.331	2.573	2.480
2.000	0.493	80.700	7.978	8.177	-8.285	2.330	2.522	2.479
1.900	0.593	76.500	7.564	7.753	-8.284	2.327	2.471	2.479
1.800	0.693	72.400	7.150	7.329	-8.284	2.325	2.421	2.478
1.700	0.793	68.200	6.737	6.905	-8.283	2.322	2.370	2.478
1.600	0.893	64.000	6.324	6.482	-8.283	2.319	2.319	2.476
1.500	0.993	59.800	5.910	6.058	-8.282	2.316	2.268	2.475
1.400	1.093	55.600	5.497	5.634	-8.281	2.312	2.217	2.472
1.300	1.193	51.500	5.084	5.211	-8.281	2.307	2.166	2.467
1.200	1.293	47.300	4.671	4.788	-8.280	2.302	2.115	2.459
1.100	1.393	43.100	4.259	4.366	-8.279	2.296	2.064	2.446
1.000	1.493	38.900	3.848	3.944	-8.278	2.288	2.012	2.421
0.900	1.593	34.800	3.439	3.525	-8.277	2.280	1.960	2.384
0.800	1.693	30.700	3.032	3.108	-8.275	2.271	1.908	2.332
0.700	1.793	26.600	2.629	2.695	-8.274	2.260	1.856	2.265
0.600	1.893	22.600	2.230	2.286	-8.273	2.249	1.804	2.181
0.500	1.993	18.600	1.838	1.884	-8.271	2.236	1.753	2.083
0.400	2.093	14.700	1.452	1.488	-8.270	2.222	1.701	1.968
0.300	2.193	10.900	1.074	1.100	-8.268	2.207	1.649	1.840
0.200	2.293	7.100	0.705	0.722	-8.267	2.190	1.598	1.701
0.100	2.393	3.500	0.346	0.355	-8.265	2.173	1.547	1.553
0.029	2.464	1.000	0.098	0.101	-8.264	2.160	1.511	1.446
0.900	1.689	31.200	3.037	3.113	-10.263	2.155	1.972	2.023
0.800	1.789	27.300	2.655	2.721	-10.261	2.138	1.918	1.902
0.700	1.889	23.500	2.281	2.338	-10.260	2.119	1.864	1.773
0.600	1.989	19.700	1.918	1.966	-10.258	2.099	1.810	1.635
0.500	2.089	16.100	1.564	1.603	-10.255	2.078	1.757	1.491
0.400	2.189	12.600	1.222	1.253	-10.253	2.056	1.704	1.342
0.300	2.289	9.200	0.894	0.916	-10.250	2.033	1.651	1.188
0.200	2.389	6.000	0.580	0.595	-10.247	2.008	1.599	1.035
0.100	2.489	2.900	0.282	0.289	-10.244	1.983	1.547	0.887

Tabla 33. Resumen de capacidades del tanque de viveros 2 (estribor).

33.1.1. Viveros 2 (crujía).

Se encuentra bajo la cubierta principal, Entre las cuadernas 11 y 15, por el costado de estribor, limitado por mamparos a 1.14 metros de crujía.

Sonda (m)	Vaciado (m)	% Llenado	Capacidad (m ³)	Capacidad (Tn)	X _g (m)	Y _g (m)	Z _g (m)	FSM (Tn-m)
2.493	0.000	100.000	14.339	14.697	-8.296	0.000	2.727	0.000
2.411	0.082	98.000	14.050	14.401	-8.292	0.000	2.702	0.000
2.400	0.093	97.500	13.987	14.337	-8.292	0.000	2.697	1.975
2.300	0.193	93.500	13.404	13.739	-8.292	0.000	2.647	1.975
2.200	0.293	89.400	12.821	13.142	-8.292	0.000	2.597	1.975
2.100	0.393	85.400	12.239	12.545	-8.292	0.000	2.547	1.975
2.000	0.493	81.300	11.656	11.947	-8.292	0.000	2.497	1.975
1.900	0.593	77.200	11.073	11.350	-8.292	0.000	2.447	1.975
1.800	0.693	73.200	10.490	10.753	-8.292	0.000	2.397	1.975
1.700	0.793	69.100	9.908	10.155	-8.292	0.000	2.347	1.975
1.600	0.893	65.000	9.325	9.558	-8.292	0.000	2.297	1.975
1.500	0.993	61.000	8.742	8.960	-8.292	0.000	2.247	1.975
1.400	1.093	56.900	8.159	8.363	-8.292	0.000	2.197	1.975
1.300	1.193	52.800	7.576	7.766	-8.292	0.000	2.147	1.975
1.200	1.293	48.800	6.994	7.168	-8.292	0.000	2.097	1.975
1.100	1.393	44.700	6.411	6.571	-8.292	0.000	2.047	1.975
1.000	1.493	40.600	5.828	5.974	-8.292	0.000	1.997	1.975
0.900	1.593	36.600	5.245	5.376	-8.292	0.000	1.947	1.975
0.800	1.693	32.500	4.662	4.779	-8.292	0.000	1.897	1.975
0.700	1.793	28.500	4.080	4.182	-8.292	0.000	1.847	1.975
0.600	1.893	24.400	3.497	3.584	-8.292	0.000	1.797	1.975
0.500	1.993	20.300	2.914	2.987	-8.292	0.000	1.747	1.975
0.400	2.093	16.300	2.331	2.389	-8.292	0.000	1.697	1.975
0.300	2.193	12.200	1.748	1.792	-8.292	0.000	1.647	1.975
0.200	2.293	8.100	1.166	1.195	-8.292	0.000	1.597	1.975
0.100	2.393	4.100	0.583	0.597	-8.292	0.000	1.547	1.975
0.025	2.468	1.000	0.143	0.147	-8.292	0.000	1.509	1.975
0.800	1.789	31.500	4.662	4.779	-10.292	0.000	1.897	1.975
0.700	1.889	27.600	4.080	4.182	-10.292	0.000	1.847	1.975
0.600	1.989	23.600	3.497	3.584	-10.292	0.000	1.797	1.975
0.500	2.089	19.700	2.914	2.987	-10.292	0.000	1.747	1.975
0.400	2.189	15.800	2.331	2.389	-10.292	0.000	1.697	1.975
0.300	2.289	11.800	1.748	1.792	-10.292	0.000	1.647	1.975
0.200	2.389	7.900	1.166	1.195	-10.292	0.000	1.597	1.975
0.100	2.489	3.900	0.583	0.597	-10.292	0.000	1.547	1.975
0.025	2.564	1.000	0.148	0.152	-10.292	0.000	1.510	1.975

Tabla 34. Resumen de capacidades del tanque de viveros 2 (crujía).

6.3.22 Viveros 2 (babor).

Es el simétrico respecto de crujía del de estribor.

6.3.23 Tanque estabilizador pasivo.

Respecto del tanque estabilizador no se dispone todavía de suficiente información para su diseño, puesto que requiere precisamente de estos cálculos, no obstante ya se ha mencionado que se tratará de un tanque corrido.

Como nos interesa que el tanque estabilizador sea tetraédrico, esto es de caras planas y paralelas, no tomaremos la manga total del barco, sino sólo aquella en la que podamos montar el tanque, que será una manga total de 6.4 metros.

Suponiendo que la estimación del GM de 0.733 metros realizada en el cuaderno 2 fuera exacta, podemos conocer la eslora máxima que nuestro tanque estabilizador puede tener para que la corrección por superficies libres no haga incumplir los requisitos de estabilidad.

La administración nos obliga a disponer de una altura metacéntrica mínima:

$$GM_{\min} = 0.350 \text{ m} \rightarrow \text{Ec. 4}$$

Por tanto, la máxima corrección por superficie libre que el tanque puede producir sobre la altura metacéntrica es de:

$$GM_{\text{corr}} = 0.733 - 0.350 \text{ m} = 0.383 \text{ m} \rightarrow \text{Ec. 5}$$

Al ser un tanque corrido de banda a banda la corrección por superficie libre es de:

$$GM_{corr} = I_{area} \cdot \frac{\rho_{as}}{\Delta} = \frac{1}{12} L B^3 \frac{\rho_{as}}{\Delta} \rightarrow \text{Ec. 6}$$

De donde podemos sacar la eslora máxima combinando **Ec. 5** y **Ec. 6**:

$$L = \frac{12 \cdot GM_{corr}}{B^3} \frac{\Delta}{\rho_{as}} = \frac{12 \cdot 0.383 \cdot 425.3}{6.4^3 \cdot 1.025} \text{ m} = 7.27 \text{ m} \rightarrow \text{Ec. 7}$$

Así que en un principio si se puede utilizar toda la eslora prevista en el diseño de 3.5 metros, que es, por otra parte, menos de la mitad de la eslora máxima de la estimación de la **Ec.7**.

Por tanto comenzaremos considerando para estos cálculos que el tanque estabilizador ocupa todo el espacio que se le ofrece, con la consideración de que la manga máxima es de 6.4 metros.

Bien es cierto que el tanque estabilizador nunca se llena al 100%, pues no reside en eso su misión (no es un tanque de lastre), nuevamente procedemos a calcularlo con la intención de averiguar los posibles resultados de una avería.

Sonda (m)	Vaciado (m)	% Llenado	Capacidad (m³)	Capacidad (Tn)	Xg (m)	Yg (m)	Zg (m)	FSM (Tn-m)
2.577	0.000	100.000	56.548	57.962	1.979	0.000	2.730	0.000
2.500	0.077	99.600	56.325	57.733	1.973	0.000	2.725	0.000
2.418	0.159	98.000	55.411	56.797	1.960	0.000	2.705	0.000
2.400	0.177	97.400	55.065	56.442	1.959	0.000	2.697	74.783
2.300	0.277	93.300	52.771	54.090	1.958	0.000	2.647	76.459
2.200	0.377	89.300	50.476	51.738	1.958	0.000	2.597	76.459
2.100	0.477	85.200	48.182	49.387	1.958	0.000	2.547	76.459
2.000	0.577	81.100	45.888	47.035	1.958	0.000	2.497	76.459
1.900	0.677	77.100	43.593	44.683	1.958	0.000	2.447	76.459
1.800	0.777	73.000	41.299	42.331	1.958	0.000	2.397	76.459
1.700	0.877	69.000	39.004	39.980	1.958	0.000	2.347	76.459
1.600	0.977	64.900	36.710	37.628	1.958	0.000	2.297	76.459
1.500	1.077	60.900	34.416	35.276	1.958	0.000	2.247	76.459
1.400	1.177	56.800	32.121	32.924	1.958	0.000	2.197	76.459
1.300	1.277	52.700	29.827	30.573	1.958	0.000	2.147	76.459
1.200	1.377	48.700	27.533	28.221	1.958	0.000	2.097	76.459
1.100	1.477	44.600	25.238	25.869	1.958	0.000	2.047	76.459
1.000	1.577	40.600	22.944	23.517	1.958	0.000	1.997	76.459
0.900	1.677	36.500	20.649	21.166	1.958	0.000	1.947	76.459
0.800	1.777	32.500	18.355	18.814	1.958	0.000	1.897	76.459
0.700	1.877	28.400	16.061	16.462	1.958	0.000	1.847	76.459
0.600	1.977	24.300	13.766	14.110	1.958	0.000	1.797	76.459
0.500	2.077	20.300	11.472	11.759	1.958	0.000	1.747	76.459
0.400	2.177	16.200	9.178	9.407	1.958	0.000	1.697	76.459
0.300	2.277	12.200	6.883	7.055	1.958	0.000	1.647	76.459
0.200	2.377	8.100	4.589	4.703	1.958	0.000	1.597	76.459
0.100	2.477	4.100	2.294	2.352	1.958	0.000	1.547	76.459
0.025	2.552	1.000	0.565	0.580	1.958	0.000	1.509	76.459

Tabla 35. Resumen de capacidades del tanque estabilizador pasivo.

6.3.24 Tanques de lastre.

Se situaron dos tanques de lastre en proa, en un principio con la intención de situar las zonas de habilitación de forma más favorable, pero que además puede dar utilidad para luchar contra el trimado que pueda provocar la cámara de máquinas, y para una posible ayuda en determinadas situaciones de carga.

Aunque en un principio no sabemos si se empleará en algún momento, pero tal y como ya mencionábamos, en esta situación es mejor dejar el espacio vacío que ampliar la zona de habilitación.

Son un par de tanques (uno a cada banda) relativamente pequeños, pero vamos a estudiar aun así sus capacidades y centros de gravedad.

Sonda (m)	Vaciado (m)	% Llenado	Capacidad (m ³)	Capacidad (Tn)	X _g (m)	Y _g (m)	Z _g (m)	FSM (Tn-m)
0.659	0.000	100.000	2.533	2.596	11.344	0.791	1.836	0.000
0.650	0.009	98.500	2.496	2.558	11.345	0.789	1.832	0.000
0.647	0.012	98.000	2.482	2.544	11.345	0.789	1.830	0.000
0.600	0.059	90.300	2.287	2.344	11.345	0.783	1.805	1.130
0.550	0.109	82.200	2.082	2.134	11.346	0.777	1.779	1.082
0.500	0.159	74.200	1.880	1.927	11.347	0.771	1.753	1.036
0.450	0.209	66.300	1.680	1.722	11.348	0.766	1.727	0.992
0.400	0.259	58.500	1.483	1.520	11.348	0.760	1.701	0.950
0.350	0.309	50.900	1.289	1.321	11.349	0.754	1.675	0.909
0.300	0.359	43.300	1.097	1.124	11.350	0.748	1.649	0.870
0.250	0.409	35.800	0.907	0.930	11.351	0.743	1.623	0.832
0.200	0.459	28.500	0.721	0.739	11.352	0.737	1.598	0.796
0.150	0.509	21.200	0.537	0.550	11.352	0.731	1.572	0.761
0.100	0.559	14.000	0.355	0.364	11.353	0.726	1.547	0.727
0.050	0.609	7.000	0.177	0.181	11.354	0.720	1.522	0.693
0.007	0.652	1.000	0.025	0.026	11.355	0.715	1.501	0.666

Tabla 36. Resumen de capacidades del tanque de lastre de estribor.

Por supuesto el tanque de babor es completamente análogo.

6.3.25 Bodega de carga.

Para la bodega de carga aún no se dispone de un desglose de pesos, así pues sólo se procederá al cálculo de capacidad volumétrica:

Sonda (m)	Vaciado (m)	% Llenado	Capacidad (m ³)	Xg (m)	Yg (m)	Zg (m)
3.466	0.000	100.000	105.639	6.985	0.000	3.049
3.400	0.066	99.900	105.568	6.983	0.000	3.047
3.300	0.166	99.600	105.200	6.973	0.000	3.041
3.200	0.266	98.900	104.498	6.956	0.000	3.030
3.107	0.360	98.000	103.523	6.933	0.000	3.015
3.100	0.366	97.900	103.440	6.932	0.000	3.013
3.000	0.466	96.500	101.982	6.903	0.000	2.991
2.900	0.566	94.700	100.080	6.871	0.000	2.964
2.800	0.666	92.500	97.699	6.840	0.000	2.930
2.700	0.766	89.800	94.814	6.813	0.000	2.890
2.600	0.866	86.500	91.412	6.796	0.000	2.843
2.500	0.966	82.900	87.620	6.791	0.000	2.791
2.400	1.066	79.300	83.822	6.785	0.000	2.739
2.300	1.166	75.800	80.041	6.780	0.000	2.687
2.200	1.266	72.200	76.275	6.775	0.000	2.634
2.100	1.366	68.700	72.527	6.769	0.000	2.582
2.000	1.466	65.100	68.797	6.763	0.000	2.530
1.900	1.566	61.600	65.085	6.757	0.000	2.477
1.800	1.666	58.100	61.393	6.751	0.000	2.425
1.700	1.766	54.600	57.722	6.745	0.000	2.373
1.600	1.866	51.200	54.073	6.739	0.000	2.320
1.500	1.966	47.800	50.448	6.732	0.000	2.268
1.400	2.066	44.300	46.848	6.726	0.000	2.216
1.300	2.166	41.000	43.274	6.719	0.000	2.164
1.200	2.266	37.600	39.728	6.713	0.000	2.112
1.100	2.366	34.300	36.211	6.706	0.000	2.060
1.000	2.466	31.000	32.725	6.699	0.000	2.008
0.900	2.566	27.700	29.272	6.692	0.000	1.956
0.800	2.666	24.500	25.853	6.685	0.000	1.904
0.700	2.766	21.300	22.471	6.679	0.000	1.853
0.600	2.866	18.100	19.127	6.672	0.000	1.801
0.500	2.966	15.000	15.824	6.665	0.000	1.750
0.400	3.066	11.900	12.564	6.658	0.000	1.699
0.300	3.166	8.800	9.349	6.652	0.000	1.648
0.200	3.266	5.900	6.182	6.645	0.000	1.598
0.100	3.366	2.900	3.064	6.639	0.000	1.547
0.035	3.432	1.000	1.056	6.635	0.000	1.514

Tabla 37. Resumen de capacidades de la bodega.

7 Situaciones de carga preliminares.

Aunque las situaciones de carga se estudiarán más adelante, podemos ya en este punto dar unas situaciones de carga preliminares.

Las situaciones de carga posibles para este buque son⁵:

- Salida del puerto con el 100% de consumos.
 - Con los viveros llenos: El barco se prepara para la pesca del atún, con los tanques de viveros llenos de cebo vivo, que como se mencionó en el cuaderno 1, consistirá principalmente en anchoa y chicharrillo.

⁵ Se toman las situaciones más restrictivas. Por ejemplo, la estancia en caladeros está caracterizada por la situación de carga a la salida del mismo.

- Con los viveros vacíos: El barco se prepara para la pesca de la anchoa.
- Salida del caladero, con el 100% de pesca, y el 35% de consumos.
 - Con viveros llenos: El buque vuelve de una expedición de pesca de anchoa.
 - Con viveros vacíos: El buque retorna de las labores de pesca de bonito.
- Llegada al puerto, con el 100% de pesca, y el 10% de consumos.
 - Con los viveros llenos: Llegada al puerto tras la pesca de la anchoa.
 - Con los viveros vacíos: Llegada al puerto tras la pesca del bonito.
- Llegada al puerto, con el 20% de pesca, los viveros vacíos, y el 10% de consumos: Retorno tras la pesca del bonito, con malos resultados.

8 Esloras inundables si lo requieren los reglamentos.

Estos buques están exentos del estudio de esloras inundables.

9 Cálculos del francobordo y del arqueo.

9.1 Francobordo.

El francobordo del buque se define como la distancia desde la cubierta completa más elevada que disponga de los medios necesarios para el cierre permanente de todas las aberturas expuestas a la intemperie. Por supuesto debe cumplir la normativa vigente.

En este caso concreto es de aplicación el **Convenio Internacional para las Líneas de Carga de 1932**.

El Francobordo de Verano se determinara siguiendo lo establecido en el CAPITULO III de este Convenio.

En el CAPITULO I, Regla 3, se definen los términos usados a lo largo de los anexos, citándose a continuación algunos relevantes en el cálculo.

Se establece como eslora (L) el 96% de la eslora total medida en una flotación cuya distancia al canto alto de la quilla sea igual al 85% del puntal mínimo de trazado medido desde el canto alto de la quilla o bien la distancia entre la cara de proa de la roda y el eje de la mecha del timón si es superior. En nuestro caso, será de 29.6m

Las perpendiculares de proa y de popa deberán tomarse en los extremos de proa y de popa de la eslora (L). La perpendicular de proa deberá coincidir con la cara de proa de la roda en la flotación en que se mide la eslora. La manga considerada será la máxima del buque (6.84 m.)

El coeficiente de bloque (C_b) vendrá dado por la expresión:

$$C_b = \frac{\nabla}{L \cdot B \cdot d_1} \rightarrow \text{Ec. 8}$$

Donde d_1 es el calado al 85% del puntal.

En nuestro caso el coeficiente de bloque vale:

$$C_b = \frac{425.3}{29.6 \cdot 7.2 \cdot 3.27} = 0.61$$

9.1.1 Francobordo tabular

De acuerdo con la regla 27 del CAPITULO III, el buque es de tipo B, por lo que entrando en la Tabla 28.2, el francobordo tabular es 239 mm.

9.1.2 Correcciones

- Corrección al francobordo para buques de eslora inferior a 100 metros.

Para aquellos buques tipo B, cuya eslora sea superior a 24 m e inferior a 100 m y con longitud efectiva de superestructuras cerradas hasta el 35% de L incrementarán su francobordo en:

$$df_1 = 7.5 \cdot (100 - L) \cdot (0.35 \cdot E / L) \text{ mm} \rightarrow \text{Ec. 9}$$

En nuestro caso, la longitud efectiva será:

$$E = 3.277 \text{ m}$$

Con lo que entrando en **Ec. 9** tenemos que:

$$df_1 = 126 \text{ mm}$$

Por lo que deberemos ampliar el francobordo 126 mm.

- Corrección por coeficiente de bloque.

La corrección por coeficiente de bloque sólo aplica a aquellos que tengan coeficientes mayores a 0.68, y por tanto nuestro buque está exento.

- Corrección por puntal.

En la Regla 31 se establece esta corrección por la que:

$$df_2 = (D - L/15) \cdot (L/0.48) = 107 \text{ mm}$$

Por tanto debemos añadir otros 107 mm a nuestro francobordo.

- Reducción por superestructuras y troncos

La superestructura sobre la cubierta de acomodación constituye el castillo del buque. La reducción de francobordo para buques de longitud efectiva de superestructura de 1.0 L es de 389 mm

Como en nuestro caso la relación entre la longitud efectiva y la eslora es de 11.45%, tendremos aplicando el anterior en las Tablas que se ofrecen un reducción del 8.01% de 389 mm. Por tanto:

$$df_3 = -31 \text{ mm}$$

- Corrección por arrufo

Al tratarse de un buque construido con asiento a popa el arrufo se medirá respecto a una paralela a la flotación de proyecto.

Al tener un arrufo superior al tabulado es de aplicación el valor máximo de 125 mm por cada 100 m de eslora:

$$df_4 = -36 \text{ mm}$$

- Altura mínima de proa

No es propiamente una corrección, sino un valor mínimo que se debe satisfacer. La regla ofrece la siguiente expresión:

$$F_b = \left(6075 \cdot \frac{L}{100} - 1875 \cdot \left(\frac{L}{100} \right)^2 + 200 \cdot \left(\frac{L}{100} \right)^3 \right) \cdot (2.08 + 0.609C_b - 1.603C_{wf} - 0.0129 \frac{L}{d_i})$$

F_b , la altura mínima de proa calculada, en mm;

L , la eslora definida en la regla 3, en m;

B , la manga de trazado definida en la regla 3, en m;

C_i , el calado en el 85% del puntal D , en m;

C_b , el coeficiente de bloque definido en la regla 3;

C_{wf} el coeficiente del área de la flotación a proa de $L/2$:

$$C_{wf} = \frac{A_{wf}}{L/2 \cdot B}$$

A_{wf} el área de la flotación a proa de $L/2$ para el calado C_i , en m^2 , que en nuestro caso el coeficiente de área vale 0.657.

Lo que corresponde a una altura mínima en proa de 2104 mm, que es un valor claramente menor al ya disponible, luego se cumple en este apartado con la normativa.

9.1.3 Francobordos mínimos

- Francobordo de Verano

Aplicando al francobordo tabular todas las correcciones obtenemos el francobordo de verano:

$$f_{\text{verano}} = f_{\text{tabular}} + \sum df_i = 239 + 126 + 107 - 31 - 36 = 405 \text{ mm}$$

Un **francobordo de verano de 405 mm.**

- Francobordo Tropical

Se obtiene restando del francobordo de verano $1/48$ del calado de verano medido desde el canto alto de la quilla al centro del anillo de la marca de francobordo.

Para nuestro buque resulta un **francobordo tropical de 338 mm.**

- Francobordo de Invierno

Se obtiene añadiendo $1/48$ del calado de verano al francobordo de verano. En nuestro caso un **francobordo de invierno de 472 mm.**

- Francobordo Atlántico Norte

Al tratarse de un buque con eslora inferior a 100 m se añadirán 50 mm al francobordo de invierno. Esto es un **francobordo para el Atlántico Norte de 552 mm.**

- Francobordo de Agua Dulce

Se obtiene restando al francobordo en agua salada la siguiente cantidad:

$$\frac{\nabla}{40 \cdot TPC}$$

Lo que resulta en un **francobordo de agua dulce de 288 mm.**

9.2 Arqueo.

El arqueo de buques pesqueros es un caso particular en el cálculo de arqueo de buques, ya que el Convenio de Londres de 1969 aplica su normativa de arqueo en GT, pero los acuerdos pesqueros suscritos por la Unión Europea⁶ con terceros países se reglan con arqueos en TRB.

Ante esta situación la administración establece que, con objeto de facilitar al máximo los trámites burocráticos a los buques pesqueros, se remitirá para su aprobación Cálculo de Arqueo en TRB de todos los buques pesqueros de nueva construcción conjuntamente con el Cálculo de Arqueo por el Convenio de Londres de 1969.

Por tanto, en buques pesqueros se debe calcular el arqueo por ambos sistemas.

Además de lo anteriormente dicho los TRB son relevantes porque los costes de Seguridad Social están parcialmente subvencionados al armador si el arqueo es inferior a 150 TRB.

⁶ En el texto original, CEE, o Comunidad Económica Europea.

9.2.1 Sistema Moorsom

El Reglamento Español de Arqueo aprobado en el año 1909 es una aplicación del Sistema Moorsom a propuesta de la Comisión Internacional de Arqueo reunida en Constantinopla en 1873.

- **Tonelaje de registro bruto (TRB)**

“El tonelaje de registro bruto comprende todos los espacios que existen bajo la cubierta superior del buque, además de todos los espacios cerrados que se encuentren sobre ella. Por espacios cerrados y cubiertos se entienden los limitados por cubiertas y mamparos fijos con capacidades utilizables para transporte de mercancías o para alojamiento y uso de pasajeros y dotación.

No formarán parte del tonelaje total aquellos espacios bajo ligeras sin más unión entre ellas y el cuerpo del buque que los candeleros o puntales necesarios para sostenerlas y que, además de no constituir espacios limitados, están expuestos de una manera permanente a las inclemencias del viento y la mar.

Tampoco estarán comprendidos en el tonelaje total las toldillas, saltillos centrales o cualquier otra superestructura permanente con una o varias aberturas en sus costados o extremos, no provistas de puertas o de cualquier otro medio permanente de cierre, pero si estos espacios se utilizasen para cualquier clase de carga o se dedicasen a instalar alojamientos o desahogo de pasaje, los volúmenes de estos espacios formaran parte del tonelaje total.

Ni tampoco formarán parte del tonelaje total los dobles fondos para lastre de agua, combustible..., siempre que están contruidos de firme y no puedan utilizarse para transporte de mercancías”⁷.

Por tanto, para nuestro caso definimos tres espacios:

$V_{TBR,1}$, es el volumen de espacio bajo la cubierta de arqueo.

$V_{TBR,2}$, medida entre la cubierta de arqueo y la cubierta superior.

$V_{TBR,3}$, espacios sobre cubierta superior.

De tal forma que el volumen total para computar en el registro de tonelaje bruto es:

$$V_{TBR} = V_{TBR,1} + V_{TBR,2} + V_{TBR,3} \rightarrow \text{Ec. 10}$$

Por tanto tenemos un volumen total de 421.93 m^3 , lo que resulta en un tonelaje de registro bruto de:

$$TRB = \frac{V_{TBR}}{2.83} = 149 \text{ TRB} \rightarrow \text{Ec. 11}$$

149 TRB, tal y como se nos exigía en la especificación.

- **Tonelaje de registro neto (TRN)**

El tonelaje de registro neto es el tonelaje de registro bruto con descuentos en determinadas superficies. Por supuesto no se pueden aplicar descuentos por espacios que no hayan sido contemplados previamente en el registro bruto.

El tonelaje de registro neto hace referencia a la capacidad de carga real del buque, y por tanto se eliminan espacios de habilitación como la caseta del timonel, espacios ocupados por la cocina, alojamientos de dotación, espacios de control de maquinaria, y de la propia maquinaria, como por ejemplo la sala de control de maquinas, la cámara de

⁷ Texto extraído de la referencia [13].

máquinas, el local del servo. Se descuentan también tanques de lastre, y de lodos. Por supuesto se puede descontar el tanque estabilizador pasivo.

Todos estos descuentos nos dan un tonelaje de registro neto de 70 TRN.

9.2.2 Convenio Internacional sobre Arqueo de Buques de la IMO (1969)

Haciendo uso del Convenio Internacional sobre Arqueo de Buques del 23 junio de 1969, de aplicación en este caso, pasamos a calcular el arqueo en GT.

- **Arqueo bruto.**

Para el cálculo del arqueo bruto el convenio establece la siguiente expresión:

$$GT = K_1 \cdot V \rightarrow \text{Ec. 12}$$

Donde

V , es el volumen total de todos los espacios cerrados del buque, expresado en m^3 .

Y K_1 es un factor que se rige por la **Ec. 13**.

$$K_1 = 0.2 + 0.02 \cdot \log_{10} V \rightarrow \text{Ec. 13}$$

Los volúmenes que computan son los siguientes:

<i>Localización</i>	<i>Capacidad(m^3)</i>
<i>Bajo cubierta de arqueo</i>	730.35
<i>Sobre cubierta de arqueo</i>	147.65
<i>Escotilla de bodega</i>	1.34
<i>Cuellos de viveros</i>	10.70
<i>Tambucho de proa</i>	1.28
<i>Tambucho de popa</i>	1.62
<i>Chimenea</i>	1.74

Tabla 38. Volúmenes computables en el arqueo.

Conviene aclarar que el guardacalor está específicamente exento en este convenio.

Lo que suma un volumen total de $895 m^3$, lo que, entrando en la **Ec. 13** nos da una constante de:

$$K_1 = 0.2 + 0.02 \cdot \log_{10} (895) = 0.259 \rightarrow \text{Ec. 14}$$

Y entrando con estos resultados en Ec. 12 obtenemos el arqueo bruto:

$$GT = 0.259 \cdot 895 = 230 GT \rightarrow \text{Ec. 15}$$

230 GT, tal y como exigía la especificación del proyecto.

- **Arqueo neto.**

Para el cálculo del arqueo neto, el cuál hace referencia al espacio de carga, al igual que ocurría con el sistema Moorsom, pero que no sigue su misma filosofía, pues no se calcula mediante descuentos, el convenio establece la siguiente expresión:

$$NT = K_2 \cdot V_c \cdot \left(\frac{4 \cdot C}{3 \cdot D} \right)^2 + K_3 \cdot \left(N_1 + \frac{N_2}{10} \right) \rightarrow \text{Ec. 16}$$

Donde:

V_c , volumen total de los espacios de carga en m^3 .

$$K_2 = 0.2 + 0.02 \log_{10} V_c.$$

$$K_3 = 1.25 \frac{GT + 10000}{10000}.$$

D , puntal de trazado en el centro del buque expresado en metros

C , calado de trazado en el centro del buque expresado en metros

N_1 , número de pasajeros en camarotes que no tengan más de 8 literas

N_2 , número de los demás pasajeros

Pero además se establecen las siguientes limitaciones:

El factor $\left(\frac{4 \cdot C}{3 \cdot D}\right)^2$ no se tomará superior a 1.

El término $K_2 \cdot V_c \cdot \left(\frac{4 \cdot C}{3 \cdot D}\right)^2$ no se tomará inferior a 0.25 GT.

NT no se tomará inferior a 0.30 GT.

Si $N_1 + N_2$, número total de pasajeros que el buque está autorizado a llevar según el certificado de pasajeros del buque, es inferior a 13, las magnitudes N_1 y N_2 se considerarán iguales a cero. Como por otra parte es nuestro caso.

El volumen de carga, que se puede obtener de la tabla de capacidades y centros de gravedad (6.1), resulta ser de 166 m³.

Por tanto la constante resulta ser:

$$K_2 = 0.2 + 0.02 \log_{10}(166) = 0.244$$

El calado es de 3.4 metros, y el puntal de 3.9 metros.

Así podemos calcular el primer término:

$$\left(\frac{4 \cdot C}{3 \cdot D}\right)^2 = \left(\frac{4 \cdot 3.4}{3 \cdot 3.9}\right)^2 = 1.35 \xrightarrow{>1} \left(\frac{4 \cdot C}{3 \cdot D}\right)^2 = 1$$

$$K_2 \cdot V_c \cdot \left(\frac{4 \cdot C}{3 \cdot D}\right)^2 = 0.244 \cdot 166 \cdot 1 = 40.5 \text{ NT}$$

Y al no disponer de pasaje nuestro buque, el segundo término es nulo.

Así pues el buque tienen un registro neto de 40.5 NT.

10 Acrónimos.

$Despl, \Delta$, desplazamiento del buque (4.1).

S , superficie mojada del barco (4.1).

A_f , área de la flotación (4.1).

X_B , posición longitudinal del centro de carena del barco (4.1).

X_F , posición longitudinal del centro de gravedad la flotación (4.1).

K_B , posición vertical del centro de carena del barco (4.1).

KM_T , posición vertical del metacentro transversal (4.1).

KM_L , posición vertical del metacentro longitudinal (4.1).

TPC , toneladas por centímetro de inmersión (4.1).

MCT , momento para trimar un centímetro (4.1).

GZ , Altura metacéntrica (5.1).

GZ , brazo adrizante (5.1).

θ , ángulo de escora (5.1).

Xg, Yg, Zg , coordenadas del centro de gravedad del espacio considerado (5.2).

TRB , tonelaje de registro bruto (9.2.1).

TRN , tonelaje de registro neto (9.2.1).

GT , arqueo bruto (9.2.2).

NT , arqueo neto (9.2.2).

D , puntal de trazado en el centro del buque (9.2.2).

C , calado de trazado en centro del buque (9.2.2).

N_1 , número de pasajeros en camarotes que no tengan más de ocho literas (9.2.2).

N_2 , número de los demás pasajeros (9.2.2).

Anexo I: Curvas hidrostáticas.

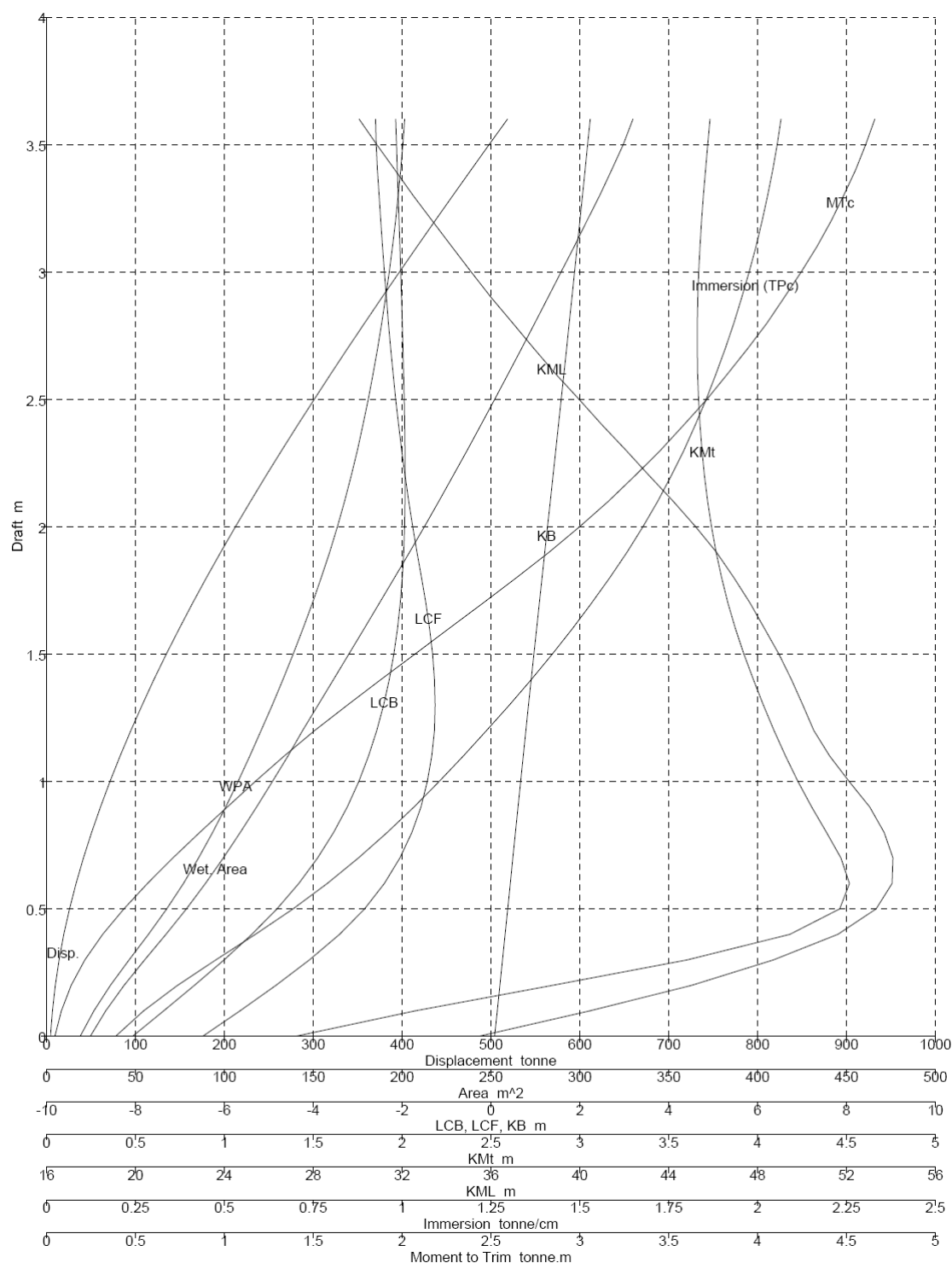


Figura 1. Curvas hidrostáticas para el buque trimado 1 metro a popa.

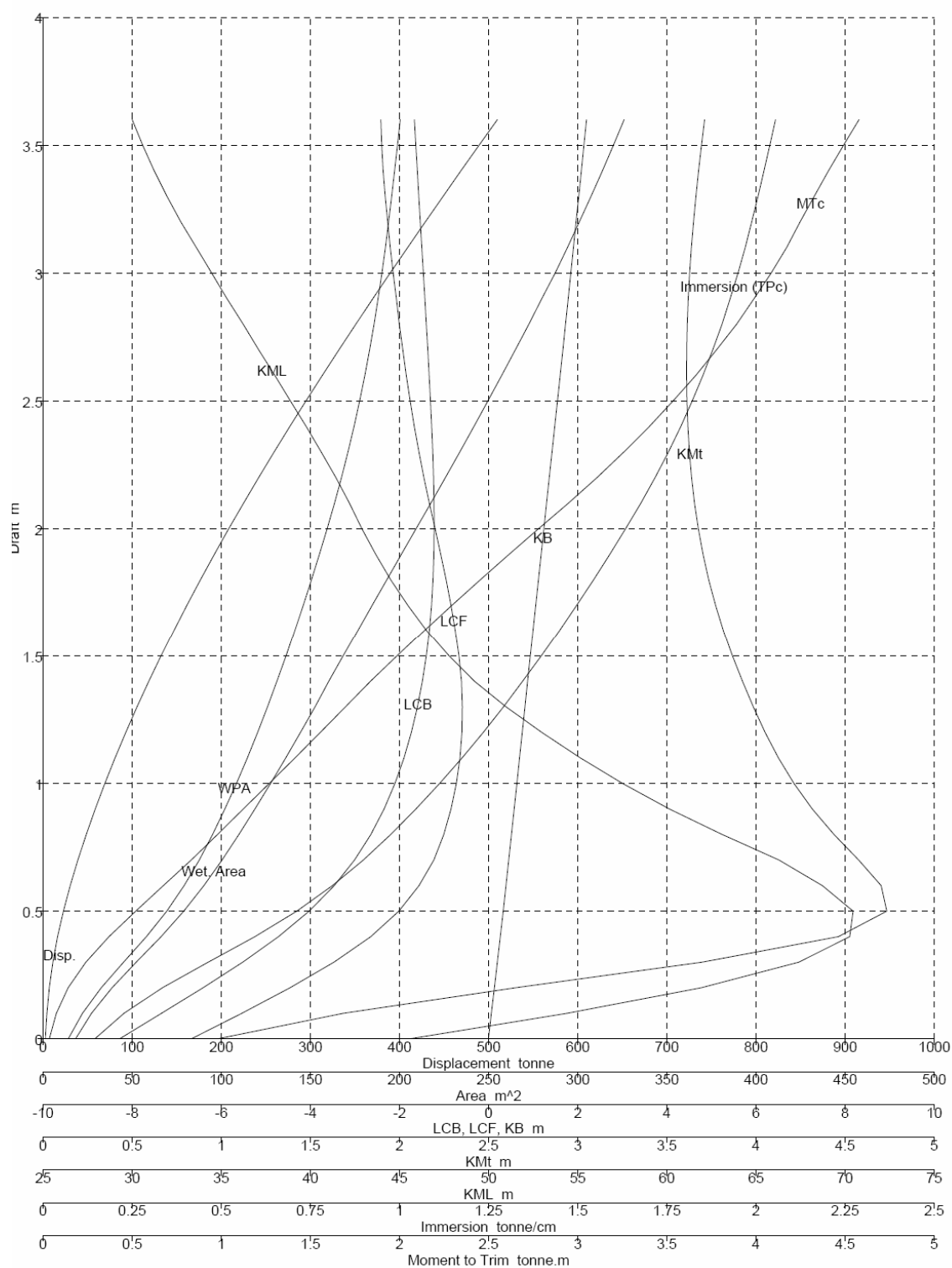


Figura 2. Curvas hidrostáticas para el buque trimado 0.5 metros a popa.

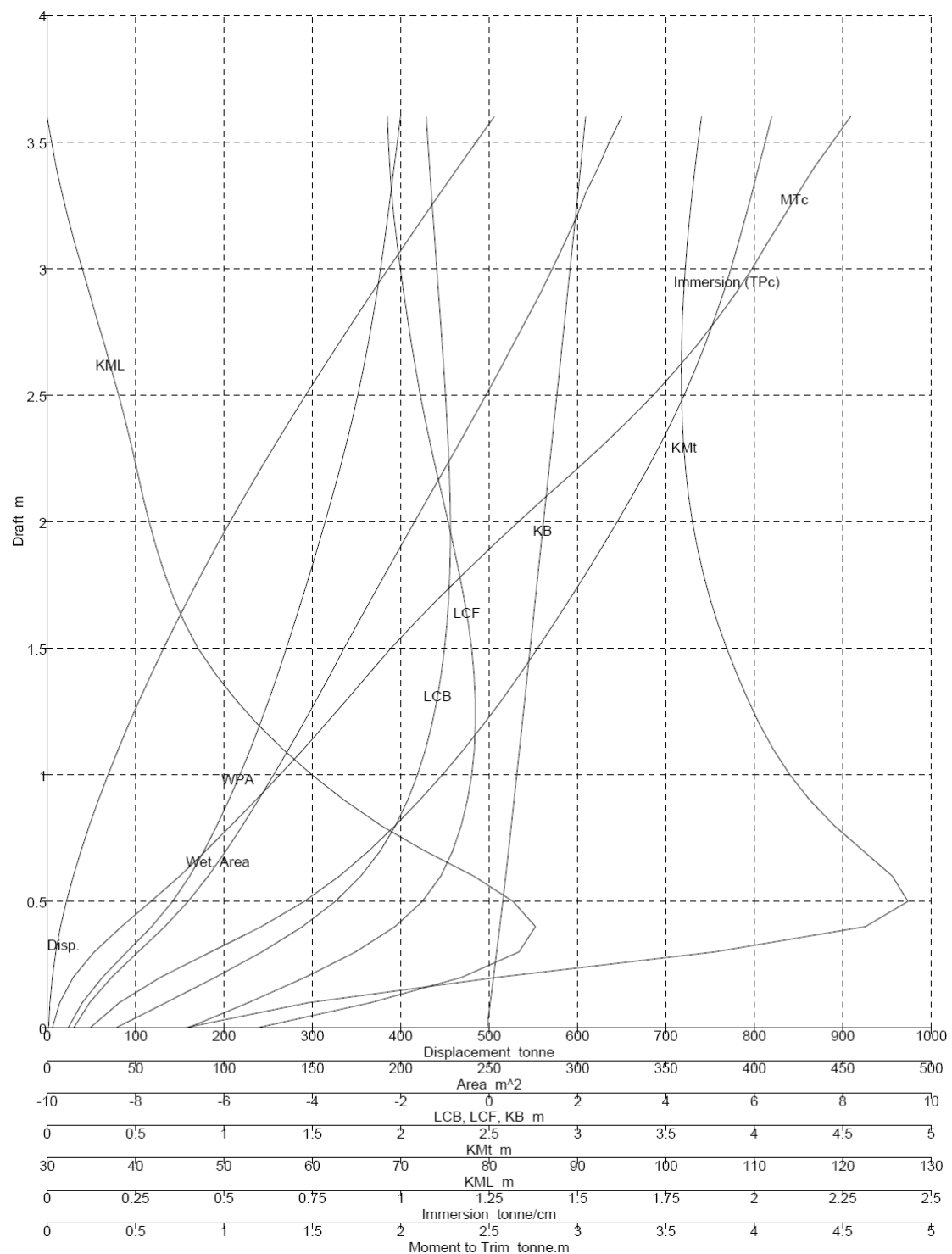


Figura 3. Curvas hidrostáticas para el buque trimado 0.25 metros a popa.

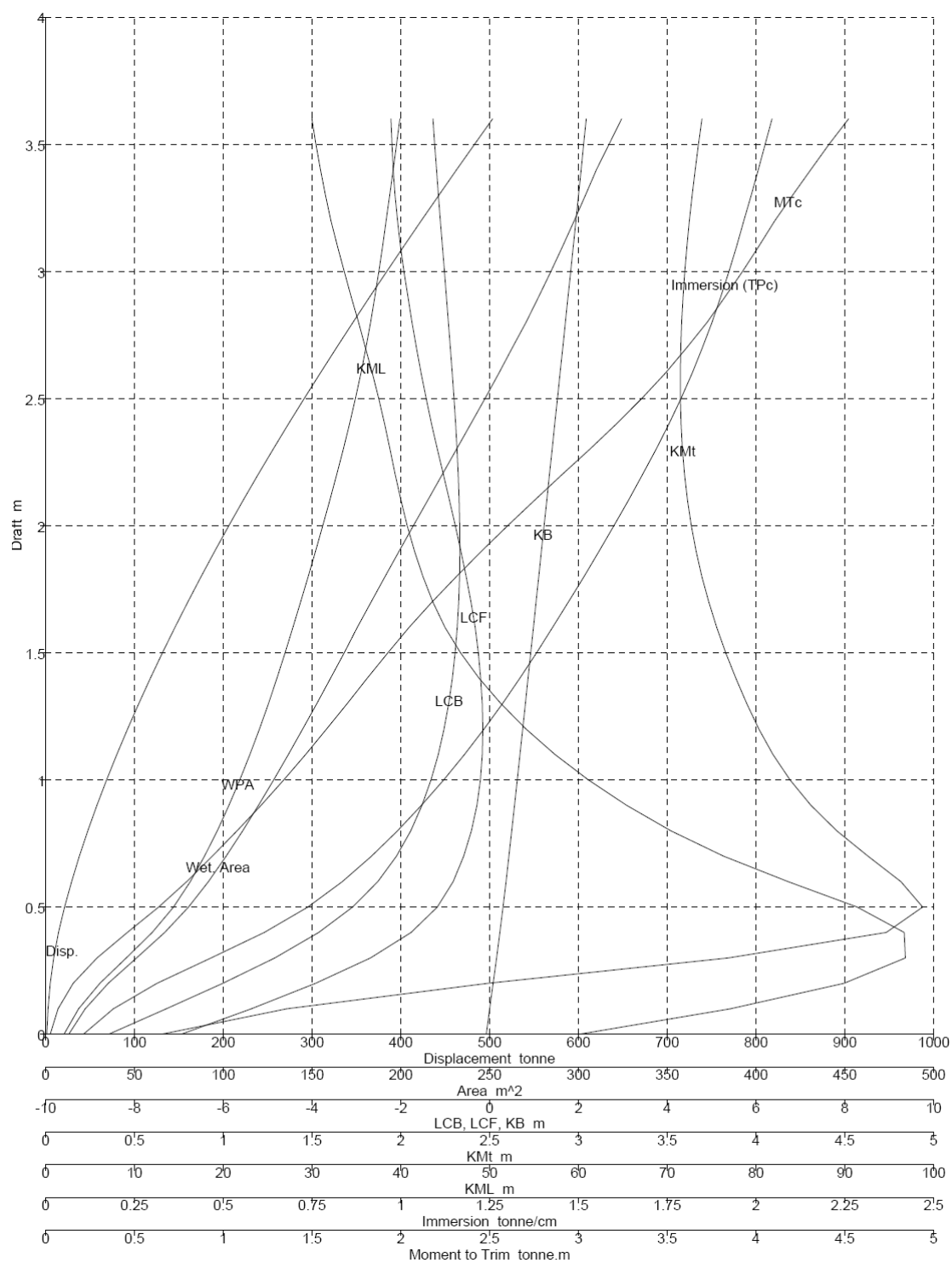


Figura 4. Curvas hidrostáticas para el buque trimado 0.1 metros a popa.

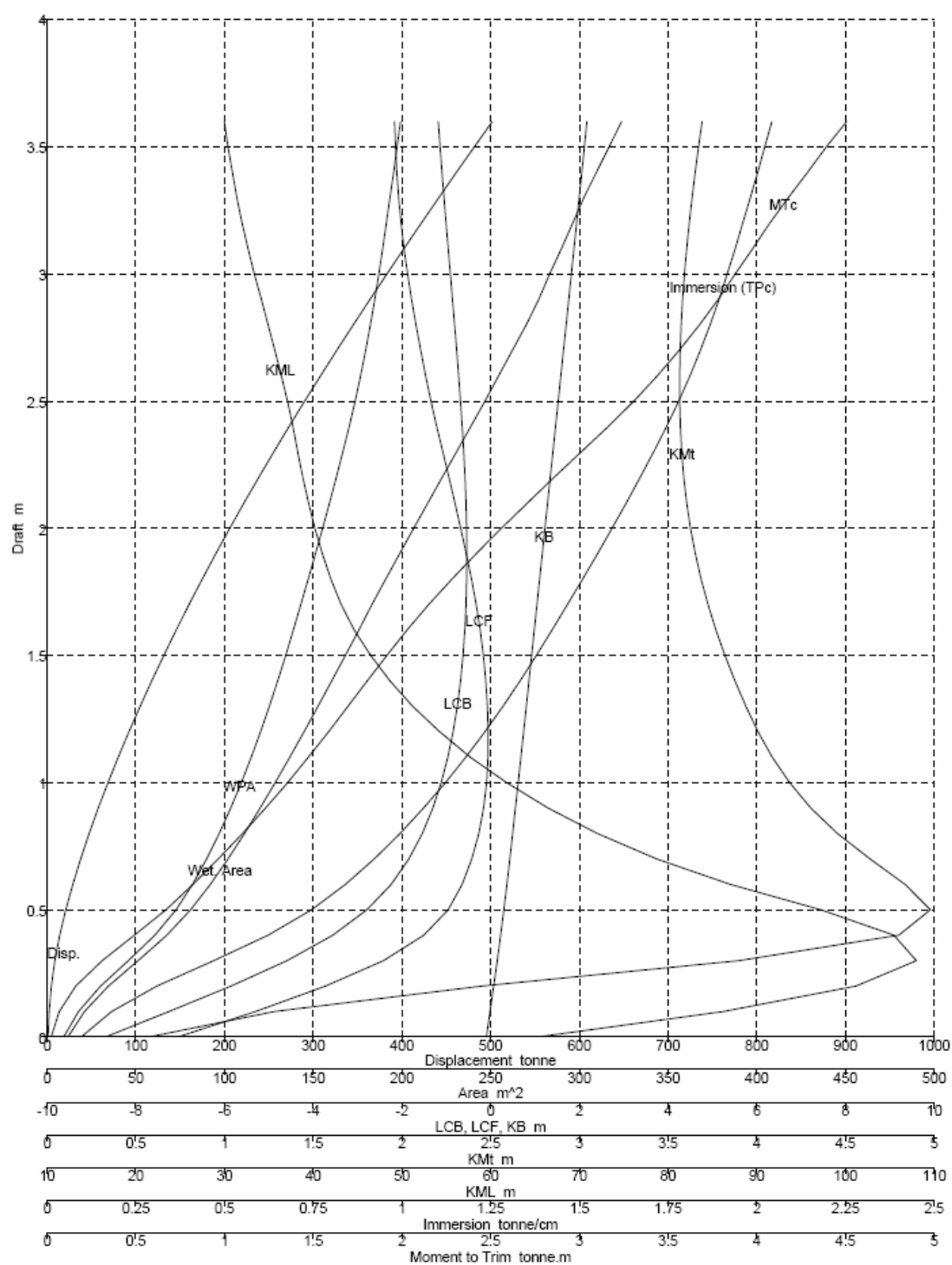


Figura 5. Curvas hidrostáticas para el buque sin trimar.

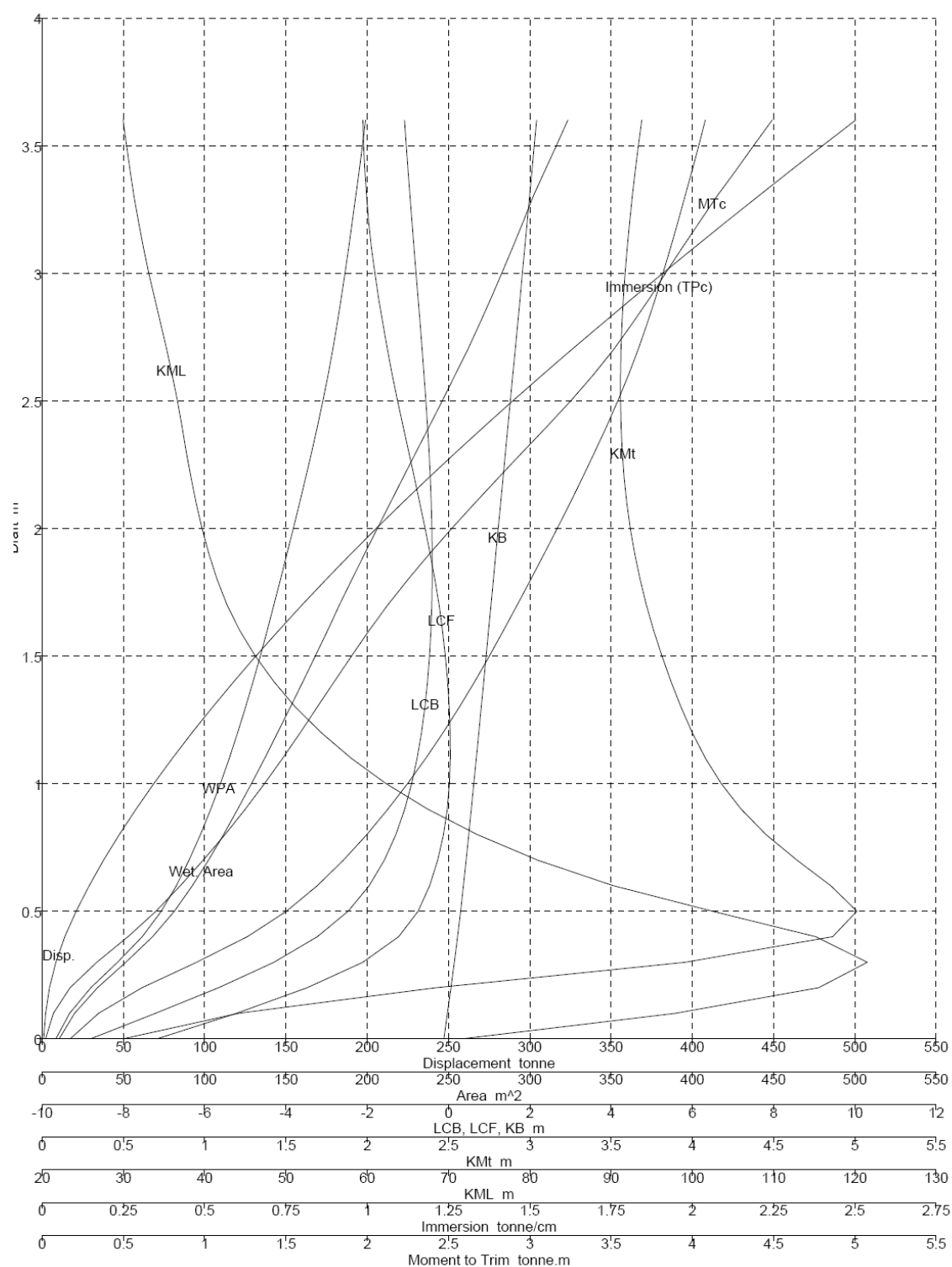


Figura 6. Curvas hidrostáticas para el buque trimado 0.1 metros a proa.

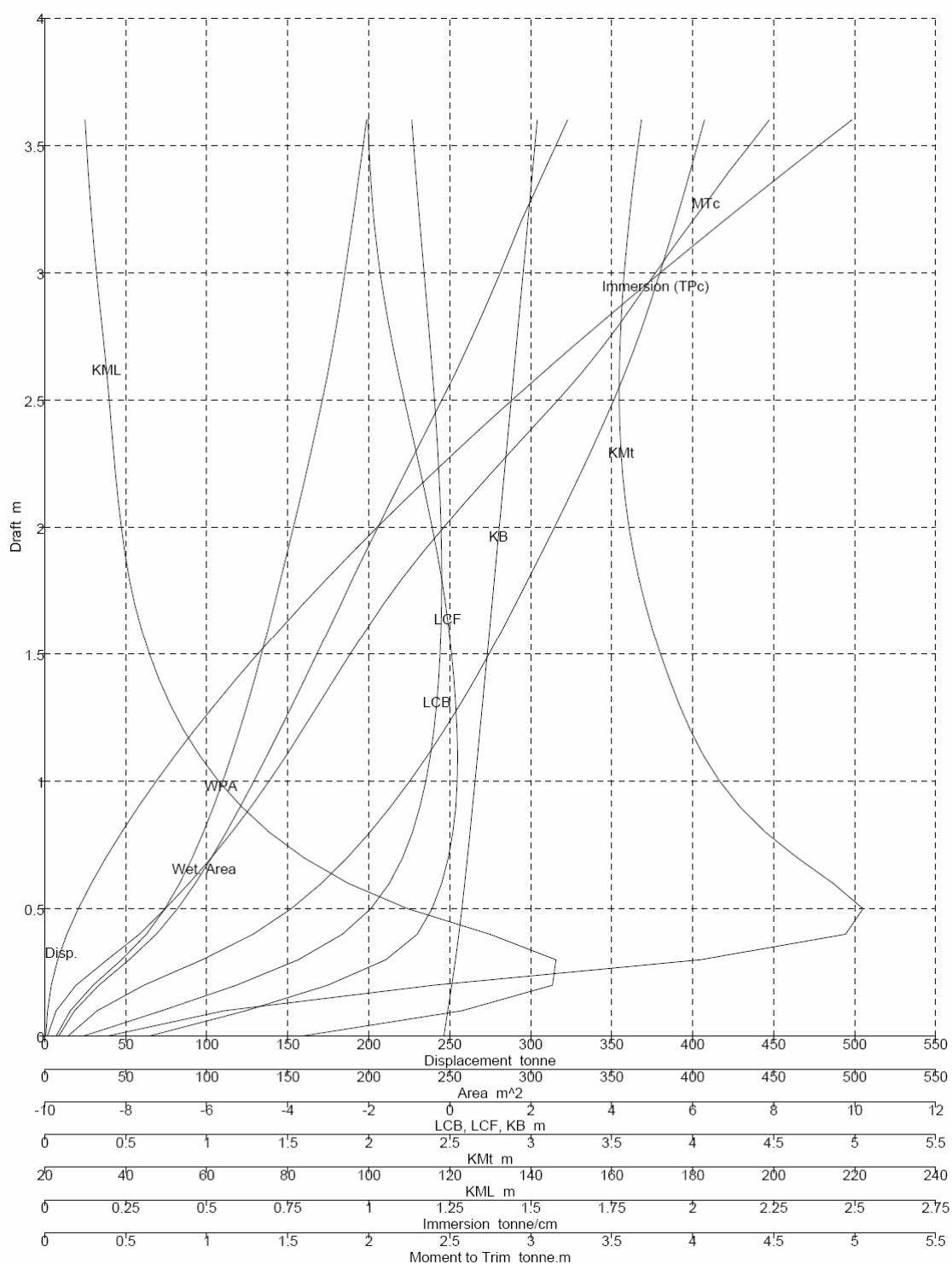


Figura 7. Curvas hidrostáticas para el buque trimado 0.25 metros a proa.

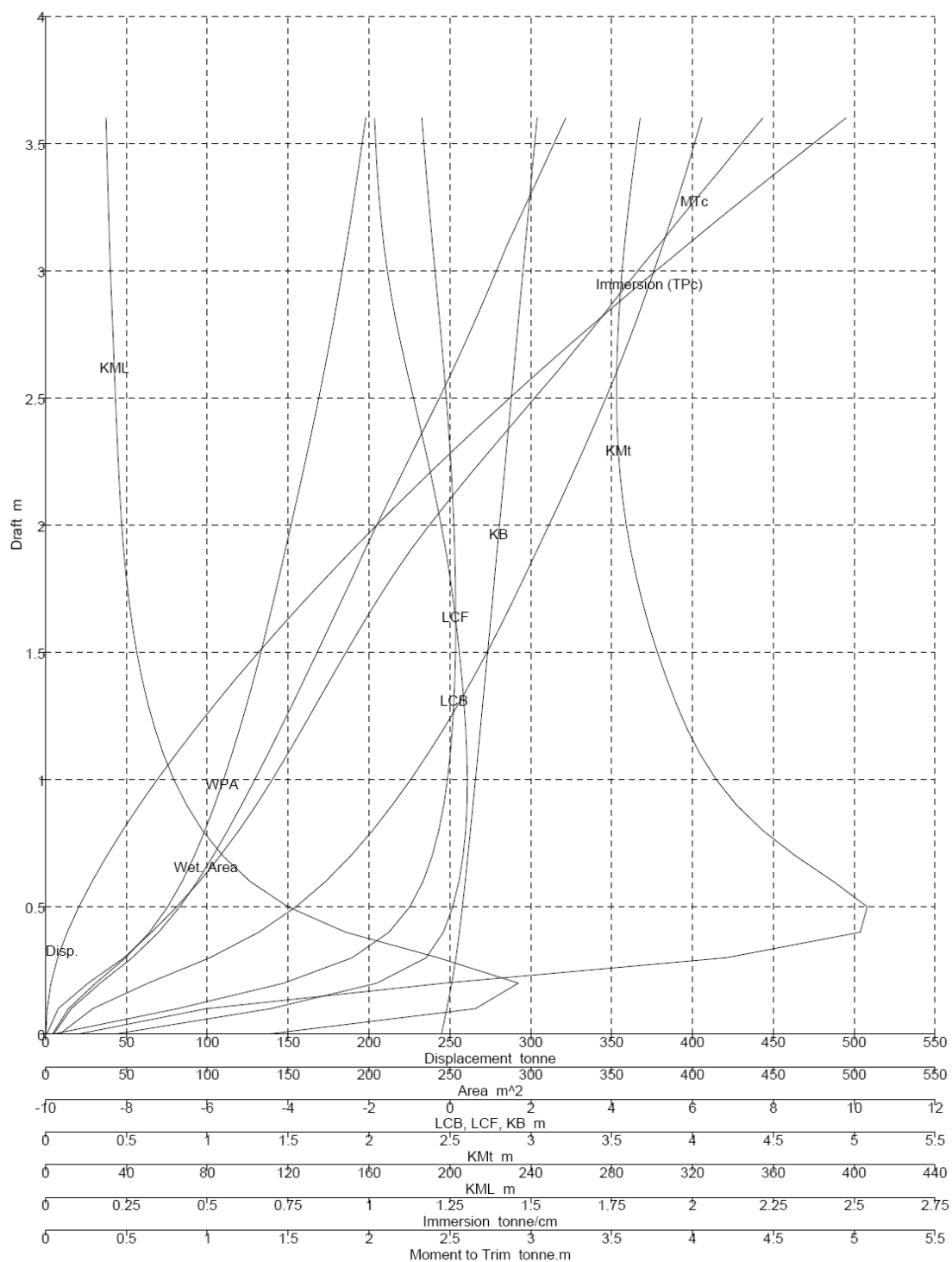


Figura 8. Curvas hidrostáticas para el buque trimado 0.5 metros a proa.

Anexo II: Curvas de carenas inclinadas.

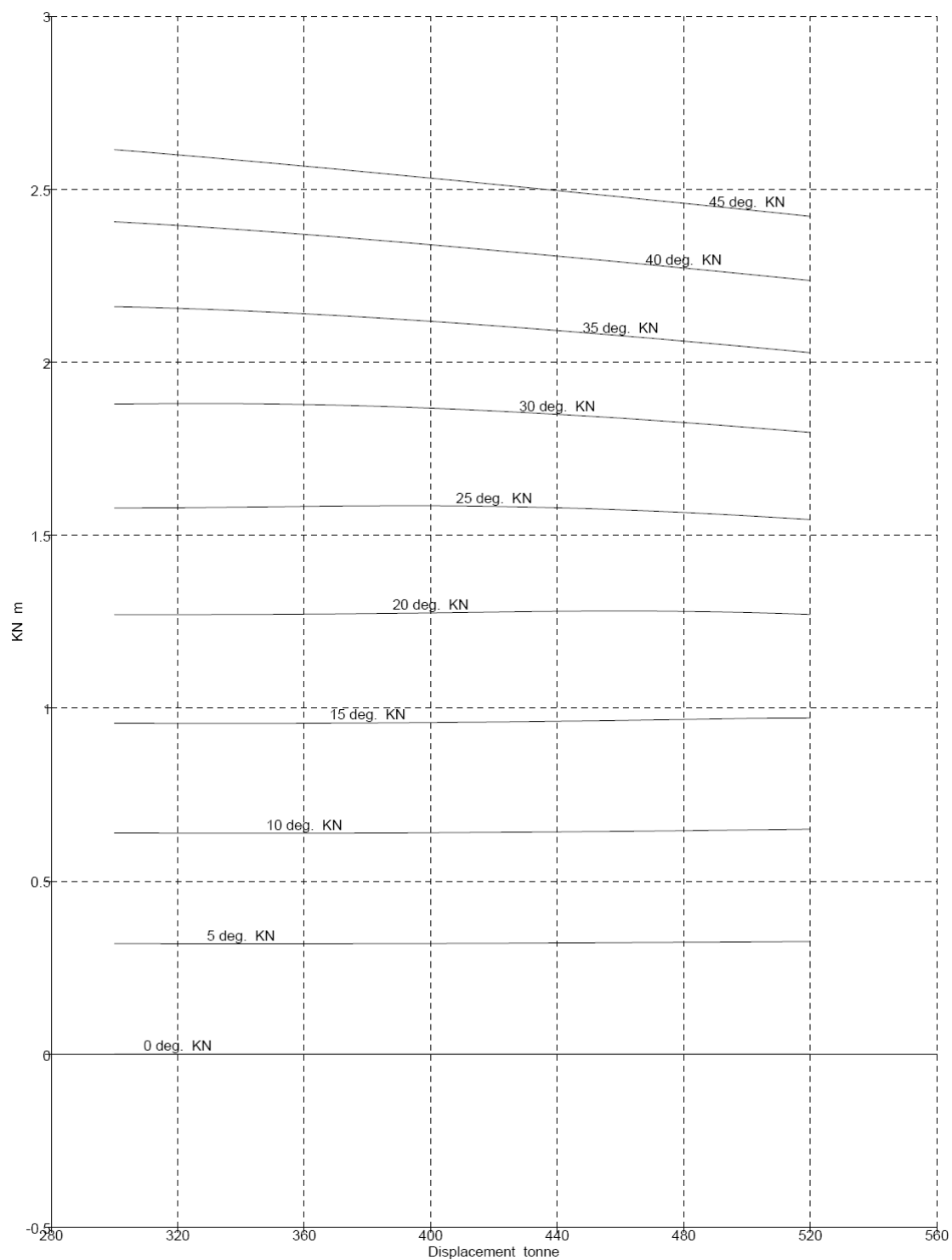


Figura 9. Curvas de carenas inclinadas para un trimado de 1 metro por popa.

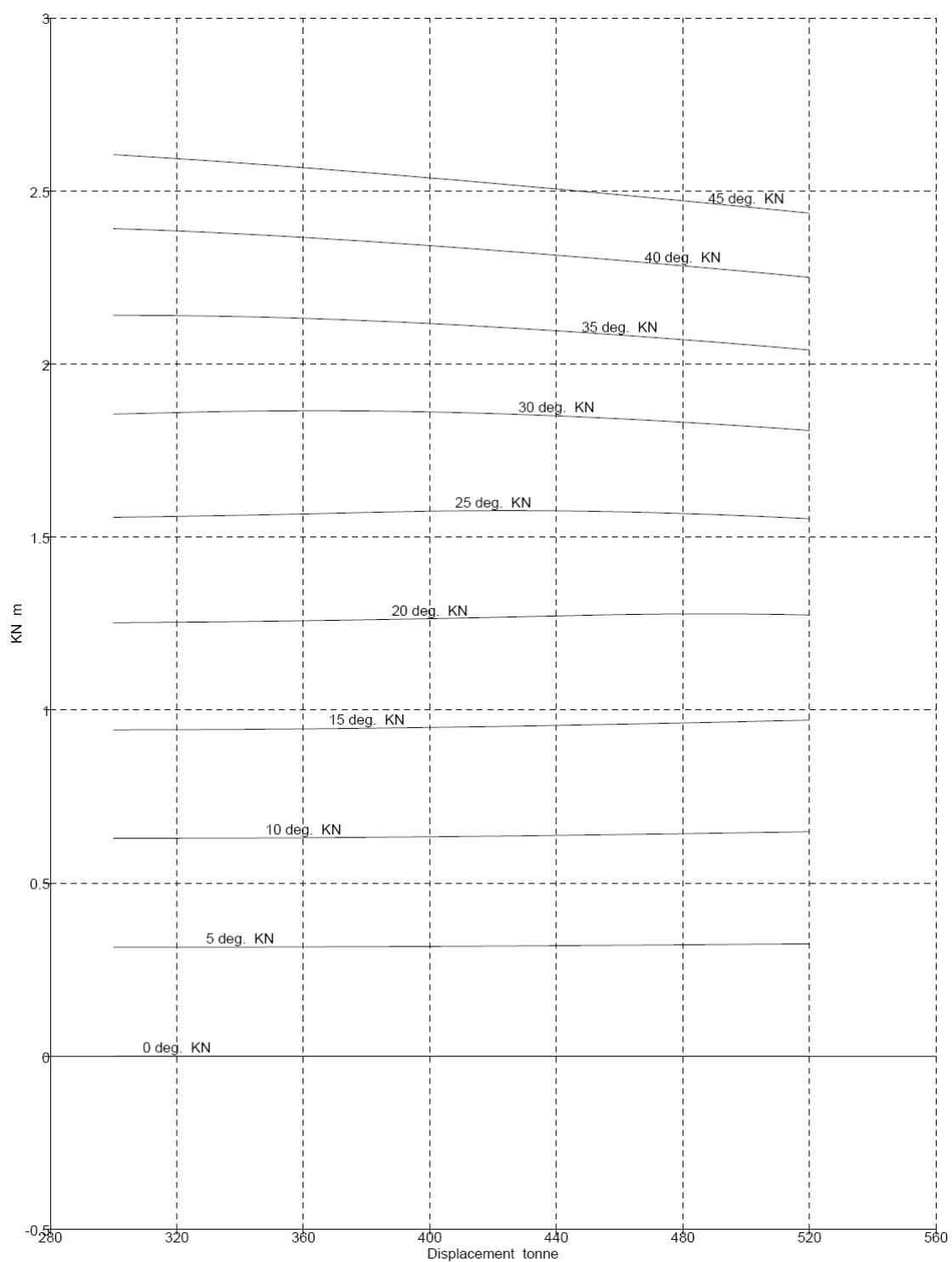


Figura 10. Curvas de carenas inclinadas para un trimado de 0.5 metros por popa.

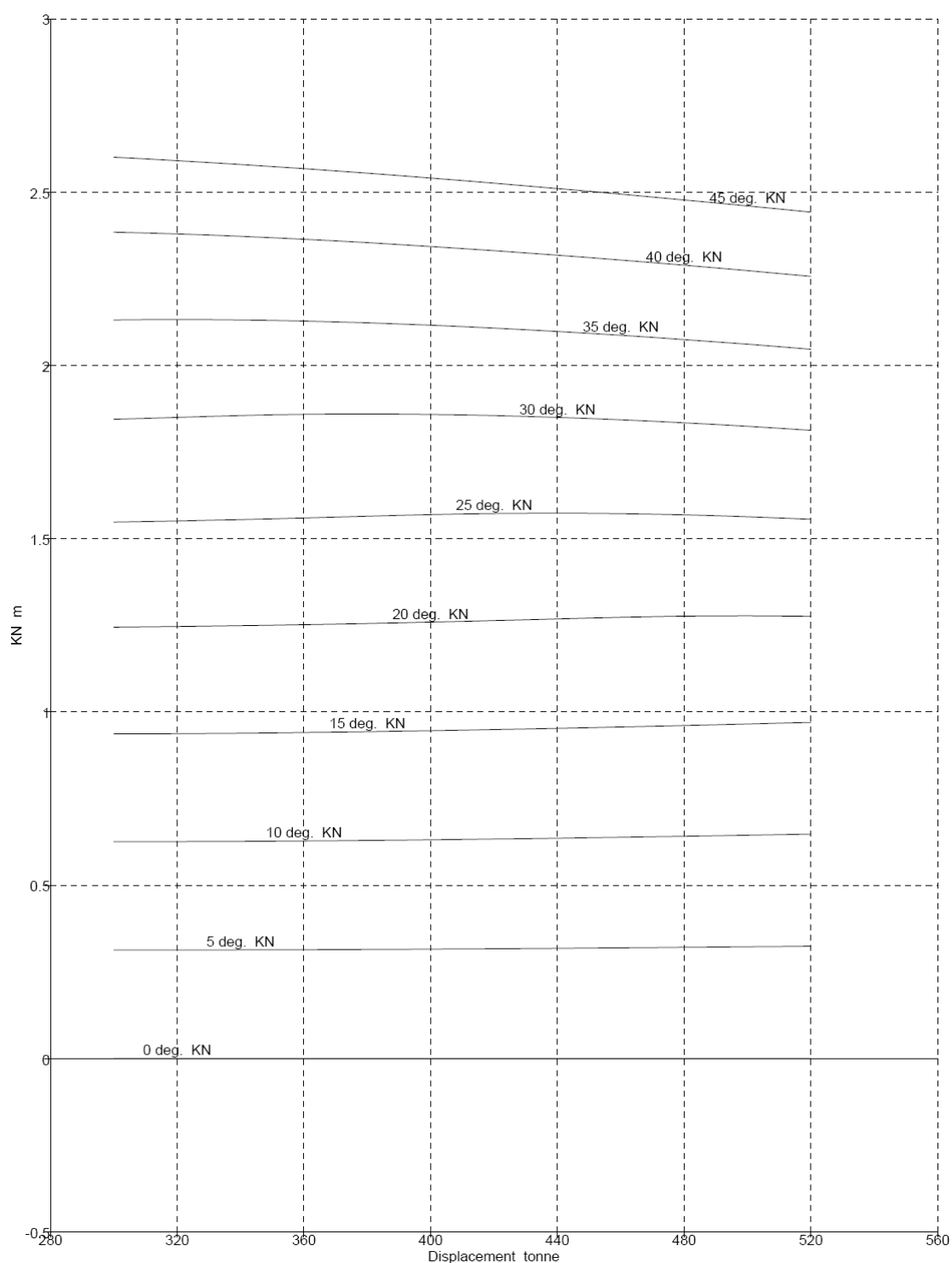


Figura 11. Curvas de carenas inclinadas para un trimado de 0.25 metros por popa.

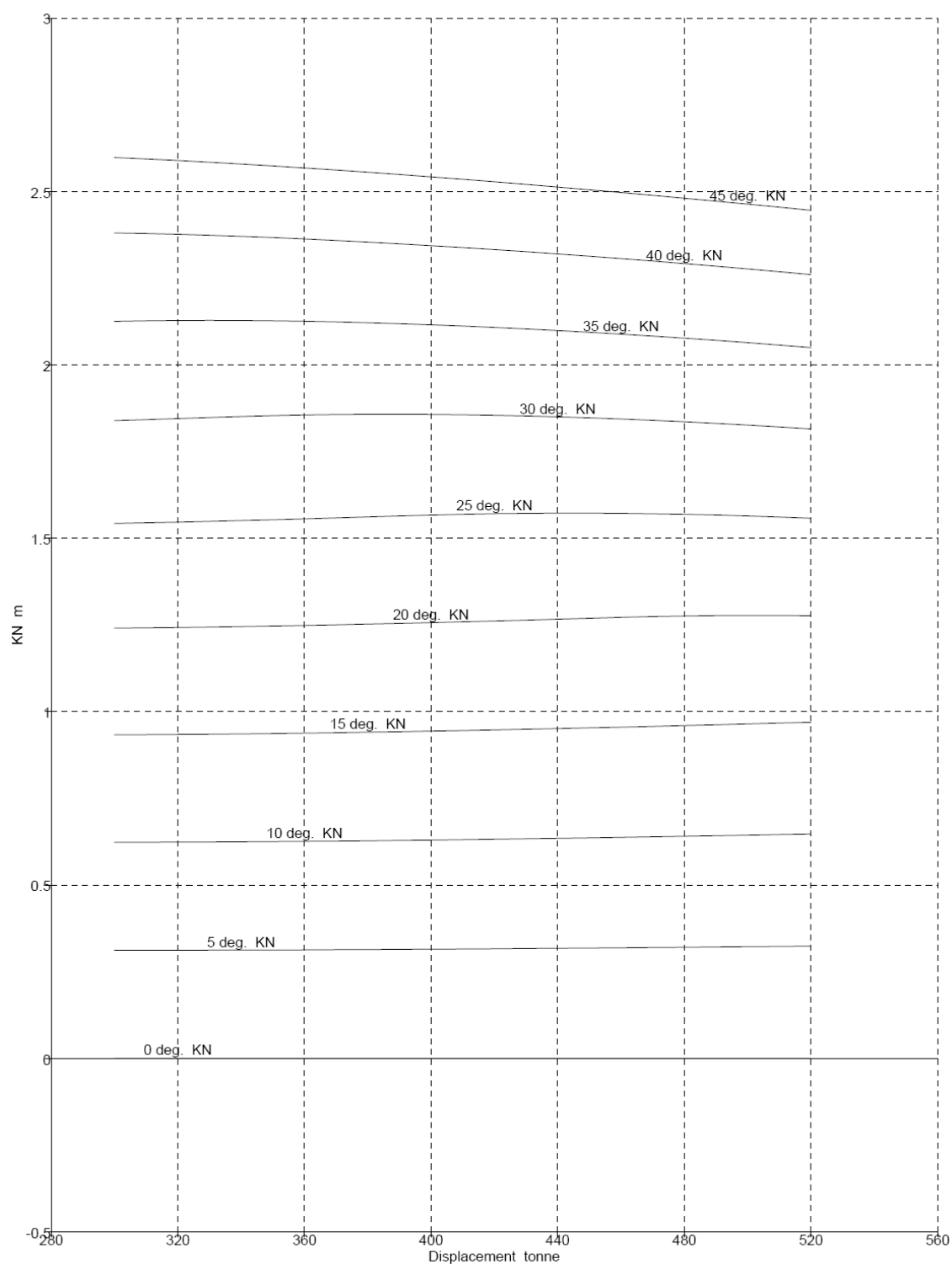


Figura 12. Curvas de carenas inclinadas para un trimado de 0.1 metros por popa.

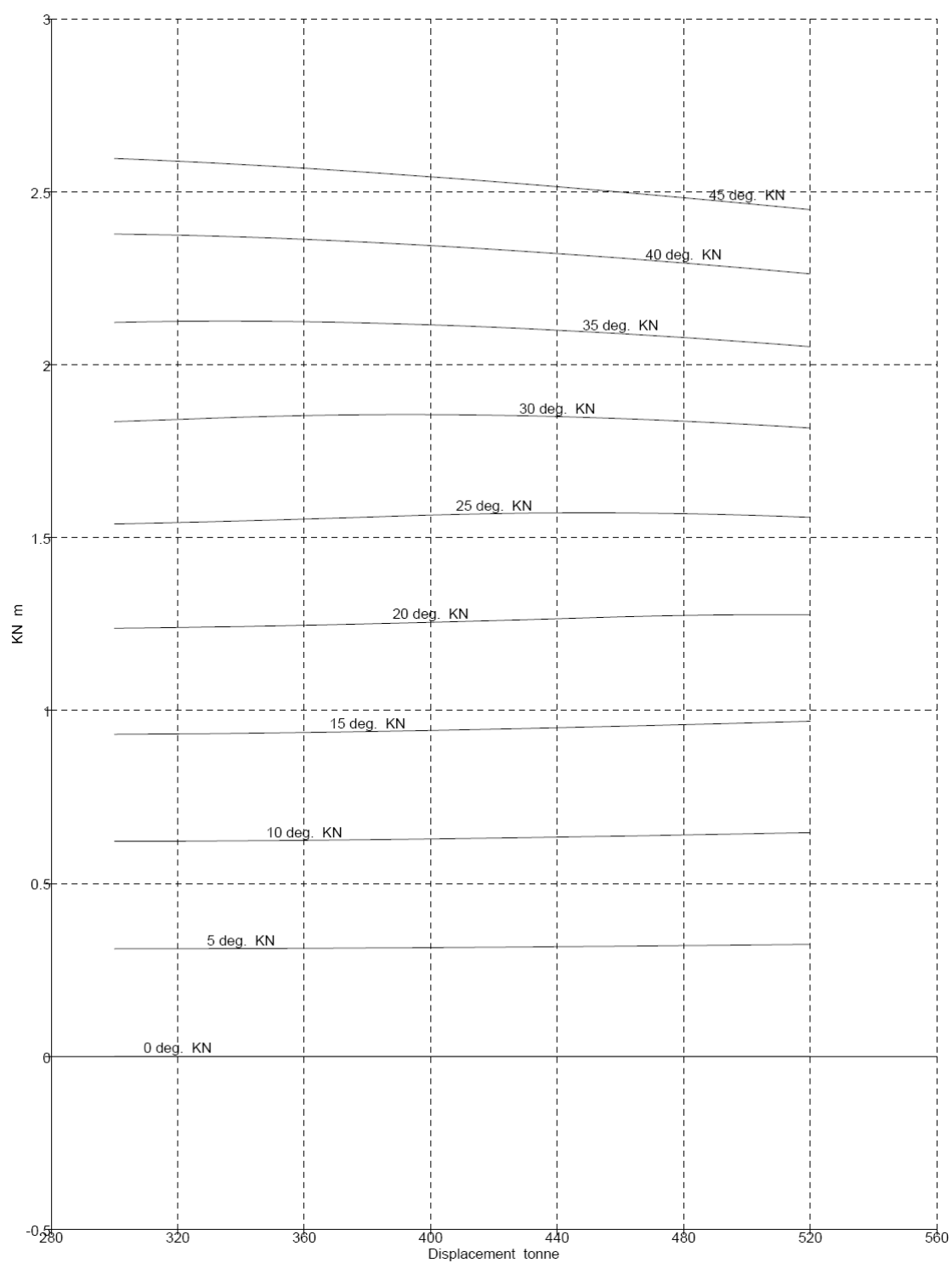


Figura 13. Curvas de carenas inclinadas para el buque sin trimar.

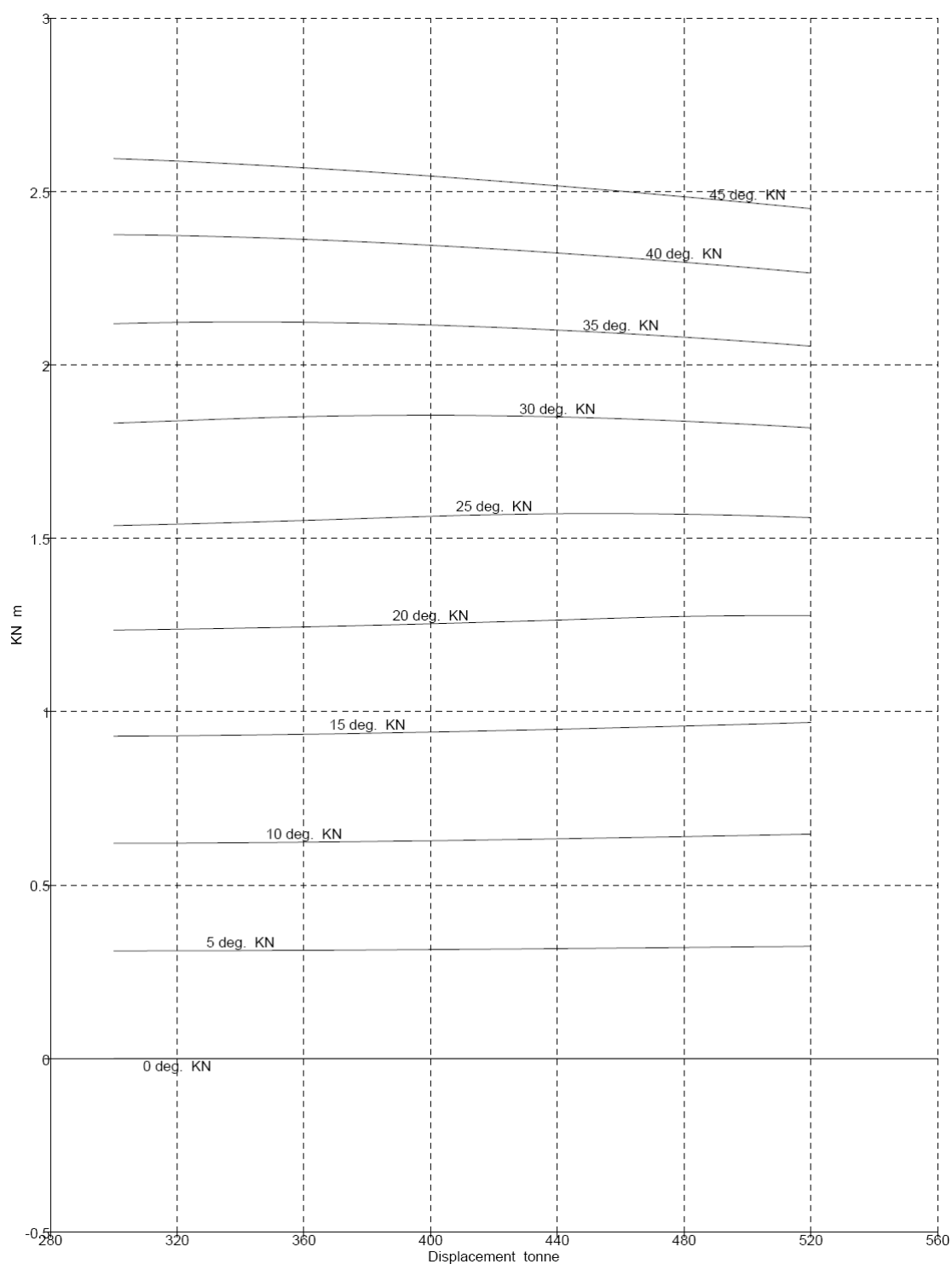


Figura 14. Curvas de carenas inclinadas para un trimado de 0.1 metros por proa.

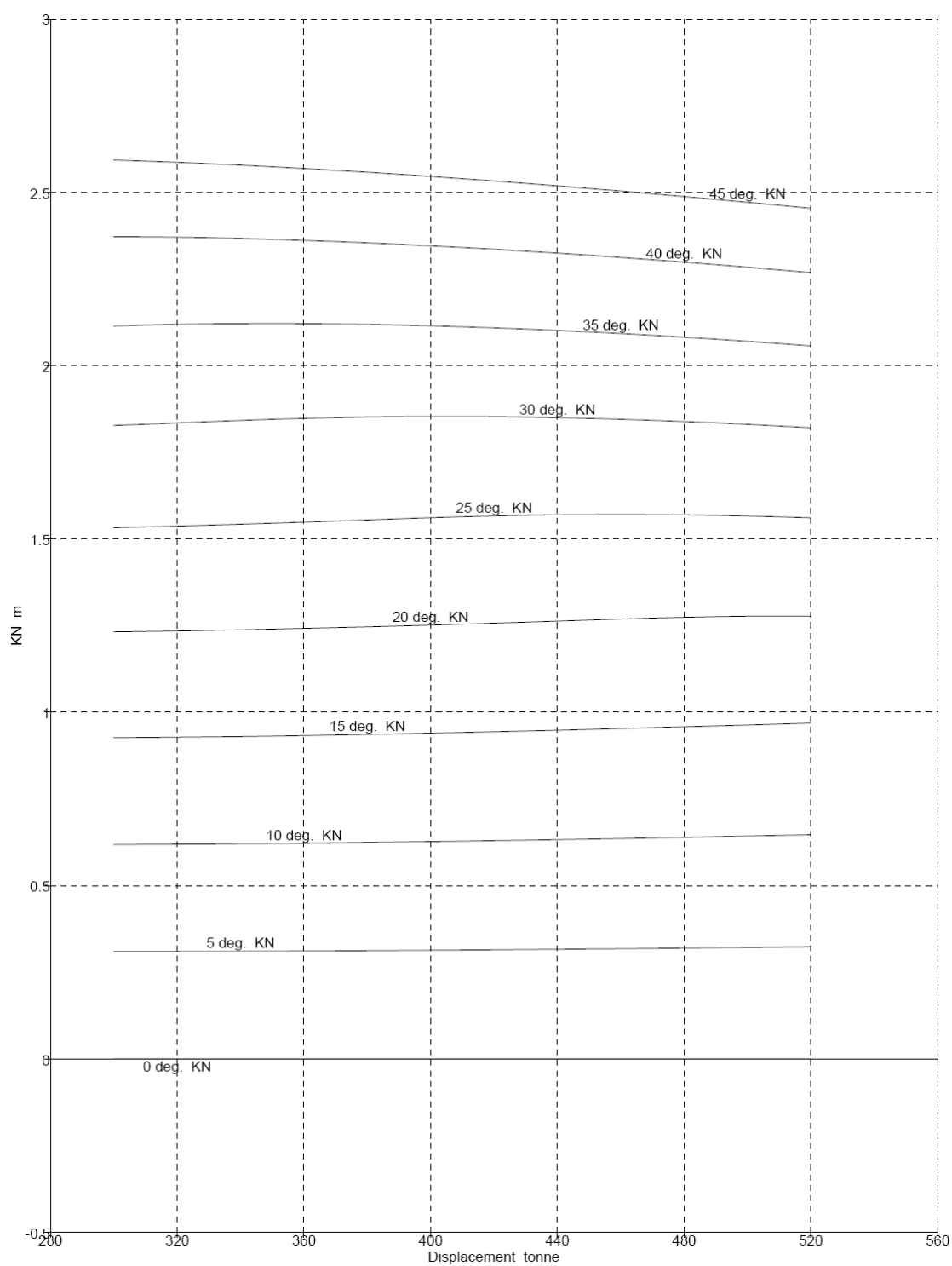


Figura 15. Curvas de carenas inclinadas para un trimado de 0.25 metros por proa.

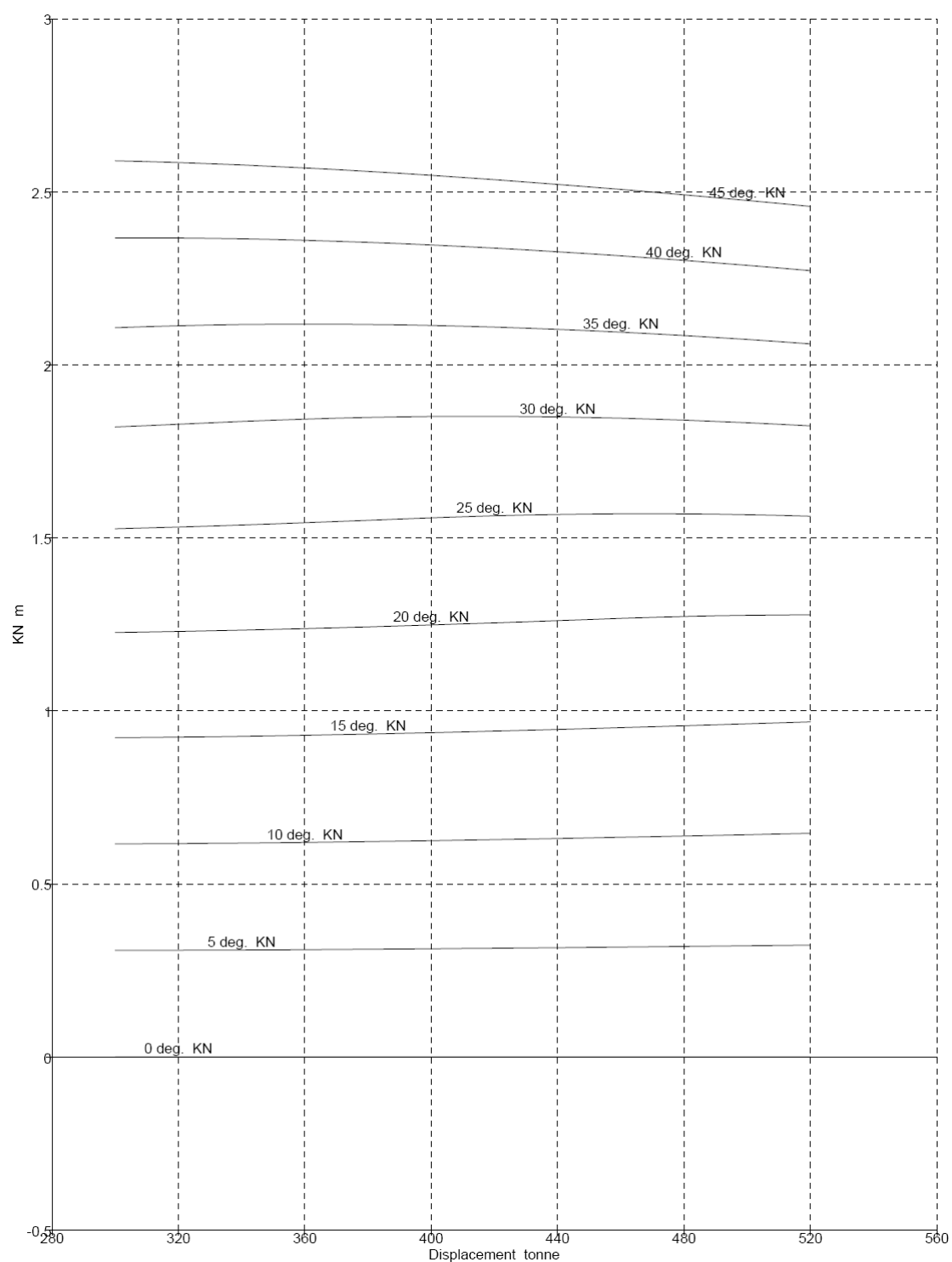
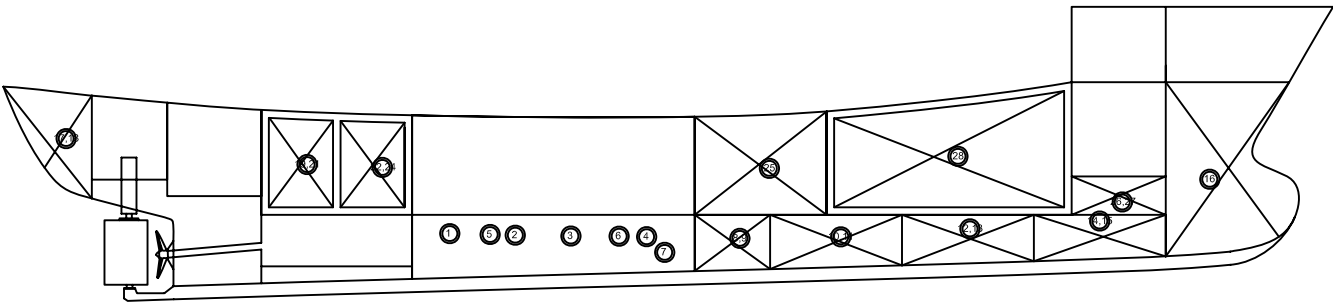
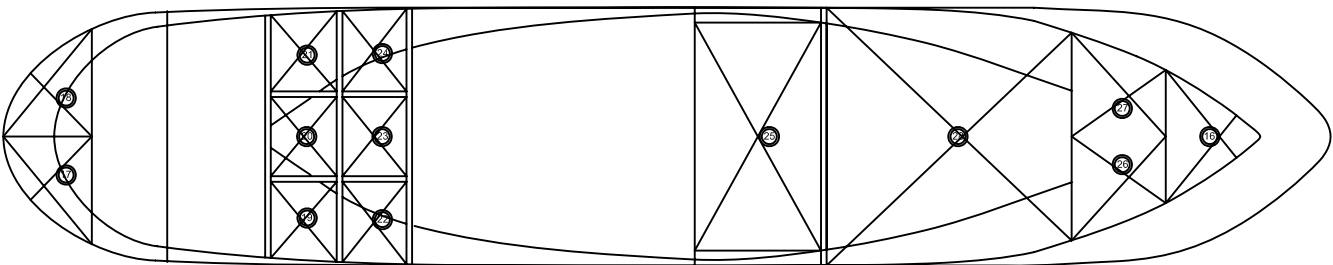


Figura 16. Curvas de carenas inclinadas para un trimado de 0.5 metros por proa.

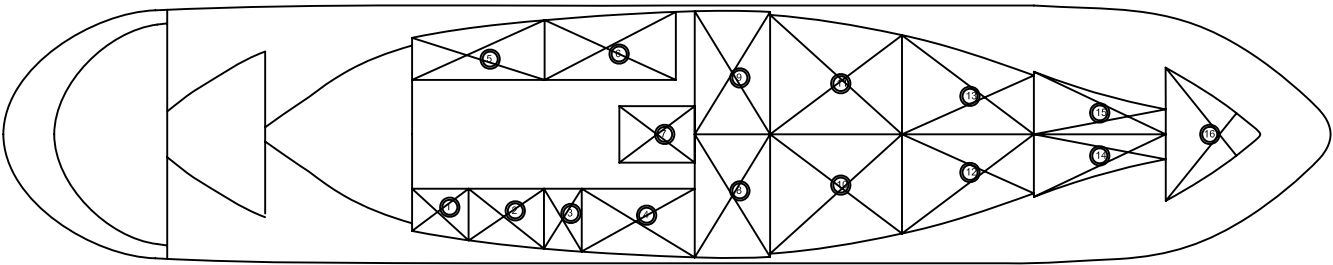
Anexo III: Plano de capacidades y centros de gravedad.



PERFIL



CBTA. DOBLE FONDO



DOBLE FONDO

Nº	Compartimento	Volumen	Xg	Yg	Zg
1	Aceite 1 C. Máquinas (Estribor)	1.439	-6.515	2.051	0.999
2	Aceite 2 C. Máquinas (Estribor)	2.497	-4.762	2.157	0.945
3	Aceite hidráulico (Estribor)	1.774	-3.287	2.226	0.934
4	Tanque de servicio diario (Estribor)	5.233	-1.277	2.276	0.915
5	Agua dulce 1 C.Máquinas (Babor)	3.731	-5.430	-2.117	0.974
6	Agua dulce 2 C.Máquinas (Babor)	5.584	-2.007	-2.261	0.921
7	Tanque de lodos	2.334	-0.798	0.000	0.501
8	Combustible 1 (Estribor)	7.954	1.197	1.590	0.872
9	Combustible 1 (Babor)	7.954	1.197	-1.590	0.872
10	Combustible 2 (Estribor)	12.514	3.876	1.428	0.914
11	Combustible 2 (Babor)	12.514	3.876	-1.428	0.914
12	Combustible 3 (Estribor)	8.281	7.307	1.072	0.914
13	Combustible 3 (Babor)	8.281	7.307	-1.072	0.914
14	Combustible 4 (Estribor)	2.041	10.752	0.604	1.016
15	Combustible 4 (Babor)	2.041	10.752	-0.604	1.016
16	Pique de proa	10.588	13.667	0.000	2.439
17	Combustible popa (Estribor)	7.117	-16.681	1.082	3.525
18	Combustible popa (Babor)	7.117	-16.681	-1.082	3.525
19	Vivero 1 (Estribor)	6.973	-10.287	2.292	2.831
20	Vivero 1 (Central)	12.340	-10.298	0.000	2.766
21	Vivero 1 (Babor)	6.973	-10.287	-2.292	2.831
22	Vivero 2 (Estribor)	9.881	-8.290	2.337	2.754
23	Vivero 2 (Central)	14.339	-8.296	0.000	2.727
24	Vivero 2 (Babor)	9.881	-8.290	-2.337	2.754
25	Tanque estabilizador pasivo	56.548	1.979	0.000	2.730
26	Tanque de lastre (Estribor)	2.533	11.344	0.791	1.836
27	Tanque de lastre (Babor)	2.533	11.344	-0.791	1.836
28	Bodega	105.639	6.985	0.000	3.049

BONITERO DEL CANTÁBRICO

- Disposición general -

1/200

Tutor: Antonio Souto Iglesias
Cotutor: Ander Lasa Gallurralde
Autor: Jose Luis Cercós Pita

Nº Proyecto:
077

BUQUE BONITERO DEL CANTÁBRICO
PROYECTO 077.
CURSO 2009-2010

Cálculo de potencia. Proyecto de propulsores y timones.

DOCUMENTO 6
AUTOR: JOSE LUIS CERCOS PITA
COTUTOR: ANDER LASA GALLURRALDE
TUTOR: ANTONIO SOUTO IGLESIAS

1 Índice de contenidos.

1	<i>Índice de contenidos.</i>	2
2	<i>Especificación del proyecto.</i>	3
3	<i>Objetivos.</i>	4
4	<i>Cálculo de la potencia propulsora.</i>	4
4.1	Estimación de la resistencia al avance.	4
4.2	Potencia instalada.	6
5	<i>Número de líneas de ejes.</i>	6
6	<i>Número de máquinas propulsoras por línea de ejes.</i>	6
7	<i>Definición del tipo de propulsores.</i>	6
8	<i>Características principales de los propulsores.</i>	7
8.1	Definición de los propulsores de la serie B.	7
8.2	Número de palas.	7
8.3	Diámetro máximo del propulsor.	7
8.4	Propulsor de cuatro palas.	8
8.5	Propulsor de cinco palas.	10
8.6	Alternativas de propulsor.	10
8.7	Cavitación.	10
8.8	Definición del propulsor elegido.	12
9	<i>Relación de reducción.</i>	14
10	<i>Cálculo de maniobrabilidad y de las características principales de los timones. Potencia del servo.</i>	14
10.1	Características principales del timón.	14
10.2	Cálculo de maniobrabilidad.	16
10.2.1	Estabilidad de ruta.	16
10.2.2	Facilidad de evolución.	18
10.2.3	Facilidad de cambio de rumbo.	19
10.3	Potencia del servo.	20
10.3.1	Fuerza sobre la pala del timón.	20
10.3.2	Momento máximo sobre la pala del timón.	20
10.3.3	Momento en la mecha del timón.	20
10.4	Velocidad angular.	21
10.5	Potencia del servotimón.	21
10.6	Resumen.	22
11	<i>Croquis del perfil del codaste con propulsores y timones.</i>	23
12	<i>Acrónimos.</i>	23

Especificación del proyecto.

- CLASIFICACIÓN: **Bureau Veritas**
- TRB: **149**
- GT: **230**
- VOLUMEN DE COMBUSTIBLE: **70 m³**
- VOLUMEN DE VIVEROS: **50 m³**
- VELOCIDAD EN PRUEBAS: **12 .5 kn al 90% MCR**
- EQUIPO PROPULSOR: **Motor Diesel**
- ALOJAMIENTOS: **15 tripulantes**
- ASPECTOS ADICIONALES:
 - 1.- El buque dispondrá de una planta de oxigenación del agua de viveros.
 - 2.- El buque dispondrá de un tanque estabilizador pasivo que reduzca al menos un 50% el movimiento de balance durante la maniobra de pesca.
 3. Se presentará además una planificación para la construcción asociada a los medios de un astillero de la sociedad PYMAR del que se disponga de información suficiente.

3 Objetivos

En este documento nos disponemos a realizar la predicción de potencia necesaria en el buque para propulsarlo a la velocidad de 12.5 nudos que impone la especificación del proyecto.

Con esta información abordaremos principalmente tres puntos.

- Potencia instalada que debe disponer nuestro buque, o lo que es lo mismo, potencia nominal del motor principal que moverá el propulsor.
- Propulsor adecuado, o más concretamente alternativas de propulsores viables, ya que la decisión del propulsor que se empleará finalmente se realizará en el siguiente cuaderno, cuando se conozca el motor principal.
- Dimensionamiento del timón.

De esa forma podremos, en primera instancia conocer los datos necesarios para poder elegir un motor principal adecuado en el siguiente cuaderno, y ofrecer las alternativas de propulsores posibles que cumplirían su misión eficazmente, y con la mayor eficiencia posible.

En el cuaderno siguiente, cuando elijamos el motor, podremos al mismo tiempo seleccionar la hélice de entre las alternativas que nos resulten en este cuaderno, y la reductora más adecuada a nuestros intereses, caso de ser necesaria.

Además, una vez dimensionado el timón, y con los datos de velocidad, potencia, y propulsores candidatos del barco, podremos calcular estimaciones sobre la maniobrabilidad del mismo, y comprobar que, los parámetros de maniobrabilidad, cumplen con los criterios y recomendaciones de la sociedad de clasificación.

4 Cálculo de la potencia propulsora.

4.1 Estimación de la resistencia al avance.

Cuando estudiábamos las formas, en el cuaderno 3, ya estimamos la curva de potencia velocidad.

Esta predicción la llevábamos a cabo mediante el método de Amadeo (ref. [3]), que nos predecía la potencia EHP (en realidad nos informa de la resistencia en Newtons, pero basta multiplicar por la velocidad para obtener la potencia), y que nosotros convertíamos en BHP suponiendo un rendimiento propulsivo de 0.6, y un rendimiento mecánico de 0.97.

El resultado final era el siguiente:

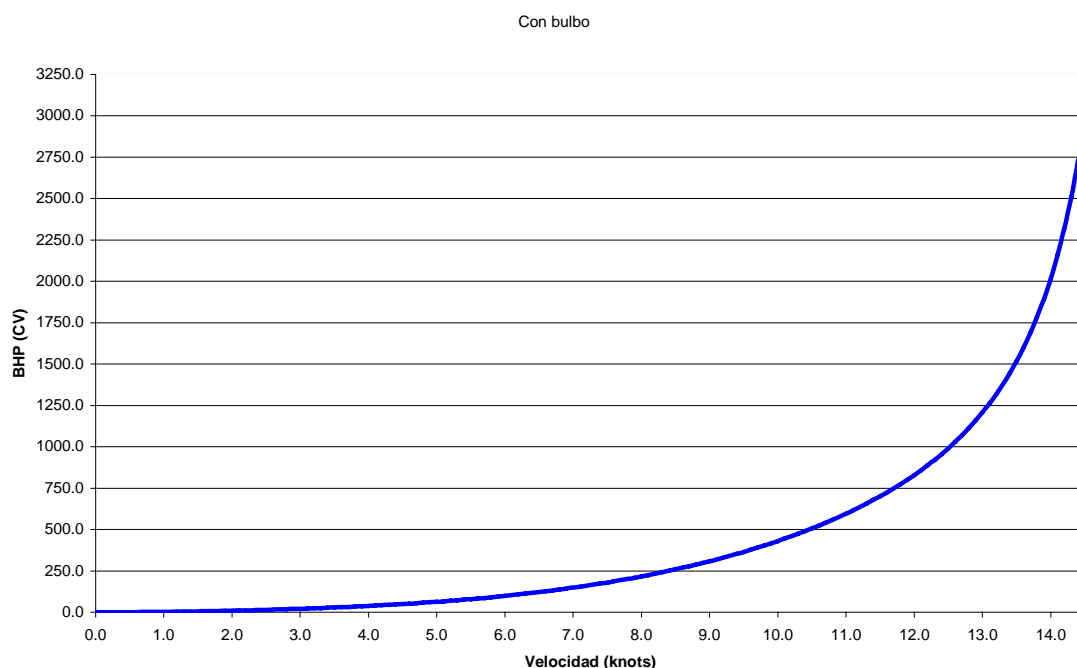


Figura 1. Curva de potencia velocidad.

Lo que, a 12.5 nudos implica una potencia entregada al freno de 991.7 caballos.

Conviene repetir que el valor devuelto por la regresión de Amadeo es el valor más fiable del que disponemos por ahora, puesto que Amadeo realizó esta regresión con buques pesqueros, dando estimaciones para este tipo de buques dentro de los siguientes intervalos:

$$\begin{aligned} 25 \text{ m} < L < 60 \text{ m} \\ 0.25 < F_n < 0.40 \\ 0.095 < \frac{C_b \cdot B}{L} < 0.165 \end{aligned}$$

Por tanto los buques pesqueros que, como el nuestro, se encuentren en esos intervalos, disponen de una regresión específicamente realizada para ellos, lo que reduce el error. La regresión de Amadeo está además harto validada y contrastada.

Es cierto que los códigos CFD viscosos, que en nuestro caso no han sido empleados, pueden llegar a dar estimaciones con errores realmente pequeños, pero su fiabilidad es más bien escasa, y pueden dar resultados aparentemente razonables que en cambio estén muy alejados de la realidad.

Como ya mencionábamos en el cuaderno 3, los códigos CFD tienen una gran utilidad en la optimización de formas, y como tal fueron empleados en dicho cuaderno, puesto que aunque los valores devueltos por estos programas no son del todo fiables, en calidad comparativa, es decir, comparando resultados de casos similares, si resultan mucho más fiables. En nuestro caso los empleamos para conocer los potenciales beneficios de incorporar un bulbo.

También podríamos habernos planteado usar otras regresiones que tal vez sean más famosas, como la regresión de Holtrop. No obstante, son menos específicas y ello lleva a errores mayores.

Por tanto, a falta de pruebas en canal de ensayos, la fuente más fiable y contrastada de información de la que disponemos es la regresión de Amadeo.

4.2 Potencia instalada.

Por supuesto, la especificación indica que los 12.5 nudos que el buque debe alcanzar son al 90% del MCR.

Por tanto la potencia instalada debe ser mayor:

$$P = \frac{BHP}{0.9} = \frac{991.7}{0.9} CV = 1101.9 CV \rightarrow \text{Ec. 1}$$

Necesitamos pues una potencia instalada de algo más de 1000 caballos. En el siguiente capítulo elegiremos el motor principal capaz de entregar esa potencia.

5 Número de líneas de ejes.

Este tipo de buques disponen normalmente de una única línea de ejes por las siguientes razones:

1. La potencia propulsora no es demasiado grande, y por tanto no es necesario dividirla en dos ejes pues se podrá encontrar, casi con toda probabilidad, un propulsor adecuado a los efectos.
2. Al ser la potencia tan pequeña, los problemas de calentamiento también lo sea, haciendo innecesario incorporar dos líneas de ejes.
3. El espacio disponible no sea suficiente para situar dos líneas de ejes, aunque sea mediante arbotantes.
4. El precio de construcción sería considerablemente mayor, para unos posibles efectos beneficiosos (Las hélices se encuentran bastante más al exterior de la estela del buque, lo que por norma general mejora su comportamiento) que probablemente no serían demasiado notables.
5. Con toda seguridad aumentaría el peso de la estructura.
6. Se encarecería el mantenimiento.

Todas ellas, muy buenas razones para optar por un solo propulsor.

Así pues nuestro buque dispondrá de una única línea de ejes en cruz.

6 Número de máquinas propulsoras por línea de ejes.

Aún no se ha elegido la maquinaria, pero dada la potencia instalada necesaria, la mejor opción es un único motor principal para la línea de ejes, a la que se estudiará acoplar un generador de cola, y que probablemente necesitará de una caja reductora, ya que los motores como este, que son relativamente pequeños, suelen ser motores rápidos comparado con la velocidad de rotación normal de un propulsor.

Por supuesto esto no exime del cumplimiento de la normativa y de las necesidades eléctricas del buque, y por tanto no excluye la incorporación de las máquinas auxiliares, y de la disposición de alimentación de emergencia.

7 Definición del tipo de propulsores.

El propulsor será una hélice a popa movida por el motor principal, mediante una caja reductora si fuera necesario, o en caso de encontrar un motor adecuado, directamente acoplada al eje.

Las principales características del propulsor se estudiarán en el **apartado 8** de este mismo documento.

Se adelanta que la hélice, estando en una fase tan prematura del proyecto, se diseñará de acuerdo a la serie B de Wageningen. Se podrían hacer estudios mejores, y probablemente obtener propulsores mejores, pero es muy posible que en las sucesivas vueltas a la espiral de proyecto cambien ligeramente las formas de popa, se obtenga información mejor de la estela del barco mediante ensayos en canal, y se modifiquen gran cantidad de parámetros relacionados con la hélice, por tanto creemos que no es buena idea invertir un mayor esfuerzo en esta fase de proyecto.

8 Características principales de los propulsores.

Para el estudio de las características del propulsor emplearemos la serie B de Wageningen, que de una forma parecida a lo que ocurría con la regresión de Amadeo, es una información suficientemente validada, y la única posible en cuanto a series sistemáticas públicas se refiere, que contempla un barco del tipo de aquél que nos ocupa.

8.1 Definición de los propulsores de la serie B.

La serie B en realidad es un conjunto de series sistemáticas divididas en familias de propulsores. Las características principales de los propulsores son:

- Perfiles de arco de círculo para $r/R > 0.7$, y de tipo ala de avión para los demás.
- Ley lineal para los espesores máximos.
- Familias de 2, 3, 4, 5, 6, y 7 palas.
- Ley de paso constante en toda la pala, salvando la familia de 4 palas, que reduce el paso un 20% en el núcleo del propulsor.

8.2 Número de palas.

En la actualidad este tipo de buques emplean propulsores de 4 o 5 palas, y nosotros optaremos por estudiar ambas alternativas para después elegir aquella que sea más conveniente.

8.3 Diámetro máximo del propulsor.

Las formas de popa no admiten un propulsor mayor a 2.12 metros, pero además no es buena idea usar un propulsor de esas dimensiones, pues su proximidad al casco produce problemas de cavitación y ruidos.

En ref. [20] se nos recomienda que:

$$D = \frac{H_{\max}}{1.07} = \frac{2.12}{1.07} m = 1.98 m \rightarrow \text{Ec. 2}$$

Por otra parte, la sociedad de clasificación establece que las claras al casco no pueden ser inferiores a ninguno de estos valores:

$$\begin{aligned} C_{\min 1} &= 0.65 \cdot \alpha \cdot D \\ C_{\min 2} &= 0.20 \cdot D \end{aligned} \rightarrow \text{Ec. 3}$$

Donde el parámetro alfa se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\alpha = \frac{(Cb \cdot F)^{2/3}}{8 \cdot L} = \frac{(0.51 \cdot 1100)^{2/3}}{8 \cdot 29.6} = 0.29 \rightarrow \text{Ec. 4}$$

F es la potencia por eje.

Es decir, la clara mínima deberá estar comprendida entre uno de los siguientes valores:

$$\begin{aligned} C_{min1} &= 0.19 \cdot D \\ C_{min2} &= 0.20 \cdot D \end{aligned} \rightarrow \text{Ec. 5}$$

Siendo más restrictivo el segundo criterio, que exige claras mayores.

Por tanto, el espacio disponible permitiría una hélice de un diámetro máximo tal que se cumpla la siguiente ecuación:

$$E = 2 \cdot C_{min} + D = 0.4 \cdot D + D = 1.4 \cdot D \rightarrow \text{Ec. 6}$$

Es decir, el diámetro máximo admisible por la sociedad de clasificación es el siguiente:

$$D = \frac{E}{1.4} = \frac{2.12}{1.4} \text{ m} = 1.61 \text{ m} \rightarrow \text{Ec. 7}$$

Criterio más restrictivo al obtenido mediante Ec. 2. Por tanto se empleará un propulsor de un diámetro máximo de 1.61m.

8.4 Propulsor de cuatro palas.

Para el empleo de la serie B se necesita comenzar calculando la relación de áreas (área desarrollada frente al área del disco mínima). En un principio no disponemos de esa información, pero podemos obtenerla mediante el criterio de Keller de cavitación:

$$\frac{A_D}{A_o} = \frac{(1.3 + 0.3 \cdot Z) \cdot T}{g \cdot (1.026 \cdot h_{l.e.} + 10100) \cdot D^2} + k \rightarrow \text{Ec. 8}$$

Este criterio nos marca la relación mínima de áreas para que no exista cavitación. En Ec. 3 necesitamos algunos datos:

Z : Es el número de palas, en este caso 3.

T : El empuje que debe ejercer la hélice, y que debemos calcular.

g : Aceleración de la gravedad.

$h_{l.e.}$: Profundidad de inmersión de la hélice. Se puede obtener de las formas, y es de 2.6 metros.

D : Es el diámetro del propulsor, en nuestro caso el máximo.

k : Un factor, que para buques de una sola hélice pasa a valer 0.2.

Por tanto necesitamos conocer el valor del empuje ejercido por la hélice, que por definición es:

$$T = \frac{R_T}{1 - t} \rightarrow \text{Ec. 9}$$

Donde R_T es la resistencia al avance, que nosotros hemos estimado mediante la regresión de Amadeo, siendo 67324.6 N. Y t es el coeficiente de succión, que podemos estimar según la expresión de Taylor:

$$t = 0.6 \cdot w_e \rightarrow \text{Ec. 10}$$

Que relaciona el coeficiente de succión con el de estela efectivo, para el cuál nos ofrece la siguiente estimación:

$$w_e = 0.5 \cdot Cb - 0.05 = 0.5 \cdot 0.51 - 0.05 = 0.205 \rightarrow \text{Ec. 11}$$

Lo que nos da un coeficiente de succión de:

$$t = 0.6 \cdot 0.205 = 0.123$$

Lo que, entrando en **Ec. 9**, nos da un empuje del propulsor de:

$$T = \frac{R_T}{1-t} = \frac{67324.6}{1-0.123} N = 76770 N$$

Así pues podemos ya resolver la **Ec. 8** para obtener la relación mínima de áreas:

$$\frac{A_D}{A_o} = \frac{(1.3 + 0.3 \cdot 4) \cdot 76770}{9.81 \cdot (1.026 \cdot 2.6 + 10100) \cdot 1.98^2} + 0.2 = 0.694 \rightarrow \text{Ec. 12}$$

A esta relación le sumamos un 5% en concepto de coeficiente de seguridad, teniendo, por tanto, una relación de áreas de 0.729.

Una vez elegido el propulsor, emplearemos el criterio de Burril para asegurarnos de que no exista cavitación.

Ahora, para un rango razonable de revoluciones del propulsor calculamos:

$$\delta = \frac{n \cdot D}{v_a} \rightarrow \text{Ec. 13}$$

$$Bp = \frac{n \cdot \sqrt{DHP}}{v_a^{2.5}} \rightarrow \text{Ec. 14}$$

Siendo n las revoluciones por minuto, v_a la velocidad en aguas libres en nudos, D el diámetros, en nuestro caso el máximo, y DHP la potencia entregada a la hélice en caballos de potencia.

La velocidad en aguas libres se calcular por su definición:

$$v_a = v(1 - w_e) = 12.5(1 - 0.205) = 9.94 \text{ kn} \rightarrow \text{Ec. 15}$$

Y la potencia entregada a la hélice aplicando los rendimientos mecánico del eje, y roto-relativo. Podemos asumir el rendimiento roto-relativo como 1, y el mecánico del eje como 0.9.

$$DHP = \frac{BHP \cdot \eta_m \cdot \eta_{rr}}{\rho_{as}} = 870.8 \text{ HP} \rightarrow \text{Ec. 16}$$

Entrando con esos valores en el gráfico B4-70 que nos ofrece la serie B obtenemos los rendimientos y las relaciones paso/diámetro para cada n .

El máximo rendimiento lo encontramos para **240 rpm**, con un **rendimiento en aguas libres de 0.575**, y una relación **paso-diámetro de 0.97**.

Este rendimiento se puede convertir al rendimiento cuasi-propulsivo teniendo en cuenta que:

$$\eta_D = \eta_0 \cdot \eta_H \cdot \eta_{rr} \rightarrow \text{Ec. 17}$$

$$\eta_H = \frac{1 - w_e}{1 - t} \rightarrow \text{Ec. 18}$$

Lo que nos da un rendimiento **cuasi-propulsivo de 0.518**. Valor un tanto bajo en comparación con el estimado a la hora de utilizar Amadeo.

8.5 Propulsor de cinco palas.

Nuevamente aplicamos el criterio de Keller (**Ec. 3**), donde ahora es todo conocido:

$$\frac{A_D}{A_o} = \frac{(1.3 + 0.3 \cdot 5) \cdot 76770}{9.81 \cdot (1.026 \cdot 2.6 + 10100) \cdot 1.98^2} + 0.2 = 0.737 \rightarrow \text{Ec. 19}$$

Valor al que añadimos un 5% en concepto de factor de seguridad, quedando ahora la relación de áreas en 0.774.

Y entramos en la curva B 5-75 para una serie de revoluciones, obteniendo el máximo rendimiento propulsivo para **250 rpm** con un **rendimiento en aguas libres de 0.615**, y una **relación paso/diámetro de 0.91**.

Al igual que antes podemos calcular el **rendimiento cuasi-propulsivo**, que será **de 0.567**, valor más cercano al 0.6 con el que se estimó el rendimiento cuasi-propulsivo al realizar la predicción de potencia instalada.

8.6 Alternativas de propulsor.

Finalmente, las dos alternativas que planteamos para el buque son las siguientes:

Hélice de cuatro palas:

- 1.61 m de diámetro.
- Relación de áreas de 0.73.
- Velocidad nominal de 240 rpm.
- Relación paso-diámetro de 0.97.
- Rendimiento cuasi-propulsivo de 0.52.

Hélice de cinco palas:

- 1.61 m de diámetro.
- Relación de áreas de 0.77.
- Velocidad nominal de 250 rpm.
- Relación paso-diámetro de 0.91.
- Rendimiento cuasi-propulsivo de 0.57.

Como se observa, la hélice de cinco palas presenta un rendimiento claramente mayor, y por tanto será la hélice adecuada para nuestro buque.

8.7 Cavitación.

A la hora de elegir los propulsores hemos aplicado el criterio de Keller para obtener la relación de áreas de tal forma que no apareciera cavitación en el propulsor, ya que es un criterio de fácil aplicación, no obstante la fiabilidad de este criterio no es buena, y por tanto debemos aplicar un criterio más fiable. En este caso vamos a tomar el criterio de Burril.

La aparición de la cavitación esta condicionada a que el número de cavitación sea superior al cociente entre la presión estática y la presión dinámica:

$$\sigma \geq \frac{p}{\frac{1}{2}\rho V^2} \rightarrow \text{Ec. 20}$$

La presión estática se suele tomar como el siguiente valor:

$$p = \frac{T}{A_p} \rightarrow \text{Ec. 21}$$

Mientras que la velocidad se suele tomar la de un punto en la sección característica del propulsor, 0.8R:

$$V^2 = V_A^2 + (\pi \cdot n \cdot 0.8 \cdot R)^2 \rightarrow \text{Ec. 22}$$

De esta forma, el punto crítico de cavitación queda como sigue:

$$\sigma = \frac{\frac{T}{A_p}}{\frac{1}{2}\rho(V_A^2 + (\pi \cdot n \cdot 0.8 \cdot R)^2)} \rightarrow \text{Ec. 23}$$

Por otro lado, el número de cavitación es el siguiente:

$$\sigma_{0.8R} = \frac{P_{0.8R} - e}{\frac{1}{2}\rho(V_A^2 + (\pi \cdot n \cdot 0.8 \cdot R)^2)} \rightarrow \text{Ec. 24}$$

El numerador de la anterior expresión se puede sustituir en virtud de la siguiente ecuación:

$$P_{0.8R} - e = 10159 + 1026 \cdot i_{0.8R} \rightarrow \text{Ec. 25}$$

Siendo $i_{0.8R}$ la inmersión del punto considerado, que se obtiene según:

$$i_{0.8R} = Tpp + a - (h + 0.4D) \rightarrow \text{Ec. 26}$$

Donde:

Tpp es el calado en la perpendicular de popa.

a es la altura de la ola, que podemos considerar de un 5% de la eslora.

h es la altura del eje sobre la línea base.

En este caso la inmersión del propulsor es la siguiente:

$$i_{0.8R} = 3.80 + 1.48 - (1.28 + 0.4 \cdot 1.61) \text{m} = 3.36 \text{m} \rightarrow \text{Ec. 27}$$

De tal forma que el término de presión vale:

$$P_{0.8R} - e = 10159 + 1026 \cdot 3.36 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} = 13606 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \rightarrow \text{Ec. 28}$$

Y recuperando la ecuación 24 obtenemos el siguiente número de cavitación:

$$\sigma_{0.8R} = \frac{13606}{\frac{1}{2} \cdot 1026 \left((9.94 \cdot 0.514)^2 + \left(\pi \cdot \frac{250}{3600} \cdot 0.8 \cdot 0.8 \right)^2 \right)} = 1.02 \rightarrow \text{Ec. 29}$$

Y despejando de la ecuación 26 tenemos que:

$$A_{pmin} = \frac{T}{\sigma \frac{1}{2} \rho (V_A^2 + (\pi \cdot n \cdot 0.8 \cdot R)^2)} = 1.15 \text{m}^2 \rightarrow \text{Ec. 30}$$

Luego el propulsor no puede disponer de un área proyectada menor a 1.15m^2 , o probablemente existirán fenómenos de cavitación, con todas las consecuencias negativas que ello tiene.

Para conocer el área proyectada de nuestro propulsor comenzamos calculando el área del disco del mismo:

$$A_0 = \pi R^2 = \pi \left(\frac{1.61}{2} \right)^2 \text{m}^2 = 2.01 \text{m}^2 \rightarrow \text{Ec. 31}$$

El área del propulsor es por tanto, a partir de la relación de áreas:

$$A_D = 0.77 \cdot A_0 = 1.55 \text{m}^2 \rightarrow \text{Ec. 32}$$

Este área corresponde a un área proyectada tal que:

$$A_p = \left(1.067 - 0.229 \frac{H}{D} \right) A_D = (1.067 - 0.229 \cdot 0.91) 1.55 \text{m}^2 = 1.33 \text{m}^2 \rightarrow \text{Ec. 33}$$

Por tanto el área proyectada del propulsor es superior al área mínima a la que aparecerá cavitación, con un factor de seguridad tal que:

$$\eta = \frac{A_p}{A_{pmin}} = \frac{1.33}{1.15} = 1.16 \rightarrow \text{Ec. 34}$$

8.8 Definición del propulsor elegido.

El propulsor elegido para este buque es un propulsor de 5 palas de 1.61m de diámetro, cuyo punto óptimo de funcionamiento se encontrará a un régimen de 250rpm.

La relación área/disco del propulsor será de 0.77, y la relación paso diámetro media será de 0.91.

Para poder hacer el núcleo de la hélice lo más reducido posible se emplearán pasos pequeños en la parte baja de la hélice. De la misma forma, para descargar el borde de la pala, evitando así cavitación y turbulencia que reduzcan el rendimiento del propulsor se emplearán también bajos pasos. Para llevar esto a cabo se usará una ley de distribución del paso diámetro una ley parabólica, donde el máximo paso se situará a $0.7R$.

El núcleo de la hélice ocupará el 20% del diámetro total del propulsor.

La ley parabólica debe por tanto responder a la siguiente expresión:

$$\frac{H}{D} = A(\%R)^2 + B(\%R) + C \rightarrow \text{Ec. 35}$$

Para este estudio identificaremos la relación paso-diámetro con y , y la posición radial con x :

$$y = \frac{H}{D} \rightarrow \text{Ec. 36}$$
$$x = \%R$$

La zona con mayor relación paso diámetro la podemos situar en $0.7R$, lo que permite un paso mayor cerca de la sección $0.8R$, dejando también descargar la hélice en el borde de la pala. El máximo paso lo podemos encontrar según la siguiente expresión:

$$y' = 2Ax + B = 0 \rightarrow \text{Ec. 37}$$

Y como hemos fijado x en 0.7 , podemos establecer la constante B en función de la constante A :

$$B = -2Ax = -1.4A \rightarrow \text{Ec. 38}$$

Por otra parte, si el máximo se encuentra más próximo al borde de la pala que al núcleo, quiere decir que el mínimo valor del paso se dará en el núcleo, valor que podemos forzar a que sea un 97% del paso medio:

$$y = 0.97 \frac{H}{D} = 0.88 = Ax^2 + Bx + C = A \cdot 0.2^2 + B \cdot 0.2 + C \rightarrow \text{Ec. 39}$$

La ecuación 39, en virtud de la ecuación 38, la podemos reescribir de forma que tengamos C en función de A :

$$C = 2.76 \cdot A + 0.88 \rightarrow \text{Ec. 40}$$

Y por tanto, la ley parabólica se puede escribir como sigue:

$$y = Ax^2 - 1.4Ax + 2.76A + 0.88 \rightarrow \text{Ec. 41}$$

A la ley parabólica debemos imponerle que la relación paso-diámetro media sea igual a 0.91 :

$$\frac{H}{D} = 0.91 = \frac{\int_{x=0.2}^{x=1} y dx}{0.8} \rightarrow \text{Ec. 42}$$

La integral de la parábola resulta como sigue:

$$\int y dx = \frac{Ax^3}{3} - \frac{1.4Ax^2}{2} + (2.76A + 0.88)x \rightarrow \text{Ec. 43}$$

Que en los límites elegidos resulta según:

$$\int_{x=0.2}^{x=1} y dx = 1.867A + 0.704 \rightarrow \text{Ec. 44}$$

Combinando las ecuaciones 42 y 44 tenemos el valor del parámetro A :

$$\begin{aligned} 0.8 \cdot 0.91 &= 0.728 = 1.867A + 0.704; \\ A &= 0.013 \end{aligned} \rightarrow \text{Ec. 45}$$

De esta forma, la ley de pasos queda como se ilustra en la siguiente figura:

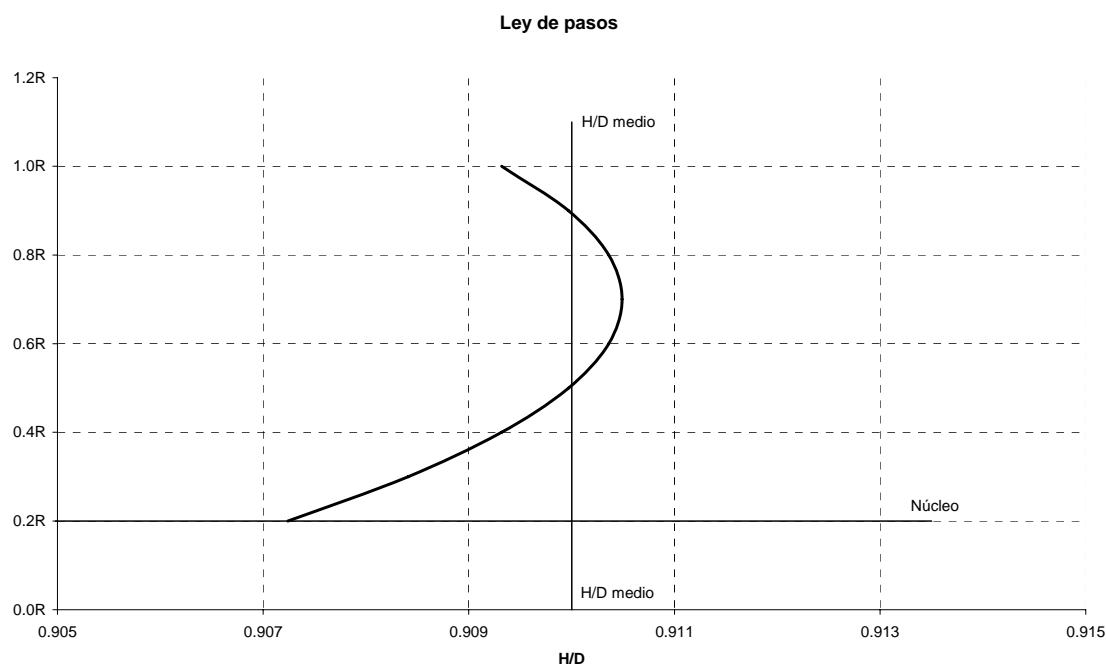


Figura 2. Ley de pasos del propulsor elegido.

El rendimiento cuasi-propulsivo se podrá estimar en 0.57.

9 Relación de reducción.

No podemos conocer la relación de reducción hasta no haber elegido la máquina motriz, o motor principal, pues será esta elección la que marcará la relación de reducción apropiada, que casi con total seguridad será necesaria.

En cualquier caso será en el siguiente cuaderno donde estudiaremos la reductora necesaria.

10 Cálculo de maniobrabilidad y de las características principales de los timones. Potencia del servo.

10.1 Características principales del timón.

Tomando las recomendaciones de la sociedad de clasificación, y las conclusiones presentes en ref. [23], podemos imponer una serie de criterios para conocer las dimensiones ideales de nuestro timón.

Con esos criterios no quedará más remedio que ir probando valores para conocer todas las alternativas viables.

La sociedad de clasificación, Bureau Veritas, marca un límite máximo para la altura del timón en función del espacio disponible en el codaste, según:

$$H_{\max} = 0.86 \cdot H_{\text{codaste}} \rightarrow \text{Ec. 46}$$

Como la altura en el codaste es de 2.12 metros, la altura máxima es de:

$$H_{\max} = 0.86 \cdot 2.12 \text{ m} = 1.82 \text{ m} \rightarrow \text{Ec. 47}$$

En un principio no existe ventaja en usar timones que no aprovechen toda la altura posible, no al menos si esta está en gran parte tras el propulsor, por tanto en nuestro caso usaremos la altura máxima como altura del timón.

$$H = 1.82 \text{ m} \rightarrow \text{Ec. 48}$$

Por otra parte, DNV, que no es la sociedad de clasificación de este buque, y por tanto no puede imponer criterios sobre nuestro buque, recomienda un área mínima. Este criterio no es impositivo, pero es una recomendación que nos puede ser de ayuda.

El área mínima del timón será de:

$$A_{\min} = \frac{L_{pp} \cdot C_m}{100} \left(1 + 25 \left(\frac{B}{L_{pp}} \right)^2 \right) = \frac{29.6 \cdot 3.407}{100} \left(1 + 25 \left(\frac{7.2}{29.6} \right)^2 \right) = 2.5 \text{ m}^2 \rightarrow \text{Ec. 49}$$

En ref. [23] D. Antonio Baquero sugiere que la relación de espesores debe estar comprendida entre el 15% y el 23% para evitar que existan problemas de desprendimiento de la capa límite.

$$0.15 \cdot c < t < 0.23 \cdot c \rightarrow \text{Ec. 50}$$

La altura del timón y la cuerda deben tener una relación comprendida entre 1.4 y 2.0.

$$\frac{H}{2} < c < \frac{H}{1.4} \rightarrow \text{Ec. 51}$$

Los valores límites para la cuerda son 0.91 metros y 1.3 metros. Podemos elegir en primera instancia el valor medio:

$$c = 1.1 \text{ m} \rightarrow \text{Ec. 52}$$

Esta decisión es muy discutible, pero en el estado actual del proyecto intentar llegar más lejos no tendría demasiado sentido. Por otra parte, recuperando **Ec. 19**, podemos elegir un espesor máximo del timón tal que:

$$t = 0.2 \cdot c = 0.22 \text{ m} \rightarrow \text{Ec. 53}$$

Podemos elegir para el timón un perfil NACA-0022, que es uno de los más populares en este tipo de aplicaciones. Por supuesto estos perfiles son simétricos.

La definición matemática de estos perfiles es:

$$\frac{y}{c} = \frac{t}{0.2} \left(0.2969 \cdot \sqrt{\frac{x}{c}} - 0.1260 \cdot \frac{x}{c} - 0.3516 \cdot \left(\frac{x}{c} \right)^2 + 0.2843 \cdot \left(\frac{x}{c} \right)^3 - 0.1015 \cdot \left(\frac{x}{c} \right)^4 \right) \rightarrow \text{Ec. 54}$$

Que nos devuelve la posición transversal del punto en función de su posición longitudinal, todo ello normalizado con la cuerda del timón.

El perfil del timón resultante es el siguiente:

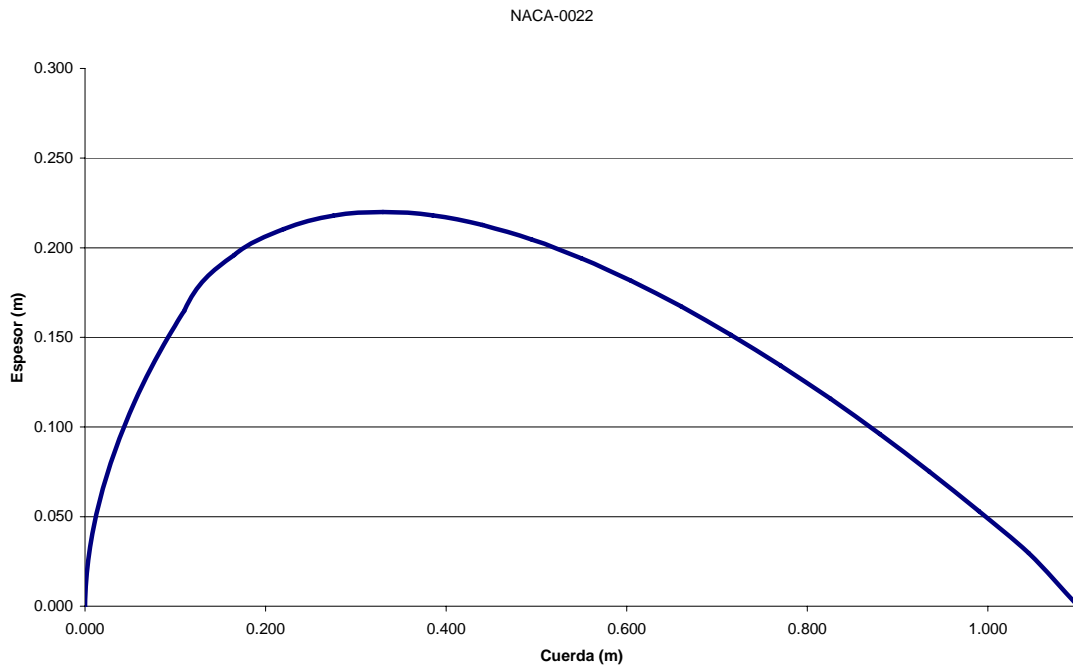


Figura 3. Perfil NACA-0022

10.2 Cálculo de maniobrabilidad.

Con el timón elegido vamos a calcular la maniobrabilidad esperable del buque.

10.2.1 Estabilidad de ruta.

La estabilidad de ruta mide la capacidad del buque de mantener una ruta fija, no necesariamente recta..

Para la medida de la estabilidad de ruta se puede medir el radio del ciclo de histéresis, que es el radio del círculo que describe el buque antes de entrar en un movimiento estacionario, describiendo una trayectoria circular.

Se ha comprobado experimentalmente que este valor está íntimamente ligado al coeficiente T_t de la ecuación de Nomoto.

$$a = 18.12 - \frac{46.43}{T_t} \rightarrow \text{Ec. 55}$$

Siendo a el radio de histéresis de la trayectoria en grados.

El índice T_t de Nomoto representa físicamente la relación inercia/amortiguamiento hidrodinámico y puede calcularse a partir de la siguiente expresión:

$$T_t = \frac{(K_I^2 + K_J^2)}{d_1 \cdot (1 + G)}$$

K_I es el radio de inercia de masa del buque respecto del eje vertical que pasa por el centro de gravedad. su valor oscila entre 0.24 y 0.26, y por tanto lo tomaremos como 0.25.

K_J es el radio de inercia del agua arrastrada, que depende de la geometría de la carena. Podemos emplear el siguiente gráfico para determinarlo.

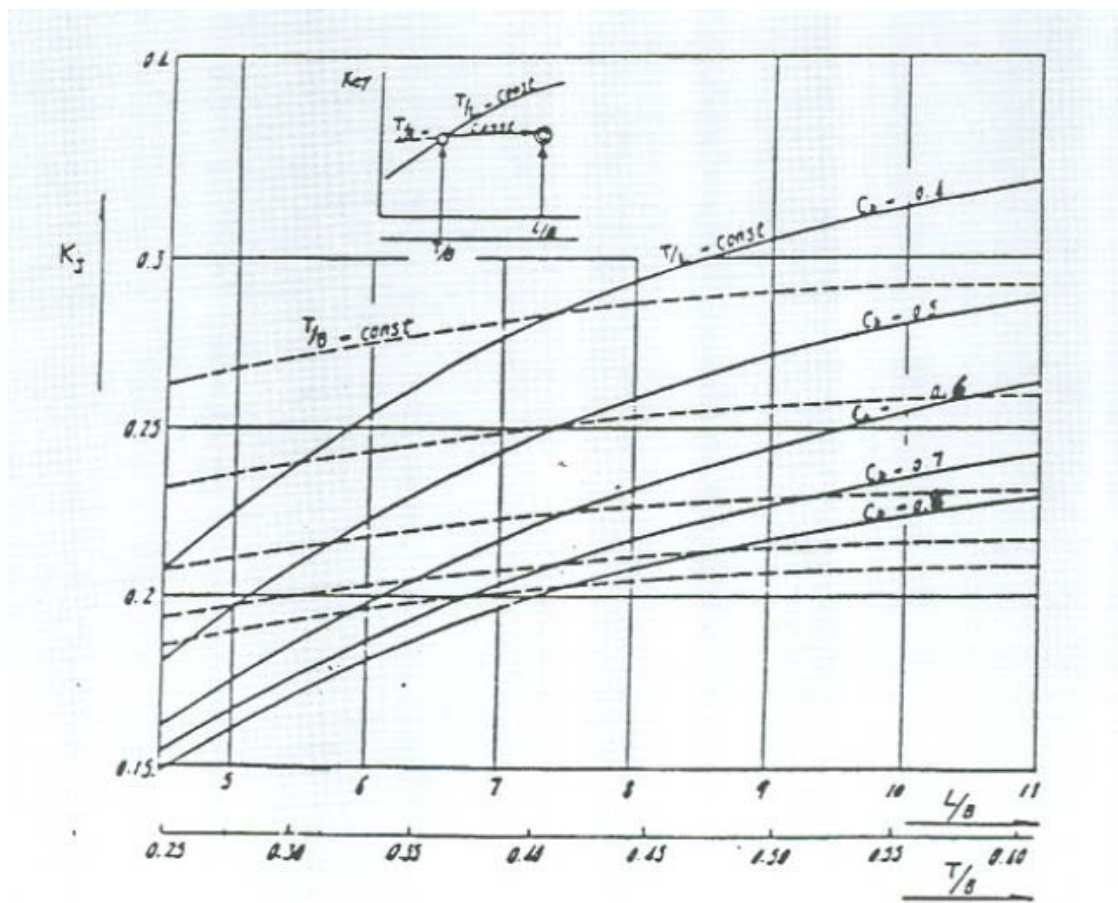


Figura 4. Radios de inercia del agua arrastrada.

Lo que nos da aproximadamente 0.22.

d_1 se define según:

$$d_1 = \frac{I_1}{L_{pp}} - \left[0.5 - \frac{X_B}{L_{pp}} \right] \rightarrow \text{Ec. 56}$$

Donde podemos aproximar el primer término con las siguientes regresiones:

$$W = \frac{L_{pp}}{B \cdot Cb^2} \left[1 + 25 \frac{C_{pp} - C_{pr}}{L_{pp}} \right]$$

$$F = \frac{C_{Ft}}{\delta} (1 - w^2) \frac{A}{L_{pp} \cdot C_m} \cdot W$$

$$\frac{I_1}{L_{pp}} = 0.27 + 0.258 \cdot (F + 0.38)^{0.39}$$

Pero para poder aplicar las anteriores expresiones necesitamos conocer el ángulo de desprendimiento (ángulo de Stall), que se puede estimar con la siguiente expresión:

$$\delta = 7.11 \cdot \left(1 + \frac{t}{c} \right) \cdot \left(1 + \frac{1.25}{\lambda} \right) \cdot \left(1 + 0.048 \sqrt{\ln \left(1 + 8 \frac{K_T}{\pi \cdot J^2} \right)} \right) \cdot \frac{H_{timon}}{D_{hélice}} \rightarrow \text{Ec. 57}$$

Con:

$$K_T = \frac{T}{\rho \cdot n^2 \cdot D^4}$$

$$J = \frac{v \cdot (1 - w)}{n \cdot D} \rightarrow \text{Ec. 58}$$

$$\lambda = \frac{H_{timon}}{c}$$

Lo que nos da un ángulo de desprendimiento de $35^\circ 11'$. Entrando con ese valor en **Ec. 25** y siguientes obtenemos:

$$W = 29.3 \rightarrow F = 0.017 \rightarrow \frac{I_1}{L_{pp}} = 0.45 \rightarrow \text{Ec. 59}$$

$$d_1 = 0.45 - \left[0.5 - \frac{13.8}{29.2} \right] = 0.42$$

Finalmente G se define como:

$$G = 0.0193W = 0.0193 \cdot 29.3 = 0.56 \rightarrow \text{Ec. 60}$$

El índice T_t de Nomoto resulta por tanto:

$$T_t = \frac{(0.25^2 + 0.22^2)}{0.42 \cdot (1 + 0.56)} = 0.17 \rightarrow \text{Ec. 61}$$

Lo que nos permite finalmente entrar en **Ec. 24** para conocer el ángulo de histéresis:

$$a = 2.5^\circ \rightarrow \text{Ec. 62}$$

Un valor ligeramente alto pero aceptable.

10.2.2 Facilidad de evolución.

La facilidad de evolución mide la capacidad que tiene el buque de reaccionar ante un imprevisto, y se puede medir por el diámetro del círculo descrito por la trayectoria del buque en giro constante con el timón todo a una banda.



Figura 5. Esquema del diámetro de giro.

Para estimarlo se puede emplear la siguiente regresión:

$$D_g = Lpp \cdot \frac{0.048}{\sin(2\delta)} \cdot \frac{Lpp}{B} \cdot \frac{1}{Cb^2} \cdot \frac{M \cdot v^2}{\left(\frac{\partial F_n}{\partial \delta}\right) \cdot Lpp} \cdot \left[1 + 25 \frac{(C_{pp} - C_{pr})}{Lpp}\right] \rightarrow \text{Ec. 63}$$

Donde:

$$F_n = \frac{F_t}{1 - 0.1639 \cdot \delta} \rightarrow \frac{\partial F_n}{\partial \delta} = \frac{0.1639 \cdot F_t}{(1 - 0.1639 \cdot \delta)^2} \rightarrow \text{Ec. 64}$$

Y M se encuentra en utm.

El diámetro de giro resultante es de 119.3 metros. El límite de este valor es de $4.2 \cdot Lpp$, lo que corresponde a un diámetro de 122.6 metros. Por tanto, el obtenido es un valor aceptable.

10.2.3 Facilidad de cambio de rumbo.

Mide la capacidad del buque de corregir su trayectoria cambiando el timón de una banda a la opuesta. Esta cualidad se mide por el número de Norbin (P):

$$P = K' \left(1 - T_t + T_t \cdot e^{\frac{-1}{T_t}}\right) \rightarrow \text{Ec. 65}$$

Donde:

$$K' = 0.325 \cdot T_t \cdot \frac{\left(\frac{F_t}{\delta}\right) \cdot Lpp}{M \cdot v^2} \cdot \frac{1}{(K_I^2 + K_J^2)} \rightarrow \text{Ec. 66}$$

En nuestro caso el número de Norbin es de 0.360, considerablemente mayor que el límite inferior de 0.314 recomendado.

10.3 Potencia del servo.

10.3.1 Fuerza sobre la pala del timón

La fuerza sobre la pala del timón (en Newtons) viene dada por la siguiente expresión:

$$F_{Timon} = 132 \cdot n_R \cdot A_t \cdot v^2 \cdot r_1 \cdot r_2 \cdot r_3 \rightarrow \text{Ec. 67}$$

Teniendo que: v , es la velocidad marcha avante será de 12.5 nudos, mientras que marcha atrás de supone el cincuenta por ciento la anterior (aproximadamente 6 nudos), n_R se considera igual a 1 en navegación sin restricción, $r_1 = (\lambda + 2)/3$, siendo λ la relación de esbeltez del timón, r_2 se toma 1.1 (marcha avante) y 0.8 marcha atrás y finalmente r_3 se tomará como 1.

Por tanto, marcha avante la fuerza será:

$$F_{Timon}^{Avante} = 132 \cdot 1 \cdot 2.5 \cdot 12.5^2 \cdot 1.33 \cdot 1.1 \cdot 1 = 75400 \text{ N} \rightarrow \text{Ec. 68}$$

Mientras que marcha atrás la fuerza sobre la pala resulta tal que:

$$F_{Timon}^{Atras} = 132 \cdot 1 \cdot 2.5 \cdot 6^2 \cdot 1.33 \cdot 0.8 \cdot 1 = 12640 \text{ N} \rightarrow \text{Ec. 69}$$

Nos interesa principalmente la fuerza máxima que deberá vencer el servo, luego tomaremos la marcha avante.

10.3.2 Momento máximo sobre la pala del timón.

El momento se define como:

$$M_{Timon} = F_{Timon} \cdot r \rightarrow \text{Ec. 70}$$

Donde la distancia del eje al punto de aplicación de la fuerza se puede estimar con:

$$r = b \cdot \left(\alpha - \frac{A_{Comp}}{A} \right) \rightarrow \text{Ec. 71}$$

El área de compensación es el área a proa de la caña. Podemos aproximar ese cociente por 0.20. b es la cuerda del timón, y α , es 0.33 (marcha avante)

$$r = 1.1 \cdot (0.33 - 0.10) \text{ m} = 0.1 \text{ m} \rightarrow \text{Ec. 72}$$

Lo que nos da un momento tal que:

$$M_{Timon} = 75400 \cdot 0.1 \text{ N} \cdot \text{m} = 7450 \text{ N} \cdot \text{m} \rightarrow \text{Ec. 73}$$

10.3.3 Momento en la mecha del timón

El momento en la mecha del timón viene dado por:

$$M_{Mecha} = 0.866 \cdot a_1 \cdot u \cdot H_t \cdot F_{Timon} \rightarrow \text{Ec. 74}$$

Donde:

$$a_1 = 2.55 - 1.75 \cdot c_1$$

$$u = 1.1 \cdot c_1^2 - 2.05 \cdot c_1 + 1.175$$

$$c_1 = \frac{H_t}{H + H_c}$$

Lo que resulta ser:

$$M_{Mecha} = 33500 \text{ N} \cdot \text{m} \rightarrow \text{Ec. 75}$$

10.4 Velocidad angular.

La velocidad angular se define como:

$$w = \frac{\partial \delta}{\partial t} \rightarrow \text{Ec. 76}$$

Por supuesto, dependiendo del mecanismo y de la posición del timón el valor de la velocidad angular varía, haciendo que obtener una solución para la velocidad angular no sea un problema trivial.

Pero para esta aplicación podemos linearizar el problema, lo que viene a decir que el movimiento del timón es conservativo, algo que por supuesto no es cierto, pero que tampoco es una mala aproximación:

$$w = \frac{\Delta \delta}{\Delta t} \rightarrow \text{Ec. 77}$$

La sociedad de clasificación obliga a que el buque sea capaz de llevar el timón desde los 35° a una banda hasta los 30° a la otra en un plazo de tiempo máximo de 28 segundos. Entrando en la Ec. 46 con estos datos obtenemos la siguiente velocidad angular:

$$w = \frac{(35 + 30) \frac{\pi}{180}}{28} = 0.04 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \rightarrow \text{Ec. 78}$$

10.5 Potencia del servotimón

El servomotor estará accionado por dos bombas electro-hidráulicas que suministrarán el aceite hidráulico que hará mover los cilindros del servo.

La potencia necesaria será por definición:

$$P_{MT} = M_{Mecha} \cdot w = 33500 \cdot 0.04 = 1340 \text{ W} \rightarrow \text{Ec. 79}$$

Suponiendo un rendimiento mecánico del 65% y un rendimiento eléctrico del 85%, que implican pérdidas que hay que compensar, tendremos que la potencia que consumirán los motores eléctricos de las bombas será:

$$P_{Servo} = \frac{P_{MT}}{\eta_{elec} \cdot \eta_{mec}} = \frac{1340}{0.65 \cdot 0.85} = 2.500 \text{ W}$$

Se exige además una máquina auxiliar capaz de actuar sobre el timón llevándolo de los 15° a una banda a los 15° a la otra, en un espacio de tiempo de 60 segundos como máximo.

Como el momento de la pala no varía, podemos conocer la potencia necesaria del servo auxiliar a partir de la potencia necesaria del servo principal, simplemente multiplicándolo por el factor en el que se reduce la velocidad.

La velocidad angular respecto al anterior caso es del 21.6%, luego la potencia necesaria en el servo auxiliar es de:

$$P_{Servo}^{aux} = 0.216 \cdot 2.500 W = 540 W$$

10.6 Resumen.

El timón elegido cumple con los requisitos en cuanto a maniobrabilidad se refiere, aunque se puede observar que algunos criterios los cumple de forma muy ajustada, y visto el grado de aproximación, es probable que el timón pueda causar problemas en futuras vueltas a la espiral del proyecto.

Se podría estudiar incorporar un timón articulado que permite ángulos de giro del timón efectivos mayores sin que por ello aparezca desprendimiento de la capa límite, y que por tanto permite aumentar la fuerza ejercida por el timón.

Por otro lado, el par en la mecha del timón es ya bastante grande, y un timón articulado, capaz de ejercer mayor fuerza, aumentaría este valor. Se han encontrado fabricantes que proveen de servotimones como el empleado en este buque de 35000N·m, pero a partir de ese valor es difícil encontrar servotimones de este tipo, y se debe optar por tipos de servotimones más robustos, que son más pesados y más caros. Por tanto se podría estudiar en un futuro la rentabilidad de incluir un timón que diera una maniobrabilidad mejor, asumiendo las consecuencias de disponer un servotimón más complejo, pesado y caro.

En esta fase del proyecto se mantiene el timón convencional expuesto en las líneas precedentes.

11 Croquis del perfil del codaste con propulsores y timones.

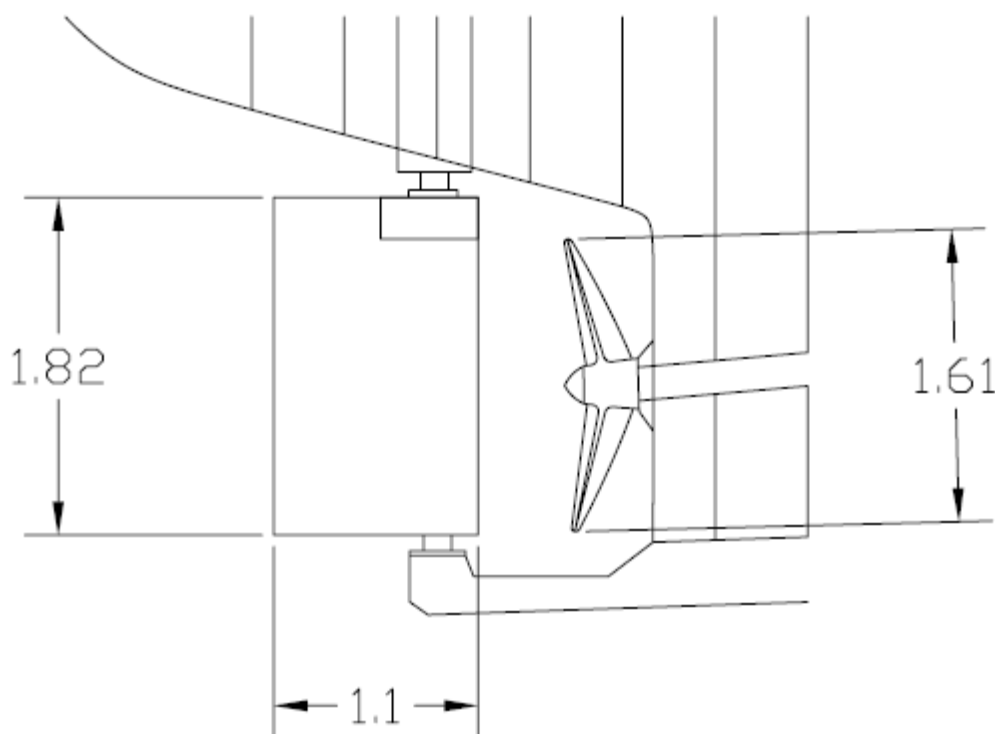


Figura 6. Croquis del perfil del codaste.

En la figura 5 se puede ver un croquis del perfil de la zona del codaste, con acotaciones de timón y propulsor.

12 Acrónimos

w_e , estela efectiva (8).

t , coeficiente de succión (8).

DHP , potencia entregada a la hélice (8).

η_{rr} , rendimiento roto-relativo (8).

η_H , rendimiento del casco (8).

η_0 , rendimiento del propulsor en aguas libres (8).

Z , número de palas (8).

A , área del timón (10.1).

λ , relación de esbeltez (10.1).

T_t , índice de Nomoto (10.1).

c , cuerda del perfil del timón (10.1).

H_t , altura del timón (10.1).

x_0 , abscisa de compensación del timón (10.1).

δ , ángulo de desprendimiento de capa límite, en el timón (10.1).

BUQUE BONITERO DEL CANTÁBRICO
PROYECTO 077.
CURSO 2009-2010

Planta propulsora y cámara de máquinas (CM).

DOCUMENTO 7
AUTOR: JOSE LUIS CERCOS PITA
COTUTOR: ANDER LASA GALLURRALDE
TUTOR: ANTONIO SOUTO IGLESIAS

1 Índice de contenidos.

1	<i>Índice de contenidos.</i>	2
2	<i>Especificación del proyecto.</i>	4
3	<i>Objetivos.</i>	5
4	<i>Elección del equipo propulsor y del tipo de combustible.</i>	5
4.1	Motor principal.	5
4.2	Combustible.	6
4.3	Aceite lubricante.	7
4.4	Reductor	7
4.5	Línea de ejes.	8
4.6	Bocina	10
5	<i>Elección, disposición y accionamiento primario de los generadores de energía eléctrica.</i>	10
6	<i>Equipos y servicios situados en la CM con representación gráfica simplificada de sus esquemas y estimación de la potencia de los elementos definidos.</i>	11
6.1	Combustible.	11
6.1.1	Subsistemas de llenado y trasiego de combustible	11
6.1.2	Purificadora de combustible	14
6.1.3	Bandejas de derrame	15
6.1.4	Tanque de lodos	15
6.1.5	Subsistema de sondas y niveles	15
6.1.6	Subsistema de aireaciones y reboses	16
6.1.7	Esquema del sistema de combustible	16
6.2	Aceite lubricante.	16
6.2.1	Tuberías	17
6.2.2	Tanques de aceite	17
6.2.3	Bombas	18
6.2.4	Esquema del sistema de aceite lubricante	19
6.3	Aceite hidráulico.	19
6.4	Agua salada.	19
6.4.1	Tomas de mar	20
6.4.2	Tuberías	20
6.4.3	Colector de agua salada de servicios generales	20
6.4.4	Bombas de agua salada de los motores	20
6.4.5	Enfriadores de agua dulce	20
6.4.6	Refrigeración del aceite de lubricación	21
6.4.7	Esquema de funcionamiento del sistema de refrigeración de agua salada	21
6.5	Agua salada de viveros, tanque estabilizador y riego del costado.	21
6.6	Refrigeración por agua dulce.	22
6.7	Agua dulce sanitaria.	22
6.8	Ventilación (impulsión y extracción).	22
6.8.1	Admisión	23
6.8.2	Ventilación	23

6.8.3	Escape	24
6.9	Vapor.	24
7	<i>Autonomía.....</i>	25
7.1	Autonomía en navegación normal	25
7.2	Autonomía pescando anchoas	25
7.3	Autonomía pescando bonitos.....	25
7.4	Autonomía hacia puerto.....	26
8	<i>Disposición general de la CM.</i>	26
9	<i>Secciones necesarias en los tres planos espaciales.</i>	26
10	<i>Listado numerado e identificativo de todos los elementos definidos.</i>	26
11	<i>Acrónimos.</i>	27
<i>Anexo I: Rendimientos mecánicos de bombas.</i>		28
1	Rendimientos mecánicos de las bombas de husillo o de engranajes.....	28
2	Rendimientos mecánicos de las bombas centrífugas	28
<i>Anexo II: Rendimientos eléctricos de bombas.....</i>		29
1	Rendimientos eléctricos de bombas de husillo, engranajes y centrífugas.....	29
<i>Anexo III: Plano de disposición general de cámara de máquinas.</i>		30

2 Especificación del proyecto.

- CLASIFICACIÓN: **Bureau Veritas**
- TRB: **149**
- GT: **230**
- VOLUMEN DE COMBUSTIBLE: **70 m³**
- VOLUMEN DE VIVEROS: **50 m³**
- VELOCIDAD EN PRUEBAS: **12 .5 kn al 90% MCR**
- EQUIPO PROPULSOR: **Motor Diesel**
- ALOJAMIENTOS: **15 tripulantes**
- ASPECTOS ADICIONALES:
 - 1.- El buque dispondrá de una planta de oxigenación del agua de viveros.
 - 2.- El buque dispondrá de un tanque estabilizador pasivo que reduzca al menos un 50% el movimiento de balance durante la maniobra de pesca.
 3. Se presentará además una planificación para la construcción asociada a los medios de un astillero de la sociedad PYMAR del que se disponga de información suficiente.

3 Objetivos

Partiendo de la información sobre la potencia que debe tener el motor principal para atender a la propulsión del buque que calculamos a lo largo del cuaderno 6, nos disponemos ahora a elegir un motor principal.

En este mismo documento estudiaremos todos los servicios presentes en la cámara de máquinas, que de hecho, mantienen una estrecha relación con el funcionamiento de la maquinaria principal, como puede ser refrigeración, ventilación, aire comprimido, combustible, etc.

Todos estos servicios están normalizados por la sociedad de clasificación, y por el Convenio de Torremolinos.

También definiremos la reductora, que quedó pendiente en el cuaderno 6 por no disponer de información sobre el motor principal, y más concretamente sobre su régimen nominal de vueltas.

Estaremos en este cuaderno en disposición de calcular la autonomía de nuestro buque, que como singularidad de nuestro proyecto, no es un dato, sino una consecuencia, pues el dato ofrecido es el volumen de combustible que debe llevar el buque.

4 Elección del equipo propulsor y del tipo de combustible.

4.1 Motor principal.

Puesto que la oferta de motores lentos, cuyas revoluciones pudieran ser suficientemente próximas a las de nuestros propulsores, no es adecuada para la potencia demandada, debemos optar por motores rápidos, cuya oferta para la potencia instalada del buque es próxima y adecuada.

Podemos optar por un motor Caterpillar, modelo C18 ACERT E1150.



Figura 1. Ilustración del motor C18 ACERT de Caterpillar.

Este motor dispone de 6 cilindros que dan una potencia de 1136 caballos al freno a 2300 rpm.

Como la potencia instalada necesaria era de 1102 caballos de potencia, este motor cumple adecuadamente con las exigencias del proyecto.

Las características de la máquina son las siguientes:

C18 ACERT E1150	
Potencia	1136 BHP
rpm	1200
Cilindros	6
Relación de compresión	18.1:1
Cilindrada	23.6 l
Consumo específico	203.7 (g/kWh)
Consumo de aceite	0.5 (g/kWh)
Presión media efectiva	17.4 bar

Tabla 1. Especificaciones técnicas del motor.

Las dimensiones de esta máquina son las siguientes:

C18 ACERT E1150	
Peso	4927 kg
Longitud	1504 mm
Ancho	1077 mm
Alto	1144 mm

Tabla 2. Dimensiones de la máquina principal.

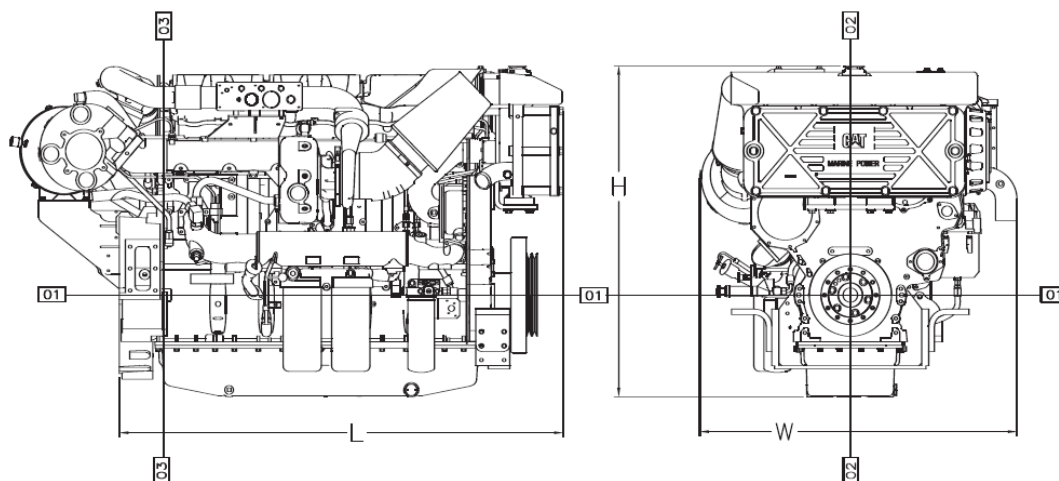


Figura 2. Esquema del motor.

La reductora usada en este caso se especifica en 4.4.

4.2 Combustible.

Por especificación del fabricante el motor debe ser alimentado con combustible M.D.O.¹ que tenga las siguientes características:

¹ Marine Diesel Oil.

Viscosidad cinemática	[1.5,1.6] cSt
Punto de ignición	60 °C
Residuo de carbón	0.30%
Número de cetano	40
Inspección visual	Claro
Sulfuros	1.50%

Tabla 3. Especificaciones del combustible.

Cabe aclarar que el nivel de azufre es el nivel máximo, y que por tanto las nuevas normativas, cercanas a su aprobación, sobre niveles de azufre permitidos, no variarán las especificaciones relativas al combustible, y podrá cumplirlas sin problemas derivados de la aplicación retroactiva de la normativa.

4.3 Aceite lubricante.

El fabricante también impone especificaciones respecto del aceite lubricante que se empleará con esta máquina. La especificación del aceite lubricante es la siguiente:

Viscosidad	SAE 40
Índice de viscosidad	95
Número de base	15-30

Tabla 4. Especificación del aceite lubricante para el motor.

El incumplimiento de estas especificaciones conlleva la inmediata pérdida de la garantía por parte del fabricante.

4.4 Reductor

Podemos incorporar una caja reductora modelo W2300, de la marca ZF, cuyas relaciones de reducción se sitúan entre los siguientes valores: 3.028, 3.500, 4.000, 4.444, 4.760

La relación ideal de reducción para nuestra combinación motor/propulsor es la siguiente:

$$r_{ideal} = \frac{n_{motor}}{n_{propulsor}} = \frac{1200}{250} = 4.8 \rightarrow \text{Ec. 1}$$

Pues en el cuaderno anterior tomamos la alternativa de propulsor de 5 palas, cuyo régimen nominal era de 250 rpm.

La relación más próxima a la que podemos optar en este modelo es:

$$r = 4.760 \rightarrow \text{Ec. 2}$$

Una relación de reducción muy buena, con una desviación inferior al 0.01% respecto de la relación ideal, algo que, teniendo en cuenta la incertidumbre en los valores calculados, es despreciable a todos los efectos.

La reductora no dispone de alternador ni de opción de incorporar un sistema de generación eléctrica.

Las dimensiones de la reductora son las siguientes:

ZF W2300	
Peso	2035 kg
Longitud	589 mm
Ancho	680 mm
Alto	967 mm
Diámetro eje salida	175-385 mm

Tabla 5. Dimensiones de la reductora ZF W2300.

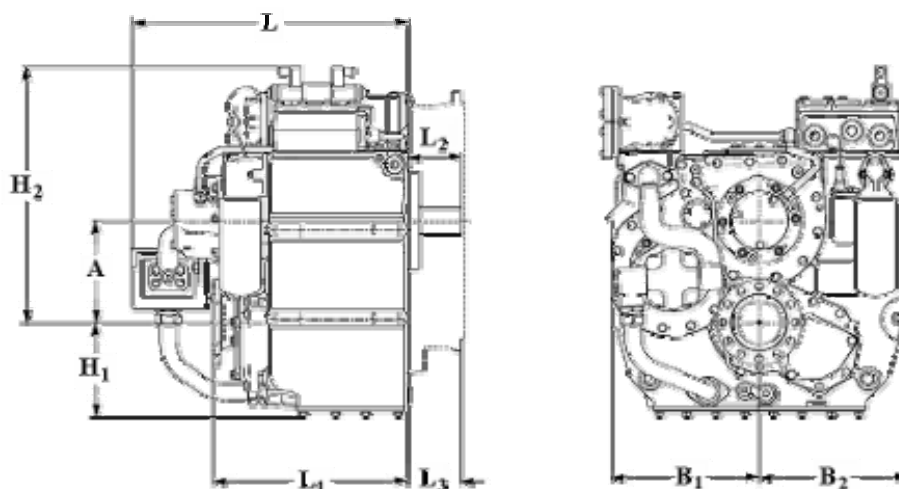


Figura 3. Esquema de la reductora ZF W2300.

4.5 Línea de ejes

En el capítulo 7 de la normativa del Bureau Veritas, sociedad clasificadora del presente proyecto, se normaliza todo lo referente a la línea de ejes.

En esta normativa se exige que el material no tenga una tensión de rotura inferior a 400 N/mm² (Mpa).

Aunque ese valor se puede conseguir con materiales más baratos, se empleará acero inoxidable AISI 316L, un acero especialmente concebido para luchar contra la corrosión en ambiente marinos. En barcos de pequeño porte, donde el eje no es, ni demasiado largo, ni demasiado grueso, se puede optar por estas alternativas ya que eliminan la necesidad de disponer camisas de protección contra la corrosión en el eje porta hélices, y el incremento del coste no es demasiado grande, comparado con las ventajas en materia de mantenimiento que se pueden obtener. Este acero tiene una tensión de fractura de 515 MPa (superior al límite exigido por Bureau Veritas), y un límite elástico de 205MPa.

El eje consiste en un eje de cola que se acopla a la reductora mediante un mangón, facilitando así las operaciones de mantenimiento, pues podrá ser desmontado con facilidad desde popa.

Este eje se puede dimensionar con la siguiente expresión (ref. [35]):

$$d_{min} = \left(\frac{32\eta_s}{\pi} \sqrt{\left(\frac{M}{\sigma_y} \right)^2 + \left(\frac{T}{\sigma_y} \right)^2} \right)^{1/3} \rightarrow \text{Ec. 3}$$

Donde:

d_{min} es el diámetro mínimo del eje.

η_s es el factor de seguridad que impondremos, en nuestro caso 1.25.

σ_y es el límite elástico del material, en nuestro caso de 210 MPa.

M es el momento flector ejercido por el peso del eje.

T es el momento torsor ejercido por el motor.

El momento torsor ejercido por el motor se puede obtener a partir de la potencia con la siguiente expresión:

$$T = \frac{P_{motor}}{\omega_{motor}} = \frac{1136 \cdot 750}{\frac{1200}{3600} \cdot 2\pi} = 407 \cdot 10^3 \text{ N}\cdot\text{m} \rightarrow \text{Ec. 4}$$

El momento flector ejercido por el propio peso del eje depende del número de apoyos que tengamos. Si suponemos que el peso del eje es una carga puntual en el centro de cada clara entre apoyos, podemos calcular el momento flector como²:

$$M = \left(g \rho_{acero} \frac{\pi \left(\frac{d_{min}}{2} \right)^2 \cdot l_{eje}}{n_{apoyos} + 1} \right) \cdot \frac{l_{eje}}{2(n_{apoyos} + 1)} = g \rho_{acero} \pi \frac{d_{min}^2}{8} \left(\frac{l_{eje}}{n_{apoyos} + 1} \right)^2 \rightarrow \text{Ec. 5}$$

Donde:

g es la aceleración de la gravedad.

ρ_{acero} es la densidad del acero empleado, 7850 kg/m³.

l_{eje} es la longitud del eje, en nuestro caso de 6.5m.

n_{apoyos} es el número de apoyos, sin contar el motor principal y la bocina.

En este punto se debe buscar una solución de compromiso, pues cuantos más apoyos se dispongan menor será el diámetro necesario en el eje, no obstante, las chumaceras son caras de construir, y requieren lubricación, y por tanto sólo se deberá recurrir a ellas cuando repercuta en una reducción apreciable del diámetro del eje.

Podemos comenzar analizando el caso de no disponer chumaceras, de tal forma que el momento flector en función del diámetro quedara tal que:

$$M = 319 \cdot 10^3 \cdot d_{min}^2 \rightarrow \text{Ec. 6}$$

Si calculamos el diámetro del eje sin tener en cuenta el momento flector tendríamos que:

$$d_{min,T} = \left(\frac{32 \eta_s T}{\pi \sigma_y} \right)^{1/3} = \left(\frac{32 \cdot 1.25 \cdot 407 \cdot 10^3}{\pi \cdot 205 \cdot 10^6} \right)^{1/3} \text{ m} = 0.294 \text{ m} \rightarrow \text{Ec. 7}$$

Este es el límite inferior, o lo que es lo mismo, el diámetro que debería tener el eje si el efecto del momento flector no fuera significativo.

El momento flector resultante en este caso sería, en virtud de **Ec. 6**, el siguiente:

$$M = 319 \cdot 10^3 \cdot 0.294^2 = 28 \cdot 10^3 \text{ N}\cdot\text{m} \rightarrow \text{Ec. 8}$$

² Expresión que se puede aplicar cuando el par es aproximadamente constante, y no existe una carga axial significativa.

Lo que supone un 7% del valor del momento torsor generado por el motor principal, un valor nada despreciable. No obstante, si aplicamos la **Ec.3** con el valor del momento flector calculado en la **Ec. 8**, obtenemos que el diámetro mínimo es:

$$d_{min} = \left(\frac{32 \cdot 1.25}{\pi} \sqrt{\left(\frac{28 \cdot 10^3}{205 \cdot 10^6} \right)^2 + \left(\frac{407 \cdot 10^3}{205 \cdot 10^6} \right)^2} \right)^{1/3} \text{ m} = 0.294 \text{ m} \rightarrow \text{Ec. 9}$$

Es decir, el momento flector no tiene un efecto relevante sobre el diámetro que debe tener el eje (**Ec. 7** y **Ec. 9** dan el mismo resultado). De este cálculo se deducen dos cosas:

1. No se obtiene ninguna ventaja de disponer chumaceras entre la reductora y la bocina, y por tanto no se recurrirá a ellas.
2. El diámetro del eje debe ser de 295mm³.

En resumen, se dispondrá un eje enterizo de 295mm de diámetro apoyado en la bocina, y en la reductora, haciendo esta última las veces de chumacera de empuje.

4.6 Bocina

La bocina se realizará en acero con grandes espesores, pues esta zona debe soportar elevados esfuerzos que la convierten en una zona especialmente delicada.

Como es habitual, de cara a reducir el desgaste se incorporan casquillos de bronce en los dos principales puntos de apoyo, la proa y la popa de la bocina. Además, para evitar sobrecalentamientos y sufrimiento no deseables de las piezas esos casquillos se recubren de material antifricción.

Por supuesto se dispone un sistema de lubricación, tal y como está regulado en la normativa del Bureau Veritas.

Para garantizar en la medida de lo posible, la estanqueidad ante filtraciones por el eje de cola, se utilizará un prensaestopas con empaquetadura en la zona de proa de la bocina.

5 Elección, disposición y accionamiento primario de los generadores de energía eléctrica.

Aún no se dispone de información suficiente sobre la energía eléctrica necesaria a bordo, no obstante, lo que si se puede asegurar es que el motor principal no tendrá capacidad de entregarla disponiendo un generador de cola, pues la potencia del mismo es tan solo 40 caballos superior a la necesitada por la propulsión.

A pesar de ello se podría estudiar la posibilidad de instalar un alternador para tratar de aprovechar el excedente de potencia en las situaciones de carga en las que la demanda de potencia propulsora no sea muy elevada, consiguiendo que el motor trabaje en esas situaciones lo más cerca posible de su régimen nominal de vueltas. Durante el estudio de las situaciones de carga eléctrica, cuando se elijan los grupos auxiliares, se estudiará esta posibilidad.

De momento se puede suponer el uso de dos grupos generadores compuestos por un motor diesel y un alternador directamente acoplado, ya que la normativa impone que la

³ No se ajusta al diámetro de 294mm, puesto que se pueden conseguir ejes de 295mm más fácilmente.

planta debe ser capaz de suministrar toda la energía eléctrica requerida con uno de los generadores apagado.

Así, supondremos la existencia de dos grupos electrógenos diesel-generator, cuyos datos de consumos y potencia estimaremos a partir de los datos del motor principal, y de los de otros buques boniteros de características semejantes.

Estos generadores se dispondrán en el segundo nivel de la cámara de máquinas (tecle).

Respecto al accionamiento primario de los generadores de energía eléctrica, a parte del control desde el puente de gobierno, se ha dispuesto el cuadro eléctrico principal en el nivel bajo de la cámara de máquinas, lo que permite controlar desde esta posición los generadores.

6 Equipos y servicios situados en la CM con representación gráfica simplificada de sus esquemas y estimación de la potencia de los elementos definidos.

6.1 Combustible.

El combustible, por su especial riesgo, debe ser tratado con cierta delicadeza, evitando siempre zonas peligrosas. Por tanto, el sistema de combustible debe disponerse en las zonas más seguras, alejado siempre de focos de calor y de equipos y cableados eléctricos.

El sistema de combustible es el encargado de alimentar al motor principal, y a los equipos auxiliares. Tanto el motor principal como los equipos auxiliares se venden e integran en el buque con todo el conjunto de bombas de alimentación, bombines manuales de cebado, filtros y válvulas directamente integrados en un único módulo.

Por tanto, el servicio de combustible, el cual debe garantizar que el combustible llega a los motores en condiciones de presión y temperatura adecuados, constará de los siguientes elementos:

- Tanques almacén.
- Tanque de servicio diario de los motores principales, que será al mismo tiempo el tanque de sedimentación.
- Tanque de servicio diario del grupo de puerto.
- Tanque de reboses y de aguas aceitosas.
- Bombas de trasiego de combustible.
- Separadora centrífuga de combustible.
- Bombas de achique del tanque de lodos y aguas aceitosas.

Respecto de las tuberías, el fabricante del motor principal recomienda utilizar tuberías de acero estirado de bajo contenido en carbono (hierro negro) para el circuito de combustible.

6.1.1 Subsistemas de llenado y trasiego de combustible

El combustible debe ser transportado de unos tanques a otros, y tratado durante el camino, misión que cumple este subsistema que es de especial interés, pues es donde se sitúan las bombas y separadoras, que de una forma o de otra son las que consumen energía.

Sobre la cubierta principal, situada a la intemperie, y a popa del buque, se dispondrá la toma de combustible que permitirá realizar las operaciones de aprovisionamiento de combustible llenando todos los tanques almacén.

El llenado y achique de los tanques de almacén de combustible se hará a través de un colector situado en la sala de máquinas, y del mismo saldrán tubos independientes a cada tanque por el interior del doble fondo.

Este colector estará directamente conectado a las bombas de achique, una de ellas de reserva.

Todas las tuberías de combustible que se utilizarán serán de acero estirado según norma DIN 2441⁴, con bridas lisas y juntas de cartón prensado. La presión nominal será de 10 kg/cm².

Por recomendaciones del fabricante del motor principal, la tubería de alimentación del tanque de servicio diario a la bomba de combustible y de ésta a la bomba de inyección, será de unos 10 mm de diámetro.

Los tanques almacén son los que se dispusieron en el cuaderno 4 de disposición general.

Tanques	Capacidad(m ³)
Combustible 1 (Estribor)	7.954
Combustible 1 (Babor)	7.954
Combustible 2 (Estribor)	12.514
Combustible 2 (Babor)	12.514
Combustible 3 (Estribor)	8.281
Combustible 3 (Babor)	8.281
Combustible 4 (Estribor)	2.041
Combustible 4 (Babor)	2.041
Combustible popa (Estribor)	7.117
Combustible popa (Babor)	7.117

Tabla 6. Capacidades de los tanques almacén de combustible

Si sumamos las anteriores capacidades tendremos un total de 75.814 m³ de combustible almacenado.

Ese combustible debe ser trasegado al tanque de servicio diario, que dispone de una separadora que elimina el agua del combustible para que esta no entre en el motor principal, causando un mal funcionamiento y daños al mismo.

El tanque de servicio diario es aquél en el que el combustible permanece, al tiempo que se depura, para ser consumido por los motores principal y auxiliares, teniendo capacidad para el combustible consumido por los mismos durante 24 horas.

Nuestro tanque de servicio diario tiene una capacidad de 5.233 m³.

Éste tanque se llenará a través de la bomba de trasiego o de la purificadora y del sobrante de los motores principales y auxiliares.

Los tanques descargarán a un colector común, a partir de éste y con tuberías independientes saldrán ramificaciones para los siguientes elementos: para motores auxiliares y para el motor principal.

Vamos a comprobar que el volumen del tanque de servicio diario es suficiente para suministrar el consumo del motor principal y de un motor auxiliar durante 24 horas.

⁴ Tubos de acero al carbono con costura, aptos para ser galvanizados y roscados, serie pesada.

Para efectuar este cálculo necesitaremos saber el consumo de los motores, así como la densidad de nuestro combustible, cuyo valor será tomado igual que el empleado en el cuaderno 4, sobre la disposición general del buque.

<i>Cosumo</i> ⁵	<i>g/CVh</i>
<i>Motor principal</i>	160
<i>Motor auxiliar</i>	170

Tabla. 1→Consumos

Con todo lo anterior tendremos que:

$$V_{SD} = V_{SD,MP} + V_{SD,MA}$$

$$V_{SD,MP} = \frac{24 \cdot Ce_{MP} \cdot MCR \cdot P_{BHP}}{\rho_{combustible}} \rightarrow \text{Ec. 10}$$

$$V_{SD,MA} = \frac{24 \cdot Ce_{MA} \cdot MCR \cdot P_{BHP}}{\rho_{combustible}}$$

El motor principal consumirá un total de 4.21 m³ de combustible durante 24 horas, mientras que la máquina auxiliar consumirá 0.72 m³ de combustible, lo que hace que la capacidad mínima del tanque de servicio diario debiera ser de 4.93 m³, un valor inferior a los 5.233 m³ de los que dispone, y que lo convierten en apto para esta misión.

La bomba debe aspirar el combustible, pudiendo encontrarse fácilmente con presiones negativas, y por tanto debe emplearse una bomba de desplazamiento positivo.

Además esta bomba debe tener la capacidad de llenar el tanque de servicio diario en un plazo de tiempo de 1.5 horas.

$$Q_{trasiego} = \frac{5.233 \text{ m}^3}{1.5 \text{ h}} = 3.5 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \approx 4 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \rightarrow \text{Ec. 11}$$

La bomba deberá ser capaz de dar un caudal de 4 metros cúbicos de combustible a la hora.

Por tanto, para esta aplicación podemos seleccionar una bomba de Husillo⁶ Weatherford serie HX.

⁵ Es cierto que el consumo del motor varia en función de la carga de éste, no obstante para realizar los siguientes cálculos se considerará que el consumo será constante, de valor para el 100% de MCR.

⁶ Bomba del tipo de desplazamiento positivo.

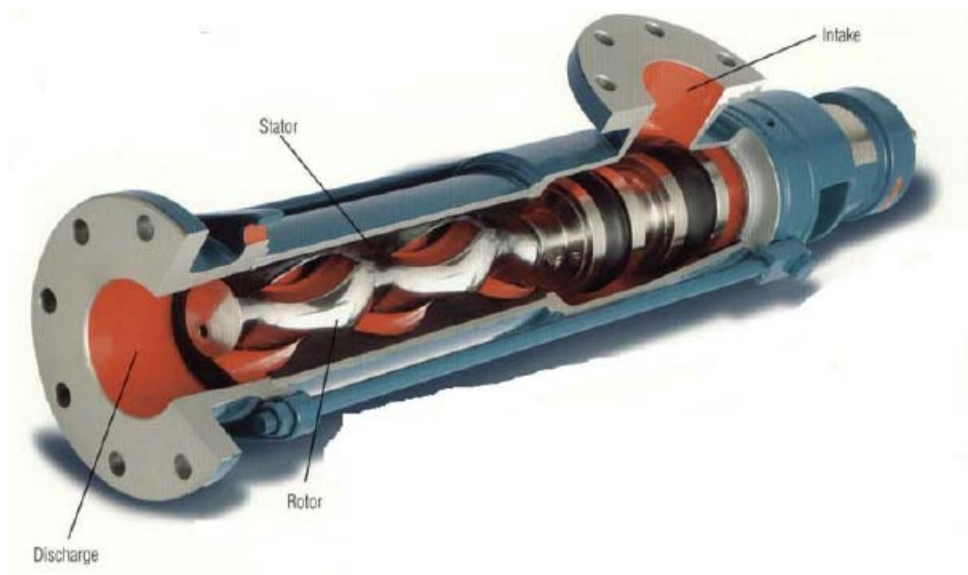


Figura 4. Esquema de una bomba de husillo.

El consumo de la bomba vendrá regido por la siguiente expresión:

$$Pot = \frac{P \cdot Q \cdot Cs}{\eta_e \cdot \eta_m} \rightarrow \text{Ec. 12}$$

Podemos suponer una presión de 20 m.c.a.

Los rendimientos eléctricos y mecánicos se pueden observar en los **Anexos I y II**. Para este caso un rendimiento mecánico de 0.6, y un rendimiento eléctrico de 0.83.

El coeficiente de seguridad se fija en un 5%.

Todo ello resulta en un consumo de 0.55 kW.

Antes de la bomba de trasiego se dispondrá de un filtro y además existirá u bombillo de reserva.

6.1.2 Purificadora de combustible

La separadora deberá ser capaz de depurar eficazmente el combustible consumido en un día por el motor principal y las máquinas auxiliares, que es el total del combustible alojado en el tanque de servicio diario, en un plazo de 8 horas.

Por tanto, el caudal que debe ser capaz de depurar nuestra separadora es:

$$Q_{pur} = \frac{24 \cdot [(Ce \cdot BHP)_{MP} + (Ce \cdot BHP)_{MA}]}{t \cdot \rho} \rightarrow \text{Ec. 13}$$

Lo que resulta en 0.691 m³/h depurados.

Podemos optar por una depuradora Alfa Laval, modelo MAB-103. Esta separadora es capaz de depurar un caudal de 0.7 m³/h, un valor excelente para nuestro buque.

La especificación de la separadora marca un consumo de 1.5 kW.



Figura 5. Purificadora Alfa Laval modelo MAB 103

6.1.3 Bandejas de derrame

Aparte de los lodos descargados por los motores mediante el carter, se deben disponer dos bandejas de derrame que descarguen en el tanque de lodos.

Estas dos bandejas se sitúan en puntos donde el derrame puede ser bastante usual, y son los lugares donde existen juntas y uniones entre varios elementos que transportan combustible.

Una de las bandejas dará servicio al colector alimentado por los tanques de servicio diario, estando montada bajo el mismo.

La otra bandeja de derrames se montará bajo el conjunto de bomba de trasiego, bombillo manual, y purificadora.

6.1.4 Tanque de lodos

Por ser este un buque pequeño, y con maquinaria relativamente ligera, las fugas de combustible suelen ser, en cantidad, pequeñas.

Por norma general, las pérdidas de combustible sucio, puesto que no es una gran cantidad, no se recirculan y depuran, sino que se desechan al tanque de lodos directamente.

Las descargas a este tanque se hacen mediante tuberías por gravedad.

Como se dispuso en el cuaderno 4, que versaba sobre la disposición general, el tanque de lodos tiene una capacidad de 2.334 m³.

6.1.5 Subsistema de sondas y niveles

Por razones de control del correcto funcionamiento, y de las provisiones de combustible restantes, todos los tanques de combustible llevarán sondas de nivel para conocer la cantidad de combustible que albergan en todo momento.

Los tanques del doble fondo de la sala de cámara de máquinas dispondrán de sondas que darán a la cámara de máquinas.

El resto de tanques tendrán sondas dirigidas a la cubierta principal.

Las sondas tendrán tapas de bronce con casquillos de acero inoxidable e irán soldadas a la cubierta. En el fondo del tanque, bajo la sonda, se dispondrán chapas de bronce para los golpes.

Se aclara que esto es necesario para evitar que aparezcan chispas que puedan dar lugar a combustión, por lo que se disponen metales que no adolezcan de este problema ante impactos con la barra de la sonda.

6.1.6 Subsistema de aireaciones y reboses

Los tanques de servicio diario dispondrán de tubo de reboses, tubo de aireación, purgas, y grifos de cierre rápido con mando a distancia.

El resto de tanques de combustible estarán equipados con un sistema de aireación y rejillas cortafuegos.

Los tanques de combustible tendrán un colector común de aireación, mientras que las máquinas irán a otro colector que dispondrá de mirillas de descarga situadas en las máquinas de babor y estribor.

Todas las aireaciones cumplirán con la normativa, teniendo una altura mínima de 750 mm, pues se sitúan en la cubierta de francobordo.

6.1.7 Esquema del sistema de combustible.

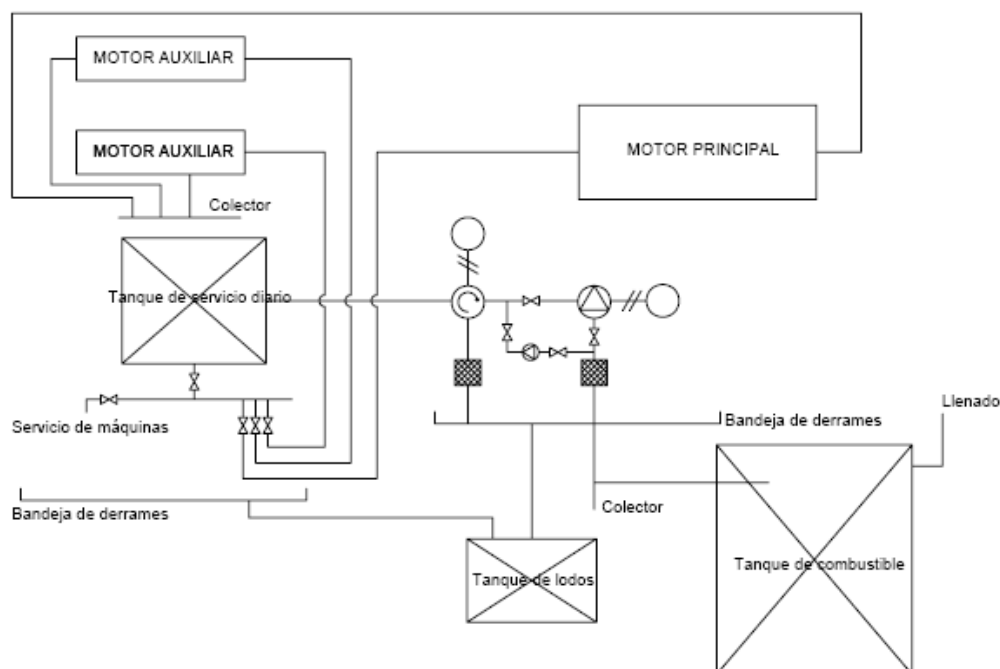


Figura 6. Esquema del sistema de combustible.

Se puede observar en la Figura 6. un esquema de funcionamiento del sistema de combustible explicado en los anteriores apartados.

6.2 Aceite lubricante.

El sistema de aceite deberá suministrar aceite lubricante al motor principal, a los motores auxiliares, y a la reductora.

También se debe alimentar con aceite hidráulico a las distintas instalaciones hidráulicas del buque.

Todos estos elementos dispondrán de bombas acopladas que aspirarán de su propio cárter, así como enfriadores y filtros para el aceite.

Al igual que ocurría con el sistema de combustible, se debe evitar la proximidad a focos de calor y sistemas eléctricos en la medida de lo posible, por el especial riesgo de incendio de este sistema.

Todas las válvulas se encontrarán en zonas de fácil acceso con el objetivo de permitir su manipulación rápida y eficaz. Además todos los equipos de este sistema dispondrán de válvulas para, en caso de avería, permitir el aislamiento del equipo afectado del resto del circuito.

El sistema de aceite lubricante estará formado principalmente por:

- Tuberías.
- Tanques estructurales de aceite.
- Bombas.

6.2.1 Tuberías

Por las posibles ventajas en cuanto a coste constructivo, repuestos, y mantenimiento, que supone estandarizar cuantos equipos sea posible, se emplearán en todo el circuito las mismas tuberías empleadas en el sistema de combustible, de acero estirado según estándar DIN 2441, con bridas y juntas de cartón prensado.

La presión nominal de estas tuberías ya se indicó que era de 10 kg/cm².

6.2.2 Tanques de aceite

En el cuaderno 4, sobre la disposición general, se incluyeron los siguientes tanques, bajo la cámara de máquinas:

<i>Tanques</i>	<i>Capacidad(m³)</i>
<i>Aceite 1</i>	1.439
<i>Aceite 2</i>	2.497

Tabla 7. Tanques de aceite dispuestos en el buque.

Lo que supone una capacidad total de aceite de 3.936 m³ de aceite.

El sistema de aceite lubricante debe ser capaz de alimentar al motor principal, a los dos motores auxiliares, y a la reductora, durante toda la marea, y además de mantener su cárter lleno.

Las mareas de estos buques suelen ser de unos 15 días, pero podemos suponer 20 días para mantenernos del lado de la seguridad.

Los consumos específicos de aceite lubricante de los motores auxiliares no son conocidos, pero podemos estimarlos a partir del consumo del motor principal.

El motor principal consume 0.5·10⁻³ g/CVh, por tanto, a buen seguro que el consumo de aceite de los motores auxiliares no será superior a esos mismos 0.5·10⁻³ g/CVh.

Suponiendo que los motores funcionan las 24 horas del día al 90% del MCR, el aceite consumido por los motores se podrá calcular según:

$$C_{aceite} = \frac{20 \cdot 24 \cdot C_{e_{aceite}} \cdot MCR \cdot P_{BHP}}{\rho_{aceite}} \rightarrow \text{Ec. 14}$$

Lo que resulta en un consumo de 0.256 m³ para cada motor, incluidos los auxiliares.

El consumo de la reductora se supone del 10% del consumo de aceite lubricante del motor principal, es decir, un total de 0.025 m^3 .

Como además debe existir aceite para mantener el cárter lleno de todos estos equipos, se deben sumar las capacidades de los mismos, que son 0.19 m^3 para el motor principal, de 0.15 m^3 para los auxiliares (de los que todavía no tenemos información), y de 0.075 m^3 para la reductora.

Esto hace un total de 0.565 m^3 .

Sumándolo todo tenemos un consumo por marea de 1.358 m^3 .

Por tanto podemos emplear el primer tanque, que tiene una capacidad de 1.439 m^3 , y por tanto suficiente.

El segundo tanque se empleará por tanto para almacenar el aceite sucio, cuyo tratamiento se realizará en puerto, lo que nos evita disponer una planta depuradora.

Los tanques de aceite tendrán un indicador de nivel.

6.2.3 Bombas

Las bombas del motor principal, y de los motores auxiliares, así como las bombas de lubricación de la reductora, viene integradas en sus respectivos componentes por el fabricante.

La consecuencia directa es que su consumo ya esta contemplado en el consumo de la máquina.

Se dispone además una bomba manual de trasiego y prelubricación para el llenado de los cárteres del motor principal, los motores auxiliares, y la reductora.

El aceite sucio de los cartérs se debe descargar al tanque de aceite 2 para su almacenamiento, y posterior tratamiento en puerto.

Para este cometido se empleará una bomba rotativa de un caudal de $25 \text{ m}^3/\text{h}$, una altura de descarga de 9 m.c.a y una potencia de 2.9 kW.

Para la lubricación del motor principal se instalará una segunda bomba de reserva, que por razones obvias será igual que la montada de serie por el fabricante, para en caso de fallo de la bomba principal entrar a suplirla sin complicaciones.

Se trata de una bomba rotativa capaz de transportar un caudal de $10 \text{ m}^3/\text{h}$ de aceite lubricante, con una diferencia de presión de 60 m.c.a., y 4.5 kW.

6.2.4 Esquema del sistema de aceite lubricante.

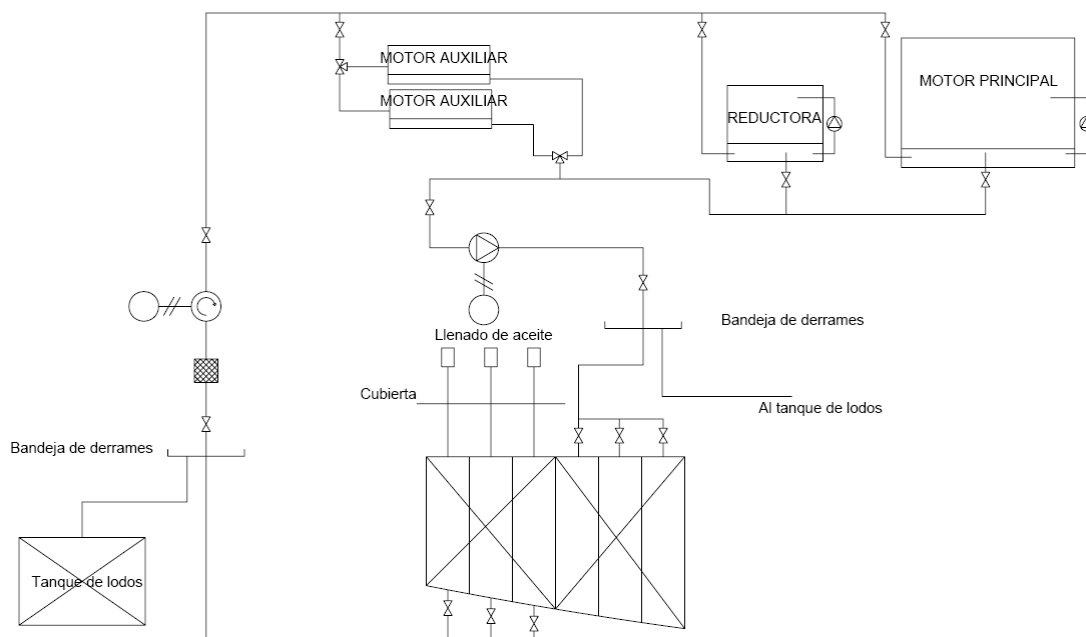


Figura 7. Esquema del sistema de aceite lubricante.

Se puede observar en la Figura 7. un esquema de funcionamiento del sistema de aceite lubricante explicado en los anteriores apartados.

6.3 Aceite hidráulico.

El buque cuenta con sistemas hidráulicos en el servo, consistente en bombas hidráulicas accionadas eléctricamente, en la grúa-halador, y en la maquinilla de amarre central.

Por todo ello el buque dispone de una instalación de aceite hidráulico que da servicio a esos tres componentes.

Los tanques de servicio hidráulico llevarán su indicador de nivel, mirilla y grifo de llenado. El resto de la instalación se completa con filtros de retorno y de aspiración, así como con distribuidores de varias vías.

6.4 Agua salada.

El sistema de agua salada es un sistema de refrigeración. Por la naturaleza especialmente corrosiva del agua salada, esta no debe refrigerar directamente los equipos, sino que en su lugar refrigerará, mediante intercambiadores de calor, el agua dulce y el aceite, encargados finales de la refrigeración de los equipos.

Existe un segundo sistema de agua salada, cuya misión no es refrigerar, y que se estudiará en el apartado 6.5.

Por tanto el agua salada será tomada del mar, y mediante intercambiadores de calor refrigerará el agua dulce y el aceite, para luego ser de nuevo descargada al mar.

La descarga se realizará por el costado del buque, por encima de la flotación, para evitar que exista una presión de entrada.

Este servicio contará con los siguientes componentes:

- Tomas de mar.
- Tuberías.
- Válvulas de compuerta y filtros.

- Colector de mar.
- Bombas.
- Enfriadores.

6.4.1 Tomas de mar.

Se equipará al sistema con dos tomas de mar para el colector de agua salada para servicios generales y agua salada sanitaria.

Las tomas de mar serán amplias para evitar vibraciones y ruidos.

Las cajas de toma de mar de ambas tomas tendrán aireación, filtros o cajas de fangos, y rejillas para bombas de acero dulce galvanizado. Incorporarán también ánodos de zinc para evitar la corrosión mediante un sistemas de corrientes eléctricas tipo Cathelco o similar. Dispondrán además de una salida de aire comprimido para facilitar las tareas de limpieza.

Ambas tomas incorporarán válvulas de cuerpo modelado y accesorios internos de acero inoxidable para ambientes marinos. A la salida de la válvula se instalará un filtro para evitar la entrada de fangos, arena, o sólidos.

Para cada toma de mar se instalarán válvulas de intercomunicación de acero fundido y accesorios internos de bronce.

6.4.2 Tuberías.

Para evitar la corrosión, las tuberías también incorporarán un sistema de protección por corrientes eléctricas de la marca Cathelco.

Además las tuberías estarán galvanizadas en caliente.

La sociedad de clasificación de este buque establece límites para la velocidad del agua salada en el circuito, de tal forma que, al emplear acero galvanizado, no podremos transportarla a una velocidad superior a 3 m/s⁷.

6.4.3 Colector de agua salada de servicios generales.

El colector de mar está formado por una tubería de gran diámetro que recorre gran parte del plan de la cámara de máquinas uniendo las dos tomas de mar que se encuentran en la cámara de máquinas, dando al costado.

De esta tubería parten las aspiraciones de las distintas bombas de circulación de agua salada. Estas aspiraciones se aíslan del colector por medio de válvulas de compuerta, uniéndose al colector por medio de una pieza reforzada.

6.4.4 Bombas de agua salada de los motores.

Los motores disponen de un sistema de refrigeración “cerrado”, con su propio circuito de agua dulce, y todas las bombas necesarias integradas en el mismo módulo.

El agua salda es aspirada por las bombas que incorpora el motor mediante tuberías independientes del colector, conduciéndola hasta el intercambiador de calor.

6.4.5 Enfriadores de agua dulce.

El agua dulce se enfriará mediante intercambiadores agua dulce/agua salada, para su posterior recirculación.

⁷ En caso de tuberías de cobre o aleaciones del mismo la velocidad se reduciría a 2 m/s. Como el buque es pequeño el incremento de coste por el empleo de acero galvanizado, ligeramente más caro, compensa con creces por la posibilidad de emplear velocidades mayores.

Una vez calentada el agua salada, tras la refrigeración del agua dulce, se envía a refrigerar el aceite lubricante.

6.4.6 Refrigeración del aceite de lubricación

La refrigeración del aceite de lubricación del motor principal y de los motores auxiliares se efectúa por medio de agua salada.

El aceite de lubricación de la reductora en cambio se refrigera, primero mediante el agua salada que proviene de la refrigeración del motor principal, y luego mediante el circuito de agua dulce de éste..

Tras efectuar la refrigeración del aceite, se evacuará por las descargas de costado situadas por encima de la flotación, como ya hemos mencionado, para no tener ninguna presión positiva al otro lado de la descarga.

6.4.7 Esquema de funcionamiento del sistema de refrigeración de agua salada.

En la Figura 8. se puede observar un esquema del funcionamiento del sistema de refrigeración de agua salada.

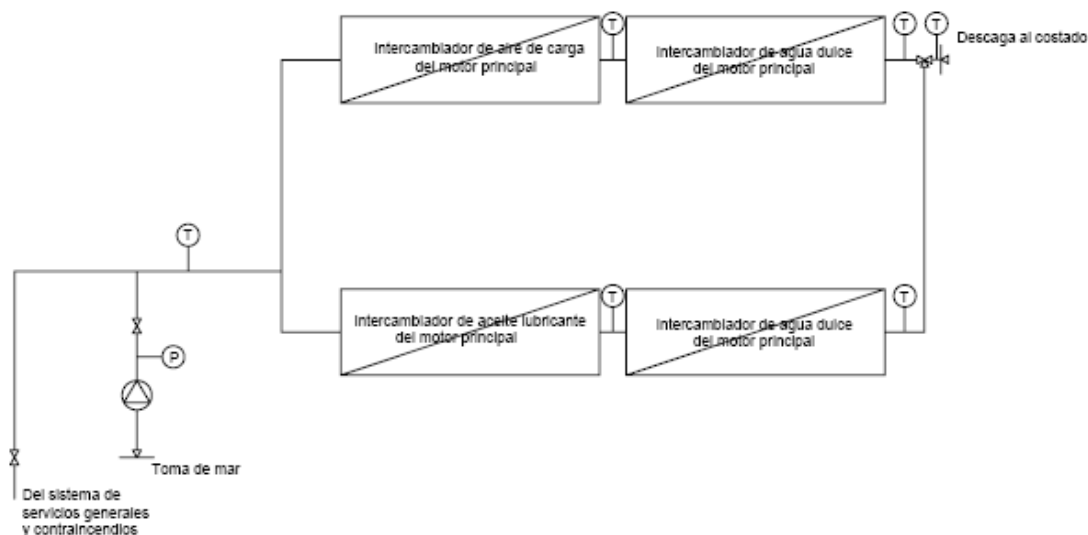


Figura 8. Esquema de funcionamiento del sistema de refrigeración de agua salada.

6.5 Agua salada de viveros, tanque estabilizador y riego del costado.

Los viveros deben albergar, con vida, al cebo que se empleará en la pesca del bonito, y que consiste principalmente en anchoa y chicharrillo.

Para ello los viveros deben disponer de agua salada.

El sistema de agua salada de viveros se encarga del llenado de estos, así como de la renovación del agua.

Para ello dispone de dos tomas de mar de las que aspira agua salada, y de dos bombas para el llenado y renovación del agua de los viveros.

La descarga de esta agua se efectúa mediante las descargas al costado por encima de la flotación, mediante gravedad, y el achique de los viveros se podrá realizar a través de dos bombas de servicios generales o mediante la bomba sumergible.

El mismo sistema se emplea para el llenado y vaciado del tanque estabilizador pasivo.

El sistema de riego tiene por misión crear una cortina de agua con objeto de ocultar el barco a la vista del bonito, para así, facilitar las tareas de pesca.

Para ello se instala una toma de mar de donde se aspirará el agua salda, dos bombas rotativas que tomarán el agua, bien de la toma de mar instalada a los efectos, bien de las tomas de mar instaladas para el sistema de agua salada de viveros, y por último cuatro platos de riego con difusores y válvulas con el fin de poder seleccionar la zona de riego, y de dispersar el agua para realizar la tarea eficaz.

6.6 Refrigeración por agua dulce.

El motor principal, y los motores auxiliares, emplean agua dulce para la refrigeración de los cilindros mediante un circuito cerrado, que al pasar por el intercambiador de calor refrigera a su vez el agua dulce mediante agua salada.

El agua dulce que circula por ese circuito debe tener unas propiedades adecuadas de dureza, así como del nivel de sulfatos y cloro y PH, debiendo realizarse controles de estas propiedades.

El fabricante también aclara que el agua del circuito contiene aditivos para evitar la corrosión. Para añadir estos aditivos se hace mediante el tanque de compensación que rellena el agua perdida en el circuito por fugas.

Al igual que ocurría con el aceite y el combustible, los motores integran, de fabrica, una bomba de circulación del agua dulce.

El sistema de refrigeración cumple así la misión de refrigerar los cilindros de los motores, pero además, el agua dulce calentada será fuente de calor para la generación de agua dulce a bordo.

6.7 Agua dulce sanitaria.

El agua dulce sanitaria y el agua dulce para el servicio de máquinas se suministran por el sistema de agua dulce sanitaria.

El agua dulce se produce mediante destilación (proceso de evaporación), que es más barato, y perfectamente capaz para buques de pequeño porte donde la producción de agua dulce no necesita ser demasiado grande⁸. Además esto permite emplear el calor generado por los motores, y tomado por el agua dulce de refrigeración de los mismos.

La salmuera depositada en el fondo del evaporador debe ser retirada periódicamente. Para comprobar el correcto funcionamiento del equipo se instala un dispositivo que comprueba la conductividad eléctrica del agua destilada, lo cual permite conocer la concentración de sales que posee.

El agua dulce producida es sometida, posteriormente a un proceso de neutralización química, (pH 7), y en el caso de que vaya a ser destinada a consumo humano se le someterá, además, a un tratamiento antibacteriológico.

La cantidad de agua destilada que puede obtenerse por unidad de tiempo viene limitada por el calor del agua procedente del motor que se introduce en el sistema.

6.8 Ventilación (impulsión y extracción).

El sistema de ventilación se divide en tres partes, el sistema de admisión, el sistema de ventilación, y el sistema de escape.

⁸ Para otras aplicaciones se puede emplear un generador de agua dulce por ósmosis inversa.

6.8.1 Admisión

El aire necesario para la combustión se toma de la cámara de máquinas por un filtro acoplado a la turbosoplante de cada motor. La entrada de aire a cámara de máquinas se dispondrá de manera que se evite la entrada de agua y otras partículas. Las descargas del conducto de aire se sitúan por un lado, cerca los motores eléctricos para la refrigeración del calor producido y por otra parte, se dispondrán descargas cerca de las admisiones de las turbosoplantes.

El aire que se emplea para la combustión pasará los siguientes elementos:

- Filtro de aire: Es donde se limpia de impurezas debiéndose obtener una pureza del 99.5% aproximadamente.
- Turbosoplante: El turbocompresor se instala soportado en la carcasa de la turbina sobre el colector de escape. Su función es bombear el aire comprimido necesario para la combustión.
- Intercooler: Su función es reducir la temperatura del aire en la turbo con objeto de introducir más cantidad de aire en el cilindro para obtener una mejor combustión y mayor potencia.
- Colector de admisión: La misión del colector es conducir correctamente el flujo de aire hacia los cilindros.

6.8.2 Ventilación.

El Bureau Veritas dice que se deberá tener una ventilación adecuada en todos los espacios de motores (tanto principales como auxiliares), así como todos aquellos espacios en los que se pueda producir la acumulación de gases inflamables. De esta forma la cámara de máquinas estará correctamente ventilada, no obstante también deberemos introducir el aire necesario para la buena combustión de los motores.

Para cumplir con esas exigencias se dispondrá a bordo del buque un sistema de ventilación forzada que, mediante ventiladores, proporcionarán el aire necesario.

El sistema de ventilación debe aportar el aire necesario para los motores.

En la especificación de los motores se establece que el consumo del motor principal es de 4000 m³/h, mientras que el de las máquinas auxiliares es aún desconocido, pero la experiencia enseña que se pueden estimar en 500 m³/h.

Con lo cuál, entre el motor principal, y los motores auxiliares, se consume un total de 5000 m³/h.

Además, el sistema de ventilación debe ser capaz de disipar el calor radiado por los equipos.

El calor radiado por el motor principal es, por especificación, de 35.4 kW, mientras que el calor radiado por los motores auxiliares lo podemos estimar como la parte proporcional al aire consumido, sumando entre ambos 9 kW.

Podemos suponer que el resto de equipos radian aproximadamente el 15% del calor radiado por el motor principal, lo que es 5.3 kW.

To ello hace un calor radiado de 49.7 kW.

Como el calor radiado es refrigerado por convección, podemos usar la siguiente expresión simplificada para conocer el caudal de aire necesario:

$$C_{aire} = \frac{Q_{rad}}{\rho_{aire} \cdot c_{aire} \cdot \Delta T} \rightarrow \text{Ec. 15}$$

Para el aire podemos tomar una densidad de 1 kg/m^3 ⁹, y un calor específico de $1 \text{ kJ/(kg}\cdot^\circ\text{C)}$.

El diferencial de temperatura se toma como 12°C , que aunque es un valor un poco bajo, es el recomendado por el fabricante del motor principal.

De esa forma, el caudal de aire necesario es de $4.14 \text{ m}^3/\text{s}$, o lo que es lo mismo, $14900 \text{ m}^3/\text{h}$.

Por tanto, entre el aire consumido por motores y equipos ($5000 \text{ m}^3/\text{h}$), y el aire consumido en la disipación del calor radiado ($14900 \text{ m}^3/\text{h}$), necesitamos aportar un caudal $19900 \text{ m}^3/\text{h}$.

Podemos, para cumplir esta misión, disponer dos ventiladores marinos de $20000 \text{ m}^3/\text{h}$, uno de ellos de reserva, de la marca CONAU, que tienen un consumo de 3.6 kW .

La presión de trabajo es de 40 mm.c.a.



Figura 9. Ventilador marca CONAU

6.8.3 Escape

Los gases producidos por la combustión pasan del colector de escape a través del turbocompresor donde se emplea su energía para comprimir el aire de admisión.

A continuación de la turbosoplante se monta un fuelle flexible para absorber las vibraciones y las dilataciones térmicas. Posteriormente se conducirán a través de tubería aislada y protegida con chapa fina de acero inoxidable, al silencioso.

Estas tuberías de escape y los silenciosos dispondrán de drenajes para las posibles condensaciones.

Los silenciosos serán de tipo absorción y contarán con apagachispas. La atenuación de los mismos será de 35 dB .

6.9 Vapor.

Este buque no incorpora sistemas de vapor, a excepción del del funcionamiento interno de la desaladora, o planta de generación de agua dulce.

⁹ No es exacto, pero resulta un buen grado de aproximación, sobretodo teniendo en cuenta que su densidad con toda probabilidad será mayor.

7 Autonomía.

Para el cálculo de la autonomía del buque, emplearemos los distintos consumos de los motores en función al régimen de trabajo que se encuentran.

Por motivos de seguridad, de la cantidad total de combustible solamente se utilizará un 90% (se dejará un margen de un 10%).

Combustible (m ³)	90%Combustible (m ³)
75.814	68.2326

Tabla 8. Combustible disponible.

La autonomía dependerá del régimen del motor principal y de los motores auxiliares, por lo tanto se calculará la autonomía para las siguientes condiciones: navegación normal, pescando la anchoa, durante pesca del cebo vivo y consumo hacia puerto.

7.1 *Autonomía en navegación normal*

En funcionamiento normal (hacia caladero) toda la planta se ha dimensionado para que el motor principal funcione al 90 % de la M.C.R., y los motores auxiliares con un régimen del 50%.

Consumidor	Régimen (%)	Consumo(m ³ /h)
Motor Principal	90	0.1590
Motores Auxiliares	50	0.0300

Tabla 9. Consumo de combustible en condición de navegación normal

Donde sin más que aplicar la siguiente fórmula:

$$d = \frac{0.9 \cdot VC}{\left(\sum Consumo_i \right) 24} \rightarrow \text{Ec. 16}$$

Obtendremos que los días de navegación serían de **15.0 días**.

7.2 *Autonomía pescando anchoas*

Considerando un funcionamiento del motor principal del 80 % y de los auxiliares del 90%.

Consumidor	Régimen (%)	Consumo(m ³ /h)
Motor Principal	80	0.1413
Motores Auxiliares	90	0.0540

Tabla 10. Consumo de combustible durante la pesca de la anchoa

Esto resulta en **14.6 días** de autonomía..

7.3 *Autonomía pescando bonitos*

Estando el motor con un régimen del 35% del M.C.R. y el auxiliar con un 90% la tabla de consumos será:

Consumidor	Régimen (%)	Consumo(m ³ /h)
Motor Principal	35	0.0618
Motores Auxiliares	90	0.0540

Tabla 11. Consumo de combustible durante la pesca con cebo vivo

Obteniendo para este caso una autonomía de **24.5 días**.

7.4 Autonomía hacia puerto

Aunque existen diferencias entre el régimen con el buque navegando hacia el caladero, y el buque retornando del mismo, estas diferencias no son grandes, y podemos asumir que en esta situación el consumo es similar, y por tanto tiene una autonomía de **15.0 días**.

Por tanto, en las expediciones en busca de la anchoa el buque tendrá una autonomía de prácticamente 15 días, mientras que en las mareas en busca del bonito la autonomía puede llegar a ser de algo menos de 20 días. De cara a la seguridad, todos los aprovisionamientos se calcularán para mareas de 20 días.

8 Disposición general de la CM.

La cámara de máquinas se divide en dos niveles.

En el nivel bajo se instala el motor principal con reductora, junto con su bomba de reserva de aceite lubricante.

También se sitúan en este mismo nivel las tomas de mar para los sistemas de agua salada de refrigeración de servicios generales, las bombas de achique, baldeo y contraincendios, y el cuadro eléctrico principal.

En el segundo nivel se montan los grupos electrógenos (los motores auxiliares con sus generadores).

En este mismo nivel se instalan las bombas para los sistemas de agua salada de viveros y riego, el colector de tuberías de combustible, y en general el sistema de combustible, sistemas auxiliares de bodegas, el sistema de arranque por aire comprimido, los sistemas de aceite lubricante y aceite hidráulico, y los sistemas de agua dulce, incluido generación de agua dulce sanitaria.

Esto puede observarse en el Anexo III, que contienen el plano de la disposición general de cámara de máquinas.

9 Secciones necesarias en los tres planos espaciales.

En el Anexo III se puede observar los planos de la disposición general de la cámara de máquinas.

10 Listado numerado e identificativo de todos los elementos definidos.

Los elementos presentes en la cámara de máquinas siguen el siguiente listado identificativo, donde se les asigna un número que se puede observar en el plano de distribución general de la cámara de máquinas del Anexo III.

Identificador	Nombre
1	Motor propulsor (1150 BHP @ 1800 rpm)
2	Caja de engranajes reductora (relación 6.9)
3	Tomas de mar para servicios generales
4	Tomas de mar para viveros, tanque estabilizador y riego
5	Bomba de baja presión para agua salada de viveros y tanque estabilizador
6	Bomba de baja presión para agua salada de viveros y tanque estabilizador

7	Bomba de alta presión para sistema de riego
8	Bomba de alta presión para sistema de riego
9	Bomba de achique, baldeo y contraincendios
10	Bomba de achique, baldeo y contraincendios
11	Bomba de achique, baldeo y contraincendios
12	Colector de tuberías de combustible
13	Bomba de trasiego de combustible
14	Purificadora de combustible
15	Bomba de reserva de aceite del motor principal
16	Cuadro eléctrico principal
17	Generador de agua dulce
18	Bomba del generador de agua dulce
19	Bomba de agua salada para el generador de agua dulce
20	Bomba de servicios sanitarios de agua salada
21	Bomba de servicios sanitarios de agua dulce
22	Hidropresor de agua salada
23	Hidropresor de agua dulce
24	Grupo electrógeno (diesel-alternador)
25	Grupo electrógeno (diesel-alternador)
26	Recipiente de líquido de la bodega
27	Condensador
28	Compresor de la bodega
29	Bomba de servicio a bodega
30	Botellas de aire comprimido
31	Grupo electrohidráulico
32	Compresor de aire

Tabla 12. Listado identificativo de los elementos presentes en la disposición general de cámara de máquinas.

11 Acrónimos.

r_{ideal} , relación de reducción ideal (4.4).

n_{motor} , revoluciones nominales del motor (4.4).

$n_{propulsor}$, revoluciones nominales del propulsor de tres palas, elegido como alternativa para este buque (4.4).

r , relación de reducción empleada finalmente (4.4).

Pot , potencia (6.1.1).

η_e , rendimiento eléctrico (6.1.1).

η_m , rendimiento mecánico (6.1.1).

Cs , coeficiente de seguridad (6.1.1).

Anexo I: Rendimientos mecánicos de bombas.

1 Rendimientos mecánicos de las bombas de husillo o de engranajes

El rendimiento viene establecido en función al caudal de trabajo de la bomba.

<i>Caudal m³/h</i>	<i>η_m</i>
<i>>250</i>	0.50
<i>250-200</i>	0.49
<i>200-125</i>	0.48
<i>125-60</i>	0.47
<i>60-30</i>	0.46
<i>30-10</i>	0.45
<i>10-5</i>	0.44
<i>5-1.5</i>	0.42
<i>1.5-0.3</i>	0.40

Tabla 13. Rendimientos mecánicos de las bombas rotativas

2 Rendimientos mecánicos de las bombas centrífugas

Al igual que para las bombas rotativas, el rendimiento viene dado por el caudal de trabajo de la bomba.

<i>Caudal m³/h</i>	<i>η_m</i>
<i>>500</i>	0.77
<i>500-300</i>	0.75
<i>300-100</i>	0.71
<i>100-30</i>	0.65
<i>30-2</i>	0.60
<i><2</i>	0.40

Tabla 14. Rendimientos mecánicos de las bombas centrífugas

Anexo II: Rendimientos eléctricos de bombas

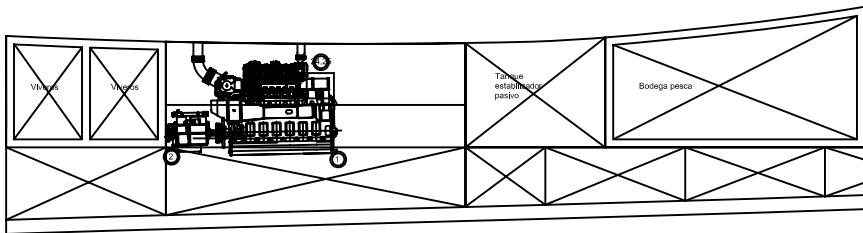
1 Rendimientos eléctricos de bombas de husillo, engranajes y centrífugas

En este caso en la referencia no se hace diferenciación entre bombas rotativas y centrífugas. El rendimiento eléctrico viene dado como una función de la potencia de eje¹⁰.

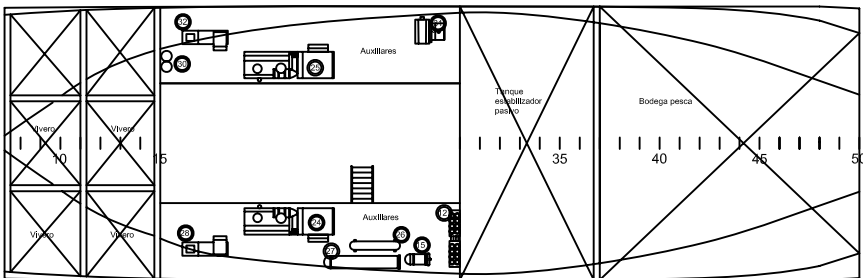
<i>Potencia eje (CV)</i>	<i>η_e</i>
<i>>60</i>	0.92
<i>60-35</i>	0.91
<i>35-20</i>	0.90
<i>20-10</i>	0.89
<i>10-7.5</i>	0.86
<i>7.5-5</i>	0.83
<i>5-2</i>	0.80
<i><2</i>	0.75

Tabla 15. Rendimientos eléctricos

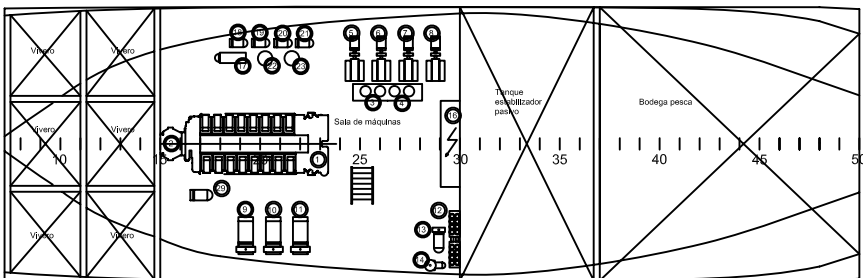
¹⁰ Se trata de la potencia que debe suministrar el motor eléctrico, depende de la potencia útil y del rendimiento del equipo no-eléctrico.



PERFIL



CM, nivel 2



CM, nivel 1

Id.	Nombre
1	Motor propulsor (1150 BHP @ 1800 rpm)
2	Caja de engranajes reductora (relación 6.9)
3	Tomas de mar para servicios generales
4	Tomas de mar para viveros, tanque estabilizador y riego
5	Bomba de baja presión para agua salada de viveros y tanque estabilizador
6	Bomba de baja presión para agua salada de viveros y tanque estabilizador
7	Bomba de alta presión para sistema de riego
8	Bomba de alta presión para sistema de riego
9	Bomba de achique, baldeo y contraincendios
10	Bomba de achique, baldeo y contraincendios
11	Bomba de achique, baldeo y contraincendios
12	Colector de tuberías de combustible
13	Bomba de trasiego de combustible
14	Purificadora de combustible
15	Bomba de reserva de aceite del motor principal
16	Cuadro eléctrico principal
17	Generador de agua dulce
18	Bomba del generador de agua dulce
19	Bomba de agua salada para el generador de agua dulce
20	Bomba de servicios sanitarios de agua salada
21	Bomba de servicios sanitarios de agua dulce
22	Hidropresor de agua salada
23	Hidropresor de agua dulce
24	Grupo electrógeno (diesel-alternador)
25	Grupo electrógeno (diesel-alternador)
26	Recipiente de líquido de la bodega
27	Condensador
28	Compresor de la bodega
29	Bomba de servicio a bodega
30	Botellas de aire comprimido
31	Grupo electrohidráulico
32	Compresor de aire

BONITERO DEL CANTÁBRICO

- Cámara de máquinas -

1/200

Autor: Jose Luis Cercós Pita

Tutor: Antonio Souto Iglesias

Cotutor: Ander Lasa Gallurralde

Nº Proyecto:

077

BUQUE BONITERO DEL CANTÁBRICO
PROYECTO 077.
CURSO 2009-2010

Equipos y servicios.

DOCUMENTO 8
AUTOR: JOSE LUIS CERCOS PITA
COTUTOR: ANDER LASA GALLURRALDE
TUTOR: ANTONIO SOUTO IGLESIAS

1 Índice de contenidos.

1	<i>Índice de contenidos.</i>	2
2	<i>Especificación del proyecto.</i>	4
3	<i>Objetivos.</i>	5
4	<i>Definición y dimensionamiento de los servicios exigidos por la reglamentación.</i>	5
4.1	Numeral del equipo.	5
4.2	Equipos de amarre, fondeo y remolque.	5
4.2.1	Anclas.	5
4.2.2	Cadenas.	6
4.2.3	Molinetes de anclas.	7
4.2.4	Caja de cadenas.	8
4.2.5	Estopores.	9
4.2.6	Escobén.	9
4.2.7	Líneas de amarre.	9
4.2.8	Elementos de amarre.	9
4.2.9	Líneas de remolque.	10
4.3	Equipos de navegación, radio y comunicaciones.	10
4.3.1	Equipamiento náutico.	11
4.3.2	Navegación y radio.	11
4.3.3	Comunicaciones internas.	11
4.4	Luces y marcas de navegación.	12
4.4.1	Luces de navegación.	12
4.4.2	Marcas de navegación.	13
4.5	Servicio de Sentinas.	15
4.5.1	Pocetes de sentinas.	15
4.5.2	Ramales.	15
4.5.3	Colector.	15
4.5.4	Bombas de sentinas.	16
4.6	Servicio de baldeo y contraincendios.	16
4.6.1	Sistemas de protección pasiva contraincendios.	16
4.6.2	Sistema de detección de incendios.	18
4.6.3	Bombas contraincendios.	18
4.6.4	Colector de contraincendios.	19
4.6.5	Bocas, mangueras y lanzas contraincendios.	19
4.6.6	Equipos de bombero.	20
4.6.7	Extintores portátiles.	20
4.6.8	Sistema contraincendios mediante CO ₂ .	21
4.7	Servicio de salvamento.	21
4.7.1	Prevención de riesgos y protección de la tripulación.	22
4.7.2	Chalecos salvavidas.	22
4.7.3	Aros salvavidas.	22
4.7.4	Lanzacabos.	23
4.7.5	Botiquín.	23
4.7.6	Señales de socorro.	24
4.7.7	Balsas salvavidas.	25
4.7.8	Bote de rescate.	26
4.8	Servicio de fonda.	27

4.9	Servicio de lavandería	28
4.10	Servicio de ventilación.....	28
4.11	Servicio de calefacción.	30
4.12	Servicio de extracción de aire.....	31
4.13	Servicio de refrigeración de bodega.....	32
4.14	Servicio de agua dulce sanitaria.....	33
4.14.1	Generador de agua dulce.....	33
4.14.2	Planta potabilizadora.....	35
4.14.3	Bombas	35
4.14.4	Grupo hidróforo de agua dulce	35
4.14.5	Agua dulce caliente sanitaria	36
4.15	Servicio de agua salada sanitaria	36
4.16	Tratamiento de aguas residuales.....	36
5	<i>Definición y dimensionamiento de los servicios específicos del buque para su misión.</i>	36
5.1	Servicio de pesca	36
5.1.1	Grúa de proa.	36
5.1.2	Grúa de popa.....	37
5.1.3	Halador de red.....	37
5.1.4	Instalación hidráulica	38
5.1.5	Maquinilla de cerco.	38
5.1.6	Maquinillas auxiliares.....	38
5.1.7	Bombas de alta presión para riego por costado.....	38
5.1.8	Bombas de baja presión para viveros.....	39
5.1.9	Bomba sumergible de viveros.....	39
5.1.10	Colector de agua de viveros.	39
6	<i>Acrónimos.</i>	40

2 Especificación del proyecto.

- CLASIFICACIÓN: **Bureau Veritas**
- TRB: **149**
- GT: **230**
- VOLUMEN DE COMBUSTIBLE: **70 m³**
- VOLUMEN DE VIVEROS: **50 m³**
- VELOCIDAD EN PRUEBAS: **12 .5 kn al 90% MCR**
- EQUIPO PROPULSOR: **Motor Diesel**
- ALOJAMIENTOS: **15 tripulantes**
- ASPECTOS ADICIONALES:
 - 1.- El buque dispondrá de una planta de oxigenación del agua de viveros.
 - 2.- El buque dispondrá de un tanque estabilizador pasivo que reduzca al menos un 50% el movimiento de balance durante la maniobra de pesca.
 3. Se presentará además una planificación para la construcción asociada a los medios de un astillero de la sociedad PYMAR del que se disponga de información suficiente.

3 Objetivos.

Todos os buques deben disponer de una serie de equipos que están reglados por las sociedades de clasificación. En el presente documento vamos a pasar a describir todos estos equipos y servicios atendiendo a los criterios que impone el Bureau Veritas, sociedad de clasificación de nuestro proyecto.

Por supuesto debemos atender también a los reglamentos del SOLAS en materia de navegación, prevención y salvamento.

Pero además, por ser nuestro buque un buque pesquero de bonito de cebo vivo, que pesca anchoa mediante cerco, y bonito mediante cebo vivo, requiere además de una serie de equipos adicionales que también se describirán en el presente cuaderno.

4 Definición y dimensionamiento de los servicios exigidos por la reglamentación.

4.1 Numeral del equipo.

La gran mayoría de los equipos y servicio que impone y normaliza la sociedad de clasificación dependen del numeral del equipo, un valor dependiente sobretodo del tamaño, y que por tanto indica las dimensiones de los equipos y servicios necesarios.

Concretamente, el Bureau Veritas establece la siguiente expresión para el numeral de equipo:

$$EN = \Delta^{2/3} + 2 \cdot h \cdot B + 0.1 \cdot A \rightarrow \text{Ec. 1}$$

Donde:

Δ es el desplazamiento en toneladas con el calado de verano.

h es la altura en metros desde la flotación en el calado de verano hasta el punto más alto de toda la superestructura.

B , como es convencional, es la manga del buque en metros.

A es el área en m^2 , de la proyección del perfil del buque por encima de la flotación, incluyendo toda la estructura y superestructura. Este valor hace referencia al área vélica, o área resistente al viento.

En nuestro caso:

$$EN = 425.6^{2/3} + 2 \cdot 6.1 \cdot 7.2 + 0.1 \cdot (89.4) m^2 = 149.2 m^2 \rightarrow \text{Ec. 2}$$

Lo que nos sitúa en el tramo de 130 a 150 que estipula la sociedad de clasificación.

4.2 Equipos de amarre, fondeo y remolque.

4.2.1 Anclas.

En el reglamento del Bureau Veritas, parte B, capítulo 10, sección 4, se norma el número y dimensiones de las anclas necesarias. Para nuestro tramo de numerales de equipo entramos en la tabla 1, y encontramos que se imponen dos anclas de 420 kg cada una.

Para anclas de pequeño tamaño, probablemente la alternativa más común y apropiada sea el ancla tipo Hall.



Figura 1. Ancla tipo Hall.

Se caracteriza porque cruz y brazos forman una estructura independiente de la caña, presentando además en la cruz unas uñas perpendiculares a los brazos que facilitan el agarre.

Los brazos pueden girar 40° gracias a la unión de la cruz y los brazos a la caña mediante un perno.

4.2.2 Cadenas.

La sociedad de clasificación regula, en la misma tabla, las cadenas necesarias para sendas anclas.

Para nuestro buque impone cadena con concretos, de una longitud de 275.0 metros. Las cadenas con concretos presentan una unión entre las largas, en la sección media, que mejora la resistencia a tracción que puede soportar la línea en un 20%.

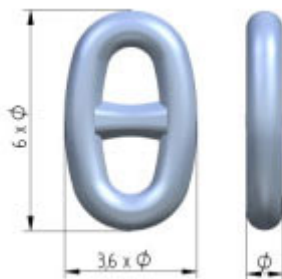


Figura 2. Esquema de cadena con concreto convencional.

El Bureau Veritas ofrece tres posibles diámetros para los eslabones de la cadena. Para conseguir diámetros razonables sin incrementar el precio del material podemos optar por una cadena de acero de alta resistencia (calidad Q2).

Con ese material el diámetro nominal de los eslabones de ambas líneas será de 17.5 milímetros.

Se ofrece una fórmula para conocer la masa por unidad de longitud de las cadenas:

$$m_L = 0.0218 \cdot d_{cad}^2 = 0.0218 \cdot 17.5^2 \frac{kg}{m} = 6.7 \frac{kg}{m} \rightarrow \text{Ec. 3}$$

4.2.3 Molinetes de anclas.

Para las operaciones de largado y levado de anclas se emplea el molinete de proa.

Por tanto se debe disponer un molinete accionado, o bien hidráulicamente, o bien eléctricamente.

Como ya se mencionó en anteriores cuadernos, el único molinete accionado hidráulicamente es el molinete central.

El molinete de proa, que será el empleado para el manejo de las anclas en las maniobras de fondeo, se accionará por tanto eléctricamente.

Por supuesto, el molinete debe ser capaz de levar el ancla y todo el peso de la cadena. Esa operación requiere también despegar la cadena del fondo, lo que en un principio requeriría mayor esfuerzo, y por tanto mayor potencia.

Para evitarlo el molinete dispondrá de otra marcha más lenta que permitirá con la misma potencia, realizar un esfuerzo mayor en el momento de despegar el ancla.

El levado del ancla y la cadena necesita de una potencia tal que:

$$P_1 = \frac{0,87 \cdot (P_C + P_A)}{60 \cdot 75 \cdot \eta} \cdot f \cdot v_1 \rightarrow \text{Ec. 4}$$

Donde:

P_C es el peso de la cadena, en este caso:

$$P_C = m_L \cdot l_L = 6.7 \cdot 275 \text{ kg} = 1842.5 \text{ kg} \rightarrow \text{Ec. 5}$$

P_A es el peso del ancla, 420 kg tal y como exigía la sociedad de clasificación, Bureau Veritas.

η es el rendimiento mecánico del molinete, el cual oscila normalmente entre 0,5 y 0,7. Podemos tomar el valor medio, que es un rendimiento del 0,6.

f es el coeficiente de rozamiento del estopor con la cadena, valor que puede aproximarse por 2 para este caso.

v_1 es la velocidad de levado del ancla.

Podemos tomar una velocidad de izado del ancla de 10 metros por minuto:

$$P_1 = \frac{0,87 \cdot (1843 + 420)}{60 \cdot 75 \cdot 0.7} \cdot 2 \cdot \frac{10}{60} = 3.5 \text{ kW} \rightarrow \text{Ec. 6}$$

Un molinete de aproximadamente 5 caballos de potencia, capaz de izar el ancla a 10 metros por minuto.

En cambio, para la operación de zarpado del ancla la potencia se rige por la siguiente expresión:

$$P_2 = \frac{0,87 \cdot (P_C + P_A) + e \cdot P_A}{60 \cdot 75 \cdot \eta} \cdot f \cdot v_2 \rightarrow \text{Ec. 7}$$

Siendo e el poder de agarre de la cadena. Un valor normal sería aquél situado entre 1.5, y 2.5. Podemos pues tomar el valor medio de 2.

Además, como ya hemos dicho, la potencia del molinete es la misma, tan sólo varía la velocidad, luego entonces:

$$P_2 = P_1 \rightarrow \text{Ec. 8}$$

Y combinando las ecuaciones 6, 7 y 8:

$$v_2 = \frac{P_1}{\frac{0,87 \cdot (P_C + P_A) + e \cdot P_A}{60 \cdot 75 \cdot \eta} \cdot f} = \frac{3.5}{\frac{0,87 \cdot (1843 + 420) + 2 \cdot 420}{60 \cdot 75 \cdot 0.7} \cdot 2} \frac{m}{s} = 0.10 \frac{m}{s} \rightarrow \text{Ec. 9}$$

Luego en la operación de zarpado del ancla el molinete tendrá una velocidad de izado de 6 metros por minuto.

Por tanto se dispondrán dos molinetes de 3.5 kW, de tal forma que cada uno dará servicio a una línea de fondeo. Se les equipará también con cabirones para llevar a cabo las operaciones de amarre.

4.2.4 Caja de cadenas.

Las anclas y las cadenas se estibarán en sendas cajas de cadenas a cada costado del buque¹. Las cajas de cadenas se deben situar bajo el molinete que maneja la línea de fondeo a la que dan servicio, próximo a sus verticales, de tal forma que exista un paso limpio de las cadenas hacia el exterior.

Si situamos este espacio delante del pique de proa, en el pañol, tendremos la ventaja de no necesitar hacer estanca la caja, pues las filtraciones de agua nunca podrán traspasar el pique de proa, el cuál si que es estanco.

Estas cajas de cadenas deben estar recubiertas con enrejado de madera en todas las zonas donde pueda descansar la cadena, para evitar que el roce, o incluso los golpes, con el metal de los mamparos puedan desgastar las cadenas o la estructura del buque.

Las cajas de cadenas se fijan al buque mediante cáncamos a los que se unen los eslabones finales de las cadenas, de tal forma que bajo ningún concepto se pueda perder una línea de fondeo por un fallo humano en las maniobras de largado de cadenas.

Se puede calcular un volumen para la cadena estibada según la siguiente expresión.

$$V_{\text{cadenas}} = 0.082 \cdot d^2 \cdot L \cdot 10^{-4} = 0.082 \cdot 17.5^2 \cdot 275 \cdot 10^{-4} = 0.69 \text{ m}^3 \rightarrow \text{Ec. 10}$$

La sociedad de clasificación establece que una persona debe poder acceder a la caja de cadenas estando toda la cadena estibada en su interior, para lo que debe existir al menos, 1.2 metros de altura por encima de la cadena.

Si utilizamos cajas de cadenas de 1x1 metros tendremos que el puntal mínimo de la caja es de 1.9 metros. Puesto que el espacio cuenta con dos metros de puntal, podemos situar dos cajas de cadenas de 1x1x2 metros.

¹ No se deben situar ambas cadenas en una misma caja, pues existe el riesgo de que se enreden, problema grave de difícil solución.

4.2.5 Estopores.

Los estopores son unas guías situadas entre el escobén y el molinete, que tienen la capacidad de amordazar la cadena, reteniendo la línea, lo que evita que las tensiones, y fluctuaciones de la misma, producidas en la cadena, se transmitan al molinete, lo que podría dañarlo seriamente.

La cadena debe estar amordazada siempre que esté inmóvil, es decir, sólo se liberará para procesos de largado o izado de las líneas de fondeo.

Como el equipo es relativamente pequeño, y las masas y tensiones serán también pequeñas comparadas con otros buques de mayor porte, podemos emplear estopores de patín.

4.2.6 Escobén.

Los escobenes son los tubos que unen la cubierta superior, donde se sitúa la maquinaria de maniobras de fondeo, y el costado exterior del buque, por donde se larga y toma la cadena.

Las zonas donde rocen las cadenas con la estructura deben tener un radio de curvatura suficiente para evitar daños o desperfectos.

El escobén debe ser, dice la sociedad de clasificación, de construcción robusta, y su disposición e inclinación deben ser estudiadas para facilitar la entrada del ancla. Esto quiere decir, no sólo que el ancla debe entrar rozando zonas conflictivas, sino que se deben evitar golpes con el casco durante el izado.

Se provee la siguiente expresión para el cálculo del escoben:

$$d_e = [(100 - d_{cad})0.03867 + 7.5]d_{cad} = 362 \text{ mm} \rightarrow \text{Ec. 11}$$

4.2.7 Líneas de amarre

Las líneas de amarre son las líneas mediante las cuales se puede ligar el buque, restringiendo su movimiento, a uno o más puntos situados por encima de la superficie del agua, como puedan ser muelles, amarres, puntos de atraque, boyas, etc.

El Bureau Veritas obliga a disponer 3 estachas de 120 metros cada una, las cuáles deben tener una carga de rotura nunca inferior a 49 kN².

Las estachas consistirán en cables de acero trenzado.

4.2.8 Elementos de amarre

Los elementos de amarre son aquellos donde se guían y se pueden disponer las líneas de amarre para su fijación al buque.

Se deben disponer estos elementos tanto a proa como a popa.

Para ello se dispondrán, en número suficiente, bitas:

² Observar que se establece la carga absoluta de rotura, y no la tensión de rotura.

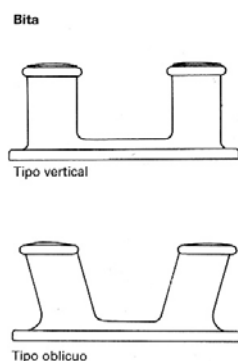


Figura 3. Esquema de bitta vertical, u oblicua.

Gateras³:



Figura 4. Ilustración de una gatera.

Y guiacabos:



Figura 5. Ilustración de una cornamusa.

4.2.9 Líneas de remolque.

En caso de avería o accidente, puede ser necesario que nuestro buque sea remolcado, en el caso, por supuesto, de que el accidente sea sufrido por el buque que proyectamos, o puede prestar ayuda otros buques remolcándolos, en el caso de que sean terceros los que se encuentren en situación comprometida.

La sociedad de clasificación impone el uso de cabos de 180 metros de longitud, y una carga de rotura no inferior a 98.1 kN.

Nuevamente podemos emplear cabos de acero trenzado.

4.3 Equipos de navegación, radio y comunicaciones.

Este servicio, y más concretamente, los equipos implicados, se regula por el Convenio de Seguridad de buques pesqueros, incluido en el SOLAS 74/88, parte B, mediante las reglas para la construcción y el equipo de buques pesqueros, y también se encuentra regulado por la sociedad de clasificación.

Por la especial importancia de estos equipos, deberán disponer siempre de alimentación eléctrica, de tal forma que cuente en todo momento con suministro suficiente para hacer funcionar los equipos de radio, y para recargar las baterías de emergencia.

³ Aberturas en la amurada por donde pasan los cabos.

Las baterías de emergencia, como se verá más adelante, se deben situar fuera del puente y de la cámara de máquinas, resguardadas de los fenómenos meteorológicos y del mar, y con una adecuada ventilación.

4.3.1 Equipamiento náutico.

El equipamiento náutico obligatorio para la navegación es el siguiente:

- Una campana.
- Un código internacional de señales.
- Una lámpara de señales.
- Tabla de señales de salvamento.
- Un termómetro.
- Un barómetro.
- Cartas náuticas, libros de faros y derroteros de los mares en que navega.
- Un prismático nocturno (7x50.)
- Un prismático diurno (8x30.)
- Un sextante.
- Un cronómetro.
- Un cronógrafo contador de bolsillo.
- Un compás de puntas.
- Una regla de 40 cm.
- Un transportador de ángulos.
- Un megáfono.
- Una bocina de niebla a presión manual.

4.3.2 Navegación y radio.

Para la navegación y las radiotelecomunicaciones, donde se incluyen los equipos de detección, se disponen los siguientes elementos:

- Un girocompás.
- Un radar 9 de 3 GHz.
- Una corredera electromagnética.
- Un equipo radioeléctrico transmisor-receptor portátil a la frecuencia 2182 kHz.
- Un radiogoniómetro de banda radiotelegráfica de ondas hectométricas en la frecuencia de socorro de 2182 kHz.
- Una radio baliza de localización de siniestros 406 MHz.
- Sónares que barran 360° alrededor del barco e informen sobre la profundidad, distancia y concentración de peces.
- Tres radio teléfonos de VHF en las frecuencias de 156.300 y 156.650 MHz.

4.3.3 Comunicaciones internas.

Para garantizar la coordinación del activo humano presente en el buque, de tal forma que el tiempo y capacidad de respuesta sean máximos, el barco debe disponer de sistema de comunicación interna.

Los equipos que se ofrecen para este servicio son los siguientes:

- Teléfonos de órdenes.
- Telégrafo de órdenes.
- Sirena.

4.4 Luces y marcas de navegación.

El número, situación, y necesidades de luces y marcas de navegación deben cumplir con los requisitos acordados en el Reglamento Internacional para Prevenir los Abordajes en la mar (1972), parte C, y en las enmiendas de 1981, y 2003.

4.4.1 Luces de navegación.

Este sistema es crítico, y por tanto se establece que debe estar alimentado a través de un circuito eléctrico independiente a partir de un cuadro eléctrico también independiente, localizado en el puente de gobierno.

Las luces que impone el reglamento, en su Anexo I, son las siguientes:

Luz de tope, que consiste en una luz blanca situada a menos de un cuarto de la eslora, medido desde la roda, y a una altura mayor que la manga del buque, y menor de doce metros.

Luces de todo horizonte, consistentes en una serie de luces dispuestas en una línea vertical con una separación superior en todo caso a dos metros, y debiendo estar la inferior de la línea a más de cuatro metros de las luces de costado.

Luces de costado, consistentes en una pareja de luces, roja a babor, y verde a estribor, que deben estar dispuestas tal que nunca interfieran con las luces de cubierta, y cuya altura nunca puede ser superior a tres cuartas partes de la altura de la luz de tope.

Luz de alcance, que consiste en una luz blanca situada lo más a popa posible.

Todo ello se resume en la siguiente tabla:

Nombre	Definición	Alcance (millas)	Intensidad (candelas)
Luz de tope	Luz blanca situada sobre el eje longitudinal del buque sin interrupción en todo un arco horizonte de 225°, fijada de forma que sea visible desde la proa hasta 22.5° grados a popa del través de cada costado del buque.	5	52
Luces de costado	Una luz verde en la banda de estribor y una luz roja en la banda de babor que muestran cada una su luz sin interrupción en todo un arco del horizonte de 112.5°, fijados de forma que sean visibles desde la proa hasta 22.5° a popa del través de su costado respectivo.	2	4.3
Luz de remolque	Luz amarilla de las mismas características que la luz de alcance.	2	4.3
Luz de todo horizonte	Luz que es visible sin interrupción en un arco de horizonte de 360°.	2	4.3
Luz centelleante	Luz que produce centelleos a intervalos regulares, con una frecuencia de 120 o más centelleos por minuto.	2	4.3
Luz de alcance	Luz blanca colocada lo más cerca posible de la popa, que muestra su luz sin interrupción en todo un arco del horizonte de 135°, fijada de forma que sea visible en un arco de 67.5°, contados a partir de la popa hacia cada una de las bandas de buque.	2	4.3

Tabla 1. Especificaciones del combustible.



Figura 6. Esquema simplificado del reglamento de luces de navegación.

El objetivo de las luces es que terceros puedan avistar y conocer rumbo y dimensiones del buque con suficiente antelación.

4.4.2 Marcas de navegación.

Las marcas de navegación son marcas negras como las siguientes:

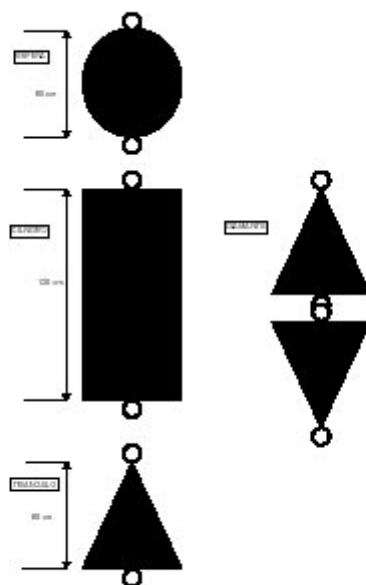


Figura 7. Marcas de navegación.

El reglamento establece que la bola no tendrá un diámetro inferior a 0.6 metros, al igual que la base de la marca cónica. Además la marca cónica deberá tener una altura igual a su diámetro.

La marca bicónica consistirá en dos marcas cónicas unidas por la base.

Las marcas deberán tener siempre una distancia no inferior a 1.5 metros.

Se muestra en la siguiente tabla las luces y marcas empleadas en función del tipo de navegación que se este realizando:

Nav.\ Luces y marcas	Tope	Costado	Alcance	Remolque	Todo Horizonte	Marca día
Navegación libre	1	2	1			
Navegación faenando					2 rojas la superior blanca la inferior	Dos conos unidos vértices
Navegación faenando con arrancada		2	1		2 rojas la superior blanca la inferior	Dos conos unidos por los vértices
Navegación sin gobierno					2 rojas	Dos bolas negras
Navegación sin gobierno con arrancada		2	1		2 rojas	Dos bolas negras
Fondeado					1 blanca	Una bola negra
Varado					2 rojas la superior blanca la inferior	Tres bolas negras
Remolcando(inferior a 200 metros)	3	2	1	1		
Remolcando(superior a 200 metros)	2	2	1	1		Marca bicónica
Remolcado (inferior a 200 metros)		2	1			
Remolcado (superior a 200 metros)		2	1			Marca bicónica

Tabla 2. Tabla de resumen de empleo de luces y marcas.

4.5 Servicio de Sentinas.

El sistema de achique sentinas lo conformarán un conjunto de bombas conectadas a un colector de sentinas que permitirá el achique de los distintos espacios del buque.

El reglamento a seguir será el impuesto por la sociedad de clasificación.

Este reglamento admitirá el achique manual de algunos espacios pequeños, mediante bombas manuales.

La disposición de los circuitos de sentinas será tal que no pueda entrar en contacto con la carga de la bodega ni con el combustible, ni con el aceite lubricante.

4.5.1 Pocetes de sentinas.

Situados en la plataforma de los espacios a los que da servicio el sistema de sentinas, consisten en pocotes en forma de caja donde se acumula el agua que será succionada por las bombas.

Para evitar malfuncionamientos por los cuales el agua de sentinas pudiera volver a los espacios los pocotes se equipan con válvulas de no retorno.

4.5.2 Ramales.

De los pocetes el agua será succionada por las bombas, siendo conducida por los ramales hasta el colector de agua de sentinas.

Para evitar que elementos sólidos lleguen a las bombas, se instalarán filtros en las juntas con los pocotes.

El Bureau Veritas establece la siguiente fórmula para el cálculo de los diámetros de los ramales:

$$d_i = 25 + 21.6 \cdot \sqrt{L_i \cdot (B + D)} \rightarrow \text{Ec. 12}$$

Siendo:

L_i : Eslora del espacio a achicar

B : Manga del espacio a achicar.

D : Puntal del espacio a achicar.

En un principio, por cuestiones de coste, y debido a las ventajas de estandarizar, conviene que todos los ramales tengan el mismo diámetro, por tanto debemos buscar el ramal cuyo diámetro sea el mayor de cuantos se exijan para los distintos espacios.

En nuestro caso será el de cámara de máquinas:

$$d_{\text{ramales}} = 25 + 1.6 \cdot \sqrt{7.5 \cdot (6.5 + 2.0)} \text{ mm} = 40 \text{ mm} \rightarrow \text{Ec. 13}$$

4.5.3 Colector.

El agua de sentinas succionada por las bombas es llevada, ramales mediante, al colector. La sociedad de clasificación provee la siguiente expresión para calcular el diámetro del colector:

$$d_{\text{colector}} = 25 + 1.68 \cdot \sqrt{L \cdot (B + D)} \rightarrow \text{Ec. 14}$$

Donde:

L es la eslora del buque, definida según el reglamento, en su capítulo primero, sección segunda, de la parte B.

B es la manga del buque, definida según el reglamento, en su capítulo primero, sección segunda, de la parte B.

D es el puntal de trazado del buque.

En nuestro caso:

$$d_{\text{colector}} = 25 + 1.68 \sqrt{29.8 \cdot (7.2 + 4.5)} \text{ mm} = 60 \text{ mm} \rightarrow \text{Ec. 15}$$

El colector tendrá un diámetro interior de 60 milímetros.

4.5.4 Bombas de sentinas

Dice el reglamento que se deben disponer al menos dos bombas de sentinas conectadas al colector⁴, pero además se exige que en todo caso, cada bomba pueda ser reemplazada por al menos otras dos bombas.

De tal forma que es necesario equipar al sistema con al menos tres bombas de sentinas.

En el mismo reglamento, el Bureau Veritas establece el caudal mínimo de las bombas, que es:

$$Q_{\text{sentinas}} = 0.00345 \cdot d_{\text{sentinas}}^2 = 0.00345 \cdot 60^2 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 12.4 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \rightarrow \text{Ec. 16}$$

Puesto que el sistema debe ser capaz de succionar, las bombas deben ser autocebadas.

Por tanto equiparemos el sistema con tres bombas autocebadas capaces de mover un caudal de 20 m³/h, con una diferencia de presión de 2.5 bar.

El rendimiento de las bombas se puede estimar en 0.6.

De esta forma la potencia consumida por la bomba será de:

$$P_{\text{sentinas}} = \frac{Q_{\text{sentinas}} \cdot P}{\eta} = \frac{12.4 \cdot 2.5}{3600 \cdot 100 \cdot 0.6} \text{ W} = 1.86 \text{ kW} \rightarrow \text{Ec. 17}$$

4.6 Servicio de baldeo y contraincendios.

Los sistemas de contraincendios y baldeo están reglados tanto por el Convenio para las Seguridad de la Vida Humana en la Mar del SOLAS, como por el Convenio de Torremolinos, como por el reglamento de la Sociedad de Clasificación.

Este servicio cuenta con medidas de protección pasiva, y con medidas de protección activas.

4.6.1 Sistemas de protección pasiva contraincendios.

Los sistemas de protección pasiva tienen, como primera función, evitar la aparición de fuegos, pero también tienen como función evitar su propagación, e incluso provocar su extinción.

El reglamento especifica las características que deben tener los mamparos y cubiertas para aislar las zonas de alto riesgo de incendio, y para evitar que el fuego se extienda, lo que no sólo evita nuevos daños, sino que facilita su extinción.

Además exige una protección especial de ciertas áreas exteriores: exteriores: zona de pasaje, vías de evacuación, equipos de salvamento y abandono de buque o equipos esenciales del buque.

⁴ Cuya velocidad de impulsión no supere los 1.5 m/s para evitar problemas de ruidos y averías en el equipo.

Por su parte, el Convenio de Torremolinos establece una normativa de aplicación a buques de menos de 55 metros de eslora en el capítulo quinto, de la parte B.

Según la Regla 89 de esta normativa, los mamparos estructurales, así como las cubiertas y casetas, serán de material incombustible.

Entre los espacios de categoría A⁵ y los espacios de habilitación, servicio, o control, las cubiertas y los mamparos serán de clase **A-60**, salvo en el caso de que el espacio de categoría A esté provisto de un sistema de extinción de incendios fijo, en cuyo caso se dispondrán cubiertas y mamparos de clase **A-30**.

Las cubiertas y mamparos que separen otros espacios de maquinaria y los espacios de habilitación, servicio, o control, será de clase **A-0**.

Las separaciones entre puestos de control, y zonas de habilitación y servicios serán de clase **A**, imponiéndose también un sistema de aislamiento que la administración juzgue satisfactorio.

Puntualmente, se admite que espacios como el camarote del capitán con la caseta de gobierno se separen mediante mamparos de clase **B-15**⁶.

Los mamparos de los pasillos utilizados para los espacios de alojamiento y los de servicio, así como los troncos de las escaleras interiores, y para los puestos de control, serán divisiones de clase **B-15**.

Las escaleras interiores utilizadas para los espacios de alojamiento y los de servicio, o para los puestos de control, serán de acero o de otro material equivalente.

Los mamparos y las cubiertas límite de los espacios en que haya alguna fuente de energía de emergencia y los mamparos y las cubiertas situados entre cocinas, pañoles de pinturas, pañoles de luces o cualesquiera pañoles que contengan cantidades considerables de materias altamente inflamables, y los espacios de alojamiento y de servicio, o los puestos de control, estarán contruidos con divisiones de clase **A** e irán provistos de un aislamiento que, considerado el riesgo de incendios, la Administración juzgue satisfactorio, aunque ésta podrá aceptar divisiones de clase **B-15** entre una cocina y espacios de alojamiento o de servicio y puestos de control, cuando la cocina contenga únicamente hornos eléctricos, calentadores de agua también eléctricos u otros artefactos de caldeo eléctrico.

Por tanto, la cámara de máquinas dispondrá una cubierta inferior de clase **A-30**, por colindar con una zona de especial riesgo, y una cubierta superior de clase **A-30** por dar a zonas de habilitación.

Los mamparos de proa y popa serán de clase C, pues no dan a zonas de habilitación no de alto riesgo.

La caseta se llevará a cabo toda ella con cubiertas y mamparos de clase **B-15**, salvo las separaciones con el puente de gobierno y con la sala de control de máquinas, que se llevarán a cabo con mamparos de clase **A-0**.

Todas ellas dispondrán de aislamiento de acuerdo con la administración.

El resto de zonas de habilitación dispondrán cubiertas y mamparos de clase **B-15**.

Los tanques de combustible del doble fondo tendrán cubiertas superiores de clase **A-30**, por representar zonas de alto riesgo. También se dispondrán separaciones de clase **A-30** en el tanque de combustible de popa.

El resto de espacios se delimitarán con cubiertas y mamparos de clase C.

⁵ Son los que contienen motores de combustión interna utilizados para propulsión principal o para otros fines siempre que la potencia sea superior a 375 KW.

Se incluyen en esta definición los que contienen una caldera alimentada con combustible líquido o una instalación de combustible líquido, así como los troncos de acceso a todos estos espacios.

⁶ No se admite en cambio si se trata de cubiertas.

4.6.2 Sistema de detección de incendios.

En caso de que se origine un fuego, la primera medida para luchar eficazmente contra el es su pronta detección, por tanto es fundamental disponer de un buen sistema de detección de incendios.

En el puente de gobierno se situarán los sistemas de control, entre los que se incluyen el panel de control del sistema contraincendios, el cuadro de distribución de alarmas, y el sistema de detección de incendios.

Los dispositivos de detección de humos y altas temperaturas se situarán a lo largo de todo el buque, concretamente un detector de humo en cada espacio que no sea un tanque cerrado, y un detector de alta temperatura en todos los tanques de carga y provisiones, así como en la cámara de máquinas, en la sala del control de máquinas, y en el puente de gobierno y la cocina.

En caso de que algún dispositivo detecte un posible incendio se lanzará una alarma visual al puente de gobierno, marcando la zona donde se ha detectado.

Si durante dos minutos no se responde a la alarma, desactivándola por haberse comprobado que se trata de una falsa alarma, o activando los sistemas contraincendios manualmente, habiéndose comprobado que la existencia del fuego es real, y debe ser extinguido, el sistema lanzará una alarma acústica a las zonas de habitación y servicio, donde presumiblemente se pueda encontrar la tripulación.

4.6.3 Bombas contraincendios.

El sistema contraincendios de agua salada hace uso de una o más bombas para circular agua salada desde las tomas de mar hasta las bocas, mangueras y lanzas contraincendios.

La sociedad de clasificación impone⁷ que:

Se deberá disponer una bomba principal motorizada e independiente de la máquina principal del buque en cuanto a la fuerza motriz.

Si la bomba principal se localiza en el mismo local que contiene la maquinaria propulsora se debe disponer una segunda bomba de emergencia.

Por tanto debemos disponer de ambas bombas.

La sociedad de clasificación estipula un caudal mínimo que se calcula según la expresión siguiente:

$$Q_{CI} = 7.67 \cdot 10^{-3} \cdot d_{sentinas}^2 = 7.67 \cdot 10^{-3} \cdot 60^2 \frac{m^3}{h} = 27.6 \frac{m^3}{h} \rightarrow \text{Ec. 18}$$

En cambio, el convenio de Torremolinos establece que:

$$Q_{CI} = (0.15 \sqrt{L(B+D)} + 2.25)^2 = (0.15 \sqrt{29.6(7.2+4)} + 2.25)^2 \frac{m^3}{h} = 24.8 \frac{m^3}{h} \text{ Ec. 19}$$

Por tanto, para cumplir con ambas normativas debemos tomar el caudal mayor entre ambos exigibles, y por tanto, la bomba principal debe ser capaz de dar un caudal de 27.6 metros cúbicos a la hora.

La bomba de emergencia, establece el Bureau Veritas, debe ser una bomba autocebada capaz de funcionar incluso en situación de inmersión, y capaz de dar un caudal superior al 40% del de la bomba principal, y nunca inferior a 15 metros cúbicos de agua a la hora.

⁷ Al igual que el Convenio de Torremolinos.

El 40% del caudal de la bomba principal es 10 m³/h, pero ese valor es inferior a los 15 m³/h de caudal mínimos exigibles, por tanto tomaremos este último valor:

$$Q_{CI}^{emergencia} = 15 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \rightarrow \text{Ec. 20}$$

Por tanto, el consumo de ambas bombas será de 3.75 kW la bomba principal, y de 2.25 kW la bomba de emergencia.

4.6.4 Colector de contraincendios.

Este sistema contraincendios de agua salada se alimenta de un colector principal, que, marca la administración, debe tener un diámetro tal que se pueda descargar el caudal de las bombas principales contraincendios funcionando todas ellas a la vez, y que se mantenga una presión en las bocas de contraincendios tal que permita proyectar chorros de agua a una distancia de doce metros.

Ello se puede lograr mediante flujos de 2 m/s, lo que implica que el colector debe ser capaz de transportar los 25 metros cúbicos a la hora de caudal de la única bomba principal contraincendios, a una velocidad de 2 m/s:

$$d_{CI} = 2 \sqrt{\frac{Q_{CI}}{\pi \cdot v}} = 2 \sqrt{\frac{25}{3600 \cdot \pi \cdot 2}} \text{m} = 70 \text{mm} \rightarrow \text{Ec. 21}$$

4.6.5 Bocas, mangueras y lanzas contraincendios.

En el apartado 2.3 de la Regla 10 del Capítulo II-2 del SOLAS se recogen las exigencias a cumplir en lo referente a las bocas, mangueras y lanzas contraincendios.

El número y la distribución de las bocas contraincendios serán tales que por lo menos dos chorros de agua no procedentes de la misma boca contraincendios, uno de ellos lanzado por una manguera de una sola pieza, puedan alcanzar cualquier parte del buque normalmente accesible a los pasajeros o a la tripulación mientras el buque navega, y cualquier punto de cualquier espacio de carga cuando éste se encuentre vacío, cualquier espacio de carga de buque de trasbordo rodado o cualquier espacio de categoría especial. En este último caso los dos chorros alcanzarán cualquier punto del espacio, cada uno de ellos lanzado por una manguera de una sola pieza. Además, estas bocas contraincendios estarán emplazadas cerca de los accesos a los espacios protegidos.

Respecto a las mangueras, existirá al menos una manguera por cada una de las bocas contraincendios. A su vez se instalará una válvula por cada manguera. Cada manguera además estará provista de una lanza y los acoplamientos necesarios.

Las mangueras se fabricarán de materiales no perecederos.

Por el tamaño del buque, se podrán instalar bocas con mangueras fijas en los siguientes emplazamientos:

2 bocas con sus respectivas mangueras fijas en la cubierta principal a proa y a popa de la caseta. De esta forma darán servicio a toda la cubierta, y a la bodega de carga, a los viveros, a la habitación de popa, y al local del servo.

1 boca con su respectiva manguera fija en el tambucho de la zona de habitación de proa.

1 boca con manguera fija en la popa de la cubierta del puente.

2 bocas con mangueras fijas en los pasillos de ambas cubiertas de la caseta.

4.6.6 Equipos de bombero

Según la Sociedad de Clasificación, parte E, capítulo 20, sección 6.8 y el SOLAS se deberá disponer para la tripulación de:

- Dos piquetas.
- Una lámpara portátil eléctrica.
- Baterías y bombillas de respeto.
- Un hacha.
- Un traje de bombero con equipo de respiración autónomo.



Figura 8. Traje de bombero con sistema de respiración autónomo

4.6.7 Extintores portátiles

Se dotará al buque con un número de extintores suficiente para asegurar que por lo menos siempre haya un extintor listo en cualquier espacio de alojamiento y puestos de control.

Los extintores serán portátiles, no excediendo su capacidad de los 13.5 litros. La localización de los extintores será la siguiente:

- Dos extintores en la cámara de máquinas.
- Un extintor en cada camarote.
- Un extintor en la cocina.
- Un extintor en el local el servo.
- Un extintor en el pañol.
- Un extintor en el puente.
- Un extintor en la sala de control de la cámara de máquinas.



Figura 9. Extintores portátiles

4.6.8 Sistema contraincendios mediante CO₂.

Para evitar el deterioro de la maquinaria por el agua salada, así como la problemáticas de extinguir incendios en los que se encuentran presentes equipos eléctricos mediante riego con agua, en la cámara de máquinas se dispone de un sistema contraincendios mediante dióxido de carbono.

Este sistema consiste en desplazar el oxígeno de la sala, haciendo imposible ninguna combustión.

Por supuesto, por emplearse un gas (dióxido de carbono), para que el sistema funcione correctamente, se deben seguir estas pautas:

No se disponen de ojos de buey, ni ventanas, ni otras aberturas similares en la cámara de máquinas.

Para las aberturas de chimenea y ventilación, así como accesos a la cámara de máquinas, se dispondrán medios de control de abertura y cierre, así como de parado de los ventiladores.

El cálculo de las botellas se efectuará de acuerdo con el Capítulo 5 del Código Internacional de Sistemas de Seguridad Contraincendios, según el cual la capacidad de las botellas de dióxido de carbono será tal que, en las condiciones de presión y temperatura esperadas en la cámara de máquinas, el gas contenido ocupe el 30% del volumen total del mayor espacio protegido sin considerar el guardacalor.

Como el volumen de nuestra cámara de máquinas es de 125 m³, tendremos que el volumen de CO₂ será el 30 % de este volumen, es decir, 37.5 m³. Considerando una densidad del dióxido de carbono de $\rho_{CO_2} = 0,56 \text{ kg /m}^3$, el peso correspondiente a las botellas será 21 kg.

4.7 Servicio de salvamento.

En caso de accidente, avería, hombre al agua, u otras situaciones comprometidas, puede ser necesario realizar operaciones de salvamento, entre las que se pueden citar recogida de hombres caídos al agua, auxilio de hombres heridos, protección de la tripulación, y evacuación de la nave.

El servicio de salvamento dispone del equipamiento necesario para realizar esta tarea.

4.7.1 Prevención de riesgos y protección de la tripulación.

La primera misión del servicio de salvamento es la de evitar accidentes, para ello se deben disponer los medios necesarios para la operación del buque con seguridad.

Por ello las escotillas irán abisagradas para evitar que se desprendan y puedan causar accidentes por impactos. Las aberturas se protegerán contra cierres accidentales.

Junto a las aberturas de evacuación se dispondrán asideros que queden por encima de la cubierta, para evitar caídas durante las operaciones de evacuación en las que el buque se puede encontrar escorado.

Toda escalera de más de un metro de altura esta dotada de baranda a ambos lados. Las escalas verticales fijas se sitúan suficientemente protegidas, y nunca a los costados del buque.

Las partes móviles de las maquinillas y de las guías de cadenas y cables de arrastre que puedan presentar peligro, llevarán dispositivos protectores y de defensa adecuados.

Los controles y actuadores de las maquinillas están emplazados de forma que disponen de un fácil acceso y amplio espacio para su accionamiento.

Sus palancas de control disponen de freno de hombre muerto, de tal forma que retornan automáticamente a la posición de parada cuando se deja de actuar sobre ellas. Además se equipan con sistemas de sujeción que impiden que se muevan accidentalmente.

Los tambuchos, puertas y accesos normales están provistos de iluminación artificial a ambos lados.

Todos los pasillos y zonas de trabajo en los que la luz natural sea insuficiente están provistos de iluminación artificial.

4.7.2 Chalecos salvavidas.

En caso de necesidad de evacuación del buque, se deben proveer chalecos para toda la tripulación.

Por tanto, tal y como obliga el Convenio de Torremolinos a buques de menos de 45 metros, equiparemos el buque con 15 chalecos salvavidas cuya misión es mantener a flote a los tripulantes caídos al agua, y al mismo tiempo mantenerlos visibles.



Figura 10. Chaleco salvavidas.

4.7.3 Aros salvavidas.

En caso de que en un accidente se de una situación de hombre al agua, el buque debe disponer de aros salvavidas que le puedan ser lanzados para auxiliarle y mantenerle a flote.

Estos aros salvavidas también deben mantener visible al hombre.

El convenio de Torremolinos nos impone, por ser un buque de menos de 45 metros de eslora, disponer 4 aros salvavidas, dos de los cuáles deben estar equipados con luces de encendido automático.

Estos aros deben ir distribuidos a lo largo de toda la eslora del buque. Situaremos dos en los costados de la caseta, uno en el tambucho de popa, y otro en los acceso a la habitación de proa.



Figura 11. Aros salvavidas.

4.7.4 Lanzacabos.

El Convenio de Torremolinos, en su aplicación para buques de menos de 45 metros de eslora, nos indica que debemos disponer un aparato lanzacabos con capacidad para lanzar un cabo a una distancia de al menos 230 metros, con una precisión razonable.

En nuestro caso dispondremos un aparato lanzacabos con las capacidades exigibles en la cubierta superior del puente, donde se favorece el alcance.

Este aparato tiene como principal misión poder lanzar un cabo a un hombre, o una balsa a la deriva para poder arriarlo a salvo a bordo del buque.



Figura 12. Lanzacabos neumático.

4.7.5 Botiquín.

El reglamento SERVIMAR obliga a disponer de botiquines.

Concretamente se dispondrán botiquines en los siguientes espacios:

- 2 botiquines en cámara de máquinas.
- 1 botiquín en el puente de gobierno.
- 1 botiquín en la sala de control de máquinas.

- 1 botiquín en la cocina.



Figura 13. Botiquín.

4.7.6 Señales de socorro.

Aunque el Convenio de Torremolinos no obliga a los buques menores de 45 metros a equipar radiobalizas automáticas, en nuestro caso si incorporaremos una en la cubierta del puente para, en caso de naufragio, facilitar las tareas de rescate de la tripulación.

Las radiobalizas son dispositivos que al contacto con el agua se activan, liberándose. Estas radiobalizas tienen capacidad de flotar, y al activarse envían una señal de socorro a intervalos regulares de tiempo con un sistema autónomo de suministro de energía. Además incorporan una cruceta metálica que produce claros brillos en los detectores de radar.



Figura 14. Radiobaliza.

Lo que si nos obliga el Convenio de Torremolinos es a equipar el buque con doce señales de socorro de tipo paracaídas. Estos dispositivos consisten en unas bengalas que se lanzan al cielo, y una vez llegado al punto más alto, la bengala despliega un paracaídas que permite que se mantenga alta el máximo tiempo posible para poder ser vistos por otro buque o artefacto que pudiera acudir en su ayuda.



Figura 15. Bengala con sistema de paracaídas.

4.7.7 Balsas salvavidas.

Dice el Convenio de Torremolinos que los buques de menos de 45 metros deben disponer embarcaciones de supervivencia de suficiente capacidad conjunta para dar cabida al 200% del número total de personas, que como mínimo haya a bordo.

Nuestra tripulación consta de 15 tripulantes, luego podemos emplear dos balsas salvavidas con capacidad para 15 personas.

Serán de la marca Zodiac, que se encuentran homologadas según SOLAS, la DGMM y la Directiva Marina Europea. Los containeres que las contienen serán de 0,80 m de diámetro, 1,275 m de largo y 185 kg de peso.

Estas balsas salvavidas disponen del siguiente equipo:

- Dos zagales flotantes.
- Un pequeño aro flotante con un cabo de 30 m de longitud.
- Un bombín.
- Una navaja de muelle y un achicador.
- Dos esponjas.
- Dos anclas flotantes.
- Un estuche para reparar pinchazos.
- Un bombín.
- Tres abrelatas de seguridad.
- Un botiquín.
- Una linterna eléctrica.
- Una espejo.
- Dos señales de paracaídas de tipo aprobado.
- Seis bengalas de mano.
- Un juego de aparejos de pesca.
- Una ración de alimentos de cómo mínimo 8000KJ, para cada una de las personas.
- Receptáculos estancos.
- Seis pastillas contra el mareo.
- Instrucciones de cómo sobrevivir en una balsa.
- Tabla de señales de salvamento.
- Un silbato.
- Dos ayudas térmicas.

- Un reflector de radar.



Figura 16. Balsa salvavidas Zodiac.

El botiquín incluido en la balsa es el siguiente:



Figura 17. Botiquín equipado en la balsa salvavidas Zodiac.

Los contenedores de las balsas descansarán sobre unos soportes de acero inoxidable, y estarán preparados para su fácil lanzamiento al mar.

Se estiban en la cubierta superior del puente, a ambos costados del buque.

Las balsas salvavidas se estibaban de manera que están inmediatamente disponibles en caso de emergencia. El procedimiento de estiba es tal que la balsa puede soltarse y flotar libremente, mediante zafa automática, inflarse y apartarse del buque si éste se hunde.

Las balsas salvavidas proveen dispositivos que permitan remolcarlas con facilidad, y que permiten unir las, mejorando su flotabilidad, visibilidad, y facilitando las operaciones de remolcado.

Los lugares de embarque y abandono del buque tienen iluminación suficiente, alimentada del cuadro principal y por baterías.

4.7.8 Bote de rescate.

Por último, el Convenio de Torremolinos nos obliga a disponer de un bote de rescate.

En nuestro caso se tratará de una embarcación semirígida de 4.22 metros de eslora, 1.84 metros de manga, y 253 kg de peso.

Se propulsa mediante un motor fuera borda de 25 caballos de potencia.

Para evitar problemas que pudieran hacerla naufragar, se divide en seis cámaras de aire.

Puede transportar un máximo de 6 personas, lo que, a plena carga, supone un peso de 685 kg.

La velocidad máxima que puede alcanzar la embarcación es de 15 nudos.

El bote de rescate se puede emplear como bote de servicio para operaciones auxiliares como por ejemplo, durante la pesca.

La embarcación está equipada con:

- Zagales flotantes.
- Un achicador flotante.
- Una navaja de muelle.
- Dos esponjas.
- Un silbato.
- Una boza de longitud y resistencia adecuada unida al dispositivo de suelta de bote.
- Dos aros pequeños flotantes.
- Dos ayudas térmicas.
- Un bombín.
- Un equipo para reparar pinchazos.
- Un reflector de radar.
- Un proyector que pueda iluminar eficientemente durante la noche.
- Una linterna.
- Un botiquín.
- Un cabo flotante de 50 m para remolcar una balsa salvavidas.



Figura 18. Bote de rescate semirígido.

4.8 Servicio de fonda.

La cocina dispondrá de los siguientes equipos:

- Cocina con cuatro fuegos y planchas.
- Un fregadero de acero inoxidable.
- Calentador eléctrico de agua dulce de 50 litros.

- Armarios, contruidos en formica.
- Mesa.
- Extractor de humos con un ventilador.
- Frigorífico de 350 litros.
- Un congelador de 250 litros.
- Un lavavajillas.
- Una freidora.
- Cafetera.
- Estanterías y armarios.

Este equipamiento da servicio de cocina suficiente para toda la tripulación, y para el tiempo máximo de marea.

Respecto a los espacios destinados a fonda y rancho, excluyendo la cocina, no necesitan de un equipamiento especial, tan sólo deben disponer de:

- Armarios.
- Mesas y sillas en número suficiente.
- Utensilios de comida, como platos y cubiertos.

4.9 Servicio de lavandería

La lavandería se equipa con:

- Una lavadora
- Plancha y tabla de planchado.
- Una secadora.
- Pila.

4.10 Servicio de ventilación.

La zona de operación del buque no requiere la disposición de aire acondicionado a bordo, pero si de ventilación.

Todos los espacios del buque cuentan con ventilación. Los ventiladores serán reversibles pudiendo funcionar en ambos sentidos, extrayendo o introduciendo aire en el espacio a ventilar.

En las prescripciones recogidas en las reglas 4 y 5 del capítulo II-2 del SOLAS se regula todo lo referente a la ventilación en materia de conraincendios.

Para evitar la propagación de incendios, y la alimentación de los mismos, todos los sistemas de ventilación proveen, en sus orificios de admisión, sistemas fácilmente accesibles, marcados clara y permanentemente, para el cierre exterior de los mismos.

Por supuesto disponen de indicadores para conocer si se encuentran abiertos o cerrados.

El caudal de los ventiladores depende de los distintos espacios que ventilan. El caudal exigido por cada espacio será el cómputo del volumen total del espacio multiplicado por el número de veces que se renovará el aire cada hora⁸.

$$Q = n \cdot V \rightarrow \text{Ec. 22}$$

⁸ El equivalente a renovar todo el volumen da aire presnete en el espacio.

ESPACIO	V (m ³)	n (1/h)	Q (m ³ /h)
Local del servo	16.1	4	64.4
Pañol	9.2	4	36.8
Camarote capitán	9.1	15	136.5
Camarote cubierta doble fondo (popa-babor)	15.9	15	238.5
Camarote cubierta doble fondo (popa-estribor)	15.9	15	238.5
Camarote cubierta doble fondo (proa-babor)	8.7	15	130.5
Camarote cubierta doble fondo (proa-estribor)	8.7	15	130.5
Camarote cubierta intermedia (proa-babor)	10.1	15	151.5
Camarote cubierta intermedia (proa-estribor)	6.4	15	96.0
Lavandería	5.6	15	84.0
Sala de ropas de agua	5.7	15	85.5
Derrota	10.4	18	187.2
Puente	16.5	18	297.0
Sala de control de máquinas	5.9	18	106.2
Aseo capitán	4.5	20	90.0
Aseo cubierta intermedia	3.9	20	78.0
Aseo cubierta superior	2.5	20	50.0
Comedor	19.8	25	495.0
Cocina	5.1	35	178.5

Tabla 3. Resumen de caudales de ventilación en función del espacio.

Agrupando los espacios por el número de renovaciones obtenemos seis zonas:

ESPACIO	V (m ³)	n (1/h)	Q (m ³ /h)
Zona I	25.3	4	101.2
Zona II	86.1	15	1291.5
Zona III	32.8	18	590.4
Zona IV	10.9	20	218.0
Zona V	19.8	25	495.0
Zona VI	5.1	35	178.5

Tabla 4. Caudales de ventilación por zonas.

Podemos suponer un diferencial de presión levantada de 35 milímetros de columna de agua.

Por tanto podemos conocer el consumo de potencia de la ventilación en cada zona, suponiendo un rendimiento de 0.6⁹:

$$P_i = \frac{Q_i \cdot p}{\eta} \rightarrow \text{Ec. 23}$$

ESPACIO	P (W)
Zona I	16.4
Zona II	209.3
Zona III	95.7
Zona IV	35.3
Zona V	80.2
Zona VI	28.9

Tabla 5. Consumos de potencia por zona.

⁹ Especial cuidado con las unidades en las que se presenta cada variable.

4.11 Servicio de calefacción.

El servicio de calefacción hace uso, para su distribución, del servicio de ventilación. En este sentido podemos usar las mismas zonas para el cálculo de la calefacción.

Lo primero es decidir las temperaturas a las que se debe encontrar cada local:

ESPACIO	T (°C)
Zona I	18
Zona II	20
Zona III	20
Zona IV	18
Zona V	21
Zona VI	18

Tabla 6. Temperatura media de los espacios divididos por zonas.

También debemos elegir una temperatura exterior, que podemos tomar como 15 °C, temperatura aceptable para invierno.

Debemos establecer algunas suposiciones para poder calcular la potencia necesaria para la calefacción. Podemos suponer que la temperatura en la rejilla es 4 grados superior a la temperatura del local, y que la temperatura a la salida del sistema de calefacción es 2 grados superior a la temperatura a la llegada a la rejilla, luego entonces:

ESPACIO	T (°C)	T _{re} (°C)	T _{ca} (°C)
Zona I	18	22	24
Zona II	20	24	26
Zona III	20	24	26
Zona IV	18	22	24
Zona V	21	25	27
Zona VI	18	22	24

Tabla 7. Temperaturas del aire de calefacción en cada zona.

El sistema de calefacción recircula una tercera parte del aire para aprovechar al máximo el calor introducido en el local, de tal forma que el caudal nuevo de aire no será el caudal de ventilación, sino sólo dos tercera partes:

ESPACIO	T (°C)	Q (m ³ /h)	Q _{re} (m ³ /h)	Q _{ext} (m ³ /h)
Zona I	18	101.2	33.7	67.5
Zona II	20	1291.5	430.5	861.0
Zona III	20	590.4	196.8	393.6
Zona IV	18	218.0	72.7	145.3
Zona V	21	495.0	165.0	330.0
Zona VI	18	178.5	59.5	119.0

Tabla 8. Caudales de aire caliente para calefacción.

El aire resultante de la mezcla del aire recirculado y el aire de la rejilla resulta en una temperatura, que por conservación de la energía será la parte proporcional al caudal de cada una de las partes, lo que resulta según:

$$T_{mezcla} = \frac{1}{3}T_{recirculado} + \frac{2}{3}T_{rejilla} \rightarrow \text{Ec. 24}$$

ESPACIO	T_{mezcla} (°C)
Zona I	19.7
Zona II	21.0
Zona III	21.0
Zona IV	19.7
Zona V	21.7
Zona VI	19.7

Tabla 9. Tabla de temperaturas de mezcla.

Resultando que el calor necesario para calentar el aire de la calefacción se podrá calcular según el siguiente balance térmico:

$$P_{ca} = Q \cdot \rho \cdot c_e \cdot (T_{ca} - T_{mezcla}) \rightarrow \text{Ec. 25}$$

Pero asumiendo pérdidas y rendimientos, el valor de la potencia debe multiplicarse por un factor de 1.1. Luego la potencia consumida finalmente en las distintas zonas es:

ESPACIO	P (W)
Zona I	114
Zona II	1680
Zona III	768
Zona IV	246
Zona V	687
Zona VI	201

Tabla 10. Tabla de potencias de calefacción consumidas en las distintas zonas.

4.12 Servicio de extracción de aire.

Para recircular el aire es necesario un sistema de extracción de aire.

El sistema de extracción se dividirá en dos partes, una para los aseos, y otra para el resto de locales, de esta forma se evitará extender olores indeseables por todo el buque.

La cantidad de aire que debe manejar el servicio de extracción se puede obtener de la Tabla 8, que incluye el aire recirculado.

ESPACIO	Q_{re} (m³/h)
Zona I	33.7
Zona II	430.5
Zona III	196.8
Zona IV	72.7
Zona V	165.0
Zona VI	59.5

Tabla 11. Caudales de aire recirculado.

Si suponemos un diferencial de presión de 0.5 kPa, y un rendimiento del sistema de 0.6, podremos calcular la potencia según la ecuación 23:

ESPACIO	P (W)
Zona I	8
Zona II	100
Zona III	46
Zona IV	17
Zona V	38
Zona VI	14

Tabla 12. Potencia consumida por el sistema de extracción.

4.13 Servicio de refrigeración de bodega.

La bodega, a diferencia de los viveros, debe conservar el pescado fresco, pues no esta vivo y corre serio riesgo de echarse a perder en la travesía de vuelta.

En el pero de los casos, la temperatura exterior será de 20 grados, mientras que el pescado debe conservarse a, al menos, -2 °C.

Por tanto, la bodega, una vez refrigerada, recibirá calor del exterior por sus mamparos, cubierta y techo.

Estas pérdidas de frío se pueden cuantificar según la expresión siguiente:

$$P_{dis}^i = U \cdot A \cdot (T - T_i) \rightarrow \text{Ec. 26}$$

Donde U es la conductividad térmica, que incluye conducción y convección, y A es el área en metros cuadrados.

Interfase	A (m ²)	U (W/K·m ²)	T (°C)	Ti (°C)	Pdis (W)
Popa	17.6	0.14	20	-2	54
Proa	14.8	0.14	21	-2	48
Estribor	21.1	0.14	15	-2	50
Babor	21.1	0.14	15	-2	50
Piso	29.2	0.14	20	-2	90
Techo	43.2	0.14	20	-2	133

Tabla 13. Tabla resumen de pérdidas por interfase.

Para la refrigeración necesitamos conocer el volumen de aire existente, y el número de renovaciones por hora.

Podemos suponer que en el peor de los casos, el sistema de refrigeración deberá refrigerar el local con un 40% de la carga, lo que implica un 60% del espacio libre, como nuestra bodega tiene capacidad para, aproximadamente, 100 m³, podemos suponer un volumen de aire de 60 m³.

El número de renovaciones del aire, para un espacio tan grande como este, se puede situar en 7.

Luego aplicando la ecuación 12 tendremos el caudal de aire, que será de 420 m³/h.

Para mantener el equilibrio térmico debemos eliminar de ese caudal de aire todo el calor que entra por las paredes del tanque, que es la suma de los calores obtenidos en la Tabla 13, un total de 425 W. Y para circular el aire necesario necesitamos aplicando la expresión 23, una potencia de 100 W.

Pero antes de mantener el equilibrio, el servicio de refrigeración debe ser capaz de bajar la temperatura de la carga. La potencia necesaria para llevar a cabo esa tarea se puede calcular con la siguiente expresión:

$$P_{carga} = \frac{(V_b \cdot \rho_{carga} - m_{hielo}) \cdot c_{ep} \cdot \Delta T}{3.6 \cdot d_{entrada} \cdot t_{fin}} \rightarrow \text{Ec. 27}$$

Donde:

V_b , es el volumen de la bodega, de 100 m³.

ρ_{carga} , es la densidad de la carga, que aproximaremos por 600 kg/m³.

m_{hielo} , es la masa de hielo almacenado en la bodega, que podemos tomar como 10 Tn (un 10% del total del espacio de la bodega).

c_{ep} , capacidad térmica específica del pescado, valor desconocido que tomamos como 3.386 kJ/kg·K, aproximación de los hidrocarburos.

$d_{entrada}$, días en los que se almacena la totalidad de la carga, que son la totalidad del tiempo en pesca, unos 10 días.

t_{fun} , es el tiempo de funcionamiento del compresor al día, que podemos suponer como dos partes del día, decir, unas 16 horas al día.

Sustituyendo tenemos que la potencia necesaria para refrigerar la carga es de 8000 vatios.

Finalmente, nuestro sistema de refrigeración debe ser capaz de enfriar la carga al tiempo que no pierde la capacidad de mantener el equilibrio térmico, luego la potencia total consumida será de:

$$P_T = P_{carga} + P_{aire} + P_{Dis} = 8000 + 100 + 425 \text{ W} = 8525 \text{ W} \rightarrow \text{Ec. 28}$$

Pero además debemos multiplicar por un factor de 1.1 en concepto de pérdidas debidas a la abertura de la bodega para dar acceso, a calor humano, a fugas, etc.

Por tanto, la potencia que consume el servicio de refrigeración es:

$$P_{ref} = 1.1 \cdot P_T = 1.1 \cdot 8525 \text{ W} = 9400 \text{ W} \rightarrow \text{Ec. 29}$$

4.14 Servicio de agua dulce sanitaria.

El servicio de agua dulce sanitaria es el que provee de agua a los servicios relacionados principalmente con la habilitación, exceptuando inodoros.

Entre los servicios que debe alimentar se encuentran los siguientes:

- Lavabos.
- Duchas.
- Fregaderos.
- Cocina.
- Posibles pérdidas en circuitos de refrigeración con agua dulce.

4.14.1 Generador de agua dulce

Según se ha expuesto superiormente el uso que se hace del agua dulce puede dividirse en dos: uso de maquinaria y uso humano.

Para hallar el uso humano de agua dulce debemos fijar el consumo diario de agua dulce. En nuestro caso lo fijaremos en 150 litros por persona. Como la tripulación de nuestro buque es de 15 personas tendremos un consumo diario de agua total de 2250 litros/día.

Suponiendo unas pérdidas de 50 litros por día en el agua de refrigeración de maquinarias se tendrá un consumo total de 2300 litros/ día.

Para un periodo de marea estimado en 25 días, mayor que el máximo tiempo de marea establecido, ya que la disponibilidad de agua dulce en todo momento es un factor crítico, tendremos 57500 litros, al que descontando el volumen de agua dulce en los tanques (unos 18000 litros) tendremos que la necesidad será de 39500 litros, de manera que se deberán generar unos 1580 litros de agua diarios.

Se elegirá dos plantas de generación de agua dulce **Fontemar**¹⁰, una de ellas de respecto, modelo **TCS 1**, cuya producción diaria es de 2000 litros y su potencia es de 1.85 kW. El peso de esta planta es de 170 kg y sus dimensiones son:

- Alto: 1.240 m

¹⁰ NTorreiro.

- Ancho: 0.345 m
- Largo: 0.830 m

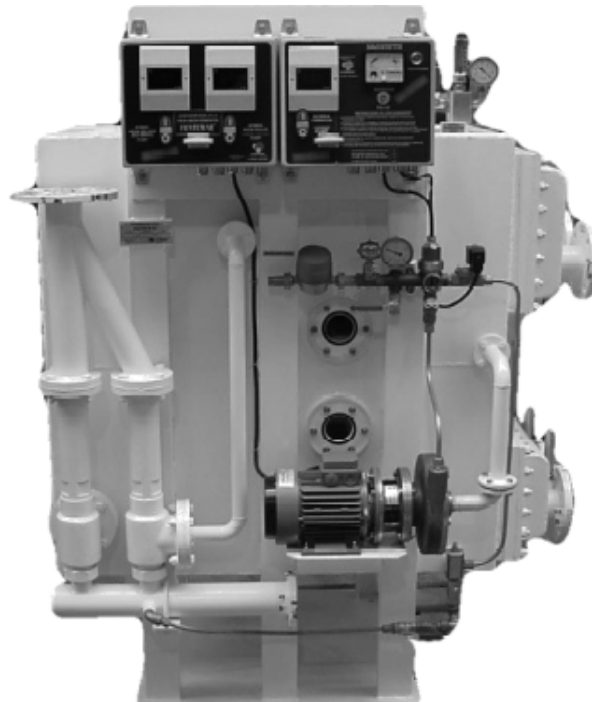


Figura 19. Ilustración de la planta desaladora Fontemar, modelo TCS 1

Este sistema de obtención de está basado en destilación.

Se debe explicar que esta planta dispone de un salinómetro que analiza toda el agua producida y en caso que la salinidad del agua producida sea mayor de 4 p.p.m. se activará eléctricamente la válvula solenoide de dos vías que descarga el agua no útil a la sentina.

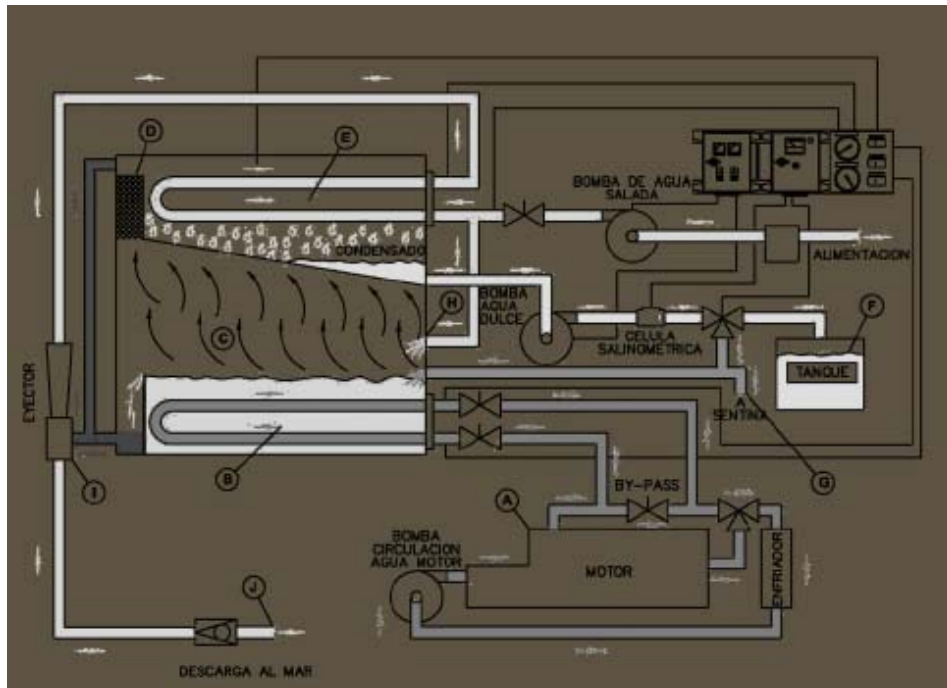


Figura 20. Esquema de funcionamiento de la planta facilitado por el fabricante.

4.14.2 Planta potabilizadora

Una vez destilada el agua, es necesario potabilizarla, eliminando los posibles gérmenes y bacterias patógenas que este pueda contener a la vez que se ajusta el pH.

Se instalarán dos sistemas potabilizadores mediante adición de cloro (hipoclorito), provistos de un medidor de cloro y esterilizadores ultravioleta.

4.14.3 Bombas

Sabiendo que para producir un litro de agua dulce es necesario aportar al agua de mar 2930.1 kJ, necesitaremos aportar una potencia de 53.6 kW, aprovechando el agua dulce de refrigeración de las camisas del motor, y suponiendo un salto térmico de 8° C, el caudal necesario de la misma que habrá que circular por los serpentines será:

$$Q_{a.d.} = \frac{P}{\rho_{a.d.} \cdot c_{a.d.} \cdot \Delta T} = \frac{53.6 \cdot 1000 \cdot 3600}{1000 \cdot 4180 \cdot 8} = 5.7 m^3 / h$$

El caudal de agua dulce que se genera, considerando un tiempo de funcionamiento de ocho horas será de 0.25 m³/h. Por tanto se instalarán dos bombas de la misma capacidad, una para el suministro de agua dulce y otra para la alimentación de agua salada.

4.14.4 Grupo hidróforo de agua dulce

El tanque hidróforo es el encargado de mantener cierta cantidad de agua bajo presión. Este recipiente estará dotado de una entrada y salida de agua, llave de vaciado en la parte baja del mismo, nivel óptico, manómetro y toma de aire comprimido. La válvula de entrada de agua al tanque será de cierre y retención.

Asimismo entre las bombas y el hidróforo se dispondrá la maniobra necesaria para conectar el sistema al mar y poder vaciar los tanques de agua dulce en caso necesario.

Estimando el consumo equivalente para atender las necesidades máximas por tripulante (0.033 l/s) de un medio de la tripulación¹¹ quedará:

$$Q_{h.a.d.} = 0.033 \cdot 8 = 0.24 l / s = 0.864 m^3 / h$$

Si limitamos a 10 el número de arranques de la bomba de presión por hora y suponiendo que el tanque deba llenarse en 3 minutos, su capacidad de agua será de 43.2 litros.

Como al llenarse aumenta la presión del tanque al reducirse la cámara de aire a un mínimo de V_0 , si V es el volumen total del tanque hidróforo y P_2 la presión de parada de la bomba:

$$V_0 = P_1 \cdot \frac{V_{agua}}{P_2 - P_1} \rightarrow \text{Ec. 30}$$

Siendo P_1 la presión mínima necesaria para alcanzar cualquier consumidor, unos 20 m.c.a. Imponiendo que P_2 sea 30 m.c.a. superior a P_1 tenemos que P_2 vale 50 m.c.a. y por tanto el volumen del colchón de aire será de 28.8 litros.

Por tanto, la capacidad total del tanque hidróforo será de 75 litros.

¹¹ La mitad de 15 tripulantes es 7.5, lo cual no parece serio al no tener significado real 0.5 tripulantes, por tanto se tomará el valor en exceso (8 tripulantes.)

4.14.5 Agua dulce caliente sanitaria

Abastecerá con agua caliente a todos los lavabos, duchas y fregaderos. Se dispondrán termos eléctricos que proporcionen el 20 % del consumo de agua dulce de la tripulación, es decir de unos 316 l/día¹². Se emplearán tres termos uno localizado en la cubierta de control otro en la cubierta superior y el último en la cubierta intermedia.

Situación	Modelo	Capacidad (litros)	Tiempo de calentamiento (h)	Potencia (kW)
Cubierta de control	TE-300	30	1.4	1.2
Cubierta superior	TRE-50	50	2.2	1.2
Cubierta intermedia	TRE-200	200	4.5	2.4

Tabla 14. Termos empleados.

4.15 Servicio de agua salada sanitaria

Este servicio abastecerá a los inodoros y a las tomas de baldeo para la cámara de máquinas y cubiertas.

Tomando un consumo punta para los servicios anteriores de 0.5 l/s, la bomba deberá suministrar un caudal de 1.8m³/h, por tanto se montará una bomba de 2 m³/h.

Como las alturas que deben vencerse no son mayores que las de agua dulce, se dispondrán los mismos equipos para el servicio de agua salada.

4.16 Tratamiento de aguas residuales

El sistema de tratamiento de aguas cumplirá con las regulaciones del Anexo IV de Marpol.

Se montará un tanque de retención, el cual estará construido de forma que la Administración lo juzgue satisfactorio y estará dotado de medios para indicar visualmente la cantidad del contenido interior.

5 Definición y dimensionamiento de los servicios específicos del buque para su misión.

5.1 Servicio de pesca.

Los buques boniteros del cantábrico de cebo vivo, tal y como se explicó en el cuaderno 1, son un tanto especiales, pues usan dos técnicas distintas de pesca, cercos para la anchoa, y cebo vivo (pesca con caña sin cebar) para la captura del bonito.

Cada una de estas técnicas requiere de un equipamiento específico para ser llevada a cabo.

Nuestro buque por tanto debe llevar equipo suficiente para realizar ambas tareas.

En este apartado definiremos y dimensionaremos estos equipos.

5.1.1 Grúa de proa.

La grúa hidráulica de proa tiene por misión facilitar las operaciones de carga y descarga del pescado en la bodega de carga.

Para ello se dispondrá de una grúa hidráulica articulada de la marca Guerra. Esta grúa tiene un alcance total de 11.6 metros, y la posibilidad de realizar un giro completo

¹² Se tomará un margen de 400 litros/día.

sobre su eje de apoyo, batiendo así todo el área alrededor suyo a un radio de 11.6 metros.



Figura 21. Grúa hidráulica articulada marca Guerra.

Esta grúa se puede plegar, ocupando un mínimo espacio.

La presión de trabajo del equipo es de 230 bar, lo que requiere un caudal de aceite hidráulico de 40 l/min, datos todos ellos facilitados por el fabricante.

Aunque esta grúa está ligeramente sobredimensionada para la misión que le ha sido encomendada, es bien cierto que podremos emplear el mismo modelo de grúa a popa, revirtiendo ventajas en el coste de adquisición del equipo, en su montaje, y en el mantenimiento.

5.1.2 Grúa de popa.

La grúa de popa tiene por misión la de la colocación del halador, al mismo tiempo que debe asistir en las operaciones de carga y descarga del bote de rescate.

Para esta misión empleamos el mismo modelo de grúa hidráulica articulada de la marca guerra, la cual se ve ilustrada en la Figura 21. .

5.1.3 Halador de red.

El halador de red es el dispositivo que permite izar la red. El halador supuso una mejora destacable en la técnica de pesca con cerco al permitir izar la red de manera constante e impedir al mismo tiempo que los paños volvieran al agua. Esto permitió recuperar la red de manera rápida y segura.

En nuestro caso empleamos un halador de tipo yoyo.



Figura 22. Halador de tipo yoyo.

Se tratará de un halador de accionamiento hidráulico que trabaja a una presión de 230 bar, y necesita para ello un caudal de aceite hidráulico de 20 l/min.

5.1.4 Instalación hidráulica.

Para el funcionamiento de las dos grúas hidráulicas y del halador de red, se dispone de una central hidráulica acoplada al motor principal capaz de abastecer 100 l/min de aceite hidráulico a una presión de 230 bar.

De esta forma se puede dar servicio a los tres equipos trabajando conjuntamente.

5.1.5 Maquinilla de cerco.

Se dispone una maquinilla en la sección media del buque destinada a cobrar el cerco.

5.1.6 Maquinillas auxiliares.

Se equipa al buque de tambores de malleta en la proa.

5.1.7 Bombas de alta presión para riego por costado.

En las operaciones de pesca del bonito se descarga cebo vivo, consistente principalmente en anchoa y chicharrillo, por el costado del buque, lo que atrae al bonito, que guiado por su voracidad se apresura en la captura de su presa.

Entre tanto la tripulación lanza las cañas sin cebar en zona donde ha sido descargado el cebo vivo, de tal forma que al pasar el bonito capturando anchoas se topa con los anzuelos, quedando atrapado y listo para ser embarcado, donde le espera una muerte rápida mediante un estacazo.

Pero, aunque el cebo se descarga relativamente lejos, y se disponen cañas de un tamaño suficiente, conviene ocultar a la vista del bonito el buque, pues podría sentir el peligro y dar media vuelta, reduciendo drásticamente el número de capturas del valioso pez.

Para ocultar el buque a los ojos del bonito se riega el costado con agua a alta presión correctamente dirigida y dispersada.



Figura 23. Pesca de bonito mediante cebo vivo.

Para la aspersión del agua por costado se emplean bombas de agua de alta presión, en concreto se emplearán dos bombas capaces de suministrar $30 \text{ m}^3/\text{h}$ de agua cada una, a una presión de 30 metros de columna de agua.

El consumo de cada una de estas bombas es de 4.5 kW.

5.1.8 Bombas de baja presión para viveros.

Los viveros son tanques donde se almacena la anchoa y el chicharrillo aún en vida. Para ello deben disponer de agua salada.

En este proyecto se emplean sistemas de oxigenación que permiten almacenar aproximadamente un 200% de pescado en el mismo espacio de tanques de otro buque que no disponga de sistema de oxigenación de tanques de viveros.

No obstante, el sistema de oxigenación no exime de la necesidad de renovar el agua de los tanques.

El volumen total de los tanques de viveros es de 60.4 m^3 , y el sistema debe ser capaz de llevar a cabo 3 renovaciones por hora, luego, aplicando la ecuación 12, sabemos que el caudal total que deben suministrar las bombas es de $181.2 \text{ m}^3/\text{h}$.

La presión a levantar la podemos tomar como 12 metros de columna de agua, y el rendimiento de la bomba lo podemos tomar como 0.6.

Si empleamos dos bombas con un caudal de $100 \text{ m}^3/\text{h}$ cada una tenemos que la potencia consumida por cada bomba es de 8 kW cada una.

5.1.9 Bomba sumergible de viveros.

En caso de emergencia se debe poder achicar el agua de los viveros. Para ello se dispuso con anterioridad una bomba sumergible capaz de realizar esta tarea.

5.1.10 Colector de agua de viveros.

El agua salada succionada por las bombas mediante las tomas de mar es llevada por el colector hasta los ramales que distribuyen el agua por los seis viveros.

Proponiendo una velocidad del agua de 0.5 m/s, que nos mantiene seguros de evitar ruidos y averías, el colector debe ser capaz de transportar todo el caudal del agua trasegada por las bombas de baja presión de viveros.

Por tanto, el diámetro del colector debe ser de:

$$d_{\text{viveros}} = 2 \sqrt{\frac{Q_{\text{viveros}}}{\pi \cdot v_{\text{viveros}}}} = 2 \sqrt{\frac{200}{3600 \cdot \pi \cdot 0.5}} \text{ m} = 380 \text{ mm} \rightarrow \text{Ec. 31}$$

6 Acrónimos.

- EN*, numeral de equipo (4.1).
 Δ , desplazamiento del buque con el calado de verano (4.1).
h, altura desde la flotación en el calado de verano hasta el punto más alto de toda la superestructura (4.1).
B, manga del buque (4.1).
A, área de la proyección del perfil del buque por encima de la flotación (4.1).
m_L, masa por unidad de longitud de cadena (4.2.2).
d_{cad}, diámetro de cadena (4.2.2).
P₁, Potencia necesaria para el izado de la cadena (4.2.3).
P_C, peso de la cadena (4.2.3).
l_L, longitud de la cadena (4.2.3).
P_A, peso del ancla (4.2.3).
 η , rendimiento mecánico del molinete (4.2.3).
f, coeficiente de rozamiento del estopor con la cadena (4.2.3).
v₁, velocidad de levado del ancla (4.2.3).
P₂, Potencia necesaria para el zarpado de la cadena
e, coeficiente de poder de agarre de la cadena.
v₂, velocidad de cobro del molinete durante el zarpado del ancla (4.2.3).
V_{cadenas}, Volumen de la cadena estibada (4.2.4).
d_{es}, diámetro del escobén (4.2.6).
d_i, diámetro del ramal del servicio de sentinas (4.5.2).
Li, Eslora del espacio a achicar (4.5.2).
B, Manga del espacio a achicar (4.5.2).
D, Puntal del espacio a achicar (4.5.2).
d_{sentinas}, diámetro del colector del servicio de sentinas (4.5.3).
L, eslora del buque, definida según el reglamento, en su capítulo primero, sección segunda, de la parte B (4.5.3).
B, manga del buque, definida según el reglamento, en su capítulo primero, sección segunda, de la parte B (4.5.3).
D, puntal de trazado del buque (4.5.3).
Q_{sentinas}, Caudal en el colector de sentinas (4.5.4).
P_{sentinas}, Potencia consumida por la bomba de sentinas (4.5.4).
p, presión levantada por la bomba de sentinas (4.5.4).
 η , rendimiento de la bomba (4.5.4).
Q_{CI}, Caudal de la bomba principal de contraincendios (4.6.3).
Q_{CI}^{emergencia}, Caudal de la bomba de emergencia de contraincendios (4.6.3).
d_{CI}, Diámetro del colector contraincendios (4.6.4).
Q, Caudal de aire de ventilación (4.10).
n, Número de renovaciones del aire por hora (4.10).
V, Volumen de aire a renovar (4.10).

T_{mezcla} , Temperatura del aire mezclado (4.11).
 $T_{recirculado}$, Temperatura del aire recirculado (4.11).
 $T_{rejilla}$, Temperatura del aire expulsado por la rejilla (4.11).
 P_{ca} , Potencia consumida por la calefacción (4.11).
 Q , Caudal de aire a calentar (4.11).
 ρ , Densidad del aire (4.11).
 c_e , Calor específico del aire (4.11).
 T_{ca} , Temperatura del aire expulsado por la calefacción (4.11).
 P_{dis} , Potencia disipada en forma de calor entrante (4.13).
 U , Coeficiente de transmisión de calor (4.13).
 A , superficie de transmisión de calor (4.13).
 ΔT , incremento de temperatura (4.14.3).
 Δh , incremento entálpico (4.14.3).

BUQUE BONITERO DEL CANTÁBRICO
PROYECTO 077.
CURSO 2009-2010

Planta eléctrica.

DOCUMENTO 9
AUTOR: JOSE LUIS CERCOS PITA
COTUTOR: ANDER LASA GALLURRALDE
TUTOR: ANTONIO SOUTO IGLESIAS

1 Índice de contenidos.

1	<i>Índice de contenidos.</i>	2
2	<i>Especificación del proyecto.</i>	3
3	<i>Objetivos.</i>	4
4	<i>Definición de la planta eléctrica. Tensión. Frecuencia. Distribución unifilar.</i>	4
5	<i>Estimación de la potencia eléctrica requerida por cada consumidor.</i>	5
5.1.1	Alumbrado interior.	5
5.1.2	Alumbrado exterior.	11
5.1.3	Alumbrado de emergencia.	11
5.1.4	Luces de navegación.	12
5.1.5	Resto de consumidores:	13
5.1.6	Clasificación de los consumidores a bordo	15
6	<i>Determinación de las diferentes situaciones de carga eléctrica.</i>	15
7	<i>Servicios no esenciales.</i>	16
8	<i>Balance eléctrico.</i>	16
8.1.1	Potencia consumida durante la navegación.	17
8.1.2	Potencia consumida durante la pesca de anchoa mediante cerco.	18
8.1.3	Potencia consumida durante la pesca de bonito mediante cebo vivo.	19
8.1.4	Potencia consumida durante la estancia en puerto (carga y descarga).	21
8.1.5	Situación de emergencia.	22
9	<i>Número de grupos generadores, incluidos los de emergencia y puerto si fuera necesario.</i>	23
9.1	Grupos electrógenos.	23
9.2	Baterías de emergencia.	25
10	<i>Cuadro resumen del régimen de utilización de los grupos principales y de emergencia y puerto.</i>	26
10.1	Situación de navegación.	26
10.2	Situación de pesca de anchoa.	26
10.3	Situación de pesca de bonito.	27
10.4	Situación de puerto.	27
10.5	Cuadro resumen del régimen de utilización de los equipos generadores.	27
11	<i>Acrónimos.</i>	28
	<i>Anexo I: Diagrama de distribución unifilar.</i>	29

2 Especificación del proyecto.

- CLASIFICACIÓN: **Bureau Veritas**
- TRB: **149**
- GT: **230**
- VOLUMEN DE COMBUSTIBLE: **70 m³**
- VOLUMEN DE VIVEROS: **50 m³**
- VELOCIDAD EN PRUEBAS: **12 .5 kn al 90% MCR**
- EQUIPO PROPULSOR: **Motor Diesel**
- ALOJAMIENTOS: **15 tripulantes**
- ASPECTOS ADICIONALES:
 - 1.- El buque dispondrá de una planta de oxigenación del agua de viveros.
 - 2.- El buque dispondrá de un tanque estabilizador pasivo que reduzca al menos un 50% el movimiento de balance durante la maniobra de pesca.
 3. Se presentará además una planificación para la construcción asociada a los medios de un astillero de la sociedad PYMAR del que se disponga de información suficiente.

3 Objetivos.

En el presente cuaderno se documenta el proyecto de la planta eléctrica, lo que implica definir, estudiar, y dimensionar los equipos de consumo de potencia eléctrica.

El consumo de los diferentes equipos dependerá, como es lógico, de las diferentes situaciones de carga. Por tanto se deberá estudiar basándonos en las mismas.

Una vez tengamos una relación de los consumos eléctricos en cada situación de carga, podremos pasar a elegir los grupos generadores que proporcionarán esa energía.

4 Definición de la planta eléctrica. Tensión. Frecuencia. Distribución unifilar.

Atendiendo a la posibilidad de alimentar el buque desde puerto, y las plantas eléctricas que disponen otros buques similares, además de las ventajas en peso, empacho, y coste de la maquinaria, nuestro buque hace uso de corriente alterna trifásica a una tensión de 220 V.

El hecho es que al tratarse de un buque de pequeño porte, con equipos relativamente pequeños, que por ende no demandan alta potencia eléctrica, nos podemos permitir no disponer de un circuito de alta tensión, lo que permite reducir los espesores¹ de los cables, al tiempo que permite reducir también los tipos diferentes de cables, ahorrando en buena medida en el coste constructivo del buque.

Por supuesto, al emplearse el buque en España, y de una manera muy localizada², se utilizará una frecuencia de 50 Hz.

Por tanto, la planta eléctrica constará de los siguientes elementos:

- Dos grupos electrógenos que definiremos en este mismo documento.
- Baterías de alimentación de 24 V.
- Cuadros de distribución principal, y de emergencia.
- Red de distribución trifásica con tres conductores y un neutro aislado, de acuerdo con la reglamentación del Bureau Veritas.
- Red de distribución de emergencia de corriente continua, de un conductor con un retorno a tierra, también de acuerdo con la reglamentación del Bureau Veritas.
- Consumidores.

Se puede observar el diagrama unificar en el **Anexo I**.

Se opta por el neutro aislado en la red de distribución principal por ser más segura para la tripulación.

El circuito secundario de emergencia es el circuito alimentado por las baterías, las cuales a su vez se recargan durante la operación normal desde el circuito principal. Este circuito tiene baja tensión, y por tanto el riesgo para la tripulación es menor. Podemos optar, para el circuito secundario por una alternativa más económica monofilar, donde el cable de retorno este conformado por la tierra.

¹ Menores tensiones implican menores intensidades de corriente.

² Su zona de operación, tal y como vimos en el cuaderno 1, es relativamente cercana a la costa, y siempre en el mar del Cantábrico. Además la autonomía del buque no le permite realizar largas mareas como para buscar caladeros muy remotos, haciendo que incluso en caso de accidente el buque no atraque previsiblemente en ningún puerto cuya frecuencia sea distinta de 50 Hz.

El circuito principal da servicio a todos los consumidores eléctricos del buque, cuya relación es la siguiente:

- Unidad hidráulica.
- Maquinillas eléctricas en cubierta.
- Bombas de riego.
- Bombas de viveros.
- Bombas de servicios generales.
- Bomba de trasiego de combustible.
- Bomba contra incendios.
- Purificadora de combustible.
- Electrobombas del servotimón.
- Alumbrado interior, exterior, y luces de navegación.
- Agua sanitaria (desaladora, purificadora, etc.).
- Cocina y fonda.
- Lavandería.
- Equipo de navegación.
- Sistemas de pesca.
- Ventilación.
- Calefacción.
- Refrigeración de bodegas.
- Otros.

En cambio, la red de distribución de emergencia sólo dará servicio a los consumidores primarios, cuyo listado es el siguiente:

- Alumbrado de emergencia.
- Luces de navegación.
- Luces de señales.
- Equipos de ayuda a la navegación, y radiotelecomunicaciones.
- Arranque de los motores principales y auxiliares.
- Bomba de emergencia del servo.

Efectivamente este sistema tiene el cometido, no sólo de dar suministro eléctrico a los equipos críticos en caso de fallo de los equipos principales, sino de dar suministro eléctrico durante el proceso de arrancado de los motores, antes de que los grupos electrógenos puedan entrar a dar servicio suministrando ellos la energía eléctrica demandada.

Por esta razón se deben mantener las baterías en buen estado.

5 Estimación de la potencia eléctrica requerida por cada consumidor.

5.1.1 Alumbrado interior.

Los espacios de alumbrado interior contemplados son los siguientes:

- Camarotes.
 - Capitán.
 - Habitación de popa, costado de babor.
 - Habitación de popa, costado de estribor.
 - Habitación de proa, cubierta de doble fondo, costado de babor.

- Habitación de proa, cubierta de doble fondo, costado de estribor.
 - Habitación de proa, cubierta intermedia, costado de babor.
 - Habitación de proa, cubierta intermedia, costado de estribor.
- Aseos.
 - Aseo del capitán.
 - Aseo de la caseta en cubierta principal.
 - Aseo de la habitación de proa.
- Escaleras.
 - Cámara de máquinas.
 - Camarotes de proa.
 - Camarotes de popa.
- Puente.
- Sala de control de máquinas.
- Cocina.
- Comedor.
- Lavandería.
- Pañol.
- Sala de ropas de agua.
- Derrota.
- Cámara de máquinas.
- Local del servo.
- Bodega.

La potencia eléctrica consumida se va a calcular por el método directo, explicado en ref [31] (Ver referencias en la bibliografía general del cuaderno 1).

En el método directo se debe comenzar estimando la cantidad de luz reflejada aprovechable en el local en función de la esbeltez. Esto es lo que se conoce como el índice del local, y se calcula con la expresión:

$$k = \frac{S}{(0.5 \cdot \Gamma)h} \rightarrow \text{Ec. 1}$$

h es la distancia vertical, en metros, que existe desde la armadura de la lámpara, lo que en definitiva es el punto más alto de emisión de luz, hasta la superficie de trabajo.

La superficie de trabajo de cada espacio depende del trabajo a realizar, pero como norma general se puede tomar 0.85 metros.

La única excepción son las escaleras y pasillos, donde la superficie de trabajo se sitúa en el suelo.

Respecto a la altura de la armadura depende de la iluminación empleada, pero por norma general se puede tomar un valor de cinco centímetros con respecto al techo estructural, pues aun siendo empotradas, no se pueden empotrar en la estructura evidentemente.

S es la superficie en planta, en m^2 , del local.

Γ , la longitud en m de la curva más baja que define el perímetro del local.

Para cada espacio tenemos los siguientes valores:

ESPACIO	Γ (m)	A (m ²)	h (m)	k
Camarote capitán	8.3	4.2	1.4	0.7
Camarote de habilitación de popa (babor)	10.3	6.6	1.5	0.8
Camarote de habilitación de popa (estribor)	10.3	6.6	1.5	0.8
Camarote de habilitación de proa (Doble fondo-babor)	7.5	3.9	1.1	0.9
Camarote de habilitación de proa (Doble fondo-estribor)	7.5	3.9	1.1	0.9
Camarote de habilitación de proa (Intermedia-babor)	9.2	5.1	1.2	1.0
Camarote de habilitación de proa (Intermedia-estribor)	6.2	2.6	1.2	0.7
Aseo capitán	5.9	2.0	1.5	0.5
Aseo cubierta intermedia	6.2	1.7	1.2	0.5
Aseo cubierta superior	4.6	1.2	1.4	0.4
Escaleras cámara de máquinas	4.6	1.3	2.6	0.2
Escaleras camarotes popa	6.7	2.5	2.4	0.3
Escaleras camarotes proa	3.8	0.9	2.0	0.2
Puente	8.5	4.5	1.4	0.8
Sala de control de máquinas	6.5	2.6	1.4	0.6
Cocina	6.1	2.3	1.4	0.6
Comedor	11.8	8.4	1.4	1.1
Lavandería	5.9	2.2	1.4	0.5
Pañol	12.7	7.8	1.2	1.1
Sala de ropas de agua	5.6	1.9	1.4	0.5
Derrota	9.7	5.6	1.4	0.8
Cámara de Máquinas	26.4	42.2	1.7	1.8
Local del servo	14.3	9.9	0.7	2.1
Bodega	21.9	27.4	2.2	1.1

Tabla 1. Índice del local para cada espacio iluminado.

Lo segundo que se debe calcular es el factor de utilización, que se define como un rendimiento del local. Este factor de utilización se obtiene de la información que proveen los fabricantes a partir de los grados de reflexión de cada local, y del índice del local.

Podemos suponer colores claros en todos los locales, y para mamparos y techos. De esa forma el grado de reflexión será de 0.5.

En los casos en que el valor no venga tabulado, se interpolará linealmente.

Los factores de utilización resultantes para cada local son los siguientes:

ESPACIO	<i>k</i>	<i>Fu</i>
Camarote capitán	0.7	0.5
Camarote de habilitación de popa (babor)	0.8	0.5
Camarote de habilitación de popa (estribor)	0.8	0.5
Camarote de habilitación de proa (Doble fondo-babor)	0.9	0.6
Camarote de habilitación de proa (Doble fondo-estribor)	0.9	0.6
Camarote de habilitación de proa (Intermedia-babor)	1.0	0.6
Camarote de habilitación de proa (Intermedia-estribor)	0.7	0.5
Aseo capitán	0.5	0.3
Aseo cubierta intermedia	0.5	0.3
Aseo cubierta superior	0.4	0.2
Escaleras cámara de máquinas	0.2	0.1
Escaleras camarotes popa	0.3	0.2
Escaleras camarotes proa	0.2	0.1
Puente	0.8	0.5
Sala de control de máquinas	0.6	0.4
Cocina	0.6	0.4
Comedor	1.1	0.7
Lavandería	0.5	0.4
Pañol	1.1	0.7
Sala de ropas de agua	0.5	0.3
Derrota	0.8	0.5
Cámara de Máquinas	1.8	1.2
Local del servo	2.1	1.4
Bodega	1.1	0.7

Tabla 2. Factor de utilización para cada local.

Lo siguiente que necesitamos conocer es el factor de mantenimiento. El factor de mantenimiento depende del grado de suciedad ambiental, y de la frecuencia con que se limpiará el local. Un factor normal, para espacios comúnmente habilitados es un valor de 0.8. Según el local sea más sucio, o su mantenimiento sea peor, podemos tener factores de mantenimiento de hasta 0.6.

En nuestro caso podemos elegir los siguientes factores de mantenimiento:

ESPACIO	<i>Fm</i>
Camarote capitán	0.8
Camarote de habilitación de popa (babor)	0.8
Camarote de habilitación de popa (estribor)	0.8
Camarote de habilitación de proa (Doble fondo-babor)	0.8
Camarote de habilitación de proa (Doble fondo-estribor)	0.8
Camarote de habilitación de proa (Intermedia-babor)	0.8
Camarote de habilitación de proa (Intermedia-estribor)	0.8
Aseo capitán	0.8
Aseo cubierta intermedia	0.8
Aseo cubierta superior	0.8
Escaleras cámara de máquinas	0.8
Escaleras camarotes popa	0.8
Escaleras camarotes proa	0.8
Puente	0.8
Sala de control de máquinas	0.8
Cocina	0.7
Comedor	0.8
Lavandería	0.8
Pañol	0.7
Sala de ropas de agua	0.7
Derrota	0.8
Cámara de Máquinas	0.7
Local del servo	0.6
Bodega	0.6

Tabla 3. Factor de mantenimiento de los diferentes espacios.

Con toda la información anteriormente recabada podemos al fin conocer el flujo total de luz necesario en cada local. Para ello aplicamos la siguiente expresión:

$$\phi_T = \frac{E_m \cdot S}{Fu \cdot Fm} \rightarrow \text{Ec. 2}$$

Que nos devolverá el flujo de luz necesario en lm. E_m se define como el nivel medio de iluminación en lx, valor que está ligado a las recomendaciones del Bureau Veritas, y que se relatan a continuación:

Tipo de espacio.	Em (lx)
Pasillos interiores	110
Escaleras y accesos	110
Camarotes	150
Aseos y Servicios	150
Locales de cafetería y restauración	300
Locales de cocina y asimilados	540
Locales de maquinaria	200
Locales de control	540

Tabla 4. Nivel medio de iluminación para cada espacio según recomendaciones del Bureau Veritas.

Por tanto, el flujo de luz necesario resultante para cada uno de nuestros espacios es el siguiente:

ESPACIO	A (m2)	Fu	Fm	Em (lx)	Flujo (lm)
Camarote capitán	4.2	0.5	0.8	150	1662
Camarote de habitación de popa (babor)	6.6	0.5	0.8	150	2240
Camarote de habitación de popa (estribor)	6.6	0.5	0.8	150	2240
Camarote de habitación de proa (Doble fondo-babor)	3.9	0.6	0.8	150	1189
Camarote de habitación de proa (Doble fondo-estribor)	3.9	0.6	0.8	150	1189
Camarote de habitación de proa (Intermedia-babor)	5.1	0.6	0.8	150	1527
Camarote de habitación de proa (Intermedia-estribor)	2.6	0.5	0.8	150	1025
Aseo capitán	2.0	0.3	0.8	150	1221
Aseo cubierta intermedia	1.7	0.3	0.8	150	1020
Aseo cubierta superior	1.2	0.2	0.8	150	889
Escaleras cámara de máquinas	1.3	0.1	0.8	110	1250
Escaleras camarotes popa	2.5	0.2	0.8	110	1684
Escaleras camarotes proa	0.9	0.1	0.8	110	797
Puente	4.5	0.5	0.8	540	6151
Sala de control de máquinas	2.6	0.4	0.8	540	4555
Cocina	2.3	0.4	0.7	300	2697
Comedor	8.4	0.7	0.8	300	4580
Lavandería	2.2	0.4	0.8	150	1149
Pañol	7.8	0.7	0.7	200	3204
Sala de ropas de agua	1.9	0.3	0.7	150	1238
Derrota	5.6	0.5	0.8	150	1952
Cámara de Máquinas	42.2	1.2	0.7	200	10047
Local del servo	9.9	1.4	0.6	200	2419
Bodega	27.4	0.7	0.6	200	12295

Tabla 5. Nivel medio de iluminación para cada local.

Conocido el flujo de luz necesario podemos ya elegir las lámparas que emplearemos para cada espacio, lo que nos da el rendimiento lumínico en cada espacio. El rendimiento lumínico es la cantidad de luz emitida, medida en lm, por cada vatio de luz entregado a la lámpara.

En los espacios más grandes, como el puente, la cámara de máquinas, y la bodega, podemos usar lámparas fluorescentes de 1.2 m con balastro electrónico y potencia de 38 W. El rendimiento de estas lámparas es de 89 lm/W.

En los espacios más pequeños, como son las escaleras, se pueden emplear lámparas incandescentes de 60 W, que tienen un rendimiento lumínico de 10 lm/W.

En el resto de espacios instalamos lámparas fluorescentes de 0.6 m con balastro electrónico y potencia de 19 W. El rendimiento de estas lámparas es de 70 lm/W.

Así, conocido el flujo de luz necesario, y el rendimiento lumínico en cada espacio, podemos por fin calcular el consumo eléctrico del alumbrado aplicando a cada espacio la siguiente expresión:

$$P = \frac{\phi_T}{\eta_{lum}} \rightarrow \text{Ec. 3}$$

Una vez conocida la potencia mínima consumida en cada espacio, podemos conocer el número de lámparas del tipo elegido para cada local que son capaces de abastecer la demanda, y por tanto la potencia instalada real del alumbrado:

ESPACIO	Flujo (lm)	Rendimiento	P (W)	Punit	Ud.	Pt (W)
Camarote capitán	1662	74	22	19	2	38
Camarote de habitación de popa (babor)	2240	74	30	19	2	38
Camarote de habitación de popa (estribor)	2240	74	30	19	2	38
Camarote de habitación de proa (Doble fondo-babor)	1189	74	16	19	1	19
Camarote de habitación de proa (Doble fondo-estribor)	1189	74	16	19	1	19
Camarote de habitación de proa (Intermedia-babor)	1527	74	21	19	2	38
Camarote de habitación de proa (Intermedia-estribor)	1025	74	14	19	1	19
Aseo capitán	1221	74	17	19	1	19
Aseo cubierta intermedia	1020	74	19	19	1	19
Aseo cubierta superior	889	74	12	19	1	19
Escaleras cámara de máquinas	1250	10	125	60	3	180
Escaleras camarotes popa	1684	10	168	60	3	180
Escaleras camarotes proa	797	10	80	60	2	120
Puente	6151	89	69	38	2	76
Sala de control de máquinas	4555	74	62	19	4	76
Cocina	2697	74	36	19	2	38
Comedor	4580	89	51	38	2	76
Lavandería	1149	74	16	19	1	19
Pañol	3204	74	43	19	3	57
Sala de ropas de agua	1238	74	17	19	1	19
Derrota	1952	74	26	19	2	38
Cámara de Máquinas	10047	89	113	38	3	114
Local del servo	2419	74	33	19	2	38
Bodega	12295	89	138	38	4	152

Tabla 6. Consumo eléctrico de cada espacio.

Sumando todos los espacios tenemos un consumo del alumbrado interior de 1450 W.

Adicionalmente se debe instalar alumbrado en los viveros, que se dejaron fuera del método por ser un alumbrado un tanto especial, que no responde al alumbrado normal de un espacio del buque. Una buena alternativa será disponer de un proyector de cuarzo de 500 W en cada vivero. Como existen 6 viveros se deberá añadir un consumo de 3000 W al alumbrado interior.

5.1.2 Alumbrado exterior.

En el alumbrado exterior se puede aprovechar pobremente la luz reflejada, luego es conveniente situar las luces en los puntos más altos posibles para que proyecten luz sobre una mayor superficie.

Para reducir costes de mantenimiento y repuestos podemos optar por situar únicamente proyectores de 1000 W.

Podemos situar dos proyectores de 1000 vatios en el palo de proa, y otros dos proyectores en el palo de popa, donde se soporta el halador.

También situaremos dos proyectores en la baranda de proa del sobrepunte, para dar servicio a la proa del buque, y otros dos en la baranda de popa para dar servicio a la cubierta del puente, y en menor medida a la cubierta principal.

Por último situaremos un último proyector en el palo del sobre puente, para dar servicio al mismo.

Todo ello conforma un alumbrado exterior con un consumo de 9000 W.

5.1.3 Alumbrado de emergencia.

El Bureau Veritas establece que, para barcos de eslora mayor de 25 metros, y menor de 45 metros, se debe disponer un sistema de emergencia que en caso de necesitarse debe mantenerse activo el alumbrado al menos durante 3 horas en los siguientes locales:

- Pasillos, escaleras y salidas.

- Zonas transitables de cubierta.
- Zona de balsas salvavidas.
- Puente.
- Cámara de máquinas.
- Local del servo.
- Bodega.

Establece también que se deben instalar puntos de luz de emergencia, que se activarán automáticamente ante fallo del suministro eléctrico, en los siguientes locales:

- Camarotes.
- Comedor.
- Pañol.

Para el sistema de alumbrado de emergencia se emplearán lámparas fluorescentes de 8, 18 y 36 W.

Su distribución será la siguiente:

Local	Uds	P (W)	P _T (W)
Bodega	2	36	72
Cámara de máquinas	4	36	144
Camarotes	7	8	56
Comedor	2	18	36
Escaleras	5	18	90
Exterior	15	18	270
Local del servo	1	18	18
Pañol	1	18	18
Puente	2	36	72

Tabla 7. Puntos de luz del alumbrado de emergencia.

En total un consumo, sólo para la situación de emergencia, de 776 W.

5.1.4 Luces de navegación.

Las luces de navegación tienen por misión advertir a otros buques de nuestra presencia y rumbo, no la de iluminar, y por tanto, no necesitan ser luces especialmente potentes.

En este caso se utilizarán luces de 60 W.

Las luces necesarias se pueden observar en el cuaderno 8, apartado 4.4.1.

Luces	P (W)
Luz blanca de tope.	60
Luz roja de costado (babor.)	60
Luz verde costado (estribor.)	60
Luz blanca de alcance.	60
Luz blanca de tope.	60
Luz amarilla de remolque.	60
Luz roja todo horizonte.	60
Luz blanca todo horizonte.	60
Luz centelleante.	60

Tabla 8. Luces de navegación.

Por tanto el consumo de las luces de navegación es de 540 W.

5.1.5 Resto de consumidores:

El resto de consumidores ya fueron dimensionados en documentos anteriores, especificando el consumo eléctrico de cada uno.

Por tanto nos remitimos a estos cuadernos, y no repetimos aquí su cálculo.

Proporcionamos seguidamente una tabla resumen de los mismos:

Proyecto 077: Planta eléctrica.

Consumidor	Unidades totales	Pot. Unitaria (kW)	Potencia total (kW)
Bomba circulación aceite sucio	1	2.90	2.90
Bomba de reserva de aceite motor principal	1	4.50	4.50
Bomba de trasiego de combustible	1	0.55	0.55
Compresor aire de arranque	2	3.50	7.00
Generador agua dulce	2	1.85	3.70
Separadora de combustible	1	1.50	1.50
Ventilación cámara de máquinas	2	3.60	7.20
Bombas de servicios generales	3	1.86	5.58
Máquinas auxiliares de cubierta	2	3.50	7.00
Unidad del servo	1	2.20	2.20
Alumbrado bodega-pañol	1	0.21	0.21
Alumbrado cámara de máquinas y control	1	0.23	0.23
Alumbrado exterior	9	1.00	9.00
Alumbrado habitación	1	0.90	0.90
Alumbrado puente	1	0.11	0.11
Alumbrado viveros	6	0.50	3.00
Luces de navegación	9	0.06	0.54
Ventilador zona I	1	0.02	0.02
Ventilador zona II	1	0.21	0.21
Ventilador zona III	1	0.10	0.10
Ventilador zona IV	1	0.04	0.04
Ventilador zona V	1	0.08	0.08
Ventilador zona VI	1	0.03	0.03
Calefacción zona I	1	0.11	0.11
Calefacción zona II	1	1.68	1.68
Calefacción zona III	1	0.77	0.77
Calefacción zona IV	1	0.25	0.25
Calefacción zona V	1	0.69	0.69
Calefacción zona VI	1	0.20	0.20
Extractor zona I	1	0.01	0.01
Extractor zona II	1	0.10	0.10
Extractor zona III	1	0.05	0.05
Extractor zona IV	1	0.02	0.02
Extractor zona V	1	0.04	0.04
Extractor zona VI	1	0.01	0.01
Bomba de circulación grupo hidróforo agua salada	1	1.10	1.10
Bomba de circulación hidróforo agua dulce	1	1.10	1.10
Calentador agua dulce cubierta de mando	1	1.20	1.20
Calentador agua dulce cubierta intermedia	1	2.40	2.40
Calentador agua dulce cubierta principal	1	1.20	1.20
Campana extractora	1	0.10	0.10
Cocina	1	5.50	5.50
Congelador	1	1.00	1.00
Frigorífico	1	0.50	0.50
Horno	1	3.50	3.50
Lavadora	1	2.10	2.10
Bombas de riego	2	4.50	9.00
Bombas viveros	2	8.00	16.00
Bomba achique viveros	1	4.00	4.00
Compresor bodega	1	3.90	3.90
Grúa hidráulica	2	40.00	80.00
Halador hidráulico	1	20.00	20.00
Maquinilla cerco hidráulica	1	40.00	40.00
Comunicaciones internas (24 V)	1	0.80	0.80
Ayudas a la navegación (24 V)	1	0.70	0.70
Antena radar	1	0.60	0.60
Radiogoniómetro	1	0.10	0.10
Corredera	1	0.30	0.30
Sonar	3	0.55	1.65

Tabla 9. Listado de consumidores.

5.1.6 Clasificación de los consumidores a bordo

En ref [30] se explica un sistema para clasificar y agrupar a los consumidores. En dicha referencia D. Amable Piñeiro establece una agrupación como la que sigue:

- **Servicios de máquinas:** Incluyen todos los auxiliares de maquinaria propulsora, situados normalmente en cámara de máquinas.
- **Servicios de casco y cubierta:** Son aquellos auxiliares, localizados en cámaras de máquinas o en otros espacios del buque, necesarios para la navegación y maniobra.
- **Servicios de carga y descarga:** Operan fundamentalmente en puerto.
- **Servicios de operación:** Propios de buques no mercantes, como equipos de pesca.
- **Habilitación:** Comprendiendo todos aquellos que son necesarios para la vida a bordo de la tripulación.
- **Alumbrado en sus distintos usos:** Cámara de máquinas, espacios de carga, proyectores...
- **Equipos electrónicos de navegación, comunicaciones y automación.**

6 Determinación de las diferentes situaciones de carga eléctrica.

Dependiendo de la operación que el buque esté realizando, la potencia eléctrica variará, y cada una de esas condiciones de operación en las que la potencia demandada es diferente es cada una de las situaciones de carga eléctrica.

A efectos de diseño, no todas las condiciones de carga eléctrica son relevantes. Sólo lo son realmente aquellas que representan situaciones en las que el buque va a operar durante gran parte de su vida útil, pues serán las situaciones que más marcarán el consumo de combustible, y el mantenimiento de los grupos generadores.

Por otra parte, también serán situaciones de carga muy relevantes aquellas en las que la demanda de potencia marque los picos de consumo; esto es, aquellas situaciones en las que la demanda de potencia eléctrica sea muy elevada, pues serán las situaciones en las que será puesta a prueba la planta eléctrica, y sus dimensiones vendrán definidas por estas situaciones. También son relevantes aquellas situaciones en las que la demanda sea muy pequeña, puesto que los generadores deben trabajar a unos mínimos regímenes de carga para tener consumos correctos, y no sufrir problemas de mantenimiento.

Por último existe una última situación de carga muy relevante, y se trata de la situación de emergencia, donde el sistema de generación de energía eléctrica es distinto.

Atendiendo a estos criterios podemos definir cinco situaciones de carga diferentes:

- Navegación.
- Pesca de anchoa mediante cerco.
- Pesca de bonito mediante cebo vivo.
- Estancia en puerto.
- Situación de emergencia.

7 Servicios no esenciales.

Los servicios no esenciales son aquellos a los que se les puede negar el consumo eléctrico en caso de fallo de la planta eléctrica, y activando el sistema de emergencia.

Estos servicios son todos aquellos que no estén relacionados con la recuperación del estado normal de funcionamiento del buque, de los sistemas de telecomunicaciones que permitan advertir la situación y estado del buque, con la capacidad de mantener un nivel mínimo de supervivencia de la tripulación, el gobierno del buque, entre lo que incluye los sistemas que mantienen la máquina principal en funcionamiento, o los sistemas de detección de incendios.

Por tanto, podemos declarar sistemas no esenciales los siguientes (ver 5.1.6):

- El servicio de casco y cubierta al completo.
- Los servicios de carga y descarga.
- Los servicios de operación.
- El alumbrado, excluyendo el alumbrado de emergencia y las luces de navegación.
- Equipos electrónicos no esenciales.

8 Balance eléctrico.

El balance eléctrico es el estudio de la energía eléctrica demandada en cada situación.

Por tanto se debe realizar un balance para cada situación de carga en la que se incluyen todos los equipos, y su situación de funcionamiento, interpretando como tal si se encuentran activos, y el régimen al que lo están.

Como primera aproximación, válida para fases prematuras del proyecto, podemos suponer un factor de potencia de 0.8 para todos los consumidores:

$$\cos(\varphi) = 0.8 \rightarrow \text{Ec. 4}$$

Los distintos consumidores tienen, en muchas ocasiones, más de una unidad, a veces en concepto de equipos de reserva, que no se emplean salvo en caso de fallo de la unidad principal, siendo descartables para el consumo en cada situación. Al factor que refleja estos consumidores no activos se le llama coeficiente de simultaneidad k_n . Este factor es el mismo para todas las situaciones de carga³.

Por otra parte, algunos equipos no se emplean al 100% en todas las situaciones, sino que en ocasiones se utilizan a un régimen más bajo, o no está funcionando el 100% del tiempo que se considera la situación de carga. Al factor que refleja esta situación se le denomina coeficiente de servicio y régimen k_{sr} .

La multiplicación de estos dos factores da el factor de utilización, k_u :

$$k_u = k_n \cdot k_{sr} \rightarrow \text{Ec. 5}$$

De este modo la potencia consumida por cada equipo en cada situación de carga resultará de aplicar el coeficiente de utilización a la potencia nominal dispuesta en la Tabla 9.

$$P_F = P_C \cdot k_u = P_C \cdot k_n \cdot k_{sr} \rightarrow \text{Ec. 6}$$

³ Salvo la situación de emergencia, que siempre se mueve a parte de las demás.

8.1.1 Potencia consumida durante la navegación.

En situación de navegación los consumos de los diferentes servicios son los siguientes:

SERVICIO MÁQUINAS	Unidades totales	Pot. Unitaria (kW)	Potencia total (kW)	kn	ksr	Consumo (kW)
Bomba circulación aceite sucio	1	2.90	2.90	1.00	0.40	1.2
Bomba de reserva de aceite motor principal	1	4.50	4.50	1.00	0.10	0.5
Bomba de trasiego de combustible	1	0.55	0.55	1.00	1.00	0.6
Compresor aire de arranque	2	3.50	7.00	1.00	0.80	5.6
Generador agua dulce	2	1.85	3.70	0.50	0.60	1.1
Separadora de combustible	1	1.50	1.50	1.00	0.50	0.8
Ventilación cámara de máquinas	2	3.60	7.20	0.50	1.00	3.6
						13.2

Tabla 10. Consumos del servicio de máquinas.

SERVICIO CASCO- CUBIERTA	Unidades totales	Pot. Unitaria	Potencia total	kn	ksr	Consumo (kW)
Bombas de servicios generales	3	1.86	5.58	0.67	0.80	3.0
Máquinas auxiliares de cubierta	2	3.50	7.00	1.00	0.20	1.4
Unidad del servo	1	2.20	2.20	1.00	1.00	2.2
						24.1

Tabla 11. Consumos del servicio de casco-cubierta.

ALUMBRADO	Unidades totales	Pot. Unitaria	Potencia total	kn	ksr	Consumo (kW)
Alumbrado bodega-pañol	1	0.00	0.00	1.00	0.20	0.0
Alumbrado cámara de máquinas y control	1	0.00	0.00	1.00	1.00	0.0
Alumbrado exterior	9	1.00	9.00	1.00	1.00	9.0
Alumbrado habitación	1	0.00	0.00	1.00	0.80	0.0
Alumbrado puente	1	0.00	0.00	1.00	1.00	0.0
Alumbrado viveros	6	0.50	3.00	1.00	0.20	0.6
Luces de navegación	9	0.06	0.54	1.00	1.00	0.5
						10.1

Tabla 12. Consumos del servicio de alumbrado.

SERVICIOS DE HABILITACIÓN	Unidades totales	Pot. Unitaria	Potencia total	kn	ksr	Consumo (kW)
Ventilador zona I	1	0.02	0.02	1.00	0.50	0.0
Ventilador zona II	1	0.21	0.21	1.00	0.50	0.1
Ventilador zona III	1	0.10	0.10	1.00	0.50	0.0
Ventilador zona IV	1	0.04	0.04	1.00	0.50	0.0
Ventilador zona V	1	0.08	0.08	1.00	0.50	0.0
Ventilador zona VI	1	0.03	0.03	1.00	0.50	0.0
Calefacción zona I	1	0.11	0.11	1.00	0.30	0.0
Calefacción zona II	1	1.68	1.68	1.00	0.30	0.5
Calefacción zona III	1	0.77	0.77	1.00	0.30	0.2
Calefacción zona IV	1	0.25	0.25	1.00	0.30	0.1
Calefacción zona V	1	0.69	0.69	1.00	0.30	0.2
Calefacción zona VI	1	0.20	0.20	1.00	0.30	0.1
Extractor zona I	1	0.01	0.01	1.00	0.50	0.0
Extractor zona II	1	0.10	0.10	1.00	0.50	0.1
Extractor zona III	1	0.05	0.05	1.00	0.50	0.0
Extractor zona IV	1	0.02	0.02	1.00	0.50	0.0
Extractor zona V	1	0.04	0.04	1.00	0.50	0.0
Extractor zona VI	1	0.01	0.01	1.00	0.50	0.0
Bomba de circulación grupo hidróforo agua salada	1	1.10	1.10	1.00	0.80	0.9
Bomba de circulación hidróforo agua dulce	1	1.10	1.10	1.00	0.80	0.9
Calentador agua dulce cubierta de mando	1	1.20	1.20	1.00	0.50	0.6
Calentador agua dulce cubierta intermedia	1	2.40	2.40	1.00	0.50	1.2
Calentador agua dulce cubierta principal	1	1.20	1.20	1.00	0.50	0.6
Campana extractora	1	0.10	0.10	1.00	0.50	0.1
Cocina	1	5.50	5.50	1.00	0.50	2.8
Congelador	1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.0
Frigorífico	1	0.50	0.50	1.00	1.00	0.5
Horno	1	3.50	3.50	1.00	0.20	0.7
Lavadora	1	2.10	2.10	1.00	0.20	0.4
						6.0

Tabla 13. Consumos del servicio de habitación.

Proyecto 077: Planta eléctrica.

SERVICIO OPERACIÓN	Unidades totales	Pot. Unitaria	Potencia total	kn	ksr	Consumo (kW)
Bombas de riego	2	4.50	9.00	1.00	0.00	0.0
Bombas viveros	2	8.00	16.00	1.00	1.00	16.0
Bomba achique viveros	1	4.00	4.00	1.00	0.20	0.8
Compresor bodega	1	3.90	3.90	1.00	1.00	3.9
Grúa hidráulica	2	40.00	80.00	1.00	0.00	0.0
Halador hidráulico	1	20.00	20.00	1.00	0.00	0.0
Maquinilla cerco hidráulica	1	40.00	40.00	1.00	0.00	0.0
						20.7

Tabla 14. Consumos del servicio de operación.

EQUIPOS ELECTRÓNICOS	Unidades totales	Pot. Unitaria	Potencia total	kn	ksr	Consumo (kW)
Comunicaciones internas (24 V)	1	0.80	0.80	1.00	0.80	0.6
Ayudas a la navegación (24 V)	1	0.70	0.70	1.00	0.80	0.6
Antena radar	1	0.60	0.60	1.00	1.00	0.6
Radiogoniómetro	1	0.10	0.10	1.00	0.80	0.1
Corredera	1	0.30	0.30	1.00	1.00	0.3
Sonar	3	0.55	1.65	1.00	0.80	1.3
						3.5

Tabla 15. Consumo de los equipos electrónicos.

La suma de todos estos consumos nos da el consumo total de energía eléctrica en navegación:

$$P_{navegacion} = 13.2 + 24.1 + 10.1 + 6.0 + 20.7 + 3.5 \text{ kW} = 77.6 \text{ kW} \rightarrow \text{Ec. 7}$$

Y aplicando el factor de potencia podemos conocer la potencia aparente que será demandada a los generadores:

$$S_{navegacion} = \frac{P_{navegacion}}{\cos(\varphi)} = \frac{77.6}{0.8} \text{ kVA} = 97 \text{ kVA} \rightarrow \text{Ec. 8}$$

8.1.2 Potencia consumida durante la pesca de anchoa mediante cerco.

En las operaciones de pesca con cerco los consumos del buque son los siguientes:

SERVICIO MÁQUINAS	Unidades totales	Unidades en uso	Pot. Unitaria (kW)	Potencia total (kW)	kn	ksr	Consumo (kW)
Bomba circulación aceite sucio	1	1	2.90	2.90	1.00	0.40	1.2
Bomba de reserva de aceite motor principal	1	1	4.50	4.50	1.00	0.10	0.5
Bomba de trasiego de combustible	1	1	0.55	0.55	1.00	0.80	0.4
Compresor aire de arranque	2	2	3.50	7.00	1.00	0.80	5.6
Generador agua dulce	2	1	1.85	3.70	0.50	0.50	0.9
Separadora de combustible	1	1	1.50	1.50	1.00	0.50	0.8
Ventilación cámara de máquinas	2	1	3.60	7.20	0.50	1.00	3.6
							12.9

Tabla 16. Consumos del servicio de máquinas.

SERVICIO CASCO- CUBIERTA	Unidades totales	Unidades en uso	Pot. Unitaria	Potencia total	kn	ksr	Consumo (kW)
Bombas de servicios generales	3	2	1.86	5.58	0.67	0.80	3.0
Máquinas auxiliares de cubierta	2	2	3.50	7.00	1.00	0.60	4.2
Unidad del servo	1	1	2.20	2.20	1.00	1.00	2.2
							26.7

Tabla 17. Consumos del servicio de casco-cubierta.

ALUMBRADO	Unidades totales	Unidades en uso	Pot. Unitaria	Potencia total	kn	ksr	Consumo (kW)
Alumbrado bodega-pañol	1	1	0.00	0.00	1.00	0.80	0.0
Alumbrado cámara de máquinas y control	1	1	0.00	0.00	1.00	1.00	0.0
Alumbrado exterior	9	9	1.00	9.00	1.00	1.00	9.0
Alumbrado habilitación	1	1	0.00	0.00	1.00	0.40	0.0
Alumbrado puente	1	1	0.00	0.00	1.00	1.00	0.0
Alumbrado viveros	6	6	0.50	3.00	1.00	0.20	0.6
Luces de navegación	9	9	0.06	0.54	1.00	1.00	0.5
							10.1

Tabla 18. Consumos del servicio de alumbrado.

Proyecto 077: Planta eléctrica.

SERVICIOS DE HABILITACIÓN	Unidades totales	Unidades en uso	Pot. Unitaria	Potencia total	kn	ksr	Consumo (kW)
Ventilador zona I	1	1	0.02	0.02	1.00	0.50	0.0
Ventilador zona II	1	1	0.21	0.21	1.00	0.50	0.1
Ventilador zona III	1	1	0.10	0.10	1.00	0.50	0.0
Ventilador zona IV	1	1	0.04	0.04	1.00	0.50	0.0
Ventilador zona V	1	1	0.08	0.08	1.00	0.50	0.0
Ventilador zona VI	1	1	0.03	0.03	1.00	0.50	0.0
Calefacción zona I	1	1	0.11	0.11	1.00	0.10	0.0
Calefacción zona II	1	1	1.68	1.68	1.00	0.10	0.2
Calefacción zona III	1	1	0.77	0.77	1.00	0.10	0.1
Calefacción zona IV	1	1	0.25	0.25	1.00	0.10	0.0
Calefacción zona V	1	1	0.69	0.69	1.00	0.10	0.1
Calefacción zona VI	1	1	0.20	0.20	1.00	0.10	0.0
Extractor zona I	1	1	0.01	0.01	1.00	0.50	0.0
Extractor zona II	1	1	0.10	0.10	1.00	0.50	0.1
Extractor zona III	1	1	0.05	0.05	1.00	0.50	0.0
Extractor zona IV	1	1	0.02	0.02	1.00	0.50	0.0
Extractor zona V	1	1	0.04	0.04	1.00	0.50	0.0
Extractor zona VI	1	1	0.01	0.01	1.00	0.50	0.0
Bomba de circulación grupo hidróforo agua salada	1	1	1.10	1.10	1.00	0.80	0.9
Bomba de circulación hidróforo agua dulce	1	1	1.10	1.10	1.00	0.80	0.9
Calentador agua dulce cubierta de mando	1	1	1.20	1.20	1.00	0.50	0.6
Calentador agua dulce cubierta intermedia	1	1	2.40	2.40	1.00	0.50	1.2
Calentador agua dulce cubierta principal	1	1	1.20	1.20	1.00	0.50	0.6
Campana extractora	1	1	0.10	0.10	1.00	0.50	0.1
Cocina	1	1	5.50	5.50	1.00	0.50	2.8
Congelador	1	1	1.00	1.00	1.00	0.80	0.8
Frigorífico	1	1	0.50	0.50	1.00	1.00	0.5
Horno	1	1	3.50	3.50	1.00	0.20	0.7
Lavadora	1	1	2.10	2.10	1.00	0.20	0.4
							5.8

Tabla 19. Consumos del servicio de habilitación.

SERVICIO OPERACIÓN	Unidades totales	Unidades en uso	Pot. Unitaria	Potencia total	kn	ksr	Consumo (kW)
Bombas de riego	2	2	4.50	9.00	1.00	0.00	0.0
Bombas viveros	2	2	8.00	16.00	1.00	0.00	0.0
Bomba achique viveros	1	1	4.00	4.00	1.00	0.20	0.8
Compresor bodega	1	1	3.90	3.90	1.00	1.00	3.9
Grúa hidráulica	2	2	40.00	80.00	1.00	0.00	0.0
Halador hidráulico	1	1	20.00	20.00	1.00	0.00	0.0
Maquinilla cerco hidráulica	1	1	40.00	40.00	1.00	0.00	0.0
							4.7

Tabla 20. Consumos del servicio de operación.

EQUIPOS ELECTRÓNICOS	Unidades totales	Unidades en uso	Pot. Unitaria	Potencia total	kn	ksr	Consumo (kW)
Comunicaciones internas (24 V)	1	1	0.80	0.80	1.00	0.80	0.6
Ayudas a la navegación (24 V)	1	1	0.70	0.70	1.00	0.80	0.6
Antena radar	1	1	0.60	0.60	1.00	1.00	0.6
Radiogoniómetro	1	1	0.10	0.10	1.00	0.80	0.1
Corredora	1	1	0.30	0.30	1.00	1.00	0.3
Sonar	3	3	0.55	1.65	1.00	0.80	1.3
							3.5

Tabla 21. Consumo de los equipos electrónicos.

La suma de todos estos consumos nos da el consumo total de energía eléctrica en navegación:

$$P_a = 12.9 + 26.7 + 10.1 + 5.8 + 4.7 + 3.5 \text{ kW} = 63.7 \text{ kW} \rightarrow \text{Ec. 9}$$

Y aplicando el factor de potencia podemos conocer la potencia aparente que será demandada a los generadores:

$$S_{anchoa} = \frac{P_{anchoa}}{\cos(\varphi)} = \frac{63.7}{0.8} \text{ kVA} = 79.6 \text{ kVA} \rightarrow \text{Ec. 10}$$

8.1.3 Potencia consumida durante la pesca de bonito mediante cebo vivo.

En las operaciones de pesca con caña mediante cebo vivo los consumos del buque son los siguientes:

Proyecto 077: Planta eléctrica.

SERVICIO MÁQUINAS	Unidades totales	Unidades en uso	Pot. Unitaria (kW)	Potencia total (kW)	kn	ksr	Consumo (kW)
Bomba circulación aceite sucio	1	1	2.90	2.90	1.00	0.40	1.2
Bomba de reserva de aceite motor principal	1	1	4.50	4.50	1.00	0.10	0.5
Bomba de trasiego de combustible	1	1	0.55	0.55	1.00	0.80	0.4
Compresor aire de arranque	2	2	3.50	7.00	1.00	0.80	5.6
Generador agua dulce	2	1	1.85	3.70	0.50	0.50	0.9
Separadora de combustible	1	1	1.50	1.50	1.00	0.50	0.8
Ventilación cámara de máquinas	2	1	3.60	7.20	0.50	1.00	3.6
							12.9

Tabla 22. Consumos del servicio de máquinas.

SERVICIO CASCO- CUBIERTA	Unidades totales	Unidades en uso	Pot. Unitaria	Potencia total	kn	ksr	Consumo (kW)
Bombas de servicios generales	3	2	1.86	5.58	0.67	0.80	3.0
Máquinas auxiliares de cubierta	2	2	3.50	7.00	1.00	0.40	2.8
Unidad del servo	1	1	2.20	2.20	1.00	1.00	2.2
							25.3

Tabla 23. Consumos del servicio de casco-cubierta.

ALUMBRADO	Unidades totales	Unidades en uso	Pot. Unitaria	Potencia total	kn	ksr	Consumo (kW)
Alumbrado bodega-pañol	1	1	0.00	0.00	1.00	0.80	0.0
Alumbrado cámara de máquinas y control	1	1	0.00	0.00	1.00	1.00	0.0
Alumbrado exterior	9	9	1.00	9.00	1.00	1.00	9.0
Alumbrado habilitación	1	1	0.00	0.00	1.00	0.40	0.0
Alumbrado puente	1	1	0.00	0.00	1.00	1.00	0.0
Alumbrado viveros	6	6	0.50	3.00	1.00	0.50	1.5
Luces de navegación	9	9	0.06	0.54	1.00	1.00	0.5
							11.0

Tabla 24. Consumos del servicio de alumbrado.

SERVICIOS DE HABILITACIÓN	Unidades totales	Unidades en uso	Pot. Unitaria	Potencia total	kn	ksr	Consumo (kW)
Ventilador zona I	1	1	0.02	0.02	1.00	0.50	0.0
Ventilador zona II	1	1	0.21	0.21	1.00	0.50	0.1
Ventilador zona III	1	1	0.10	0.10	1.00	0.50	0.0
Ventilador zona IV	1	1	0.04	0.04	1.00	0.50	0.0
Ventilador zona V	1	1	0.08	0.08	1.00	0.50	0.0
Ventilador zona VI	1	1	0.03	0.03	1.00	0.50	0.0
Calefacción zona I	1	1	0.11	0.11	1.00	0.00	0.0
Calefacción zona II	1	1	1.68	1.68	1.00	0.00	0.0
Calefacción zona III	1	1	0.77	0.77	1.00	0.00	0.0
Calefacción zona IV	1	1	0.25	0.25	1.00	0.00	0.0
Calefacción zona V	1	1	0.69	0.69	1.00	0.00	0.0
Calefacción zona VI	1	1	0.20	0.20	1.00	0.00	0.0
Extractor zona I	1	1	0.01	0.01	1.00	0.50	0.0
Extractor zona II	1	1	0.10	0.10	1.00	0.50	0.1
Extractor zona III	1	1	0.05	0.05	1.00	0.50	0.0
Extractor zona IV	1	1	0.02	0.02	1.00	0.50	0.0
Extractor zona V	1	1	0.04	0.04	1.00	0.50	0.0
Extractor zona VI	1	1	0.01	0.01	1.00	0.50	0.0
Bomba de circulación grupo hidróforo agua salada	1	1	1.10	1.10	1.00	0.80	0.9
Bomba de circulación hidróforo agua dulce	1	1	1.10	1.10	1.00	0.80	0.9
Calentador agua dulce cubierta de mando	1	1	1.20	1.20	1.00	0.50	0.6
Calentador agua dulce cubierta intermedia	1	1	2.40	2.40	1.00	0.50	1.2
Calentador agua dulce cubierta principal	1	1	1.20	1.20	1.00	0.50	0.6
Campana extractora	1	1	0.10	0.10	1.00	0.50	0.1
Cocina	1	1	5.50	5.50	1.00	0.50	2.8
Congelador	1	1	1.00	1.00	1.00	0.80	0.8
Frigorífico	1	1	0.50	0.50	1.00	1.00	0.5
Horno	1	1	3.50	3.50	1.00	0.20	0.7
Lavadora	1	1	2.10	2.10	1.00	0.20	0.4
							5.8

Tabla 25. Consumos del servicio de habilitación.

SERVICIO OPERACIÓN	Unidades totales	Unidades en uso	Pot. Unitaria	Potencia total	kn	ksr	Consumo (kW)
Bombas de riego	2	2	4.50	9.00	1.00	1.00	9.0
Bombas viveros	2	2	8.00	16.00	1.00	1.00	16.0
Bomba achique viveros	1	1	4.00	4.00	1.00	0.20	0.8
Compresor bodega	1	1	3.90	3.90	1.00	1.00	3.9
Grúa hidráulica	2	2	40.00	80.00	1.00	0.50	40.0
Halador hidráulico	1	1	20.00	20.00	1.00	0.00	0.0
Maquinilla cerco hidráulica	1	1	40.00	40.00	1.00	0.00	0.0
							69.7

Tabla 26. Consumos del servicio de operación.

Proyecto 077: Planta eléctrica.

EQUIPOS ELECTRÓNICOS	Unidades totales	Unidades en uso	Pot. Unitaria	Potencia total	kn	ksr	Consumo (kW)
Comunicaciones internas (24 V)	1	1	0.80	0.80	1.00	0.80	0.6
Ayudas a la navegación (24 V)	1	1	0.70	0.70	1.00	0.80	0.6
Antena radar	1	1	0.60	0.60	1.00	1.00	0.6
Radiogoniómetro	1	1	0.10	0.10	1.00	0.80	0.1
Corredera	1	1	0.30	0.30	1.00	1.00	0.3
Sonar	3	3	0.55	1.65	1.00	0.80	1.3
							3.5

Tabla 27. Consumo de los equipos electrónicos.

La suma de todos estos consumos nos da el consumo total de energía eléctrica en navegación:

$$P_{bonito} = 12.9 + 25.3 + 11.0 + 5.8 + 69.7 + 3.5 \text{ kW} = 128.2 \text{ kW} \rightarrow \text{Ec. 11}$$

Y aplicando el factor de potencia podemos conocer la potencia aparente que será demandada a los generadores:

$$S_{bonito} = \frac{P_{bonito}}{\cos(\varphi)} = \frac{128.2}{0.8} \text{ kVA} = 160.3 \text{ kVA} \rightarrow \text{Ec. 12}$$

8.1.4 Potencia consumida durante la estancia en puerto (carga y descarga).

Durante la estancia en puerto, y mientras realiza las operaciones de carga y descarga, que es la situación más relevante:

SERVICIO MÁQUINAS	Unidades totales	Unidades en uso	Pot. Unitaria (kW)	Potencia total (kW)	kn	ksr	Consumo (kW)
Bomba circulación aceite sucio	1	1	2.90	2.90	1.00	0.10	0.3
Bomba de reserva de aceite motor principal	1	1	4.50	4.50	1.00	0.00	0.0
Bomba de trasiego de combustible	1	1	0.55	0.55	1.00	0.10	0.1
Compresor aire de arranque	2	2	3.50	7.00	1.00	0.20	1.4
Generador agua dulce	2	1	1.85	3.70	0.50	0.50	0.9
Separadora de combustible	1	1	1.50	1.50	1.00	0.10	0.2
Ventilación cámara de máquinas	2	1	3.60	7.20	0.50	0.50	1.8
							4.6

Tabla 28. Consumos del servicio de máquinas.

SERVICIO CASCO- CUBIERTA	Unidades totales	Unidades en uso	Pot. Unitaria	Potencia total	kn	ksr	Consumo (kW)
Bombas de servicios generales	3	2	1.86	5.58	0.67	0.40	1.5
Máquinas auxiliares de cubierta	2	2	3.50	7.00	1.00	0.40	2.8
Unidad del servo	1	1	2.20	2.20	1.00	0.80	1.8
							12.6

Tabla 29. Consumos del servicio de casco-cubierta.

ALUMBRADO	Unidades totales	Unidades en uso	Pot. Unitaria	Potencia total	kn	ksr	Consumo (kW)
Alumbrado bodega-pañol	1	1	0.00	0.00	1.00	0.80	0.0
Alumbrado cámara de máquinas y control	1	1	0.00	0.00	1.00	0.80	0.0
Alumbrado exterior	9	9	1.00	9.00	1.00	1.00	9.0
Alumbrado habitación	1	1	0.00	0.00	1.00	0.50	0.0
Alumbrado puente	1	1	0.00	0.00	1.00	1.00	0.0
Alumbrado viveros	6	6	0.50	3.00	1.00	0.50	1.5
Luces de navegación	9	9	0.06	0.54	1.00	1.00	0.5
							11.0

Tabla 30. Consumos del servicio de alumbrado.

Proyecto 077: Planta eléctrica.

SERVICIOS DE HABILITACIÓN	Unidades totales	Unidades en uso	Pot. Unitaria	Potencia total	kn	ksr	Consumo (kW)
Ventilador zona I	1	1	0.02	0.02	1.00	0.50	0.0
Ventilador zona II	1	1	0.21	0.21	1.00	0.50	0.1
Ventilador zona III	1	1	0.10	0.10	1.00	0.50	0.0
Ventilador zona IV	1	1	0.04	0.04	1.00	0.50	0.0
Ventilador zona V	1	1	0.08	0.08	1.00	0.50	0.0
Ventilador zona VI	1	1	0.03	0.03	1.00	0.50	0.0
Calefacción zona I	1	1	0.11	0.11	1.00	0.50	0.1
Calefacción zona II	1	1	1.68	1.68	1.00	0.50	0.8
Calefacción zona III	1	1	0.77	0.77	1.00	0.50	0.4
Calefacción zona IV	1	1	0.25	0.25	1.00	0.50	0.1
Calefacción zona V	1	1	0.69	0.69	1.00	0.50	0.3
Calefacción zona VI	1	1	0.20	0.20	1.00	0.50	0.1
Extractor zona I	1	1	0.01	0.01	1.00	0.10	0.0
Extractor zona II	1	1	0.10	0.10	1.00	0.10	0.0
Extractor zona III	1	1	0.05	0.05	1.00	0.10	0.0
Extractor zona IV	1	1	0.02	0.02	1.00	0.10	0.0
Extractor zona V	1	1	0.04	0.04	1.00	0.10	0.0
Extractor zona VI	1	1	0.01	0.01	1.00	0.10	0.0
Bomba de circulación grupo hidróforo agua salada	1	1	1.10	1.10	1.00	0.80	0.9
Bomba de circulación hidróforo agua dulce	1	1	1.10	1.10	1.00	0.80	0.9
Calentador agua dulce cubierta de mando	1	1	1.20	1.20	1.00	0.50	0.6
Calentador agua dulce cubierta intermedia	1	1	2.40	2.40	1.00	0.50	1.2
Calentador agua dulce cubierta principal	1	1	1.20	1.20	1.00	0.50	0.6
Campana extractora	1	1	0.10	0.10	1.00	0.50	0.1
Cocina	1	1	5.50	5.50	1.00	0.50	2.8
Congelador	1	1	1.00	1.00	1.00	0.80	0.8
Frigorífico	1	1	0.50	0.50	1.00	1.00	0.5
Horno	1	1	3.50	3.50	1.00	0.20	0.7
Lavadora	1	1	2.10	2.10	1.00	0.20	0.4
							5.8

Tabla 31. Consumos del servicio de habitación.

SERVICIO OPERACIÓN	Unidades totales	Unidades en uso	Pot. Unitaria	Potencia total	kn	ksr	Consumo (kW)
Bombas de riego	2	2	4.50	9.00	1.00	0.00	0.0
Bombas viveros	2	2	8.00	16.00	1.00	0.30	4.8
Bomba achique viveros	1	1	4.00	4.00	1.00	0.10	0.4
Compresor bodega	1	1	3.90	3.90	1.00	0.50	2.0
Grúa hidráulica	2	2	40.00	80.00	1.00	0.30	24.0
Halador hidráulico	1	1	20.00	20.00	1.00	0.00	0.0
Maquinilla cerco hidráulica	1	1	40.00	40.00	1.00	0.00	0.0
							31.2

Tabla 32. Consumos del servicio de operación.

EQUIPOS ELECTRÓNICOS	Unidades totales	Unidades en uso	Pot. Unitaria	Potencia total	kn	ksr	Consumo (kW)
Comunicaciones internas (24 V)	1	1	0.80	0.80	1.00	0.60	0.5
Ayudas a la navegación (24 V)	1	1	0.70	0.70	1.00	0.60	0.4
Antena radar	1	1	0.60	0.60	1.00	0.10	0.1
Radiogoniómetro	1	1	0.10	0.10	1.00	0.10	0.0
Corredera	1	1	0.30	0.30	1.00	0.10	0.0
Sonar	3	3	0.55	1.65	1.00	0.10	0.2
							1.2

Tabla 33. Consumo de los equipos electrónicos.

La suma de todos estos consumos nos da el consumo total de energía eléctrica en navegación:

$$P_{puerto} = 4.6 + 12.6 + 11.0 + 5.8 + 31.2 + 1.2 \text{ kW} = 66.4 \text{ kW} \rightarrow \text{Ec. 13}$$

Y aplicando el factor de potencia podemos conocer la potencia aparente que será demandada a los generadores:

$$S_{puerto} = \frac{P_{puerto}}{\cos(\varphi)} = \frac{66.4}{0.8} \text{ kVA} = 83.0 \text{ kVA} \rightarrow \text{Ec. 14}$$

8.1.5 Situación de emergencia.

La situación de emergencia es una situación un tanto especial donde sólo permanecen activos los equipos esenciales para la supervivencia del buque y de su

tripulación, y hasta que se restaure una situación de funcionamiento normal, por ejemplo consiguiendo que arranques nuevamente los generadores.

El sistema de emergencia se alimenta por baterías de corriente continua de 24 V, en lugar de por equipos diesel-generator.

El Bureau Veritas establece, en su capítulo 20, sección 4, que se deberán mantener activos los siguientes equipos durante al menos tres horas:

- Estación de radio MF/HF.
- Estación de radio VHF.
- Megafonía.
- Telégrafos.
- Alarmas.
- Detectores contraincendios.
- Paneles de alarma.
- Alumbrado de emergencia.
- Luces de navegación.

Por tanto, el consumo en la situación de emergencia vendrá dado por el consumo de los sistemas anteriores:

Consumidor	Unidades totales	Pot. Unitaria (W)	Potencia total (W)
Estación de radio MF/HF	1	150	150
Estación de radio VHF	1	180	180
Megafonía	10	20	200
Telégrafo de órdenes	1	25	25
Alarma motor principal	1	50	50
Alarma motores auxiliares	2	50	100
Alarma Co2	1	80	80
Detectores C.I.	25	15	375
Paneles alarma	2	100	200
Alumbrado de emergencia	1	776	776
Luces de navegación.	1	540	540
Bomba de emergencia del servo	1	500	500

Tabla 34. Consumos en la situación de emergencia.

Todo ello constituye un consumo de 3176 kW.

9 Número de grupos generadores, incluidos los de emergencia y puerto si fuera necesario.

9.1 Grupos electrógenos.

Recogiendo los datos de los apartados 8.1.1, 8.1.2, 8.1.3 y 8.1.4 podemos confeccionar una tabla sobre la potencia que deben suministrar los generadores en cada situación de carga:

	Consumo en cada situación de carga.			
	Navegación	Pesca de anchoa	Pesca de bonito	Puerto
P (kW)	77.7	63.7	128.2	66.4
S (kVA)	97.2	79.7	160.3	83.0

Tabla 35. Potencia activa y aparente consumida en cada situación de carga.

Debemos, por consistencia con lo elegido en anteriores cuadernos, buscar dos grupos electrógenos compuestos por un motor diesel y un alternador.

La sociedad de clasificación impone que el régimen de carga del alternador, definido como sigue:

$$\delta_a = \frac{S}{S_a} \rightarrow \text{Ec. 15}$$

Es decir, como el cociente entre la potencia aparente consumida y la potencia aparente nominal del alternador, nunca puede superar la unidad.

En ese sentido, y visto que el consumo máximo se da durante la pesca del bonito, y que tenemos dos generadores, la potencia aparente mínima que deben suministrar es:

$$S_a^{\min} = \frac{1}{2} S_{\text{bonito}} = \frac{1}{2} 160.3 \text{ kVA} = 80.2 \text{ kVA} \rightarrow \text{Ec. 16}$$

Luego ya tenemos una cota mínima.

Por otra parte, el régimen del motor diesel debe encontrarse entre el 70% y el 90% MCR. Si tomamos un rendimiento del alternador de 0.9, un valor adecuado para máquinas de este tamaño, podemos conocer el régimen de carga del motor diesel según:

$$\delta_m = \frac{P}{P_M \cdot \eta_a} \rightarrow \text{Ec. 17}$$

Es decir, que podemos acotar el valor de la potencia mínima y máxima para cada situación, para el conjunto de los generadores⁴.

$$P_M^{\min} = \frac{P}{0.9 \cdot 0.9}; \rightarrow \text{Ec. 18}$$

$$P_M^{\max} = \frac{P}{0.7 \cdot 0.9};$$

Lo que implica en cada situación de carga las potencias máxima y mínima son las siguientes:

Consumo en cada situación de carga.				
	Navegación	Pesca de anchoa	Pesca de bonito	Puerto
<i>S</i> (kVA)	97.2	79.7	160.3	83.0
<i>Pmax</i> (kW)	154.2	126.5	254.4	131.8
<i>Pmin</i> (kW)	119.9	98.4	197.9	102.5

Tabla 36. Potencias máximas y mínimas de los motores.

Si multiplicamos estos valores por el rendimiento del alternador conoceremos las potencias entregadas máximas y mínimas de los generadores:

Consumo en cada situación de carga.				
	Navegación	Pesca de anchoa	Pesca de bonito	Puerto
<i>Pmax</i> (kW)	154.2	126.5	254.4	131.8
<i>Pmin</i> (kW)	119.9	98.4	197.9	102.5
<i>Smax</i> (kW)	138.8	113.8	229.0	118.6
<i>Smin</i> (kW)	108.0	88.5	178.1	92.2

Tabla 37. Potencias entregadas máximas y mínimas para los grupos generadores.

Si nuevamente recurrimos a la situación de carga de máximo consumo, las operaciones de pesca del bonito, podremos conocer la potencia máxima de los grupos generadores⁵:

$$S_a^{\max} = \frac{1}{2} S_{\text{bonito}}^{\max} = \frac{1}{2} 229.0 \text{ kVA} = 114.5 \text{ kVA} \rightarrow \text{Ec. 19}$$

⁴ Lo que se refiere a ambos generadores funcionando, o solo uno de ellos.

⁵ Nótese que la potencia mínima se acota por el criterio anterior, que es más restrictivo.

Es decir, nuestros grupos generadores deben entregar una potencia que se sitúa entre los 80.2 kVA, y los 144.5 kVA.

La problemática consiste ahora en encontrar una alternativa entre ambos valores que satisfaga los límites del resto de situaciones de carga.

Pero si analizamos la potencia máxima de la segunda situación de carga de mayor demanda, la navegación, e intentamos saciarla con los dos generadores activos, tenemos que la potencia de cada generador sería de 69.4 kVA, valor que se encuentra por debajo del límite inferior, y por tanto no se puede intentar alimentar el resto de situaciones de carga con los dos generadores activos.

Por lo tanto debemos buscar grupos electrógenos de 110 kVA.

Podemos por tanto usar un grupo generador John Deere MJS115-1, que incorpora un motor diesel John Deere 6068TF258 de 125 kW, y un alternador Stamford UCI274D de 110 kVA.



Figura 1. Grupo electrógeno John Deere MJS115-1.

9.2 Baterías de emergencia.

Las baterías, suministrando la potencia definida para la situación de carga de emergencia durante 3 horas, deben ser capaces de mantener la tensión en bornes con suficiencia, y para ello deben tener una capacidad tal que:

$$q = I \cdot t = \frac{P \cdot t}{V} = \frac{3176 \cdot 3}{24} \text{ Ah} = 397 \text{ Ah} \rightarrow \text{Ec. 20}$$

Por tanto podemos optar por un conjunto de baterías de 400 Ah, algo que podemos lograr con cuatro palets de 36 unidades cada uno de baterías ÓPTIMA modelo YellowTop S 5.5.

Características por palet	
Peso (kg)	27.14
Largo (mm)	317
Ancho (mm)	158
Alto ⁶ (mm)	238

Tabla 38. Características del palet de acumuladores.

10 Cuadro resumen del régimen de utilización de los grupos principales y de emergencia y puerto.

Haciendo uso de las expresiones 15 y 17 podemos analizar los regímenes de los componentes de los grupos generadores en cada situación de carga.

10.1 Situación de navegación.

En situación de navegación la potencia demandada es de 97.2 kVA.

Si mantenemos uno de los generadores apagado, el segundo grupo electrógeno debe abastecer toda la energía eléctrica.

En estas condiciones, el alternador se encuentra en un régimen tal que:

$$\delta_a = \frac{97.2}{110} = 0.88 \rightarrow \text{Ec. 21}$$

Valor adecuado que cumple con las exigencias de la sociedad de clasificación.

Mientras que el motor diesel funciona a un régimen tal que⁷:

$$\delta_m = \frac{97.2}{125 \cdot 0.908} = 0.85 \rightarrow \text{Ec. 22}$$

Un régimen del 85%, un valor muy adecuado.

10.2 Situación de pesca de anchoa.

En esta situación la potencia demandada es de 79.7 kVA.

Si mantenemos uno de los generadores apagado, el segundo grupo electrógeno debe abastecer toda la energía eléctrica.

En estas condiciones, el alternador se encuentra en un régimen tal que:

$$\delta_a = \frac{79.7}{110} = 0.72 \rightarrow \text{Ec. 23}$$

Valor adecuado que cumple con las exigencias de la sociedad de clasificación.

Mientras que el motor diesel funciona a un régimen tal que:

⁶ Incluyendo bornes.

⁷ Se emplea el rendimiento del alternador facilitado por el fabricante, de 0.908, muy próximo al 0.9 que habíamos estimado.

$$\delta_m = \frac{79.7}{125 \cdot 0.908} = 0.71 \rightarrow \text{Ec. 24}$$

Un régimen del 71%, valor que cumple con las exigencias.

10.3 Situación de pesca de bonito.

En esta situación la potencia demandada es de 160.3 kVA.

En esta situación ambos generadores están activos, y por tanto cada generador debe abastecer la mitad de la potencia demandada.

En estas condiciones, el alternador se encuentra en un régimen tal que:

$$\delta_a = \frac{0.5 \cdot 160.3}{110} = 0.73 \rightarrow \text{Ec. 25}$$

Valor adecuado que cumple con las exigencias de la sociedad de clasificación.

Mientras que el motor diesel funciona a un régimen tal que:

$$\delta_m = \frac{0.5 \cdot 160.3}{125 \cdot 0.908} = 0.71 \rightarrow \text{Ec. 26}$$

Un régimen del 71%, valor que cumple con las exigencias.

10.4 Situación de puerto.

En esta situación la potencia demandada es de 83.0 kVA.

Si mantenemos uno de los generadores apagado, el segundo grupo electrógeno debe abastecer toda la energía eléctrica.

En estas condiciones, el alternador se encuentra en un régimen tal que:

$$\delta_a = \frac{83.0}{110} = 0.75 \rightarrow \text{Ec. 27}$$

Valor adecuado que cumple con las exigencias de la sociedad de clasificación.

Mientras que el motor diesel funciona a un régimen tal que:

$$\delta_m = \frac{83.0}{125 \cdot 0.908} = 0.73 \rightarrow \text{Ec. 28}$$

Un régimen del 73%, valor que cumple con las exigencias.

10.5 Cuadro resumen del régimen de utilización de los equipos generadores.

Recuperando la información obtenida en 10.1, 10.2, 10.3 y 10.4 podemos confeccionar un cuadro de régimen de utilización de los generadores:

	Régimen de carga de los equipos.			
	Navegación	Pesca de anchoa	Pesca de bonito	Puerto
Régimen del alternador	88%	72%	73%	75%
Régimen del motor	86%	71%	71%	73%

Tabla 39. Resumen de régimen de utilización de los grupos electrógenos.

Y efectivamente observamos como todos los valores son adecuados.

Como se puede observar, En la situación de navegación, donde la planta propulsora trabaja al máximo, el grupo electrógeno activo se encuentra a un régimen del 88% (en el alternador), y en esa situación sería imposible proporcionar la energía eléctrica, o parte

de ella, desde un generador de cola o un alternador en la reductora⁸, pues toda la potencia del motor principal es demandada por la propulsión del buque.

Por tanto, la incorporación de un generador de cola, no posibilitaría la reducción de la potencia de los grupos electrógenos, ni mejoraría su régimen de funcionamiento, así pues se descarta esta opción.

11 Acrónimos.

k , índice del local (5.1.1).

S , superficie del local (5.1.1).

h , Altura del local desde la armadura de la luminaria hasta el plano de trabajo (5.1.1).

Γ , logitud de la curva más baja del local (5.1.1).

ϕ_T , flujo lumínico total (5.1.1).

F_u , factor de iluminación del local (5.1.1).

F_m , factor de mantenimiento del local (5.1.1).

E_m , iluminancia media (5.1.1).

P , potencia necesaria en cada local (5.1.1).

η_{lum} , rendimiento lumínico (5.1.1).

$\cos(\varphi)$, factor de potencia (8).

k_u , factor de utilización (8).

k_n , factor de simultaneidad (8).

k_{sr} , factor de régimen y servicio (8).

P_F , potencia consumida por cada equipo en cada situación de carga (8).

P_C , potencia nominal de cada equipo (8).

$P_{navegación}$, potencia directa demandada durante la navegación (8.1.1).

$S_{navegación}$, potencia aparente demandada durante la navegación (8.1.1).

P_{anchoa} , potencia directa demandada durante la pesca de la anchoa (8.1.2).

S_{anchoa} , potencia aparente demandada durante la pesca de la anchoa (8.1.2).

P_{bonito} , potencia directa demandada durante la pesca del bonito (8.1.3).

S_{bonito} , potencia aparente demandada durante la pesca del bonito (8.1.3).

P_{puerto} , potencia directa demandada durante la estancia en puerto (8.1.4).

S_{puerto} , potencia aparente demandada durante la estancia en puerto (8.1.4).

S , potencia aparente (9.1).

δ_a , carga del alternador (9.1).

η_a , rendimiento del alternador (9.1).

δ_m , carga del motor (9.1).

I , intensidad (9.2).

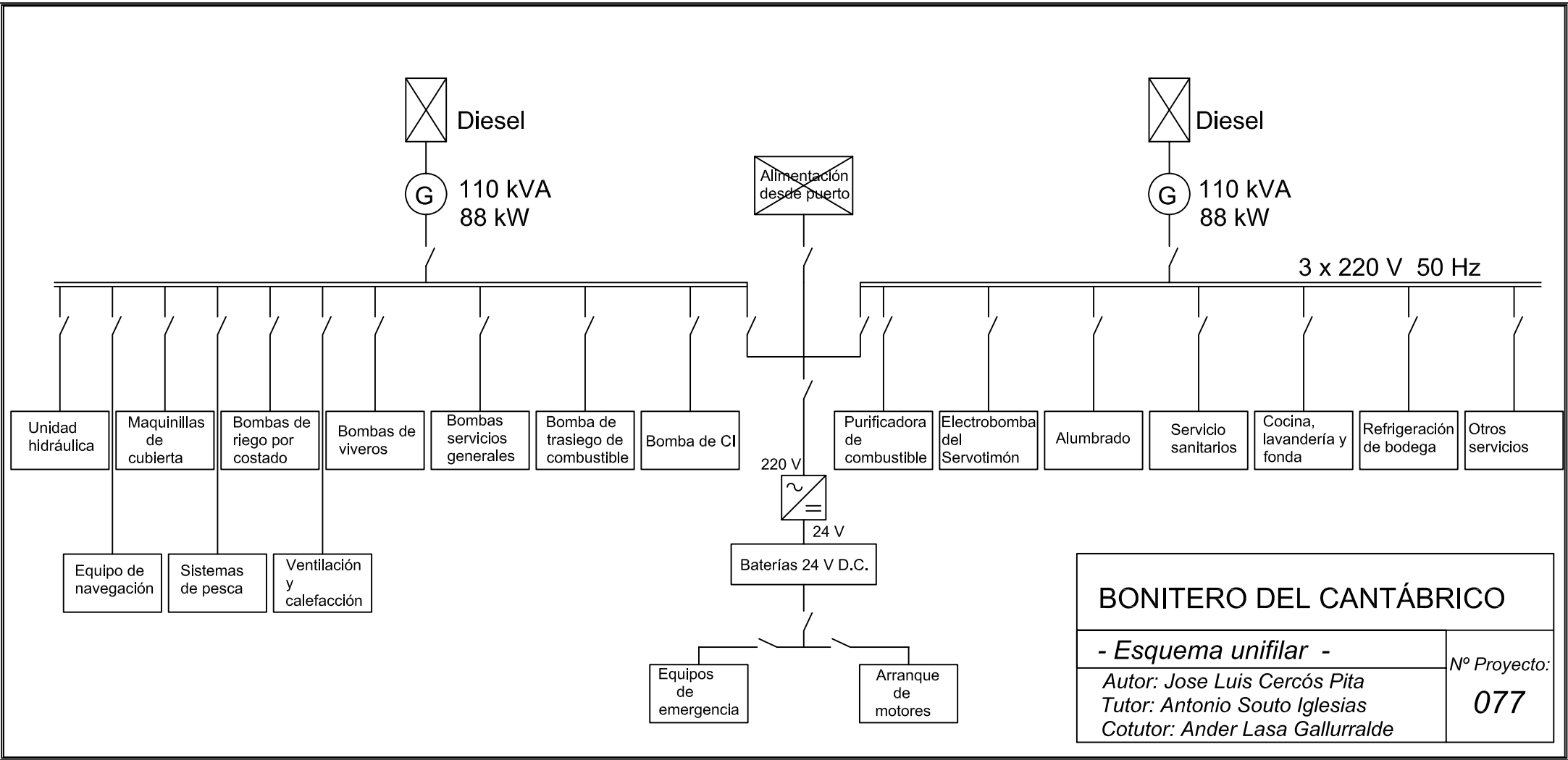
P , potencia (9.2).

V , voltaje (9.2).

q , capacidad de las baterías (9.2).

⁸ La reductora actual no admite alternador, no obstante se podría elegir otra reductora que si dispusiera del mismo.

Anexol: Diagrama de distribución unifilar.



BUQUE BONITERO DEL CANTÁBRICO
PROYECTO 077.
CURSO 2009-2010

Resistencia estructural.

DOCUMENTO 10
AUTOR: JOSE LUIS CERCOS PITA
COTUTOR: ANDER LASA GALLURRALDE
TUTOR: ANTONIO SOUTO IGLESIAS

1 Índice de contenidos.

1	<i>Índice de contenidos.</i>	2
2	<i>Especificación del proyecto.</i>	5
3	<i>Objetivos.</i>	6
4	<i>Criterios de cálculo. Justificación de materiales.</i>	6
5	<i>Cálculos de resistencia general, momentos flectores y esfuerzos cortantes.</i>	
	<i>Módulo de resistencia preliminar.</i>	7
5.1	<i>Características generales.</i>	7
5.1.1	Calado de escantillonado.	7
5.1.2	Eslora de escantillonado.	7
5.1.3	Manga de escantillonado.	8
5.1.4	Puntal	8
5.1.5	Coefficiente de bloque	8
5.1.6	Cubierta resistente.	8
5.1.7	Clara de cuadernas	8
5.2	<i>Disposición de la estructura.</i>	8
5.2.1	Doble fondo.	9
5.2.2	Forro del casco.	9
5.2.3	Cubiertas.	9
5.2.4	Mamparos	9
5.2.5	Finos de proa.	9
5.3	<i>Divisiones por zonas características.</i>	10
5.4	<i>Escantillonado de la cuaderna maestra.</i>	10
5.4.1	Espesores mínimos.	11
5.4.2	Quilla.	12
5.4.3	Doble fondo.	12
5.4.4	Costados.	15
5.4.5	Cubiertas.	16
5.5	<i>Módulo de la maestra.</i>	17
6	<i>Cálculos de resistencia local. Cargas en cubiertas.</i>	18
6.1	<i>Escantillonado de la cámara de máquinas.</i>	19
6.1.1	Doble fondo.	19
6.1.2	Costados.	19
6.1.3	Cubiertas.	19
6.2	<i>Escantillonado de la sección de viveros.</i>	20
6.2.1	Doble fondo.	20
6.2.2	Costados.	21
6.2.3	Cubiertas.	21
6.3	<i>Escantillonado de la sección de popa.</i>	22
6.3.1	Doble fondo.	22
6.3.2	Costados.	22
6.3.3	Cubiertas.	23
6.4	<i>Escantillonado de la sección de la bodega.</i>	23
6.4.1	Doble fondo.	23
6.4.2	Costados.	23
6.4.3	Cubiertas.	24

6.5	Escantillonado del pique de proa.	24
6.5.1	Costados.....	25
6.5.2	Roda.....	25
6.5.3	Pañol.	26
6.6	Escantillonado de mamparos.....	26
6.6.1	Zonas de proa y popa.....	26
6.6.2	Zona central.	26
6.6.3	Mamparos estancos.....	26
6.7	Escantillonado de la superestructura.	26
6.7.1	Espesores mínimos.	27
6.7.2	Mamparos de proa y popa.....	27
6.7.3	Mamparos de costado	28
6.7.4	Cubiertas.....	28
6.7.5	Refuerzos de primer orden.....	28
6.8	Cargas en cubiertas.	28
6.8.1	Motor principal.	29
6.8.2	Motores auxiliares.....	29
6.8.3	Grúa de proa.	29
6.8.4	Grúa de popa.....	29
7	<i>Plano de cuaderna maestra con elementos longitudinales y transversales.....</i>	30
8	<i>Comprobación de resistencia general con situaciones de carga preliminares.</i>	30
9	<i>Comprobación de tensiones según reglamentos.....</i>	30
9.1	Desplazamientos.	31
9.1.1	Metodología.....	31
9.1.2	Motor principal.	33
9.1.3	Motores auxiliares.....	33
9.1.4	Grúa de proa.	33
9.1.5	Grúa de popa.....	34
9.2	Momentos flectores.....	34
9.2.1	Metodología.....	34
9.2.2	Motor principal.	37
9.2.3	Motor auxiliar.....	38
9.2.4	Grúa de proa.	39
9.2.5	Grúa de popa.....	39
9.3	Tensiones.	39
9.3.1	Metodología.....	39
9.3.2	Motor principal.	40
9.3.3	Motor auxiliar.....	40
9.3.4	Grúa de proa.	40
9.3.5	Grúa de popa.....	40
9.4	Resistencia de la estructura.	40
9.4.1	Motor principal.	41
9.4.2	Motores auxiliares.....	41
9.4.3	Grúa de proa.	41
9.4.4	Grúa de popa.....	41
10	<i>Acrónimos.</i>	41
	<i>Anexo I: Plano de cuaderna maestra con elementos longitudinales y transversales.</i>	
	43

<i>Anexo II: Plano de estructura de la popa con elementos longitudinales y transversales.....</i>	<i>44</i>
<i>Anexo III: Plano de estructura de la proa con elementos longitudinales y transversales.....</i>	<i>45</i>

2 Especificación del proyecto.

- CLASIFICACIÓN: **Bureau Veritas**
- TRB: **149**
- GT: **230**
- VOLUMEN DE COMBUSTIBLE: **70 m³**
- VOLUMEN DE VIVEROS: **50 m³**
- VELOCIDAD EN PRUEBAS: **12 .5 kn al 90% MCR**
- EQUIPO PROPULSOR: **Motor Diesel**
- ALOJAMIENTOS: **15 tripulantes**
- ASPECTOS ADICIONALES:
 - 1.- El buque dispondrá de una planta de oxigenación del agua de viveros.
 - 2.- El buque dispondrá de un tanque estabilizador pasivo que reduzca al menos un 50% el movimiento de balance durante la maniobra de pesca.
 3. Se presentará además una planificación para la construcción asociada a los medios de un astillero de la sociedad PYMAR del que se disponga de información suficiente.

3 Objetivos.

Este documento versa sobre la resistencia estructural del buque, siguiendo los criterios impuestos por la sociedad de clasificación.

A parte del análisis de distintas partes del buque, se prestará una especial atención al escantillonado de la cuaderna maestra, sobre la que Bureau Veritas exige el cumplimiento de ciertos criterios.

Se presentará en este documento la cuaderna maestra del buque, y otras secciones menos relevantes, pero interesantes, pues representan secciones características de la estructura del buque.

4 Criterios de cálculo. Justificación de materiales.

Nuestro proyecto es un buque pesquero de menos de 65 metros, luego el reglamento aplicable es el presente en la parte D, capítulo 20 y sección 3 del Reglamento del Bureau Veritas. Por otra parte este reglamento nos obliga a hacer uso de la parte B del mismo reglamento para el cálculo del módulo de la cuaderna maestra.

El reglamento obliga a emplear, en toda la estructura del casco, acero naval de, al menos, clase A. En la siguiente figura podemos contemplar las propiedades de los distintos aceros de clase naval:

CHAPA PARA CONSTRUCCION NAVAL

COMPOSICION QUIMICA (ANALISIS DE COLADA) UNE 36-084

Designación del acero		Estado de desoxidación (2)	% C máx.	% Min.	% Si	% P máx.	% S máx.	% Al (soluble en ácido) (5)	C + $\frac{1}{6}$ Mn. máx.
Simbólica	Númerica								
Naval A ⁽¹⁾	F 6 501	NE ⁽²⁾	–	e > 12,5 mm. Mn ≥ 2,5 C	–	0,040	0,040	–	–
Naval B	F 6 501	NE ⁽²⁾	0,21	0,80 mín. ⁽⁴⁾	0,50 máx.	0,040	0,040	–	0,040
Naval C	F 6 503	KG	0,21	0,60/1,40	0,15/0,30	0,040	0,040	0,015 mín.	0,040
Naval D ⁽¹⁾	F 6 504	NE	0,21	0,60/1,40	0,35 máx.	0,040	0,040	–	0,040
Naval E ⁽¹⁾	F 6 505	KG	0,18	0,70/1,50	0,10/0,35	0,040	0,040	0,015 mín.	0,040

(1) Se recomienda el uso preferente de estos grados de acero.
 (2) Según UNE 36-009. NE = No efervescente. KG = Calmado con práctica de grado fino.
 (3) Para ciertas aplicaciones específicas, por acuerdo previo se admite acero efervescente (E) para chapas de espesor igual o inferior a 12,5 mm.
 (4) Si el contenido en Si es igual o superior a 0,15% se admitirá un contenido en Mn de 0,60% mínimo.
 (5) En los ensayos de rutina se admite determinación del contenido total, en cuyo caso el contenido en Al será superior a 0,020%.

Figura 1. Propiedades de los aceros de clase naval.

El límite elástico de este acero es de 235MPa, aunque su tensión de rotura se eleva hasta los 400MPa, aunque puede llegar a los 520MPa.

Por otra parte, la caseta se puede realizar en aluminio, material más caro y difícil de soldar, pero necesario para evitar la presencia de pesos altos que puedan afectar negativamente a nuestro buque. Ya mencionábamos con anterioridad (Cuaderno 0) que estos buques suelen adolecer de problemas de estabilidad transversal, lo que hace de ello un factor crítico muy a tener en cuenta.

El aluminio a emplear será aluminio 5083, cuyo límite elástico se sitúa en 140MPa, y de rotura en 300MPa.

Las uniones del casco serán todas soldadas, mediante técnicas de soldadura manual, semiautomática, o automática, según sea apropiado¹.

Se empleará material de aporte aprobado por Bureau Veritas.

Resumiendo, se llevará a cabo el casco con acero naval de clase A, realizando todas las uniones con soldadura. Por otra parte la caseta se llevará a cabo con aluminio, con objeto de reducir los pesos altos.

5 Cálculos de resistencia general, momentos flectores y esfuerzos cortantes. Módulo de resistencia preliminar.

Aunque la estructura longitudinal suele abaratar costes, pues requiere un menor volumen de acero, en buques de pequeño porte, donde los momentos flectores y los esfuerzos cortantes no son grandes, la estructura transversal es perfectamente viable, y el posible ahorro de la estructura transversal no es tal por la falta de un gran cuerpo cilíndrico, haciendo difícil el acuerdo de la estructura longitudinal en los finos de proa y popa.

Por tanto nuestro buque dispondrá de estructura transversal.

Bureau Veritas no obliga a calcular la resistencia longitudinal del buque, pues para el tamaño de este buque, y el tipo de estructura, se prevé que cumpliría los requisitos holgadamente.

En cambio si obliga a cumplir con el módulo de la maestra. Concretamente, Bureau Veritas exige tener un módulo de la maestra tal que respecto a la cubierta resistente sea al menos de:

$$Z_{AD}^{\min} = 0.02439 \text{ m}^3 \rightarrow \text{Ec. 1}$$

Debiendo tener también una inercia mínima de:

$$I_{AD}^{\min} = 0.02165 \text{ m}^4 \rightarrow \text{Ec. 2}$$

Por tanto debemos escantillonar la cuaderna maestra para obtener estos valores.

5.1 Características generales.

Para realizar el escantillonado según el reglamento citado anteriormente es necesario obtener algunos datos referentes a las dimensiones:

5.1.1 Calado de escantillonado.

El calado de escantillonado es el mayor calado que el buque puede adquirir durante su explotación, que en este caso será el calado de verano, 3.407 m.

5.1.2 Eslora de escantillonado.

El Bureau Veritas marca que la eslora de escantillonado es la longitud medida desde la intersección de la flotación, para el calado de escantillonado, con la roda, hasta la mecha del timón.

¹ La soldadura automática es más económica, pero no siempre es aplicable, bien por la dificultad de aplicarla, bien por los posibles efectos dañinos sobre la estructura.

En nuestro caso esa es la eslora entre perpendiculares, 29.6 metros.

No obstante, el reglamento también especifica que este debe ser mayor que el 96% de la eslora de la flotación antes definida, y menor que 97% de esta última eslora.

La eslora en la flotación para el calado de escantillonado es de 32.3 metros, luego los límites para la eslora de escantillonado son:

$$\begin{aligned}L_{Esc}^{\min} &= 0.96 \cdot 32.3 \text{ m} = 31 \text{ m}; \\L_{Esc}^{\max} &= 0.97 \cdot 32.3 \text{ m} = 31.3 \text{ m};\end{aligned}\quad \rightarrow \text{Ec. 3}$$

Como nuestra eslora de escantillonado es inferior al valor mínimo de la misma que impone el reglamento, debemos corregir, tomando una eslora de escantillonado de 31 metros.

5.1.3 Manga de escantillonado.

La manga de escantillonado es la manga máxima de trazado bajo la cubierta de intemperie.

En nuestro caso la manga de escantillonado será de 7.2 metros.

5.1.4 Puntal

El puntal D es la distancia vertical, medida en el costado a la mitad de L, desde la línea de base hasta la cara superior del bao de la cubierta continua más alta. Se toma:

$$D = 4.1 \text{ m} \rightarrow \text{Ec. 4}$$

5.1.5 Coeficiente de bloque

Es el coeficiente de bloque de trazado para el calado de escantillonado, haciendo uso de la eslora de escantillonado.

Para el calado de escantillonado, el buque tiene un desplazamiento de 425.3 toneladas, lo que implica un volumen desplazado de 414.9 m³.

Por tanto, el coeficiente de bloque resultante es el siguiente:

$$Cb = \frac{\Delta}{\rho_{as} \cdot L \cdot B \cdot T} = \frac{414.9}{31.3 \cdot 7.2 \cdot 3.4} = 0.523; \rightarrow \text{Ec. 5}$$

5.1.6 Cubierta resistente

La cubierta resistente es la cubierta más alta hasta donde se extiende el forro exterior, y por tanto, la que soportará los mayores esfuerzos.

En nuestro caso se la cubierta principal.

5.1.7 Clara de cuadernas

En el cuaderno 4, sobre la disposición general, se estableció una clara entre cuadernas de 0.5 metros.

5.2 Disposición de la estructura.

La estructura para las diferentes partes, en terminos generales, seguirá las siguientes pautas:

5.2.1 Doble fondo.

El doble fondo del buque se llevará a cabo con estructura transversal, haciendo uso de varengas llenas unidas entre si mediante vagras, de acuerdo a la normativa de la sociedad de clasificación.

En el doble fondo se disponen algunos tanques tal y como se describía en el cuaderno 4, que versaba sobre la disposición general del buque.

Todos estos tanques tendrán registros de acceso atornillados con tornillos de acero inoxidable, que podrán tener brazolas de 50 mm, o estar atornillados a llantas soldadas a la tapa del tanque.

Se reforzará el doble fondo bajo la cámara de máquinas, y especialmente bajo el motor principal, se reforzará la estructura.

5.2.2 Forro del casco.

El forro exterior estará totalmente soldado en todas sus uniones.

Se dispondrá una quilla maciza de cajón de acero, que se soldará al forro en las planchas del fondo.

Se dispondrá amurada, por encima de la cubierta principal, de chapa reforzada con barraganetes cada dos claras. Se practicarán, sobre dicha amurada, aberturas reglamentarias para el desagüe del agua embarcada en cubierta.

5.2.3 Cubiertas.

Todas las cubiertas emplearán refuerzos transversales.

Se dispondrá un bao por cada cuaderna, uniéndose a ella mediante soldadura disponiendo una cartela que relaje la discontinuidad de la estructura.

En la medida de lo posible, todos los baos serán completos, cruzando el buque de un costado a otro.

Las cubiertas estructurales serán de chapa de acero naval A, en cambio las de la caseta serán de aluminio. Se encontrarán enteramente soldadas entre sí y a los baos y esloras.

Se deberán reforzar las cubiertas que soporten grúas o maquinillas de pesca, palos, o bitas.

5.2.4 Mamparos

Los mamparos que se monten bajo la cubierta serán de acero naval A. Por su parte los mamparos de la superestructura serán de aluminio.

La disposición de los mamparos responderá a la definida en el cuaderno 4, sobre la disposición general, lo que incluye cuales de ellos serán mamparos estancos.

5.2.5 Finos de proa.

La roda, ante posibles impactos, estará especialmente reforzada, así como la zona adyacente.

En el pique de proa se colocará un piso estanco de acero naval debidamente reforzado. La parte baja de éste se habilitará como tanque de agua dulce instalando para ello sus correspondientes tuberías y registro. Este tanque tendrá un mamparo central aligerado para evitar superficies libres. La parte alta del pique de proa se habilitará como pañol.

5.3 Divisiones por zonas características.

El reglamento del Bureau Veritas aplicable a este buque nos obliga a tener un módulo de la sección maestra mínimo, con una inercia correspondiente que tampoco puede estar por debajo de un determinado valor.

Eso nos obliga, evidentemente, a escantillonar la cuaderna maestra, no obstante, conviene escantillonar también las zonas de proa y popa, donde las formas se afinan, y por tanto, distan mucho de presentar una estructura parecida a la cuaderna maestra.

Por esta razón vamos a escantillonar el buque en cinco secciones:

1. La zona media, que caracterizaremos por la cuaderna maestra, y por una sección de la cámara de máquinas. La razón de ello es que en este buque la cuaderna maestra se encuentra en el tanque estabilizador pasivo, pero la estructura de la cámara de máquinas es de suma importancia.
2. La zona de popa, que caracterizaremos por la sección de la perpendicular de popa.
3. La zona de acuerdo con la popa, que caracterizaremos por la sección de los viveros.
4. La zona de proa, que caracterizaremos por el pique de proa.
5. La zona de acuerdo con la proa, que caracterizaremos por una sección de la bodega.

De esta forma quedará definida la estructura de todo el buque.

Se respeta el sistema de referencia que ofrece el Bureau Veritas, en el que el origen se sitúa en la línea base, en la mecha del timón, siguiendo los siguientes criterios de ejes y ángulos positivos:

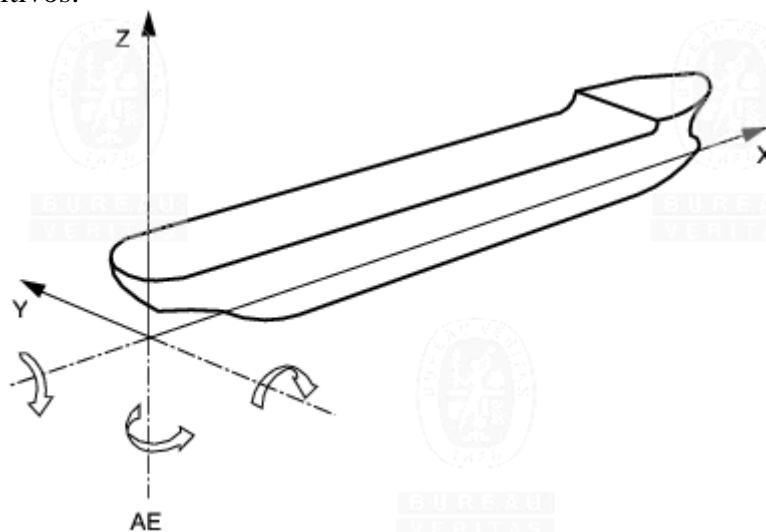


Figura 2. Criterio de signos empleado.

5.4 Escantillonado de la cuaderna maestra.

Pasamos a escantillonar la cuaderna maestra, que junto con una sección de la cámara de máquinas, define la zona media de aquellas en las que hemos dividido el buque.

Se pueden encontrar planos de la estructura de ambas en el **Anexo I**.

Durante el proceso de cálculo, todos los espesores resultantes tienen en cuenta ya efecto de corrosión.

Al tratarse de estructura transversal, el reglamento exige que la presión lateral sobre las planchas del casco se calcule con el valor en el punto más bajo del borde de la

misma, mientras que la presión lateral sobre las planchas de la superestructura se calcula a media altura.

Para los refuerzos de primer y segundo orden, la presión se calcula en el punto medio de su envergadura. Se actúa de la misma forma en los refuerzos de la superestructura.

En los refuerzos de mamparos, la presión lateral se calcula a mitad de la altura de la cartela más alta si éstos son verticales

La presión de referencia, p_0 , para esloras de escantillonado inferiores a 50 m es de 10 kN/m².

Al ser el calado mayor que $0.53D$, se utilizará la siguiente presión para el escantillonado de las planchas y refuerzos del doble fondo:

$$p_B = 7.5 \cdot D + 3.5 \cdot T = 7.5 \cdot 4.1 + 3.25 \cdot 3.4 \frac{\text{kN}}{\text{mm}^2} = 41.8 \frac{\text{kN}}{\text{mm}^2} \rightarrow \text{Ec. 6}$$

En las regiones finales de proa y popa, donde el calado es menor que $0.53D$ se utilizará la siguiente presión de la mar:

$$p_{B2} = 17.5 \cdot T = 17.5 \cdot 3.4 \frac{\text{kN}}{\text{mm}^2} = 59.5 \frac{\text{kN}}{\text{mm}^2} \rightarrow \text{Ec. 7}$$

La presión de la mar que debe utilizarse para escantillonar las planchas del costado en la región media es la siguiente:

$$p_{SS} = p_B - D = 41.8 - 4.1 \frac{\text{kN}}{\text{mm}^2} = 37.7 \frac{\text{kN}}{\text{mm}^2} \rightarrow \text{Ec. 8}$$

Mientras que en las regiones de proa y popa se empleará la siguiente presión de la mar:

$$p_{SS2} = p_{B2} = 59.5 \frac{\text{kN}}{\text{mm}^2} = 59.5 \frac{\text{kN}}{\text{mm}^2} \rightarrow \text{Ec. 9}$$

La presión sobre los refuerzos en los costados depende de la posición de los mismos, y responderá a la siguiente expresión:

$$p_{SR} = p_B - 9 \cdot z \rightarrow \text{Ec. 10}$$

5.4.1 Espesores mínimos.

El reglamento establece unos espesores mínimos para las diferentes partes de la estructura. Estos valores mínimos se aplican como norma general, pero el estudio más detallado de cada zona resultará en otros espesores mínimos que podrán ser más restrictivos que los siguientes:

1. Quilla: $(5.6 + 0.028 \cdot L \cdot k^{1/2} + 5 \cdot s) n_2 \cdot c_T = 8.6 \text{ mm}$

k es una constante que depende del tipo de material empleado, el cálculo de la misma se ofrece en la Parte B, Capítulo 4, Sección 1. En nuestro caso, como el casco se construye en acero naval de clase A, esta constante vale 1.

s es la longitud del lado más corto de una plancha, que podemos tomar como 0.5 m.

n_2 es el coeficiente reductor debido a la zona de navegación, como se trata de navegación no restringida, no aplica ninguna reducción, y este valor es 1.

c_T es el coeficiente de calado, que para buque de entre 25 y 40 metros de eslora, vale $0.85 + 2 \cdot T/L = 0.96$.

2. Fondo: $(3.8 + 0.032 \cdot L \cdot k^{1/2} + 5 \cdot s) n_2 \cdot c_T + 0.5 = 7.5 \text{ mm}$

3. Fondo interno: $(1.7 + 0.029 \cdot L \cdot k^{1/2} + 5 \cdot s) \cdot n_2 \cdot c_T = 4.9$ mm. En la cámara de máquinas, el espesor mínimo del fondo interno debe aumentarse en 1.5 mm., resultando 6.4 mm en nuestro caso.
4. Costados: $(2.8 + 0.032 \cdot L \cdot k^{1/2} + 5 \cdot s) \cdot n_2 \cdot c_T + 0.5 = 6.5$ mm
5. Cubierta resistente: $(1.7 + 0.055 \cdot L \cdot k^{1/2} + 5 \cdot s) \cdot n_2 \cdot c_T + 0.5 = 6.3$ mm
6. Cubierta de habilitación: $4.5 \cdot n_2 = 4.5$ mm
7. Otras cubiertas: $(1.7 + 0.034 \cdot L \cdot k^{1/2} + 5 \cdot s) \cdot n_2 \cdot c_T = 5.1$ mm
8. Mamparo estanco: $(1.7 + 0.025 \cdot L \cdot k^{1/2} + 5 \cdot s) \cdot n_2 \cdot c_T = 4.8$ mm
9. Mamparos de tanque: $(1.7 + 0.034 \cdot L \cdot k^{1/2} + 5 \cdot s) \cdot n_2 \cdot c_T = 5.3$ mm

A pesar de que en varias partes de la estructura se admiten espesores menores a 5 mm, ninguna cubierta o mamparo emplearán chapas de un espesor inferior a 6 mm, pues se deforman demasiado, prolongando el esfuerzo y tiempo necesario.

5.4.2 Quilla.

Se dispone una quilla maciza de cajón 360x360 mm, em acero.

5.4.3 Doble fondo.

La altura del doble fondo no debe ser menor que el mayor de los siguientes valores (reglamento del BV, Parte B, Capítulo 4, Sección 4, [4.2]):

$$h_{DB} = 3 \cdot \frac{B + C_{es} + 10}{100} = 0.603 \rightarrow \text{Ec. 11}$$

$$h_{DB} = 0.700$$

Por tanto, la altura del doble fondo no será menor a 0.700 m. En nuestro caso, el valor más pequeño que toma es de 1.3 metros y en consecuencia se cumple holgadamente con los requisitos del Bureau Veritas.

5.4.3.1 Planchas.

El espesor en las planchas del pantoque no debe ser inferior al mayor de los espesores de las planchas adyacentes, para no producir una discontinuidad en la estructura, y a la vez reforzar en la medida de lo posible, esta zona que tiene un especial riesgo.

En las planchas del fondo exterior el espesor no será inferior al resultante de aplicar la siguiente expresión:

$$t = 1.3 \cdot c_a \cdot n_2 \cdot c_T \cdot s \cdot (k \cdot P_F)^{\frac{1}{2}} + 0.5 \rightarrow \text{Ec. 12}$$

Donde nos aparece c_a , que es la relación de aspecto de la plancha, cuyo valor podemos calcular según la siguiente ecuación:

$$c_a = 1.21 \cdot \sqrt{1 + 0.33 \cdot \left(\frac{s}{l}\right)^2} - 0.69 \cdot \frac{s}{l} = 1.21 \cdot \sqrt{1 + 0.33 \cdot \left(\frac{0.5}{3.4}\right)^2} - 0.69 \cdot \frac{0.5}{3.4} = 1.14 \rightarrow \text{Ec. 13}$$

Pero la relación de aspecto no puede ser mayor de 1, por tanto la tomaremos como la unidad.

Por tanto, las planchas del fondo exterior tendrán un espesor mínimo de:

$$t = 1.3 \cdot 1 \cdot 0.96 \cdot 0.5 \cdot (1.41.8)^{\frac{1}{2}} + 0.5 = 4.5 \text{ mm} \rightarrow \text{Ec. 14}$$

Nuevamente un espesor de 5mm, pero como ya se dijo anteriormente, no es recomendable emplear espesores menores a 6mm, pues aunque el coste del material es menor, se deforma mucho con la soldadura, lo que obliga a invertir un mayor esfuerzo en el, y por tanto se empleará chapa de 6 mm.

Respecto a la chapa del doble fondo, o fondo interno, el espesor no podrá ser inferior al mayor de estos valores:

$$t = 1.3 \cdot c_a \cdot n_2 \cdot c_T \cdot s \cdot (k \cdot P_F)^{\frac{1}{2}} = 1.3 \cdot 1 \cdot 0.96 \cdot 0.5 \cdot (1 \cdot 41.8)^{\frac{1}{2}} = 4.0 \text{ mm}; \rightarrow \text{Ec. 15}$$

$$t = 1.24 \cdot c_a \cdot s \cdot (k \cdot P_{ST})^{\frac{1}{2}} = 1.24 \cdot 1 \cdot 0.5 \cdot (1 \cdot 37.7)^{\frac{1}{2}} = 3.8 \text{ mm}$$

Aunque como ya se ha mencionado, no se usará ninguna chapa de espesor inferior a 6 mm.

Con los espesores mínimos aquí calculados, y los resultantes en el apartado 5.4.1, los espesores elegidos serán los siguientes:

1. Chapa de fondo exterior de 8 mm.
2. Chapa de fondo en la quilla de 9 mm.
3. Chapa del pantoque, la mayor entre la chapa del costado, y la del fondo exterior.
4. Chapa del doble fondo, o fondo interior, de 6mm.

5.4.3.2 Refuerzos de primer orden del fondo.

Como ya se ha mencionado en el apartado 5.2.1 los refuerzos de primer orden consistirán en varengas llenas.

La sociedad de clasificación impone que en la cámara de máquinas, el módulo resistente de los refuerzos de primer orden del fondo exterior debe tener un módulo de resistencia de al menos:

$$w = n_2 \cdot \frac{k \cdot P_F \cdot s \cdot l^2}{115 \cdot m} \cdot 10^3 \rightarrow \text{Ec. 16}$$

m es un coeficiente dependiente de las condiciones de apoyo, no obstante, la sociedad de clasificación recomienda usar 1.2 a falta de mejor información, luego:

$$w = 1 \cdot \frac{1 \cdot 41.8 \cdot 0.5 \cdot 3.4^2}{115 \cdot 1.2} \cdot 10^3 = 1750 \text{ cm}^3 \rightarrow \text{Ec. 17}$$

En el resto de zonas el módulo resistente del fondo exterior será:

$$w = n_2 \cdot \frac{k \cdot P_F \cdot s \cdot l^2}{150 \cdot m} \cdot 10^3 = 1 \cdot \frac{1 \cdot 41.8 \cdot 0.5 \cdot 3.4^2}{150 \cdot 1.2} \cdot 10^3 = 1340 \text{ cm}^3 \rightarrow \text{Ec. 18}$$

Por otra parte, el módulo resistente de los refuerzos de primer orden en la cámara de máquinas, para el fondo interior no debe ser inferior a ninguno de los siguientes valores:

$$w = n_2 \cdot \frac{k \cdot P_F \cdot s \cdot l^2}{115 \cdot m} \cdot 10^3 = 1750 \text{ cm}^3$$

$$w = \frac{k \cdot P_{ST} \cdot s \cdot l^2}{200 \cdot m} \cdot 10^3 = \frac{1 \cdot 37.7 \cdot 0.5 \cdot 3.4^2}{200 \cdot 1.2} \cdot 10^3 = 910 \text{ cm}^3 \rightarrow \text{Ec. 19}$$

Mientras que en el resto de la zona central, los refuerzos de primer orden del fondo interior deberán tener un módulo resistente mayor a los siguientes valores:

$$w = n_2 \cdot \frac{k \cdot P_F \cdot s \cdot l^2}{150 \cdot m} \cdot 10^3 = 1340 \text{ cm}^3$$

$$w = \frac{k \cdot P_{ST} \cdot s \cdot l^2}{200 \cdot m} \cdot 10^3 = \frac{1 \cdot 37.7 \cdot 0.5 \cdot 3.4^2}{200 \cdot 1.2} \cdot 10^3 = 910 \text{ cm}^3 \quad \rightarrow \text{Ec. 20}$$

Como tenemos varengas llenas, lo que debemos hacer es buscar el espesor de estas, y asegurarnos de que el módulo resistente resultante es superior en cualquier caso al mayor de los anteriores valores, 1750 cm^3 .

El espesor mínimo de las varengas, si el mamparo no es estanco, será el siguiente:

$$t = (4 + 0.04 \cdot L \cdot k^{\frac{1}{2}}) n_2 c_T = (4 + 0.04 \cdot 31.3 \cdot 1^{\frac{1}{2}}) 1 \cdot 0.96 \text{ mm} = 5.04 \text{ mm} \rightarrow \text{Ec. 21}$$

En cambio, si el mamparo es estanco, el espesor no deberá ser menor que los siguientes valores:

$$t_1 = 1.3 \cdot c_a \cdot n_2 \cdot c_T \cdot s \cdot (k \cdot P_F)^{1/2} = 1.3 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0.96 \cdot 0.5 \cdot (1 \cdot 41.8)^{1/2} = 4 \text{ mm}$$

$$t_2 = 1.24 \cdot c_a \cdot s \cdot (k \cdot P_{ST})^{1/2} = 1.24 \cdot 1 \cdot 0.5 \cdot (1 \cdot 37.7)^{1/2} = 3.8 \text{ mm} \quad \rightarrow \text{Ec. 22}$$

Es decir, se podrían usar varengas de 6 mm, lo que nos garantizaría estar por encima de los mínimos establecidos.

El módulo resistente podemos aproximararlo por la siguiente expresión:

$$w = 2eA_m \rightarrow \text{Ec. 23}$$

Donde e es el espesor del refuerzo, y A_m el área del mismo. Como vamos a disponer de vagras a 1.15 m de crujía, y en la propia crujía, las varengas tendrán dos áreas:

$$A_{m1} = 13800 \text{ cm}^2 - A_{aligeramiento1};$$

$$A_{m2} = 13500 \text{ cm}^2 - A_{aligeramiento2}; \quad \rightarrow \text{Ec. 24}$$

Como conocemos el módulo mínimo que las varengas deben tener, que haremos siempre superior a 1750 cm^3 , y el espesor, podemos conocer el área de aligeramiento que podemos practicar como máximo en cada una de las dos partes de la vengra:

$$A_{aligeramiento1} = 13800 - \frac{w}{2e} = 13800 - \frac{1750}{2 \cdot 0.6} \text{ cm}^2 = 12341 \text{ cm}^2 = 1.2 \text{ m}^2;$$

$$A_{aligeramiento2} = 13500 - \frac{w}{2e} = 13500 - \frac{1750}{2 \cdot 0.6} \text{ cm}^2 = 12041 \text{ cm}^2 = 1.2 \text{ m}^2; \quad \rightarrow \text{Ec. 25}$$

Es decir, podemos practicar aligeramientos de 1 metro cuadrado manteniendo el módulo resistente de la estructura por encima del valor mínimo.

5.4.3.3 Refuerzos de segundo orden del fondo.

Se dispondrán una vagra en crujía, y otras dos vagras a 115 mm de ella.

Debajo de la cámara de máquinas se dispondrán dos vagras a 60 mm de crujía, que irán desde el mamparo de proa hasta el mamparo de popa de dicha cámara de máquinas.

De esta forma se reforzará la estructura que soporta el motor principal.

Los espesores de segundo orden no pueden tener un espesor inferior al siguiente:

$$t = (4 + 0.04 \cdot L \cdot k^{\frac{1}{2}}) n_2 c_T = (4 + 0.04 \cdot 31.3 \cdot 1^{\frac{1}{2}}) 1 \cdot 0.96 \text{ mm} = 5.1 \text{ mm} \rightarrow \text{Ec. 26}$$

Que en el caso de la cámara de máquinas debe ser incrementado 1 mm.

No obstante, si la vagra es central, el valor mínimo del espesor será de:

$$t = (4.5 + 0.05 \cdot L \cdot k^{\frac{1}{2}}) n_2 c_T = (4.5 + 0.05 \cdot 31.3 \cdot 1^{\frac{1}{2}}) 1 \cdot 0.96 \text{ mm} = 5.8 \text{ mm} \rightarrow \text{Ec. 27}$$

Que igualmente debe incrementarse 1 mm cuando se encuentre bajo la cámara de máquinas.

Por tanto se emplearán vagras de 6 mm, tanto en crujía, como a 115 mm de esta, salvo bajo cámara de máquinas, que se emplearán vagras de 7 mm.

5.4.4 Costados.

5.4.4.1 Planchas.

Las planchas de los costados estarán sometidas a una presión de 37.7 kN/mm^2 , tal y como se calculó en 5.4.

En la zona central el espesor de las planchas no puede ser inferior al siguiente:

$$t = 1.75 c_a n_2 c_T s (k \cdot P_{SS})^{\frac{1}{2}} = 1.75 \cdot 0.96 \cdot 0.5 (37.7)^{\frac{1}{2}} \text{ mm} = 5.2 \text{ mm} \rightarrow \text{Ec. 28}$$

No obstante, en 5.4.1 obtuvimos que los costados nunca podían tener un espesor inferior a 6.5 mm.

Por tanto, en la zona central se usarán en los costados planchas de 7 mm.

En cambio, en el pantoque se emplearán chapas de 8 mm, que es el espesor de las empleadas en el fondo.

Se usarán planchas de 8mm en el tanque estabilizador pasivo, pues en su interior se dan violentos movimientos de agua de requieren de una estructura suficientemente reforzada.

El tanque estabilizador es un tanque en C, luego a parte de los mamparos de los costados, tendrá dos mamparos más que cortarán la cuaderna maestra en la zona donde se limita la clara del tanque (ver cuaderno anexo sobre el tanque estabilizador).

5.4.4.2 Refuerzos de primer orden.

Los rigidizadores de primer orden del costado, que conforman las cuadernas del buque, pues es de estructura transversal, deben tener un módulo resistente que en cualquier caso sea mayor que los siguientes valores, aplicables en tanques:

$$\begin{aligned} w_1 &= n_2 \cdot \frac{k \cdot P_{SR} \cdot s \cdot l^2}{200 \cdot m} \cdot 10^3 \\ w_2 &= \alpha \cdot n_2 \cdot s \cdot k \cdot l \cdot B^{3/2} \rightarrow \text{Ec. 29} \\ w_3 &= \beta \cdot n_2 \cdot \frac{k \cdot P_{SR} \cdot s \cdot l^2}{150 \cdot m} \cdot 10^3 \end{aligned}$$

Debemos calcular la presión de mar a la que se somete el refuerzo, algo que se consigue aplicando la siguiente expresión:

$$p_{SR} = p_B - 9 \cdot z = 41.8 - 9 \cdot 2.4 \frac{kN}{mm^2} = 20.2 \frac{kN}{mm^2} \rightarrow \text{Ec. 30}$$

Por tanto se debe mantener un módulo resistente superior en cualquier caso a 53.6 cm^3 .

Por tanto, podemos en esta zona, donde se encuentra el tanque estabilizador, cuyos mamparos no coinciden con los costados del buque, emplear cuadernas llenas de 7 mm de espesor, aligeradas, para dar rigidez tanto al costado del buque como al mamparo del tanque estabilizador.

Se debe evitar soldar refuerzos en el interior del tanque estabilizador, pues afecta negativamente a su funcionamiento.

5.4.5 Cubiertas.

Se excluye de este apartado el doble fondo, o fondo interno, que fue escantillonado en el apartado 5.4.3.

Por tanto, en la cuaderna maestra solo se encuentra la cubierta superior, que hace las veces de cubierta resistente.

5.4.5.1 Plancha.

Por ser la cubierta principal una cubierta resistente, la plancha debe tener un espesor mínimo que se rige por la siguiente expresión:

$$t = 1.3 \cdot c_a \cdot n_2 \cdot c_T \cdot s \cdot (k \cdot P_C)^{\frac{1}{2}} = 1.3 \cdot 0.96 \cdot 0.5 \cdot (10.0)^{\frac{1}{2}} \text{ mm} = 3.1 \text{ mm} \rightarrow \text{Ec. 31}$$

No obstante, en 5.4.1 obteníamos que la cubierta resistente nunca podía tener un espesor menor de 6.5 mm.

Podemos por tanto emplear una cubierta de 7 mm.

Como el criterio más restrictivo es el del apartado 5.4.1, no aplica ningún tipo de corrección, ni por maquinillas en cubierta, ni por ser cubierta de trabajo.

5.4.5.2 Refuerzos de primer orden.

Se disponen baos cada dos cuadernas, que al contrario de los que ocurría con las cuadernas, estos sí pueden atravesar el interior del tanque estabilizador, pues disponer refuerzos en la cubierta superior del tanque no afecta a su funcionamiento.

Estos baos se soldarán a las cuadernas mediante cartelas.

La normativa exige que los refuerzos de primer orden de las cubiertas tengan un módulo resistente mínimo tal que no sea inferior a ninguno de los siguientes valores:

$$w_1 = n_2 \cdot \frac{k \cdot P_C \cdot s \cdot l^2}{150 \cdot m} \cdot 10^3 \rightarrow \text{Ec. 32}$$
$$w_2 = n_2 \cdot \frac{k \cdot P_{ST} \cdot s \cdot l^2}{200 \cdot m} \cdot 10^3$$

En esta ocasión, la presión en cubierta y en el refuerzo es la misma, de 10 kN/mm^2 , lo que resulta en que los baos deben tener un módulo resistente mínimo de 39.1 cm^3 .

Para ello podemos usar baos en L de $70 \times 70 \times 7 \text{ mm}$.

5.4.5.3 Refuerzos de segundo orden.

En al cuaderna maestra no es necesario disponer esloras bajo las cubiertas, pues los mamparos del tanque estabilizador ya cumplen con esa misión de aportar rigidez a la cubierta, así como también suplen la necesidad de disponer puntales.

5.5 Módulo de la maestra.

Para el cálculo del módulo de la maestra necesitamos, primero de todo, averiguar la posición vertical de la línea neutra respecto de la línea base, pues esa será la línea respecto de la cual obtendremos las inercias y los momentos.

Si llamamos N a esta línea, podemos conocer su posición según:

$$N = \frac{\sum A_i \cdot y_i}{\sum A_i} \rightarrow \text{Ec. 33}$$

La suma de las áreas de cada elemento estructural multiplicadas por su posición vertical del centroide, todo ello partido del área total de la maestra.

Si realizamos el cálculo para nuestra cuaderna maestra obtenemos lo siguiente:

Elementos	b (mm)	e (mm)	Uds.	A(cm ²)	y (cm)	A·y (cm ³)
Quilla cajón	180	360	2	1296	-18	-23328
Plancha del fondo (y pantoque)	3700	8	2	592	65	38480
Plancha doble fondo	3400	7	2	476	130	61880
Plancha sobre quilla	180	9	2	32	-1	-32
Vagra central	1300	6	1	78	65	5070
Vagra lateral	1160	6	2	139	72	10022
Costado	2820	7	2	395	270	106596
Mamparos del tanque estabilizador	2790	8	4	893	270	241056
Cubierta Principal	3600	7	2	504	410	206640
Bao	310	7	2	43	406	17620

Tabla 1. Áreas y momentos de los diferentes elementos estructurales de la cuaderna maestra.

Si sumamos todas las áreas, y todos los momentos, resultantes para cada elemento de la estructura que conforma la cuaderna maestra, obtenemos la siguiente altura para la línea de referencia:

$$N = \frac{664004}{4449} \text{ cm} = 1.5 \text{ m} \rightarrow \text{Ec. 34}$$

Podemos entonces definir un módulo de resistencia respecto de esa línea neutra tal que:

$$Z_{AB} = \frac{I_Y}{N} \rightarrow \text{Ec. 35}$$

Donde el momento de inercia respecto de esta línea puede ser calculado usando el teorema de Steiner, ya que si calculamos el momento de inercia de cada elemento respecto de la línea de referencia, $I_{P,i}$, podemos calcular la inercia de la maestra respecto de la línea base ya que:

$$I_B = \left(\sum I_{P,i} \right) + \left(\sum A_i \cdot y_i^2 \right) \rightarrow \text{Ec. 36}$$

Lo que se puede llevar a la línea neutra haciendo:

$$I_Y = I_B - \left(\sum A_i \right) N^2 \rightarrow \text{Ec. 37}$$

Efectivamente, si calculamos las inercias de cada elemento, y las áreas por las alturas de los centroides, podemos confeccionar la siguiente tabla:

Elementos	$A \cdot y^2 \text{ (cm}^4\text{)}$	$I_p \text{ (cm}^4\text{)}$
Quilla cajón	419904	34992
Plancha del fondo (y pantoque)	2501200	6753733
Plancha doble fondo	8044400	4585467
Plancha sobre quilla	32	875
Vagra central	329550	109850
Vagra lateral	721613	156090
Costado	28780920	2616340
Mamparos del tanque estabilizador	65085120	5791370
Cubierta Principal	84722400	5443200
Bao	7153882	3476

Tabla 2. Inercias de los elementos estructurales que conforman la cuaderna maestra.
Luego aplicando Ec. 36:

$$I_B = 1.98 \cdot 10^8 + 0.25 \cdot 10^8 \text{ cm}^4 = 2.23 \text{ m}^4 \rightarrow \text{Ec. 38}$$

Por tanto, el momento de inercia respecto de la línea neutra resulta ser:

$$I_B = 2.23 \cdot 10^8 - 4.45 \cdot 10^3 \cdot 1.5^2 \cdot 10^4 \text{ cm}^4 = 2.22 \text{ m}^4 \rightarrow \text{Ec. 39}$$

Lo que nos permite obtener el módulo de resistencia respecto de la línea de referencia, ya que:

$$Z_{AB} = \frac{I_Y}{N} = \frac{2.22}{1.5} \text{ m}^3 = 1.48 \text{ m}^3 \rightarrow \text{Ec. 40}$$

También podemos conocer el módulo respecto de la cubierta resistente aplicando:

$$Z_{AD} = \frac{I_Y}{Z_D - N} = \frac{2.22}{4.1 - 1.5} \text{ m}^3 = 0.85 \text{ m}^3 \rightarrow \text{Ec. 41}$$

Más adelante comprobaremos si ese módulo de la maestra, junto con esas inercias, cumple con los requisitos de la sociedad de clasificación, o debemos reajustar algún elemento para cumplir con la normativa.

6 Cálculos de resistencia local. Cargas en cubiertas.

El reglamento nos obliga a calcular la resistencia global a partir del módulo de la maestra, para lo que tuvimos que escantillonarla.

En este apartado en cambio pasamos a escantillonar otras secciones, como puede ser cámara de máquinas, que junto a la cuaderna maestra, caracterizan la zona media, la sección de la perpendicular de popa, que caracterizará la zona de popa, la sección de los viveros, que caracterizará la zona intermedia de popa, Una sección del dique de proa, que caracterizará la zona de proa, y una sección de la bodega, que caracterizará la zona intermedia de proa.

También se estudiarán los mamparos transversales, y la superestructura.

Por último se estudiarán cargas localizadas sobre las cubiertas, como puedan ser palos, grúas, o máquinas.

6.1 Escantillonado de la cámara de máquinas.

La cámara de máquinas sigue, en líneas generales, una estructura similar a la de la cuaderna maestra, no obstante, por tratarse de la cámara de máquinas, los espesores de algunas chapas se verán aumentados.

Además, la cámara de máquinas dispone de dos plataformas a los costados donde descansan, entre otras cosas, los grupos electrógenos, lo que los convierte en zonas donde se debe tener un especial cuidado.

6.1.1 Doble fondo.

El doble fondo sigue todas las directrices que se presentaron en el apartado 5.4.3, y los espesores que se deben disponer para cada elemento, por tratarse de la cámara de máquinas, también fueron expuestos en dicho apartado. No se repiten los cálculos, remitiéndonos al citado apartado, y nos limitamos a presentar los resultados.

6.1.1.1 Chapas.

Las chapas del fondo tendrán un espesor de 9mm en la quilla, y de 8mm en el fondo y el pantoque.

En el fondo interno se usarán chapas de espesor de 7mm (resultante de aplicar el criterio expuesto en 5.4.1).

6.1.1.2 Refuerzos de primer orden.

A los resultados de espesores mínimos de la cuaderna maestra, se les debe sumar 1mm de espesor, luego debemos emplear varengas de 7mm.

6.1.1.3 Refuerzos de segundo orden.

A parte de la vagra en crujía, y de las vagras a 115 mm de esta, se dispondrán otras dos vagras a 60 mm de crujía, para reforzar la zona donde descansa el motor principal.

Al igual que ocurría con los refuerzos de primer orden, a los refuerzos de segundo orden se les debe sumar 1mm de espesor al espesor mínimo, lo que nos obliga a usar vagras de 7mm.

6.1.2 Costados.

6.1.2.1 Planchas.

Al igual que en la cuaderna maestra, se utilizarán planchas de 7mm.

6.1.2.2 Refuerzos de primer orden.

En este caso no existe un mamparo del tanque estabilizador con el que unir las cuadernas, luego en su lugar emplearemos cuadernas en L de 75x75x7mm.

Estos perfiles se unirán al fondo interno, y a los baos y cubiertas mediante cartelas.

Al no usar cuadernas llenas, ni disponer de mamparos que aporten rigidez a la estructura, sería necesario disponer refuerzos de segundo orden, no obstante, la disposición de plataformas en los costados suple la necesidad de emplear palmejares.

6.1.3 Cubiertas.

La cubierta principal, o cubierta resistente, será igual a la cubierta de la cuaderna maestra, no obstante, debemos en este apartado incluir las plataformas donde descansan

6.1.3.1 Planchas.

Al igual que ocurría con la cuaderna maestra, el criterio más restrictivo es el proveniente de 5.4.1, luego no procede ninguna corrección por pesos específicos.

Así pues, se emplearán chapas de 7 mm tanto en la plataformas como en la cubierta principal.

6.1.3.2 Refuerzos de primer orden.

Al igual que en la cuaderna maestra, se disponen baos cada dos cuadernas, conformados por perfiles en L de 70x70x7mm.

6.1.3.3 Refuerzos de segundo orden.

En la cubierta principal se sueldan esloras a 115mm de crujía.

En las plataformas intermedias se sueldan esloras en el borde suspendido de la plataforma, y a 1m del costado. Además se dispondrán puntales cada dos baos, o lo que es lo mismo, cada dos metros, lo que hace un total de 3 puntales.

El reglamento establece que, para las esloras de la cubierta resistente, el módulo resistente mínimo debe ser de:

$$w = n_2 \cdot \frac{k \cdot P_c \cdot s \cdot l^2}{135 \cdot m} \cdot 10^3 = 1 \cdot \frac{1 \cdot 10 \cdot 0.5 \cdot 3.6^2}{135 \cdot 1.2} \cdot 10^3 \text{ cm}^3 = 39.9 \text{ cm}^3 \rightarrow \text{Ec. 42}$$

Mientras que para la cubierta de la plataforma, el módulo mínimo debe ser:

$$w = n_2 \cdot \frac{k \cdot P_c \cdot s \cdot l^2}{150 \cdot m} \cdot 10^3 = 1 \cdot \frac{1 \cdot (41.8 - 9 \cdot 2.5) \cdot 0.5 \cdot 1.9^2}{150 \cdot 1.2} \cdot 10^3 \text{ cm}^3 = 19.4 \text{ cm}^3 \rightarrow \text{Ec. 43}$$

Pero para estandarizar, y además facilitar la unión con los baos, podemos elegir el mismo perfil que estos, un perfil en L de 70x70x7mm.

6.2 *Escantillonado de la sección de viveros.*

La sección de viveros es del todo semejante a la sección de la cuaderna maestra, con la salvedad de que el costado exterior hace las veces de mamparo exterior del tanque de viveros, en lugar de ser un mamparo independiente unido mediante una cuaderna completa.

Se puede encontrar el plano de la estructura de esta sección, junto con la de la sección de popa en el **Anexo II**.

6.2.1 **Doble fondo.**

El doble fondo sólo guarda como diferencia fundamental respecto del de la cuaderna maestra las formas del mismo, luego podemos emplear los mismos datos.

Por tanto, nos remitimos al apartado 5.4 para conocer el origen de las decisiones que se toman.

6.2.1.1 Planchas.

Se emplearán planchas de 9mm de espesor en el fondo exterior, sobre la quilla, planchas de 8mm en el fondo exterior y el pantoque, y planchas de 6mm en el fondo interior.

6.2.1.2 Refuerzos de primer orden.

Se utilizarán varengas llenas de 6mm.

6.2.1.3 Refuerzos de segundo orden.

Se disponen vagras a 115mm de crujía, que recorrerán el fondo bajo los viveros en la medida que sea posible, hasta que la manga del fondo interior sea inferior a 115mm.

6.2.2 Costados.

Los costados también son análogos a los de la cuaderna maestra, luego nos remitimos a los cálculos del apartado 5.4 para conocer el origen de los datos empleados par escantillonar los costados en esta sección.

6.2.2.1 Planchas.

En el costado se emplearán planchas de 7mm.

6.2.2.2 Refuerzos de primer orden.

Al igual que ocurría en cámara de máquinas, no existe un mamparo al que unir las cuadernas y hacerlas llenas, luego en su lugar se disponer cuadernas de perfil en L de 75x75x7mm.

6.2.2.3 Refuerzos de segundo orden.

En este caso tampoco existe una plataforma intermedia, luego necesitamos situar palmejares, que dispondremos a la altura de la plataforma intermedia en cámara de máquinas, para dar más continuidad a la estructura.

El reglamento dice que los palmejares deben tener un área de alma superior al valor dado por la siguiente fórmula:

$$A = n_2 \cdot \frac{5k \cdot P_{ss} \cdot s \cdot l}{85} = 1 \cdot \frac{5 \cdot 1 \cdot (41.8 - 9 \cdot 2.5) \cdot 0.5 \cdot 4.1}{85} \text{ cm}^2 = 7.4 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{Ec. 44}$$

Mientras que su módulo resistente debe ser siempre superior al siguiente valor:

$$w = n_2 \cdot \frac{k \cdot P_{ss} \cdot s \cdot l^2}{150 \cdot m} \cdot 10^3 = 1 \cdot \frac{1 \cdot (41.8 - 9 \cdot 2.5) \cdot 0.5 \cdot 4.1^2}{150 \cdot 1.2} \cdot 10^3 \text{ cm}^3 = 36.2 \text{ cm}^3 \rightarrow \text{Ec. 45}$$

Podemos elegir por tanto el mismo perfil que el de las cuadernas, lo que facilitará su incorporación en la estructura, y estandarizará en la medida de lo posible su fabricación.

Por tanto disponemos palmejares con perfil en L de 75x75x7mm.

6.2.3 Cubiertas.

En esta sección sólo existe la cubierta principal, luego se emplearán los mismos datos que en la sección 5.4.5.

6.2.3.1 Planchas.

Se emplearán planchas de 7mm en la cubierta resistente.

6.2.3.2 Refuerzos de primer orden.

Se dispondrán baos en L de 70x70x7mm.

6.2.3.3 Refuerzos de segundo orden.

No se necesita ningún refuerzo específico, pues se dispone del mamparo de separación de los viveros centrales y los de los costados.

6.3 *Escantillonado de la sección de popa.*

La sección de popa, al contrario de cómo ocurría en los anteriores escantillonados, debe ser recalculada casi por completo, pues la presión de referencia varía sustancialmente.

No obstante, los cálculos ya no serán detallados, pues no es el objetivo del documento, sino que se harán referencias a las expresiones empleadas.

Se puede encontrar el plano de la estructura de esta sección, junto con la sección de viveros en el **Anexo II**.

6.3.1 **Doble fondo.**

6.3.1.1 Planchas.

La presión que debe aguantar es, en este caso, de 59.5 kN/mm^2 , luego los nuevos espesores mínimos para las planchas del fondo, aplicando la metodología expuesta en 5.4.3, son:

1. Espesor en el fondo exterior de 8mm.
2. Espesor en el pantoque de 8mm.
3. Espesor de las planchas del fondo interno de 7mm.

En este caso no procede ningún cálculo relacionado con la quilla.

6.3.1.2 Refuerzos de primer orden.

Las varengas, aplicando la metodología expuesta en 5.4.3, deberán tener un espesor de 6mm, aunque el aligeramiento ya no podrá ser superior a 0.8 m^2 .

6.3.1.3 Refuerzos de segundo orden.

Para estos refuerzos, el espesor mínimo no varía, pues no son dependientes de la presión a la que son sometidos.

Se dispone por tanto una vagra en crujía de 6mm, y otras dos vagras a 115mm de ésta, con un espesor de 6mm también.

6.3.2 **Costados.**

6.3.2.1 Planchas.

La sociedad de clasificación recomienda no emplear planchas con un espesor menor a 8mm, luego en los costados se emplearán planchas de ese espesor recomendado de 8mm.

6.3.2.2 Refuerzos de primer orden.

Según los requisitos para refuerzos de primer orden del costado en habitación y bodegas, el refuerzo debe tener un módulo resistente siempre superior a 59.1 cm^3 .

Podemos emplear un perfil en L de 150x150x7mm.

6.3.2.3 Refuerzos de segundo orden.

En este caso no se necesitan refuerzos de segundo orden.

Además, para maximizar la continuidad de la estructura en esta zona clave se ha hecho coincidir la posición del doble fondo con la posición de los palmejares en los viveros, y las plataformas en cámara de máquinas.

6.3.3 Cubiertas.

La cubierta es del todo similar a la de la sección anterior estudiada a lo largo del apartado 6.2.3, luego nos remitimos a esos resultados:

6.3.3.1 Planchas.

Se emplearán planchas de 7mm en la cubierta resistente.

6.3.3.2 Refuerzos de primer orden.

Se utilizarán baos cada dos cuadernas conformados por perfiles en L de 70x70x7mm.

6.3.3.3 Refuerzos de segundo orden.

Se dispone una eslora a 115mm de crujía acabada con un perfil en L de 70x70x7mm.

6.4 Escantillonado de la sección de la bodega.

La sección de la bodega, junto con la sección del pique de proa, constituyen las secciones características de la zona de proa, y se pueden encontrar planos de la estructura de ambas secciones en el **Anexo III**.

La sección de la bodega guarda mucha semejanza con la sección de viveros, con la salvedad de que en la bodega no se dispone de un mamparo a 115 mm de crujía, así pues, se suplirá con esloras soldadas a los baos, y puntales cada dos baos, al igual que se hacía en la cámara de máquinas.

6.4.1 Doble fondo.

El doble fondo sigue las mismas directrices que en el apartado 6.2.1, luego no se repiten los cálculos, y pasamos directamente a los resultados.

6.4.1.1 Planchas.

Se usarán planchas de 9mm sobre la quilla, de 8mm en el fondo exterior y el pantoque, y de 7mm en el fondo interno.

6.4.1.2 Refuerzos de primer orden.

Se dispondrán varengas llenas de 6mm de espesor.

6.4.1.3 Refuerzos de segundo orden.

Se emplearán vagras en crujía, y a 115mm de ésta, con 6mm de espesor.

6.4.2 Costados.

Los costados también guardan una gran semejanza con los de la sección de viveros, luego para conocer la razón de la disposición de la estructura elegida nos remitimos al apartado 6.2.2.

6.4.2.1 Planchas.

Se emplearán planchas de 7mm en el costado del buque.

6.4.2.2 Refuerzos de primer orden.

El refuerzo de primer orden del costado se llevará a cabo mediante cuadernas acabadas con perfiles en L de 75x75x7mm.

6.4.2.3 Refuerzos de segundo orden.

Se dispondrán palmejares realizados con perfiles en L de 75x75x7mm, de tal manera que coincidan con la altura de las plataformas en cámara de máquinas.

Puede resultar chocante que se traten de colocar a la misma altura, estando entre medias el tanque estabilizador, pero a la escritura de estas líneas aún no es conocido el puntal necesario para disponer de un tanque estabilizador funcional que cumpla con los requisitos impuestos por la especificación del proyecto. Si el tanque estabilizador lo permite, se podría subir la cubierta inferior del mismo hasta esta misma altura, consiguiendo con ello dos cosas:

1. Una muy deseable continuidad en la estructura, con unos palmejares, cubiertas, y plataformas que atravesarían la practica totalidad del buque con una línea horizontal.
2. Se podrían subir los tanques dispuestos bajo cámara de máquinas, lo que permitiría que tuvieran presión en la succión de las bombas de trasiego a lasque dan servicio.

Por esa razón no se debe, en un principio, renunciar a la continuidad que podríamos obtener en una segunda vuelta a la espiral del proyecto si el tanque estabilizador lo permite.

6.4.3 **Cubiertas.**

Al igual que con los anteriores elementos, la cubierta bodega es muy parecida a la de los viveros, así pues nos remitimos al apartado 6.2.3.

6.4.3.1 Planchas.

La cubierta resistente será llevada a cabo mediante planchas de 7mm.

6.4.3.2 Refuerzos de primer orden.

Se reforzará la estructura con baos que recorrerán la cubierta de costado a costado en la medida de lo posible (en la escotilla no se podrá llevar a cabo).

Los baos consistirán en perfil en L de 70x70x7mm.

6.4.3.3 Refuerzos de segundo orden.

Se dispondrán esloras a 115mm de crujía realizadas en perfil en L de 70x70x7mm.

También se dispondrán puntales cada dos baos, de tal manera que existan 3 puntales a lo largo de la bodega, a 115 milímetros de crujía.

6.5 ***Escantillonado del pique de proa.***

Los planos de esta estructura, junto con los de la zona intermedia de proa, se pueden encontrar en el **Anexo III**.

La zona del pique de proa estará formada, en su parte baja, por un tanque de agua dulce dividido por la mitad para minimizar el efecto de la superficie libre, y maximizar la rigidez de la estructura.

La parte alta, conformada por el castillo de proa, tendrá un pañol, y las cajas de estiba de las cadenas..

6.5.1 Costados.

6.5.1.1 Planchas.

El espesor del forro bajo la línea de flotación debe ser mayor en todo caso al siguiente espesor:

$$t = 1.37(0.95 + L^{\frac{1}{2}})n_2 k^{\frac{1}{2}} = 1.37(0.95 + 31.3^{\frac{1}{2}})1 \cdot 1^{\frac{1}{2}} \text{ mm} = 8.96 \text{ mm} \rightarrow \text{Ec. 46}$$

Luego se puede emplear chapa de 9mm bajo la flotación. Encima de la línea de flotación Bureau Veritas recomienda emplear chapa de al menos 8mm.

Por tanto, emplearemos chapa de 9mm hasta el final del abanico, y de 8 milímetros en la zona más alta.

6.5.1.2 Refuerzos de primer orden.

Las cuadernas deberán tener un módulo resistente que en cualquier caso será superior al siguiente:

$$w = n_2 \cdot \frac{k \cdot P_p \cdot s \cdot l^2}{105 \cdot m} \cdot 10^3 = 1 \cdot \frac{1 \cdot (59.5 - 9 \cdot 3.2) \cdot 0.5 \cdot 5^2}{105 \cdot 1.2} \cdot 10^3 \text{ cm}^3 = 78.3 \text{ cm}^3 \rightarrow \text{Ec. 47}$$

Para solucionar el problema, podemos emplear cuadernas llenas aligeradas en el bulbo, y cuadernas realizadas mediante perfiles en L de 150x150x9mm en el resto de la estructura.

6.5.1.3 Refuerzos de segundo orden.

Se dispondrán palmejares de 150x150x7mm a media altura del bulbo, haciéndolo coincidir con los palmejares de la bodega.

6.5.2 Roda.

6.5.2.1 Barra de la roda.

La roda debe estar formada por una barra cuya área transversal no deberá ser menor del valor dado por la siguiente fórmula:

$$A = \left(0.40 + \frac{10 \cdot C}{L} \right) \cdot (0.009 \cdot L^2 + 20) n_2 \cdot k^{1/2} \rightarrow \text{Ec. 48}$$

Donde el cociente calado-eslora de escantillonado no se puede tomar menor de 0.05, ni mayor de 0.075. En nuestro caso es claramente mayor de 0.075, así pues se toma ese valor, resultando un área mínima tal que:

$$A = (0.40 + 0.75) \cdot (0.009 \cdot 31.3^2 + 20) 1 \cdot 1^{1/2} \text{ cm}^2 = 33.2 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{Ec. 49}$$

Podemos usar una barra de 6x6mm

6.5.2.2 Buzardas.

La barra de la roda debe ir sujeta por buzardas, que se soldarán a los costados o a los palmejares si los hubiere.

Estos refuerzos deben tener un espesor superior al siguiente:

$$t = (0.032L \cdot k^{\frac{1}{2}} + 6)n_2 = (0.032 \cdot 31.3 \cdot 1^{\frac{1}{2}} + 6)1 \text{ mm} = 7.1 \text{ mm} \rightarrow \text{Ec. 50}$$

Por tanto se sujetará la roda con buzardas de 8mm.

6.5.3 Pañol.

En el pañol se seguirá la estructura de las zonas colindantes, esto es, se utilizará chapa de costado de 8mm, con cuadernas de 150x150x9mm.

La cubierta será de chapa de 7mm, reforzada con baos cada dos cuadernas, de 70x70x7mm.

6.6 Escantillonado de mamparos.

6.6.1 Zonas de proa y popa,

Se trata de mamparos mojados, por tanto tendremos que aplicar las pautas ofrecidas en la tabla 28, de la Parte D, Capítulo 20 y Sección 3 del Bureau Veritas.

Para un mamparo de un tanque longitudinal o transversal en la zona de popa o proa, el espesor no será menor que ninguno de los siguientes valores:

$$t = 1.3 c_a \cdot n_2 \cdot c_{TS} (k P_M)^{1/2} = 3.3 \text{ mm.}$$

$$t = 1.24 c_a s (k P_{ST})^{1/2} = 4.8 \text{ mm.}$$

Pero además, atendiendo a los criterios de espesores mínimos del apartado 5.4.1, los espesores de los mamparos serán de 6mm.

6.6.2 Zona central.

Para un mamparo de un tanque longitudinal o transversal en la zona central, el espesor no será menor que el mayor de los siguientes valores:

$$t = 1.72 c_a \cdot n_2 \cdot c_{TS} (k P_M)^{1/2} = 6.6 \text{ mm.}$$

$$t = 1.24 c_a s (k P_{ST})^{1/2} = 4.8 \text{ mm.}$$

Luego se deberán emplear mamparos de 7mm.

6.6.3 Mamparos estancos.

Los mamparos estancos se calcularán según las pautas ofrecidas en la tabla 27, de la Parte D, Capítulo 20 y Sección 3 del Bureau Veritas.

El espesor del mamparo no será inferior al valor dado por la siguiente expresión:

$$t = 1.24 c_a s (\lambda_I k P_M)^{1/2} = 3.4 \text{ mm}$$

No obstante, en el apartado 5.4.1 establecimos un espesor mínimo para mamparos estancos de 4.8mm, luego emplearemos mamparos de 6mm, que tienen ventajas frente a los de 5mm, que se deforman en exceso durante los procesos de soldadura.

6.7 Escantillonado de la superestructura.

La superestructura será llevada a cabo con aluminio 5083.

Por tanto, en el escantillonado de la superestructura cambian dos datos, las presiones de diseño, y la constante del material k , que pasa a valer 1.07.

La unión con el casco de acero se llevará a cabo con una llanta bimetálica.

En la superestructura, la presión de diseño viene dada por la siguiente expresión:

$$P_s = 10 a c [b f - (z - C_{es})] \rightarrow \text{Ec. 51}$$

La constante a depende del elemento estructural y su posición de tal forma que:

$$a = 2 + L_{es}/120 = 2.25 \text{ para el mamparo de proa, en su mitad inferior.}$$

$$a = 1 + L_{es}/120 = 1.25 \text{ para el mamparo de proa en su mitad superior.}$$

$$a = 0.7 + L_{es}/1000 - 0.8 \cdot x/L_{es} = 0.51 \text{ para el mamparo de popa a 8 metros de la perpendicular de popa.}$$

$$a = 0.5 + L_{es}/1000 - 0.4 \cdot x/L_{es} = 0.39 \text{ para el mamparo de popa a 10.4 metros de la perpendicular de popa.}$$

$$a = 0.5 + 0.0067 L_{es} = 0.69 \text{ para el resto de los casos.}$$

En cambio la constante c depende de las propiedades de la superestructura, calculándose según la siguiente expresión:

$$c = 0.3 + 0.7 \cdot b_l/B_l \rightarrow \text{Ec. 52}$$

Donde:

b_l , es la manga en metros de la superestructura considerada, que debe ser mayor de $0.25 B_l$.

B_l , es la manga en metros del casco del buque en la zona considerada.

Operando se obtienen los siguientes valores:

$$c = 0.66 \text{ con } b_l = 3.49 \text{ m para la superestructura hasta la cubierta del puente.}$$

$$c = 0.72 \text{ con } b_l = 4.13 \text{ m para el puente de mando.}$$

La constante b toma en este caso el valor 1.

f se calculando aplicando la siguiente expresión:

$$f = \frac{L}{10} \cdot e^{\frac{-L}{300}} - \left[1 - \left(\frac{L}{150} \right) \right] = 1.72 \rightarrow \text{Ec. 53}$$

Los valores de presión obtenidos no pueden ser inferiores, como por otra parte ocurre, a los valores mínimos que establece Bureau Veritas, que son 30 kN/mm^2 para el mamparo de proa en su primer nivel, y 0.15 kN/mm^2 en el resto de la estructura.

6.7.1 Espesores mínimos.

Al igual que ocurría en el casco, Bureau Veritas establece unos valores mínimos para los espesores que se deben cumplir, al margen de los resultados que se obtengan después para cada elemento específico de la estructura.

1. Mamparos de proa y popa del nivel más bajo: $0.70 n_2 (L_{es} + 30)^{1/2} = 5.5 \text{ mm}$

2. Mamparos de proa y popa de los siguientes niveles: $0.60 n_2 (L_{es} + 35)^{1/2} = 4.9 \text{ mm}$

3. Costados: $0.80 n_2 (L_{es} + 10)^{1/2} = 5.1 \text{ mm}$

4. Cubiertas: $0.75 n_2 (L_{es} + 10)^{1/2} = 4.8 \text{ mm}$

6.7.2 Mamparos de proa y popa.

Para los mamparos de proa y popa, establece el reglamento de Bureau Veritas que no pueden tener un espesor inferior al calculado con la siguiente expresión²:

² Se ofrece el valor para el primer nivel, ya que el valor para los siguientes niveles es inferior al dado, y este no será el criterio más restrictivo, siendo irrelevante el valor para los demás niveles.

$$t = 0.856 \cdot n_2 c_T s (k \cdot P_s)^{\frac{1}{2}} = 3.3 \text{ mm} \rightarrow \text{Ec. 54}$$

No obstante, según lo expuesto en 6.7.1, el espesor no puede ser inferior a 5.5mm en el primer nivel, ni a 4.9mm en el segundo nivel.

Por tanto, se emplearán chapas de 6mm en el primer nivel, y de 5mm en el segundo nivel.

6.7.3 Mamparos de costado

Para los mamparos de los costados se aplica la misma expresión³:

$$t = 0.856 \cdot n_2 c_T s (k \cdot P_s)^{\frac{1}{2}} = 1.9 \text{ mm} \rightarrow \text{Ec. 55}$$

Nuevamente el criterio más restrictivo es el obtenido en 6.7.1, el cual nos fuerza a usar chapas de 6mm de espesor.

6.7.4 Cubiertas.

En las cubiertas se deben emplear chapas cuyo módulo resistente sea superior en cualquier caso al siguiente valor:

$$t = 1.15 \cdot n_2 c_T s (k \cdot P_s)^{\frac{1}{2}} = 2.5 \text{ mm} \rightarrow \text{Ec. 56}$$

Pero como en el apartado 6.7.1 obtuvimos un criterio más restrictivo, deberemos usar planchas de 5mm

Aunque para evitar problemas, en la primera cubierta, donde descansa una grúa que portará el halador, se empleará chapa de 7mm.

6.7.5 Refuerzos de primer orden.

Se actuará de la misma forma que en el casco, disponiendo cuadernas en las mismas posiciones longitudinales, y baos cada dos cuadernas.

Las cuadernas deberán tener un módulo resistente superior a 14.3 cm³:

$$w = 0.42 \cdot n_2 \cdot \frac{k \cdot P_s \cdot s \cdot l^2}{115 \cdot m} \cdot 10^3 \rightarrow \text{Ec. 57}$$

En cambio los baos deberán tener un módulo resistente superior a 23.5 cm³:

$$w = 0.42 \cdot n_2 \cdot \frac{k \cdot P_s \cdot s \cdot l^2}{70 \cdot m} \cdot 10^3 \rightarrow \text{Ec. 58}$$

Se pueden emplear perfiles en T de 100x100x7mm en ambos refuerzos.

Además, en la cubierta suspendida de popa, donde descansan pesos importantes, como puede ser la grúa halador, se situarán baos y esloras cada 0.5m, y dos puntales en los extremos de la cubierta.

6.8 Cargas en cubiertas.

Aunque se abordará el problema más adelante, en el apartado 9, vamos a enumerar aquí las cargas sobre cubiertas, y las características de las mismas, más significativas.

³ En este caso se emplea la presión de 15 kN/mm².

6.8.1 Motor principal.

El motor principal pesa un total de 6400kg. Podemos aproximar la carga sobre la estructura por 7Tn.

La estructura sobre la que descansa es una cubierta de acero, de 7mm de espesor, que podemos considerar simplemente apoyada sobre varengas cada 0.5m, y una vagra en crujía, otras dos a 600mm de esta, y otras dos a 115mm de crujía.

Eso quiere decir que en esa zona, el área de cubierta simplemente apoyada más grande es de 0.5x0.6m.

Por otra parte, las dimensiones en planta del motor son de 3.5x1.4m, luego, si suponemos que la carga está uniformemente distribuida tendremos una presión sobre cubierta de:

$$q = \frac{m \cdot g}{A} = \frac{7 \cdot 10^3 \cdot 9.81}{3.5 \cdot 1.4} \text{ Pa} = 5 \text{ kPa} \rightarrow \text{Ec. 59}$$

Es decir, sobre planchas de 600x500x7mm descansa una carga uniformemente distribuida de 5kPa.

6.8.2 Motores auxiliares.

Los motores auxiliares, junto con sus alternadores, tienen un peso de 1300 kg. Las dimensiones en planta del motor son de 2020x807mm, luego aplicando **Ec. 59** sabemos que la presión sobre la cubierta en la que descansa es de 8kPa.

Por otra parte, el motor descansa en una plataforma de 7mm de espesor, con baos cada metro, y una longitud de 1m.

Luego a planchas de 1000x1000x7mm se les aplica una presión de 8kPa.

6.8.3 Grúa de proa.

Las grúas de proa y popa son capaces de levantar un total de 1250kg, peso que se añade al de su propia estructura de 2900kg.

Ese peso descansa sobre una base de 1050x1050mm, lo que quiere decir que en las operaciones de izado puede llegar a ejercer una presión sobre la cubierta de 40kPa.

Esta grúa descansa sobre una cubierta de acero de 7mm de espesor, en donde existen baos cada metro, y dos palmejares a 115mm de crujía.

Luego tenemos una carga de 4kPa sobre una plancha de acero simplemente apoyada de dimensiones 1000x230x7mm.

6.8.4 Grúa de popa.

Se trata de la misma grúa de proa, luego ejercerá también una presión de 40kPa.

En este caso descansa sobre la primera cubierta de la caseta, donde se dispone una plancha de aluminio 5083, reforzada por baos cada metro, y por palmejares también cada metro.

Por tanto tenemos una carga de 40kPa sobre una plancha de aluminio simplemente apoyada de 500x500x7mm

7 Plano de cuaderna maestra con elementos longitudinales y transversales.

Se presenta el plano de la cuaderna maestra, junto con el de la cámara de máquinas en el **Anexo I**.

8 Comprobación de resistencia general con situaciones de carga preliminares.

Como ya se ha mencionado anteriormente, el reglamento sólo nos obliga a comprobar que el módulo de la maestra del buque es superior a unos valores mínimos, añadiendo que para lograrlo se debe tener también un momento de inercia mínimo.

Concretamente, Bureau Veritas establece la siguiente expresión para el módulo resistente de la cuaderna maestra mínimo:

$$Z_{R,MIN} = n_1 \cdot \mathcal{G} \cdot L_{es}^2 \cdot B \cdot (Cb + 0.7) k \cdot 10^6 \rightarrow \text{Ec. 60}$$

Siendo \mathcal{G} un parámetro de la ola más perjudicial para la estructura definido como sigue:

$$\mathcal{G} = (118 - 0.36 \cdot L) \cdot \frac{L}{1000} = (118 - 0.36 \cdot 31.3) \cdot \frac{31.3}{1000} = 3.34 \rightarrow \text{Ec. 61}$$

Por tanto, combinando ambas expresiones tenemos que:

$$Z_{R,MIN} = 1 \cdot 3.34 \cdot 31.3^2 \cdot 7.2 \cdot (0.523 + 0.7) \cdot 1 \cdot 10^6 \text{ mm}^3 = 2.88 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3 \rightarrow \text{Ec. 62}$$

Valor unas 30 veces menor el módulo de la maestra de nuestro buque, y por tanto nuestro buque cumple holgadamente el reglamento, a salvedad de comprobar todavía el momento de inercia.

Bureau Veritas establece la siguiente expresión para calcular el momento de inercia mínimo que debe tener la estructura en la cuaderna maestra:

$$I_{YR} = 2 \cdot Z_{R,MIN} \cdot L \cdot 10^{-2} = 2 \cdot 2.88 \cdot 10^{-2} \cdot 31.3 \cdot 10^{-2} \text{ m}^4 = 1.80 \cdot 10^{-2} \text{ m}^4 \rightarrow \text{Ec. 63}$$

Valor también muy por debajo de que presenta la cuaderna maestra del buque.

Por tanto, el buque cumple todos los requisitos de la sociedad de clasificación respecto de la resistencia general.

9 Comprobación de tensiones según reglamentos.

El reglamento no obliga a ninguna comprobación de tensiones para buques de este tamaño con estructura transversal.

No obstante, vamos a comprobar que ocurre con las cargas sobre cubierta que relatamos en el apartado 6.8.

9.1 Desplazamientos.

9.1.1 Metodología.

En todos los casos vamos a suponer una placa rectangular delgada simplemente apoyada sobre sus ejes, a la cual se le aplica una carga uniformemente distribuida.

Esta hipótesis no es cierta, no obstante, es claramente más restrictiva que cualquier otra hipótesis. La realidad es que todas las cargas se apoyan en buena medida sobre los refuerzos de las cubiertas, y además las cubiertas no están simplemente apoyadas, pues están soldadas.

Una cubierta soldada a los refuerzos no es una cubierta simplemente apoyada, ya que los bordes soldados no tienen el ángulo girado en el apoyo como grado de libertad.

Probablemente la hipótesis de borde empotrado se ajuste más al problema, pues al descansar cada carga sobre dos o más secciones de una misma cubierta, el ángulo en los refuerzos seguramente se aproxime a 0, no obstante, entre las dos hipótesis entre las que realmente nos situamos, la hipótesis de simplemente apoyada es más restrictiva, dando momentos flectores, y por tanto cargas, considerablemente mayores.

Por tanto, si las tensiones en cubierta simplemente apoyada se mantienen lo suficientemente lejos del límite elástico, tendremos buenas garantías de que también lo harán en el caso real.

En ese caso, los desplazamientos en cada punto pueden calcularse a partir de la siguiente expresión:

$$w(x, y) = \frac{16q}{\pi^6 D} \sum_{m=1,3,5} \sum_{n=1,3,5} \frac{\sin\left(\frac{m\pi x}{Lx}\right) \sin\left(\frac{n\pi y}{Ly}\right)}{mn \left(\left(\frac{m}{Lx}\right)^2 + \left(\frac{n}{Ly}\right)^2 \right)^2} \rightarrow \text{Ec. 64}$$

Ecuación que toma forma de serie. La serie antes descrita es convergente, luego cuantos más términos se escojan, mejores resultados se obtendrán.

No obstante, se puede demostrar que los términos más influyentes son los armónicos de periodos más altos, luego no se cometerá un gran error si sólo se toman cuatro términos (dos armónicos por dirección).

Por otra parte, se demuestra también que los mayores desplazamientos se dan en el centro de la placa, luego será allí donde los calculemos.

D es la rigidez específica de la placa, que se define en función del material, y más concretamente de su módulo de Young E , y de su coeficiente de Poisson ν .

$$D = \frac{Et^3}{12(1-\nu^2)} \rightarrow \text{Ec. 65}$$

Podemos por tanto definir cuatro desplazamientos, de tal manera que:

$$w(x, y) = w_1(x, y) + w_2(x, y) + w_3(x, y) + w_4(x, y) \rightarrow \text{Ec. 66}$$

De tal forma que cada desplazamiento corresponde a un armónico de la serie:

$$\begin{aligned}
 w_1(x, y) &= \frac{16q}{\pi^6 D} \frac{\sin\left(\frac{\pi x}{Lx}\right) \sin\left(\frac{\pi y}{Ly}\right)}{\left(\left(\frac{1}{Lx}\right)^2 + \left(\frac{1}{Ly}\right)^2\right)^2}; \\
 w_2(x, y) &= \frac{16q}{\pi^6 D} \frac{\sin\left(\frac{3\pi x}{Lx}\right) \sin\left(\frac{\pi y}{Ly}\right)}{3\left(\left(\frac{3}{Lx}\right)^2 + \left(\frac{1}{Ly}\right)^2\right)^2}; \\
 w_3(x, y) &= \frac{16q}{\pi^6 D} \frac{\sin\left(\frac{\pi x}{Lx}\right) \sin\left(\frac{3\pi y}{Ly}\right)}{3\left(\left(\frac{1}{Lx}\right)^2 + \left(\frac{3}{Ly}\right)^2\right)^2}; \\
 w_4(x, y) &= \frac{16q}{\pi^6 D} \frac{\sin\left(\frac{3\pi x}{Lx}\right) \sin\left(\frac{3\pi y}{Ly}\right)}{9\left(\left(\frac{3}{Lx}\right)^2 + \left(\frac{3}{Ly}\right)^2\right)^2}; \rightarrow \text{Ec. 67}
 \end{aligned}$$

Y teniendo en cuenta que calculamos en el centro de la placa:

$$\begin{aligned}
 w_1\left(\frac{Lx}{2}, \frac{Ly}{2}\right) &= \frac{16q}{\pi^6 D} \frac{\sin\left(\frac{\pi}{2}\right) \sin\left(\frac{\pi}{2}\right)}{\left(\left(\frac{1}{Lx}\right)^2 + \left(\frac{1}{Ly}\right)^2\right)^2} = \frac{16q}{\pi^6 D} \frac{1}{\left(\left(\frac{1}{Lx}\right)^2 + \left(\frac{1}{Ly}\right)^2\right)^2}; \\
 w_2\left(\frac{Lx}{2}, \frac{Ly}{2}\right) &= \frac{16q}{\pi^6 D} \frac{\sin\left(\frac{3\pi}{2}\right) \sin\left(\frac{\pi}{2}\right)}{3\left(\left(\frac{3}{Lx}\right)^2 + \left(\frac{1}{Ly}\right)^2\right)^2} = \frac{16q}{\pi^6 D} \frac{1}{3\left(\left(\frac{3}{Lx}\right)^2 + \left(\frac{1}{Ly}\right)^2\right)^2}; \\
 w_3\left(\frac{Lx}{2}, \frac{Ly}{2}\right) &= \frac{16q}{\pi^6 D} \frac{\sin\left(\frac{\pi}{2}\right) \sin\left(\frac{3\pi}{2}\right)}{3\left(\left(\frac{1}{Lx}\right)^2 + \left(\frac{3}{Ly}\right)^2\right)^2} = \frac{16q}{\pi^6 D} \frac{1}{3\left(\left(\frac{1}{Lx}\right)^2 + \left(\frac{3}{Ly}\right)^2\right)^2}; \\
 w_4\left(\frac{Lx}{2}, \frac{Ly}{2}\right) &= \frac{16q}{\pi^6 D} \frac{\sin\left(\frac{3\pi}{2}\right) \sin\left(\frac{3\pi}{2}\right)}{9\left(\left(\frac{3}{Lx}\right)^2 + \left(\frac{3}{Ly}\right)^2\right)^2} = \frac{16q}{\pi^6 D} \frac{1}{9\left(\left(\frac{3}{Lx}\right)^2 + \left(\frac{3}{Ly}\right)^2\right)^2}; \rightarrow \text{Ec. 68}
 \end{aligned}$$

9.1.2 Motor principal.

Aplicando **Ec.65** tenemos que la rigidez específica de la placa es de:

$$D = \frac{210 \cdot 10^9 \cdot 0.007^3}{12(1 - 30^2)} = 8575 \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 \rightarrow \text{Ec. 69}$$

La carga aplicada es de 5000Pa, y la placa tiene unas dimensiones de 0.6x0.5x0.007m, luego los desplazamientos de los centros para cada armónico son:

$$\begin{aligned} w_1\left(\frac{Lx}{2}, \frac{Ly}{2}\right) &= \frac{16 \cdot 5000}{\pi^6 8575} \frac{1}{\left(\left(\frac{1}{0.6}\right)^2 + \left(\frac{1}{0.5}\right)^2\right)^2} \text{ m} = 0.21 \text{ mm}; \\ w_2\left(\frac{Lx}{2}, \frac{Ly}{2}\right) &= \frac{16 \cdot 5000}{\pi^6 8575} \frac{1}{3 \left(\left(\frac{3}{0.6}\right)^2 + \left(\frac{1}{0.5}\right)^2\right)^2} = 3.8 \cdot 10^{-3} \text{ mm}; \\ w_3\left(\frac{Lx}{2}, \frac{Ly}{2}\right) &= \frac{16 \cdot 5000}{\pi^6 8575} \frac{1}{3 \left(\left(\frac{1}{0.6}\right)^2 + \left(\frac{3}{0.5}\right)^2\right)^2} = 2.2 \cdot 10^{-3} \text{ mm}; \\ w_4\left(\frac{Lx}{2}, \frac{Ly}{2}\right) &= \frac{16 \cdot 5000}{\pi^6 8575} \frac{1}{9 \left(\left(\frac{3}{0.6}\right)^2 + \left(\frac{3}{0.5}\right)^2\right)^2} = 0.29 \cdot 10^{-3} \text{ mm}; \end{aligned} \rightarrow \text{Ec. 70}$$

Como se puede comprobar, sólo el primer armónico tiene un efecto relevante, a partir de este momento nos conformaremos con calcular el armónico dominante.

Por tanto, en el caso del motor principal, la chapa se deforma 0.21mm.

9.1.3 Motores auxiliares.

En este caso tenemos la misma rigidez específica que en el caso anterior, pues es el mismo material, y el mismo espesor.

La carga es de 8kPa, y la placa tiene unas dimensiones de 1x1x0.007m, lo que nos lleva a un desplazamiento tal que:

$$w\left(\frac{Lx}{2}, \frac{Ly}{2}\right) = \frac{16 \cdot 5000}{\pi^6 8575} \frac{1}{\left(\left(\frac{1}{1.0}\right)^2 + \left(\frac{1}{1.0}\right)^2\right)^2} \text{ m} = 1.4 \text{ mm}; \rightarrow \text{Ec. 71}$$

Un desplazamiento notable, que más tarde veremos que tensiones origina en la estructura, y si son admisibles, o se requiere un refuerzo localizado en la zona.

9.1.4 Grúa de proa.

La grúa de proa descansa sobre una cubierta de acero de 7mm, luego comparte la rigidez específica de los anteriores casos.

En este caso, la carga máxima, que se dará cuando la grúa este izando la máxima carga, es de 40kPa, que se aplican sobre planchas de 1x0.23x0.007m, se traduce en un desplazamiento máximo de:

$$w\left(\frac{Lx}{2}, \frac{Ly}{2}\right) = \frac{16 \cdot 40000}{\pi^6 8575} \frac{1}{\left(\left(\frac{1}{1.0}\right)^2 + \left(\frac{1}{0.23}\right)^2\right)^2} \text{ m} = 0.25 \text{ mm}; \rightarrow \text{Ec. 72}$$

9.1.5 Grúa de popa.

La grúa de popa descansa sobre una cubierta de 7mm de aluminio 5083, de tal forma que su rigidez específica es tal que:

$$D = \frac{70 \cdot 10^9 \cdot 0.007^3}{12(1 - 0.33^2)} = 2245 \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 \rightarrow \text{Ec. 73}$$

En este caso, cuando la grúa se encuentre operando su máxima carga, la presión sobre la estructura será de 40kPa, afectando a placas de 0.5x0.5x0.007m:

$$w\left(\frac{Lx}{2}, \frac{Ly}{2}\right) = \frac{16 \cdot 40000}{\pi^6 2245} \frac{1}{\left(\left(\frac{1}{0.5}\right)^2 + \left(\frac{1}{0.5}\right)^2\right)^2} \text{ m} = 2.31 \text{ mm}; \rightarrow \text{Ec. 74}$$

Una deformación significativa.

9.2 Momentos flectores.

9.2.1 Metodología.

De cara a calcular las tensiones, que será lo que comparemos con la resistencia del material, es necesario conocer los momentos flectores que se producen, lo que responde a las siguientes expresiones:

$$\begin{aligned} m_x &= -D \left(\frac{\delta^2 w}{\delta x^2} + \nu \frac{\delta^2 w}{\delta y^2} \right); \\ m_y &= -D \left(\nu \frac{\delta^2 w}{\delta x^2} + \frac{\delta^2 w}{\delta y^2} \right); \rightarrow \text{Ec. 75} \\ m_{xy} &= -D(1 - \nu) \left(\frac{\delta^2 w}{\delta x \delta y} \right); \end{aligned}$$

Todas las derivadas son conocidas a partir de las ecuaciones 67, luego podemos actuar de la misma forma, y es descomponer cada momento flector en la suma de cuatro armónicos tal que, para el momento según x, en el centro de la placa:

$$\begin{aligned}
 m_{x1}\left(\frac{Lx}{2}, \frac{Ly}{2}\right) &= \frac{16q}{\pi^6} \left[\left(\frac{\pi}{Lx}\right)^2 + \nu \left(\frac{\pi}{Ly}\right)^2 \right] \frac{\sin\left(\frac{\pi}{2}\right) \sin\left(\frac{\pi}{2}\right)}{\left(\left(\frac{1}{Lx}\right)^2 + \left(\frac{1}{Ly}\right)^2\right)^2}; \\
 m_{x2}\left(\frac{Lx}{2}, \frac{Ly}{2}\right) &= \frac{16q}{\pi^6} \left[\left(\frac{3\pi}{Lx}\right)^2 + \nu \left(\frac{\pi}{Ly}\right)^2 \right] \frac{\sin\left(\frac{3\pi}{2}\right) \sin\left(\frac{\pi}{2}\right)}{3 \left(\left(\frac{3}{Lx}\right)^2 + \left(\frac{1}{Ly}\right)^2\right)^2}; \\
 m_{x3}\left(\frac{Lx}{2}, \frac{Ly}{2}\right) &= \frac{16q}{\pi^6} \left[\left(\frac{\pi}{Lx}\right)^2 + \nu \left(\frac{3\pi}{Ly}\right)^2 \right] \frac{\sin\left(\frac{\pi}{2}\right) \sin\left(\frac{3\pi}{2}\right)}{3 \left(\left(\frac{1}{Lx}\right)^2 + \left(\frac{3}{Ly}\right)^2\right)^2}; \\
 m_{x4}\left(\frac{Lx}{2}, \frac{Ly}{2}\right) &= \frac{16q}{\pi^6} \left[\left(\frac{3\pi}{Lx}\right)^2 + \nu \left(\frac{3\pi}{Ly}\right)^2 \right] \frac{\sin\left(\frac{3\pi}{2}\right) \sin\left(\frac{3\pi}{2}\right)}{9 \left(\left(\frac{3}{Lx}\right)^2 + \left(\frac{3}{Ly}\right)^2\right)^2}; \rightarrow \text{Ec. 76}
 \end{aligned}$$

Siendo la suma de todos ellos el momento flector:

$$m_x\left(\frac{Lx}{2}, \frac{Ly}{2}\right) = m_{x1}\left(\frac{Lx}{2}, \frac{Ly}{2}\right) + m_{x2}\left(\frac{Lx}{2}, \frac{Ly}{2}\right) + m_{x3}\left(\frac{Lx}{2}, \frac{Ly}{2}\right) + m_{x4}\left(\frac{Lx}{2}, \frac{Ly}{2}\right) \rightarrow \text{Ec. 77}$$

De forma análoga el momento en y:

$$\begin{aligned}
 m_{y1}\left(\frac{Lx}{2}, \frac{Ly}{2}\right) &= \frac{16q}{\pi^6} \left[\nu \left(\frac{\pi}{Lx}\right)^2 + \left(\frac{\pi}{Ly}\right)^2 \right] \frac{\sin\left(\frac{\pi}{2}\right) \sin\left(\frac{\pi}{2}\right)}{\left(\left(\frac{1}{Lx}\right)^2 + \left(\frac{1}{Ly}\right)^2\right)}; \\
 m_{y2}\left(\frac{Lx}{2}, \frac{Ly}{2}\right) &= \frac{16q}{\pi^6} \left[\nu \left(\frac{3\pi}{Lx}\right)^2 + \left(\frac{\pi}{Ly}\right)^2 \right] \frac{\sin\left(\frac{3\pi}{2}\right) \sin\left(\frac{\pi}{2}\right)}{\left(\left(\frac{3}{Lx}\right)^2 + \left(\frac{1}{Ly}\right)^2\right)}; \\
 m_{y3}\left(\frac{Lx}{2}, \frac{Ly}{2}\right) &= \frac{16q}{\pi^6} \left[\nu \left(\frac{\pi}{Lx}\right)^2 + \left(\frac{3\pi}{Ly}\right)^2 \right] \frac{\sin\left(\frac{\pi}{2}\right) \sin\left(\frac{3\pi}{2}\right)}{\left(\left(\frac{1}{Lx}\right)^2 + \left(\frac{3}{Ly}\right)^2\right)}; \\
 m_{y4}\left(\frac{Lx}{2}, \frac{Ly}{2}\right) &= \frac{16q}{\pi^6} \left[\nu \left(\frac{3\pi}{Lx}\right)^2 + \left(\frac{3\pi}{Ly}\right)^2 \right] \frac{\sin\left(\frac{3\pi}{2}\right) \sin\left(\frac{3\pi}{2}\right)}{\left(\left(\frac{3}{Lx}\right)^2 + \left(\frac{3}{Ly}\right)^2\right)}; \rightarrow \text{Ec. 78}
 \end{aligned}$$

Siendo la suma de todos ellos el momento flector:

$$m_y\left(\frac{Lx}{2}, \frac{Ly}{2}\right) = m_{y1}\left(\frac{Lx}{2}, \frac{Ly}{2}\right) + m_{y2}\left(\frac{Lx}{2}, \frac{Ly}{2}\right) + m_{y3}\left(\frac{Lx}{2}, \frac{Ly}{2}\right) + m_{y4}\left(\frac{Lx}{2}, \frac{Ly}{2}\right) \rightarrow \text{Ec. 79}$$

Y por último el momento en xy:

$$\begin{aligned}
 m_{xy1}\left(\frac{Lx}{2}, \frac{Ly}{2}\right) &= -\frac{16q}{\pi^6} (1-\nu) \left[\left(\frac{\pi}{Lx}\right) \left(\frac{\pi}{Ly}\right) \right] \frac{\cos\left(\frac{\pi}{2}\right) \cos\left(\frac{\pi}{2}\right)}{\left(\left(\frac{1}{Lx}\right)^2 + \left(\frac{1}{Ly}\right)^2\right)}; \\
 m_{xy2}\left(\frac{Lx}{2}, \frac{Ly}{2}\right) &= -\frac{16q}{\pi^6} (1-\nu) \left[\left(\frac{3\pi}{Lx}\right) \left(\frac{\pi}{Ly}\right) \right] \frac{\cos\left(\frac{3\pi}{2}\right) \cos\left(\frac{\pi}{2}\right)}{\left(\left(\frac{3}{Lx}\right)^2 + \left(\frac{1}{Ly}\right)^2\right)}; \\
 m_{xy3}\left(\frac{Lx}{2}, \frac{Ly}{2}\right) &= -\frac{16q}{\pi^6} (1-\nu) \left[\left(\frac{\pi}{Lx}\right) \left(\frac{3\pi}{Ly}\right) \right] \frac{\cos\left(\frac{\pi}{2}\right) \cos\left(\frac{3\pi}{2}\right)}{\left(\left(\frac{1}{Lx}\right)^2 + \left(\frac{3}{Ly}\right)^2\right)}; \\
 m_{xy4}\left(\frac{Lx}{2}, \frac{Ly}{2}\right) &= -\frac{16q}{\pi^6} (1-\nu) \left[\left(\frac{3\pi}{Lx}\right) \left(\frac{3\pi}{Ly}\right) \right] \frac{\cos\left(\frac{3\pi}{2}\right) \cos\left(\frac{3\pi}{2}\right)}{\left(\left(\frac{3}{Lx}\right)^2 + \left(\frac{3}{Ly}\right)^2\right)}; \rightarrow \text{Ec. 80}
 \end{aligned}$$

Siendo la suma de todos ellos el momento flector:

$$m_{xy}\left(\frac{Lx}{2}, \frac{Ly}{2}\right) = m_{xy1}\left(\frac{Lx}{2}, \frac{Ly}{2}\right) + m_{xy2}\left(\frac{Lx}{2}, \frac{Ly}{2}\right) + m_{xy3}\left(\frac{Lx}{2}, \frac{Ly}{2}\right) + m_{xy4}\left(\frac{Lx}{2}, \frac{Ly}{2}\right) \rightarrow \text{Ec. 81}$$

Aunque en este caso, todos los momentos flectores cruzados son nulos, un caso particular del centro de la placa.

$$m_{xy}\left(\frac{Lx}{2}, \frac{Ly}{2}\right) = 0 \rightarrow \text{Ec. 82}$$

Es decir, allí donde las tensiones son máximas, la tensión cruzada respecto de xy es nula.

9.2.2 Motor principal.

Si calculamos los momentos flectores para la cubierta que soporta el motor principal, y para los distintos armónicos, tenemos lo siguiente:

$$\begin{aligned}
 m_{x1}\left(\frac{Lx}{2}, \frac{Ly}{2}\right) &= \frac{16 \cdot 4000}{\pi^6} \left[\left(\frac{\pi}{0.6}\right)^2 + 0.3 \left(\frac{\pi}{0.5}\right)^2 \right] \frac{1}{\left(\left(\frac{1}{0.6}\right)^2 + \left(\frac{1}{0.5}\right)^2\right)^2} \frac{N \cdot m}{m} = 56.9 \frac{N \cdot m}{m}; \\
 m_{x2}\left(\frac{Lx}{2}, \frac{Ly}{2}\right) &= \frac{16 \cdot 4000}{\pi^6} \left[\left(\frac{3\pi}{0.6}\right)^2 + \nu \left(\frac{\pi}{0.5}\right)^2 \right] \frac{1}{3 \left(\left(\frac{3}{0.6}\right)^2 + \left(\frac{1}{0.5}\right)^2\right)^2} \frac{N \cdot m}{m} = 0.65 \frac{N \cdot m}{m}; \\
 m_{x3}\left(\frac{Lx}{2}, \frac{Ly}{2}\right) &= \frac{16 \cdot 4000}{\pi^6} \left[\left(\frac{\pi}{0.6}\right)^2 + \nu \left(\frac{3\pi}{0.5}\right)^2 \right] \frac{1}{3 \left(\left(\frac{1}{0.6}\right)^2 + \left(\frac{3}{0.5}\right)^2\right)^2} \frac{N \cdot m}{m} = 0.54 \frac{N \cdot m}{m}; \\
 m_{x4}\left(\frac{Lx}{2}, \frac{Ly}{2}\right) &= \frac{16 \cdot 4000}{\pi^6} \left[\left(\frac{3\pi}{0.6}\right)^2 + \nu \left(\frac{3\pi}{0.5}\right)^2 \right] \frac{1}{9 \left(\left(\frac{3}{0.6}\right)^2 + \left(\frac{3}{0.5}\right)^2\right)^2} \frac{N \cdot m}{m} = 2.1 \cdot 10^{-2} \frac{N \cdot m}{m};
 \end{aligned}
 \rightarrow \text{Ec. 83}$$

En este caso el error de no calcular los armónicos de segundo orden es algo mayor, concretamente de O(2), no obstante, teniendo en cuenta las fuertes hipótesis realizadas al comienzo del estudio hacen que un error de ese tipo no sea significativo, y por tanto podemos optar por ignorar los armónicos de segundo orden, y limitarnos al armónico principal de ahora en adelante.

El momento flector resultante es de:

$$m_x\left(\frac{Lx}{2}, \frac{Ly}{2}\right) = 56.9 + 0.7 + 0.5 + 0.0 \frac{N \cdot m}{m} = 58.1 \frac{N \cdot m}{m}; \rightarrow \text{Ec. 84}$$

El momento flector en y será tal que:

$$m_y\left(\frac{Lx}{2}, \frac{Ly}{2}\right) = \frac{16 \cdot 4000}{\pi^6} \left[0.3 \left(\frac{\pi}{0.6}\right)^2 + \left(\frac{\pi}{0.5}\right)^2 \right] \frac{1}{\left(\left(\frac{1}{0.6}\right)^2 + \left(\frac{1}{0.5}\right)^2\right)^2} \frac{N \cdot m}{m} = 69.1 \frac{N \cdot m}{m}; \rightarrow \text{Ec. 85}$$

Como nos interesa la tensión máxima que se produce, nos quedamos con el máximo valor del momento flector:

$$m\left(\frac{Lx}{2}, \frac{Ly}{2}\right) = \max\left(m_x\left(\frac{Lx}{2}, \frac{Ly}{2}\right), m_y\left(\frac{Lx}{2}, \frac{Ly}{2}\right)\right) = 69.1 \frac{N \cdot m}{m}; \rightarrow \text{Ec. 86}$$

Que evidentemente es el momento que se produce sobre el lado corto de la estructura, donde la curvatura adquirida es mayor.

Así pues, de ahora en adelante, tomaremos únicamente el momento sobre el lado más corto de la placa.

9.2.3 Motor auxiliar.

El momento máximo para la cubierta que soporta cada motor auxiliar será tal que:

$$m\left(\frac{Lx}{2}, \frac{Ly}{2}\right) = \frac{16 \cdot 5000}{\pi^6} \left[0.3 \left(\frac{\pi}{1.0}\right)^2 + \left(\frac{\pi}{1.0}\right)^2 \right] \frac{1}{\left(\left(\frac{1}{1.0}\right)^2 + \left(\frac{1}{1.0}\right)^2\right)^2} \frac{N \cdot m}{m} = 1067.7 \frac{N \cdot m}{m}; \rightarrow \text{Ec. 87}$$

9.2.4 Grúa de proa.

El momento flector ejercido sobre la cubierta de proa por la grúa izando será tal que:

$$m\left(\frac{Lx}{2}, \frac{Ly}{2}\right) = \frac{16 \cdot 40000}{\pi^6} \left[0.3 \left(\frac{\pi}{1.0} \right)^2 + \left(\frac{\pi}{0.23} \right)^2 \right] \frac{1}{\left(\left(\frac{1}{1.0} \right)^2 + \left(\frac{1}{0.23} \right)^2 \right)^2} \frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{m}} = 318.5 \frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{m}}; \rightarrow \text{Ec. 88}$$

9.2.5 Grúa de popa.

La grúa de popa izando su máxima carga hace aparecer un momento flector en la cubierta de aluminio que la soporta tal que:

$$m\left(\frac{Lx}{2}, \frac{Ly}{2}\right) = \frac{16 \cdot 40000}{\pi^6} \left[0.3 \left(\frac{\pi}{0.5} \right)^2 + \left(\frac{\pi}{0.5} \right)^2 \right] \frac{1}{\left(\left(\frac{1}{0.5} \right)^2 + \left(\frac{1}{0.5} \right)^2 \right)^2} \frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{m}} = 533.8 \frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{m}}; \rightarrow \text{Ec. 89}$$

9.3 Tensiones.

9.3.1 Metodología.

Una vez calculados los momentos flectores, calcular las tensiones es inmediato aplicando las siguientes expresiones:

$$\begin{aligned} \sigma_{xx}(x, y) &= \frac{12z}{t^3} m_y(x, y); \\ \sigma_{yy}(x, y) &= \frac{12z}{t^3} m_x(x, y); \\ \sigma_{xy}(x, y) &= \frac{12z}{t^3} (1 - \nu) m_{xy}(x, y) = 0; \\ \sigma_{zz}(x, y) &= \sigma_{yz}(x, y) = \sigma_{zx}(x, y) = 0 \end{aligned} \rightarrow \text{Ec. 90}$$

Tensiones que serán máximas en el centro de la placa, cuando z sea $t/2$:

$$\begin{aligned} \sigma_{xx}\left(\frac{Lx}{2}, \frac{Ly}{2}\right) &= \frac{6}{t^2} m_y\left(\frac{Lx}{2}, \frac{Ly}{2}\right); \\ \sigma_{yy}\left(\frac{Lx}{2}, \frac{Ly}{2}\right) &= \frac{6}{t^2} m_x\left(\frac{Lx}{2}, \frac{Ly}{2}\right); \\ \sigma_{xy}\left(\frac{Lx}{2}, \frac{Ly}{2}\right) &= \frac{6}{t^2} (1 - \nu) m_{xy}\left(\frac{Lx}{2}, \frac{Ly}{2}\right) = 0; \\ \sigma_{zz}(x, y) &= \sigma_{yz}(x, y) = \sigma_{zx}(x, y) = 0 \end{aligned} \rightarrow \text{Ec. 91}$$

No obstante, la tensión máxima se produce para el momento flector máximo, que es el producido en el lado más corto de la estructura, que nosotros hemos tomado como m_y .

Así pues, podemos limitarnos a calcular la tensión máxima:

$$\sigma\left(\frac{Lx}{2}, \frac{Ly}{2}\right) = \frac{6}{t^2} m\left(\frac{Lx}{2}, \frac{Ly}{2}\right); \rightarrow \text{Ec. 92}$$

9.3.2 Motor principal.

La tensión máxima que soporta la cubierta resulta de aplicar **Ec. 92** con el resultado de **Ec. 86**:

$$\sigma\left(\frac{Lx}{2}, \frac{Ly}{2}\right) = \frac{6}{0.007^2} \cdot 69.1 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 8.5\text{MPa}; \rightarrow \text{Ec. 93}$$

9.3.3 Motor auxiliar.

Actuando de forma análoga, la tensión ejercida sobre las plataformas suspendidas en cámara de máquinas es tal que:

$$\sigma\left(\frac{Lx}{2}, \frac{Ly}{2}\right) = \frac{6}{0.007^2} \cdot 1067.7 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 130.8\text{MPa}; \rightarrow \text{Ec. 94}$$

9.3.4 Grúa de proa.

La grúa de proa hace aparecer unas tensiones sobre la cubierta que la soporta tal que:

$$\sigma\left(\frac{Lx}{2}, \frac{Ly}{2}\right) = \frac{6}{0.007^2} \cdot 318.5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 39.0\text{MPa}; \rightarrow \text{Ec. 95}$$

9.3.5 Grúa de popa.

La grúa de popa, que descansa sobre una cubierta suspendida de aluminio, hace aparecer unas tensiones internas tal que:

$$\sigma\left(\frac{Lx}{2}, \frac{Ly}{2}\right) = \frac{6}{0.007^2} \cdot 533.8 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 65.4\text{MPa}; \rightarrow \text{Ec. 96}$$

9.4 Resistencia de la estructura.

En un principio, Siempre que la tensión aparecida este por debajo del límite elástico del material, este será capaz de aguantarlo.

No obstante, frente a lo anterior hay que decir que en el estudio se han hecho fuertes hipótesis que restan garantía a los resultados.

Además, en el cálculo se han desestimado los armónicos de segundo orden y superiores, tomando únicamente los armónicos de primer orden. Se puede demostrar que esta serie impar acota superiormente a la suma de todos los términos eliminados, de tal forma que todos los términos restantes nunca suman más del 0.5 del último término empleado. Esto quiere decir que en el peor de los casos la tensión podría ser un 50% superior a ese valor.

Por último, hay que tener en cuenta que todas las cargas en un barco producen fatiga, lo que reduce la capacidad del material significativamente. Además, las grúas no trabajan continuamente, haciendo que la carga sobre la estructura fluctúe en el tiempo en ciclos de alto periodo, mientras que los motores inducen vibraciones sobre la estructura, haciendo aparecer fluctuaciones de corto periodo.

Por todo ello, sería conveniente que las tensiones se mantuvieran por debajo del 50% del límite elástico, para así tener ciertas garantías de que la estructura aguantará lo suficiente.

9.4.1 Motor principal.

El límite elástico del acero es de 235MPa, mientras que la carga del motor sobre la cubierta es de 8.5MPa, luego el factor de seguridad es tal que:

$$\mu = 1 - \frac{\sigma}{\sigma_e} = 1 - \frac{8.5}{235} = 0.96; \rightarrow \text{Ec. 97}$$

Este factor debe mantenerse siempre por encima de 0.5, tal y como hemos dicho. En este caso la estructura que soporta el motor principal es suficiente.

9.4.2 Motores auxiliares.

En este caso, el factor de seguridad es tal que:

$$\mu = 1 - \frac{\sigma}{\sigma_e} = 1 - \frac{130.8}{235} = 0.44; \rightarrow \text{Ec. 98}$$

En este caso la estructura sufre tensiones que, a pesar de estar lejos del límite elástico, no respeta el factor de seguridad de 0.5 que habíamos impuesto.

Por lo tanto, bajo el motor principal sería conveniente reforzar la estructura de la plataforma suspendida. Se situarán por tanto baos cada cuaderna bajo el motor principal.

9.4.3 Grúa de proa.

En el caso de la grúa de proa el factor de seguridad es tal que:

$$\mu = 1 - \frac{\sigma}{\sigma_e} = 1 - \frac{39.0}{235} = 0.83; \rightarrow \text{Ec. 99}$$

Luego la estructura en esta zona es suficiente.

9.4.4 Grúa de popa.

Para la cubierta suspendida de aluminio que sostiene la grúa de popa, el factor de seguridad es tal que:

$$\mu = 1 - \frac{\sigma}{\sigma_e} = 1 - \frac{65.4}{140} = 0.0.53; \rightarrow \text{Ec. 100}$$

Luego en este caso la estructura es también suficiente para la misión que realiza.

10 Acrónimos.

C , calado de escantillonado (5.1).

L , eslora de escantillonado (5.1).

B , manga de escantillonado (5.1).

s , clara de cuadernas (5.4).

c_T , es el coeficiente del calado (5.4).

k , coeficiente en función del material empleado (5.4).

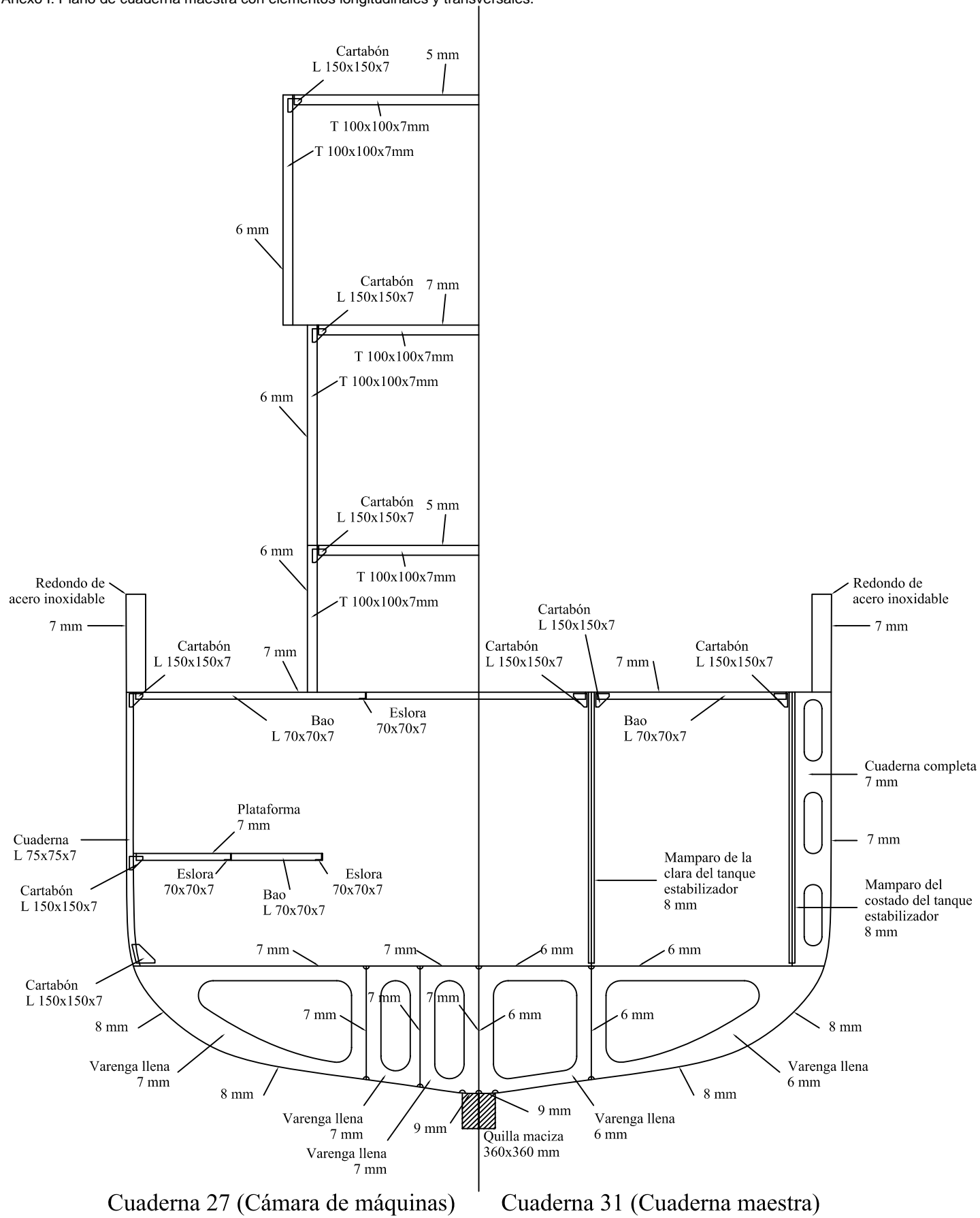
n_2 , coeficiente en función del tipo de navegación (5.4).

P_F , presión de diseño en el fondo (5.4).

P_{ST} , presión de ensayo de tanques (5.4).

t , espesor (5.4).
 h_{DB} , altura del doble fondo (5.4).
 c_a , relación de aspecto (5.4).
 w , modulo (5.4).
 P_{SS} , presión de costado de diseño (5.4).
 A , área (5.4).
 \mathcal{G} , parámetro de ola (8).
 $Z_{R,MIN}$, módulo mínimo reglamentario (8).
 I_{YR} , momento de inercia mínimo reglamentario (8).
 $w(x, y)$, desplazamiento en cubierta debido a una carga (9.1).
 q , carga uniformemente distribuida sobre la cubierta (9.1).
 D , resistencia específica de la estructura (9.1).
 E , módulo de Young del material (9.1).
 t , espesor de la plancha de cubierta (9.1).
 ν , coeficiente de Poisson (9.1).
 Lx , longitud más larga de la placa considerada (9.1).
 Ly , longitud más corta de la placa considerada (9.1).
 m_x , momento flector unitario en la dirección x de la placa (9.2).
 m_y , momento flector unitario en la dirección y de la placa (9.2).
 m_{xy} , momento flector unitario cruzado de la placa (9.2).
 m , momento flector unitario máximo en la placa (9.2).
 σ , tensión máxima aparecida en la placa (9.3).
 σ_e , límite elástico del material (9.4).
 μ , factor de seguridad de la estructura (9.4).

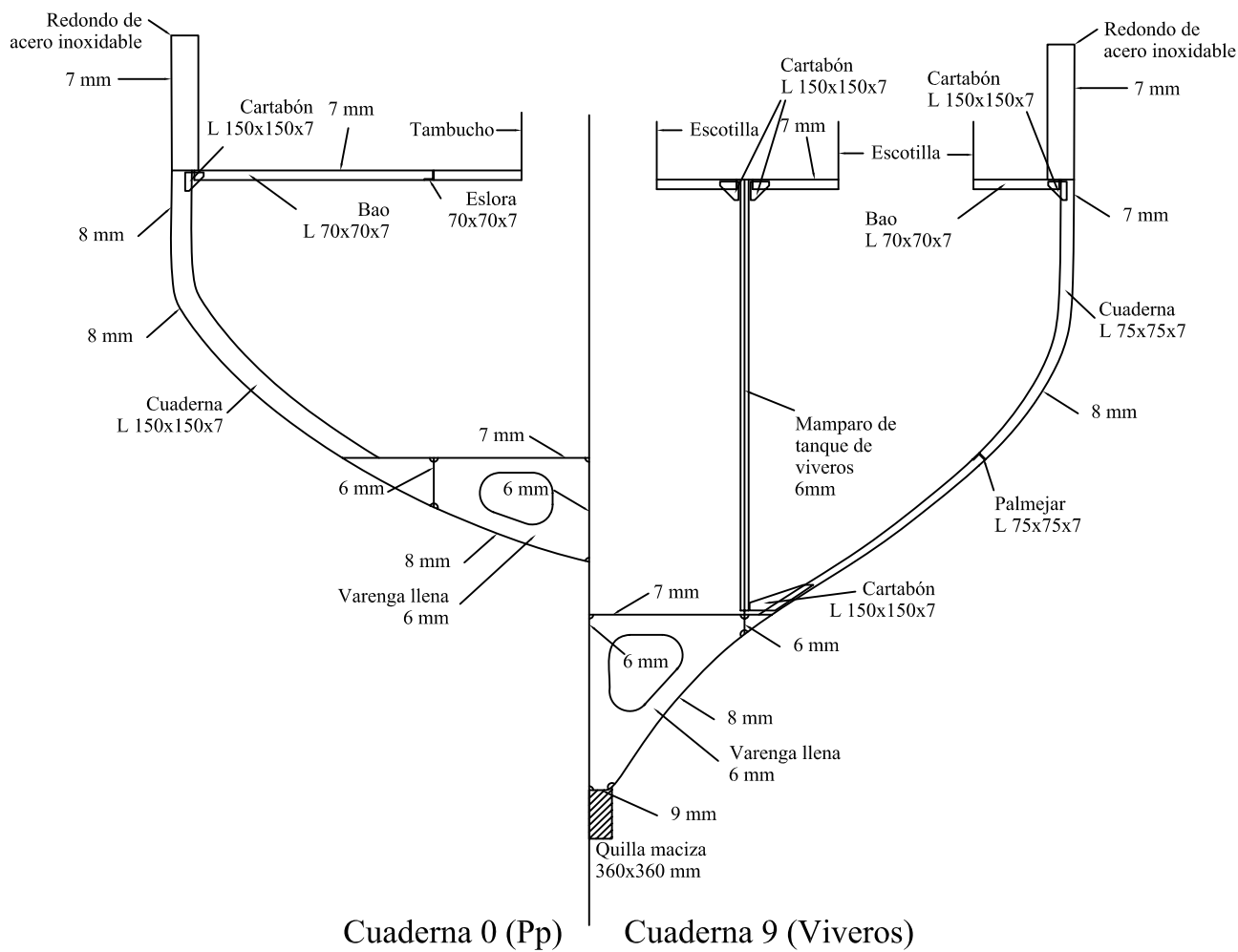
Anexo I: Plano de cuaderna maestra con elementos longitudinales y transversales.



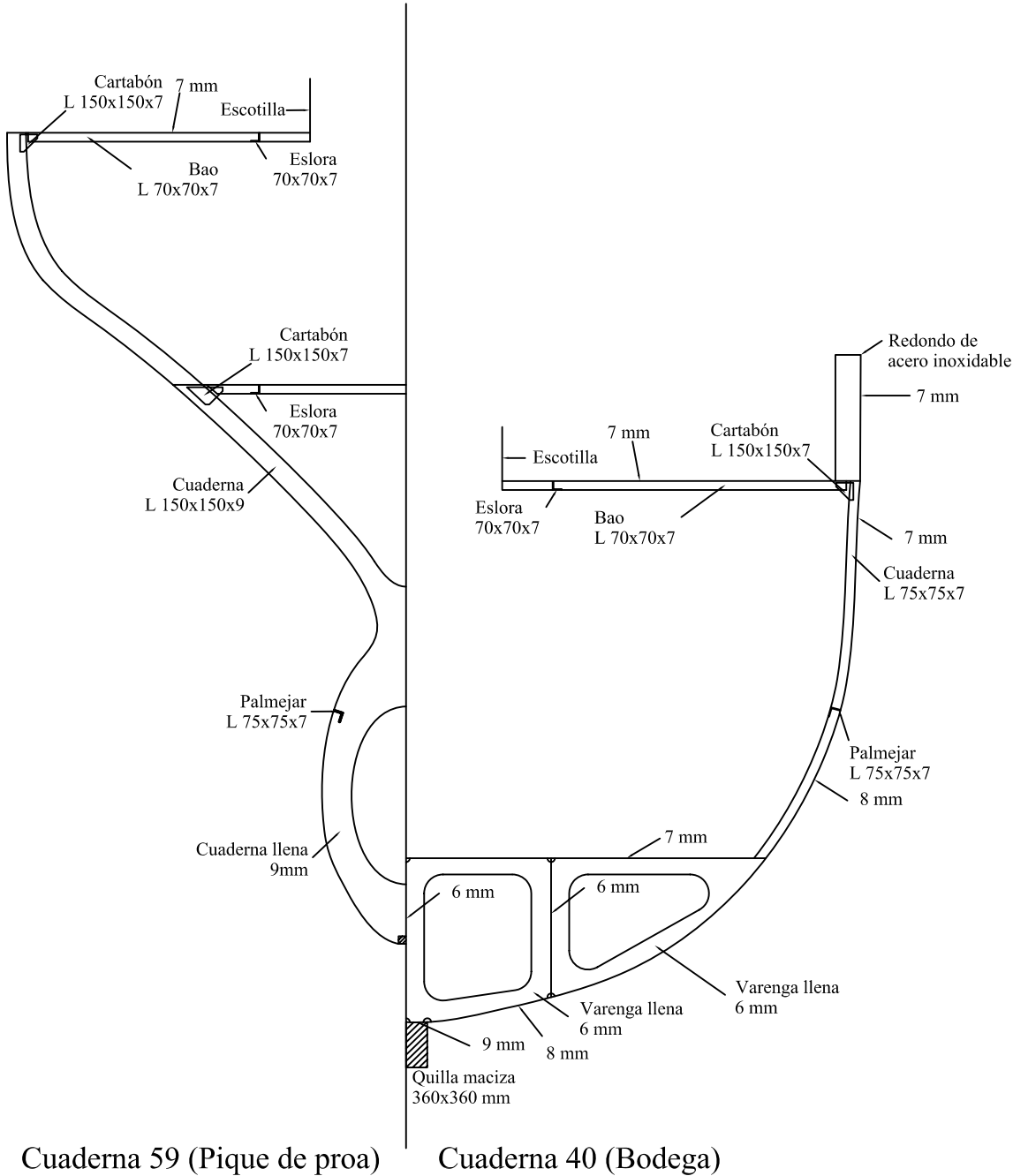
Cuaderna 27 (Cámara de máquinas)

Cuaderna 31 (Cuaderna maestra)

BONITERO DEL CANTÁBRICO	
- Cuaderna Maestra -	1/50
Autor: Jose Luis Cercós Pita Tutor: Antonio Souto Iglesias Cotutor: Ander Lasa Gallurralde	Nº Proyecto: 077



BONITERO DEL CANTÁBRICO	
- Cuaderna Maestra -	1/50
Autor: Jose Luis Cercós Pita	Nº Proyecto: 077
Tutor: Antonio Souto Iglesias	
Cotutor: Ander Lasa Gallurralde	



BONITERO DEL CANTÁBRICO	
- Cuaderna Maestra -	1/50
Autor: Jose Luis Cercós Pita	Nº Proyecto: 077
Tutor: Antonio Souto Iglesias	
Cotutor: Ander Lasa Gallurralde	

BUQUE BONITERO DEL CANTÁBRICO
PROYECTO 077.
CURSO 2009-2010

Pesos y c. de g. del buque en rosca.

DOCUMENTO 11
AUTOR: JOSE LUIS CERCOS PITA
COTUTOR: ANDER LASA GALLURRALDE
TUTOR: ANTONIO SOUTO IGLESIAS

1 Índice de contenidos.

1	<i>Índice de contenidos.</i>	2
2	<i>Especificación del proyecto.</i>	4
3	<i>Objetivos.</i>	5
4	<i>Cálculo aproximado del peso y c. de g. de la estructura (y su distribución longitudinal, si procede).</i>	5
4.1	Elementos longitudinales.	6
4.1.1	Cuaderna maestra (Tanque estabilizador).	7
4.1.2	Cámara de máquinas.	7
4.1.3	Viveros.	8
4.1.4	Popa.	8
4.1.5	Bodega.	9
4.1.6	Proa.	9
4.1.7	Superestructura.	10
4.2	Elementos transversales.	10
4.2.1	Cuaderna maestra (tanque estabilizador).	10
4.2.2	Cámara de máquinas.	10
4.2.3	Viveros.	11
4.2.4	Popa.	11
4.2.5	Bodega.	11
4.2.6	Proa.	11
4.2.7	Superestructura.	12
4.3	Mamparos transversales.	12
4.4	Peso de la estructura y centro de gravedad.	13
4.5	Distribución longitudinal de pesos.	13
5	<i>Cálculo de pesos y c. de g. del equipo y la habilitación.</i>	14
5.1	Peso de equipo de gobierno.	14
5.2	Peso del equipo de salvamento	14
5.3	Peso del equipo contraincendios.	15
5.4	Peso del equipo de fondeo y amarre.	15
5.5	Peso pintura y protección catódica	15
5.6	Peso generador de agua dulce	16
5.7	Instalación eléctrica.	16
5.8	Peso del equipo de navegación.	16
5.9	Peso de habilitación	16
5.10	Hélice y línea de ejes.	17
28.1.	Motor principal	17
5.11	Maquinaria auxiliar y tuberías	17
5.12	Peso y centro de gravedad de los equipos.	18
6	<i>Cálculo de pesos y c. de g. de maquinaria e instalaciones especiales.</i>	18

6.1	Equipos en cubierta.....	18
6.2	Peso y centro de gravedad de los equipos especiales.	18
7	<i>Peso y c. de g. del buque en rosca (y su distribución longitudinal, si procede).</i> 19	
7.1	Peso en rosca.	19
7.2	Centro de gravedad del buque en rosca.	19
7.3	Distribución de pesos.....	20
8	<i>Acrónimos.</i>	20

2 Especificación del proyecto.

- CLASIFICACIÓN: **Bureau Veritas**
- TRB: **149**
- GT: **230**
- VOLUMEN DE COMBUSTIBLE: **70 m³**
- VOLUMEN DE VIVEROS: **50 m³**
- VELOCIDAD EN PRUEBAS: **12 .5 kn al 90% MCR**
- EQUIPO PROPULSOR: **Motor Diesel**
- ALOJAMIENTOS: **15 tripulantes**
- ASPECTOS ADICIONALES:
 - 1.- El buque dispondrá de una planta de oxigenación del agua de viveros.
 - 2.- El buque dispondrá de un tanque estabilizador pasivo que reduzca al menos un 50% el movimiento de balance durante la maniobra de pesca.
 3. Se presentará además una planificación para la construcción asociada a los medios de un astillero de la sociedad PYMAR del que se disponga de información suficiente.

3 Objetivos.

En este cuaderno trataremos de obtener el peso en rosca del buque, y una posición más precisa del centro de gravedad del buque en rosca, puesto que es un dato de suma importancia.

Durante la realización del proyecto de un buque, siempre se trata de corregir el peso y la posición del centro de gravedad del buque para tener disponible siempre el valor más próximo al real que sea posible.

Para ello se realizará una división de los pesos típica de la ingeniería naval, en la que el peso del buque en rosca se divide en:

1. Peso de la estructura.
2. Peso del equipo y la habilitación.
3. Peso de maquinaria e instalaciones especiales.

De los pesos de cada una de esas partes, y el centro de gravedad de las mismas, saldrá el peso en rosca del buque y el centro de gravedad del mismo.

4 Cálculo aproximado del peso y c. de g. de la estructura (y su distribución longitudinal, si procede).

A partir de la definición de la estructura realizada en el cuaderno 10, podemos calcular, de una forma más detallada a la practicada durante el dimensionamiento del buque, el peso *en acero*, y la posición del centro de gravedad correspondiente.

Para ello se tomará cada una de las secciones antes mencionadas, y de ellas se extrapolará el peso de una zona del barco, para lo que se deberá actuar de forma diferente para los elementos longitudinales y para los elementos transversales.

La sección de los elementos longitudinales no depende, siempre que nos mantengamos en la misma zona del buque, es decir, con la misma estructura, del área de la sección, sino de su perímetro.

Por otro lado, el área de los elementos transversales, y por tanto su peso, viene determinado por el área de la sección.

La fuente más fiable sobre el perímetro y área de cada sección proviene del plano de formas. En el plano de formas, la distancia entre cuadernas, salvo en proa y en popa, es de 1.48m, es decir, aproximadamente tres cuadernas de la estructura del buque, por tanto, supondremos que la estructura entre cuadernas del plano de formas varía linealmente en perímetro y área, una aproximación suficiente para esta fase del proyecto.

Por tanto necesitamos conocer el área y el perímetro de cada cuaderna en el plano de formas, algo que podemos resumir en la siguiente tabla:

Cuaderna	p (m)	A (m ²)
0	15.5	13.4
1	20.0	16.0
2	19.7	18.7
3	19.5	21.1
4	19.5	23.0
5	19.8	24.6
6	20.0	25.7
7	20.2	26.6
8	20.5	26.8
9	20.6	27.0
10	20.7	27.0
11	20.6	26.8
12	20.4	26.4
13	20.2	26.0
14	20.0	25.5
15	19.7	24.5
16	19.5	23.0
17	19.3	20.9
18	19.5	18.8
19	19.7	16.1
20	19.2	10.2
20.5	14.5	4.0
21	5.7	0.8

Tabla 1. Perímetros y áreas de cuadernas en el plano de formas.

Por último necesitaremos añadir algunos elementos puntuales como mamparos transversales.

Con la información de los pesos de los elementos de la estructura podremos conocer el peso de toda la estructura sin más que sumar la de los distintos elementos, y el centro de gravedad aplicando la siguiente fórmula (cdg vertical):

$$Z_g = \frac{\sum P_i \cdot Z_{g,i}}{\sum P_i} \rightarrow \text{Ec. 1}$$

Donde el numerador es la suma de momentos de los elementos de la estructura.

4.1 Elementos longitudinales.

Por tanto, podremos conocer el peso de los elementos longitudinales según la siguiente expresión:

$$P_{long} = A_{long} \cdot \rho_{mat} \cdot l [\text{Tn}] \rightarrow \text{Ec. 2}$$

Donde l es la distancia longitudinal entre cuadernas del plano de formas, o la distancia considerada en cada caso.

El área se deberá escalar en función del perímetro de las secciones anterior y posterior.

El centro de gravedad se situará, en altura en el centroide de la sección, y en posición longitudinal en función de los perímetros:

$$cdg_{x,long} = \frac{x_{pp} \cdot p_{pp} + x_{pr} \cdot p_{pr}}{p_{pp} + p_{pr}} \rightarrow \text{Ec. 3}$$

Siendo p_{pp} y p_{pr} los perímetros de las cuadernas anterior y posterior.

4.1.1 Cuaderna maestra (Tanque estabilizador).

La cuaderna maestra se sitúa en el tanque estabilizador, cuya estructura puede verse en el **Anexo I** del cuaderno anterior.

El tanque estabilizador se encuentra entre la cuaderna 30 y la cuaderna 37, computando una eslora de 3.5m.

La cuaderna 30 de la estructura corresponde a la cuaderna C.10 del plano de formas, mientras que la cuaderna 37, por su parte, se encuentra entre medias de la cuaderna C.12 y la cuaderna C.13.

Así pues, esta zona se describe por las cuadernas C.10, C.11, C.12, y C.13.

De esa forma, aplicando las expresiones 1 y 2, podemos confeccionar la siguiente tabla de pesos y centros de gravedad:

Elemento	A (m ²)	Uds.	P (kg)	Xg (kg)	Zg (kg)
Quilla cajón	0.1296	1	6456.8	16.75	-0.18
Plancha del fondo (y pantoque)	0.0352	2	3507.4	16.75	0.30
Plancha doble fondo	0.0212	2	2107.4	16.75	1.30
Plancha sobre quilla	0.0032	1	161.4	16.75	0.00
Vagra central	0.0078	1	388.6	16.75	0.65
Vagra lateral	0.0070	2	693.0	16.75	0.72
Costado	0.0148	2	1471.7	16.75	3.05
Redondo de cubierta	0.0140	2	1395.2	16.75	4.60
Mamparos del tanque estabilizador	0.0224	4	4464.0	16.75	2.70
Cubierta Principal	0.0025	2	251.1	16.75	4.10

Tabla 2. Pesos y centros de gravedad de los elementos longitudinales de la estructura.

De la información de la anterior tabla, podemos decidir el momento de cada elemento respecto de la línea base, de cara a obtener más adelante el centro de gravedad de la estructura completa:

Elemento	A (m ²)	Uds.	P (kg)	Xg (kg)	Zg (kg)	Mx (kg·m)	Mz (kg·m)
Quilla cajón	0.1296	1	6456.8	16.75	-0.18	108151.90	-1162.23
Plancha del fondo (y pantoque)	0.0352	2	3507.4	16.75	0.30	58749.18	1052.22
Plancha doble fondo	0.0212	2	2107.4	16.75	1.30	35299.58	2739.67
Plancha sobre quilla	0.0032	1	161.4	16.75	0.00	2703.80	0.00
Vagra central	0.0078	1	388.6	16.75	0.65	6509.14	252.59
Vagra lateral	0.0070	2	693.0	16.75	0.72	11608.30	498.98
Costado	0.0148	2	1471.7	16.75	3.05	24651.29	4481.38
Redondo de cubierta	0.0140	2	1395.2	16.75	4.60	23369.13	6417.79
Mamparos del tanque estabilizador	0.0224	4	4464.0	16.75	2.70	74771.69	12052.75
Cubierta Principal	0.0025	2	251.1	16.75	4.10	4205.91	1029.51

Tabla 3. Momentos respecto de la línea base de los elementos longitudinales de la estructura.

4.1.2 Cámara de máquinas.

La estructura de la zona de cámara de máquinas se observa también en el **Anexo I** del anterior cuaderno, sobre resistencia estructural.

La zona de cámara de máquinas ocupa el espacio entre la cuaderna (estructural) 15 y la 30.

La cuaderna 30, ya mencionábamos en el apartado 4.1.1 que corresponde a la cuaderna C.10 del plano de formas, en cambio, la cuaderna 15 coincide con la cuaderna C.5 del plano de formas.

Por tanto, la cámara de máquinas ocupa todo el espacio entre las cuadernas 5 y 10.

Se deja la superestructura para otro apartado.

Aplicando la misma metodología, obtenemos los siguientes pesos, centros de gravedad, y momentos:

Elemento	A (m ²)	Uds.	P (kg)	Xg (kg)	Zg (kg)	Mx (kg·m)	Mz (kg·m)
Quilla cajón	0.1296	1	8141.9	16.75	-0.18	136376.25	-1465.54
Plancha del fondo (y pantoque)	0.0352	2	4422.7	16.75	0.30	74080.93	1326.82
Plancha doble fondo	0.0247	2	3100.3	16.75	1.30	51930.31	4030.41
Plancha sobre quilla	0.0032	1	203.5	16.75	0.00	3409.41	0.00
Vagra central	0.0091	1	571.7	16.75	0.65	9575.80	371.60
Vagra lateral 1	0.0087	2	1087.3	16.75	0.68	18211.70	741.52
Vagra lateral 2	0.0081	2	1019.5	16.75	0.72	17077.34	734.07
Costado	0.0148	2	1855.8	16.75	3.05	31084.53	5650.89
Redondo de cubierta	0.0140	2	1759.3	16.75	4.60	29467.76	8092.64
Tecle	0.0135	2	1697.5	16.75	2.45	28432.76	4158.82
Eslora tecle 1	0.0010	2	123.1	16.75	2.42	2062.48	297.37
Eslora tecle 2	0.0010	2	123.1	16.75	2.42	2062.48	297.37
Cubierta Principal	0.0025	2	316.6	16.75	4.10	5303.52	1298.18
Eslora cubierta principal	0.0010	2	123.1	16.75	4.07	2062.48	500.54

Tabla 4. Distribución de pesos de los elementos longitudinales de la estructura.

4.1.3 Viveros.

La zona de viveros dispone de la estructura que puede observarse en el **Anexo II** del cuaderno 10.

Los viveros ocupan el espacio entre la cuaderna 7 de la estructura, y la cuaderna 15.

En el plano de formas estas cuadernas de la estructura se corresponden con las cuadernas C.2 y C.5.

Concretamente la cuaderna 7 se encuentra a un tercio de la cuaderna C.2, y a dos tercios de la cuaderna C.3.

Si seguimos aplicando la misma metodología llegamos a la siguiente tabla:

Elemento	A (m ²)	Uds.	P (kg)	Xg (kg)	Zg (kg)	Mx (kg·m)	Mz (kg·m)
Quilla cajón	0.1296	1	7456.2	5.50	-0.49	41009.32	-3653.56
Plancha del fondo (y pantoque)	0.0405	2	4657.8	5.50	1.76	25618.17	8197.81
Plancha doble fondo	0.0095	2	1087.4	5.50	1.30	5980.53	1413.58
Plancha sobre quilla	0.0032	1	186.4	5.50	-0.31	1025.23	-57.79
Vagra central	0.0078	1	448.8	5.50	0.34	2468.15	152.58
Vagra lateral	0.0009	2	100.1	5.50	0.92	550.59	92.10
Costado	0.0066	2	757.1	5.50	3.83	4164.22	2899.81
Redondo de cubierta	0.0140	2	1611.1	5.50	4.71	8861.17	7588.38
Mamparo de viveros centrales	0.0193	2	2223.1	5.50	2.60	12226.85	5779.97
Palmejares	0.0011	2	120.8	5.50	2.42	664.50	291.78
Cubierta Principal	0.0252	2	2899.6	5.50	4.21	15948.07	12207.52

Tabla 5. Distribución de pesos de los elementos longitudinales de la estructura.

4.1.4 Popa.

La popa se tomará como toda la zona a popa de los viveros, y se supondrá que toda ella tiene la misma estructura que la del local del servo, cuyo plano puede localizarse en el **Anexo II** del anterior cuaderno.

También se supondrá que a popa de la perpendicular de popa, todas las cuadernas del plano de formas tienen la misma forma, pero el tamaño se escala con la altura que se obtiene del perfil del buque.

Se pueden hacer estimaciones mejores, pero en esta fase del proyecto una aproximación de este tipo será suficiente.

Por tanto, la popa es la zona que abarca desde la cuaderna 7 hasta la cuaderna -7, lo que en el plano de formas corresponde a las cuadernas -3 a 3, realizando la suposición descrita algunos párrafos más arriba para estimar el perímetro de las cuadernas a popa de la perpendicular.

Con esto, la estructura longitudinal en esta zona responde a la siguiente tabla:

Elemento	A (m ²)	Uds.	P (kg)	Xg (kg)	Zg (kg)	Mx (kg·m)	Mz (kg·m)
Plancha del fondo (y pantoque)	0.0312	2	3072.2	1.32	2.99	4055.31	9185.89
Plancha doble fondo	0.0128	2	1261.4	1.32	2.46	1665.02	3102.98
Vagra central	0.0046	1	227.5	1.32	2.08	300.25	471.98
Vagra lateral	0.0022	2	218.6	1.32	2.28	288.55	497.31
Costado	0.0061	2	602.6	1.32	4.17	795.46	2512.94
Redondo de cubierta	0.0140	2	1378.7	1.32	5.09	1819.92	7017.73
Cubierta Principal	0.0216	2	2129.9	1.32	4.59	2811.42	9776.08
Eslora cubierta principal	0.0010	2	96.5	1.32	4.56	127.38	439.55

Tabla 6. Distribución de pesos de los elementos longitudinales de la estructura.

4.1.5 Bodega.

La estructura de la zona de la bodega puede observarse en el **Anexo III** del cuaderno de resistencia estructural.

La zona de la bodega ocupa el espacio entre la cuadernas 37 y 50, lo que computa una eslora de 6.5m.

Estas cuadernas de la estructura se corresponden con las cuadernas C.12 y C.13 en la popa de la bodega (dos tercios a C.13), y con C.16 (dos tercios) y C.17 la proa de la zona.

Actuando de la misma forma que en anteriores espacios obtenemos una distribución de pesos de los elementos longitudinales tal que:

Elemento	A (m ²)	Uds.	P (kg)	Xg (kg)	Zg (kg)	Mx (kg·m)	Mz (kg·m)
Quilla cajón	0.1296	1	7353.8	21.75	-0.18	159945.92	-1323.69
Plancha del fondo (y pantoque)	0.0351	2	3985.6	21.75	0.86	86686.74	3427.61
Plancha doble fondo	0.0200	2	2264.0	21.75	1.30	49242.61	2943.24
Plancha sobre quilla	0.0032	1	183.8	21.75	0.00	3998.65	0.00
Vagra central	0.0078	1	442.6	21.75	0.65	9626.38	287.68
Vagra lateral	0.0066	2	749.0	21.75	0.75	16290.79	561.75
Costado	0.0127	2	1445.8	21.75	3.30	31446.16	4771.14
Redondo de cubierta	0.0140	2	1589.0	21.75	4.79	34560.62	7611.28
Palmejar	0.0011	2	119.2	21.75	2.42	2591.72	287.77
Cubierta Principal	0.0252	2	2859.8	21.75	4.29	62201.19	12268.65
Eslora cubierta principal	0.0010	2	111.2	21.75	4.26	2418.94	473.22

Tabla 7. Distribución de pesos de los elementos longitudinales de la estructura.

4.1.6 Proa.

La zona de proa se estimará en función de la sección de la cuaderna 59 que se puede observar en el **Anexo III** del cuaderno 10.

Esta zona ocupa el espacio entre la cuaderna 55 y 65, que corresponde a las cuadernas C.16 a C.21 del plano de formas.

Podemos actuar de la misma forma que en las anteriores zonas para obtener la siguiente distribución de pesos y centros de gravedad:

Elemento	A (m ²)	Uds.	P (kg)	Xg (kg)	Zg (kg)	Mx (kg·m)	Mz (kg·m)
Barra de la roda	0.0036	1	183.4	27.52	0.65	5046.98	119.21
Costado (y fondo exterior)	0.0622	2	6341.3	27.52	3.64	174513.30	23082.43
Redondo de cubierta	0.0140	2	1426.6	27.52	7.55	39259.28	10770.62
Palmejar	0.0011	2	107.0	27.52	2.42	2944.07	258.36
Cubierta Intermedia	0.0130	2	1319.4	27.52	5.05	36310.21	6663.03
Cubierta Principal	0.0221	2	2253.7	27.52	7.05	62021.76	15888.57
Eslora cubierta intermedia	0.0010	2	99.8	27.52	5.02	2747.80	500.73
Eslora cubierta principal	0.0010	2	99.8	27.52	7.02	2747.80	700.43

Tabla 8. Distribución de pesos de los elementos longitudinales de la estructura.

4.1.7 Superestructura.

La superestructura debe recibir un tratamiento un tanto especial, pues en este caso los mamparos y cubiertas, así como los palmejares se distribuyen de forma que no coinciden con secciones del casco.

Además la superestructura está acabada en aluminio.

Si estudiamos los elementos longitudinales de la superestructura podemos configurar una tabla como la siguiente:

Elemento	A (m ²)	Uds.	P (kg)	Xg (kg)	Zg (kg)	Mx (kg·m)	Mz (kg·m)
Costado inferior	0.0225	2	1400.8	11.25	6.02	15758.70	8432.66
Costado superior	0.0141	2	845.8	12.50	7.22	10572.13	6106.46
Cubierta Inferior	0.0088	2	544.7	11.25	5.63	6128.38	3066.92
Cubierta Intermedia	0.0140	2	1438.8	10.00	7.84	14388.19	11280.34
Cubierta Superior	0.0100	2	602.8	12.50	10.19	7535.03	6142.55
Palmejares	0.0014	8	162.1	6.50	7.84	1053.94	1271.21

Tabla 9. Distribución de pesos de los elementos longitudinales de la estructura.

4.2 Elementos transversales.

Los elementos transversales requieren un tratamiento un tanto diferente a los elementos longitudinales.

Su peso ya no depende del perímetro de la sección considerada, sino del área.

Pero además, estos elementos no son continuos a lo largo de la eslora de la sección, sino que aparecen cada cierto número de cuadernas, y por tanto el cálculo de su peso se debe hacer de acuerdo a la siguiente expresión:

$$P_{trans} = \frac{A_{trans} \cdot e_{trans}}{l_{trans}} \cdot \rho_{mat} \cdot l[Tn] \rightarrow \text{Ec. 4}$$

Donde l_{trans} es la distancia que existe entre cada dos elementos transversales.

Respecto a la posición del centro de gravedad, podemos actuar de una forma análoga, pero entendiendo que se deben usar áreas en lugar de perímetros.

4.2.1 Cuaderna maestra (tanque estabilizador).

Los elementos transversales de la estructura en la zona del tanque estabilizador responden a la siguiente distribución:

Elemento	V (m ³)	Uds/m. (m ⁻¹)	P (kg)	Xg (kg)	Zg (kg)	Mx (kg·m)	Mz (kg·m)
Varenga central	0.0038	4	744.2	16.75	0.65	12465.83	483.75
Varenga lateral	0.0066	4	1301.7	16.75	0.68	21804.23	885.19
Cuaderna	0.0049	4	974.5	16.75	2.76	16323.59	2689.74
Bao	0.0031	2	305.4	16.75	4.06	5114.65	1239.73
Cartabón	0.0002	6	46.9	16.75	4.05	785.35	189.89

Tabla 10. Distribución de pesos de los elementos transversales de la estructura.

Conviene aclarar que los pesos y centros de gravedad de los cartabones se estiman como la media de cuantos existen en cada sección.

4.2.2 Cámara de máquinas.

La zona de cámara de máquinas, aplicando la misma metodología, tendrá una distribución de pesos tal que:

Elemento	$V \text{ (m}^3\text{)}$	$Uds/m. \text{ (m}^{-3}\text{)}$	$P \text{ (kg)}$	$Xg \text{ (kg)}$	$Zg \text{ (kg)}$	$Mx \text{ (kg-m)}$	$Mz \text{ (kg-m)}$
Varenga central	0.0034	4	857.6	16.75	0.64	14364.18	548.84
Varenga intermedia	0.0029	4	713.2	16.75	0.66	11946.79	470.74
Varenga lateral	0.0077	4	1905.5	16.75	0.68	31916.50	1295.71
Cuaderna	0.0029	4	728.0	16.75	2.78	12193.79	2023.80
Bao tecla	0.0019	4	471.0	16.75	0.65	7888.62	306.13
Bao cubierta ppal.	0.0034	2	427.6	16.75	2.59	7163.11	1107.61
Cartabón	0.0002	6	58.8	16.75	2.43	985.35	142.95

Tabla 11. Distribución de pesos de los elementos transversales de la estructura.

4.2.3 Viveros.

De la misma manera, la zona de viveros tendrá una distribución de pesos como la que se puede observar en la siguiente tabla:

Elemento	$V \text{ (m}^3\text{)}$	$Uds/m. \text{ (m}^{-3}\text{)}$	$P \text{ (kg)}$	$Xg \text{ (kg)}$	$Zg \text{ (kg)}$	$Mx \text{ (kg-m)}$	$Mz \text{ (kg-m)}$
Varenga central	0.0038	4	920.8	5.50	0.92	5064.48	847.15
Varenga lateral	0.0001	4	21.3	5.50	1.21	117.41	25.83
Cuaderna	0.0044	4	1076.9	5.50	2.63	5922.77	2828.93
Bao	0.0034	2	412.5	5.50	4.49	2269.02	1852.35
Cartabón	0.0002	10	95.3	5.50	4.47	524.14	425.98

Tabla 12. Distribución de pesos de los elementos transversales de la estructura.

4.2.4 Popa.

La zona de popa es difícil de estimar, sobretodo en todo lo referente a los elementos transversales de la estructura.

No obstante, se aplicará la misma forma de interpolar la información que se aplicó en 4.1.4.

De esta forma, la distribución de pesos resultante es la siguiente:

Elemento	$V \text{ (m}^3\text{)}$	$Uds/m. \text{ (m}^{-3}\text{)}$	$P \text{ (kg)}$	$Xg \text{ (kg)}$	$Zg \text{ (kg)}$	$Mx \text{ (kg-m)}$	$Mz \text{ (kg-m)}$
Varenga central	0.0030	4	586.1	1.32	2.15	773.63	1260.08
Varenga lateral	0.0008	4	152.4	1.32	2.36	201.21	359.73
Cuaderna	0.0028	4	552.1	1.32	2.54	728.79	1402.36
Bao	0.0029	2	281.8	1.32	4.55	371.94	1282.08
Cartabón	0.0002	2	15.5	1.32	4.52	20.47	70.10

Tabla 13. Distribución de pesos de los elementos transversales de la estructura.

4.2.5 Bodega.

Podemos actuar de manera análoga para los anteriores espacios en la zona de la bodega, obteniendo la siguiente distribución de pesos:

Elemento	$V \text{ (m}^3\text{)}$	$Uds/m. \text{ (m}^{-3}\text{)}$	$P \text{ (kg)}$	$Xg \text{ (kg)}$	$Zg \text{ (kg)}$	$Mx \text{ (kg-m)}$	$Mz \text{ (kg-m)}$
Varenga central	0.0037	4	822.9	21.75	0.73	17899.14	600.75
Varenga lateral	0.0035	4	796.0	21.75	0.94	17312.28	748.21
Cuaderna	0.0033	4	741.3	21.75	2.52	16123.90	1868.15
Bao	0.0034	2	384.5	21.75	4.26	8363.20	1638.03
Cartabón	0.0002	2	17.7	21.75	4.23	385.12	74.90

Tabla 14. Distribución de pesos de los elementos transversales de la estructura.

4.2.6 Proa.

Por último, la proa tendrá la siguiente distribución de pesos:

Elemento	$V \text{ (m}^3\text{)}$	$Uds/m. \text{ (m}^{-1}\text{)}$	$P \text{ (kg)}$	$Xg \text{ (kg)}$	$Zg \text{ (kg)}$	$Mx \text{ (kg}\cdot\text{m)}$	$Mz \text{ (kg}\cdot\text{m)}$
Cuaderna llena	0.0075	4	2824.4	27.52	1.94	77727.35	5479.33
Cuaderna	0.0052	4	1963.1	27.52	5.32	54025.11	10443.81
Bao cub. Intermedia	0.0015	2	283.3	27.52	5.02	7797.39	1422.34
Bao cub. Superior	0.0029	3	827.8	27.52	7.02	22781.67	5811.31
Cartabón	0.0002	2	29.6	27.52	5.98	813.63	176.80

Tabla 15. Distribución de pesos de los elementos transversales de la estructura.

4.2.7 Superestructura.

Al igual que ocurría con los elementos longitudinales de la estructura, la superestructura recibe un tratamiento un tanto especial, donde toda ella configura una única zona.

Especial cuidado hay que prestar a la cubierta suspendida de popa de la caseta, pues allí el reforzado es diferente.

La superestructura responde a la siguiente distribución de pesos:

Elemento	$V \text{ (m}^3\text{)}$	$Uds/m. \text{ (m}^{-1}\text{)}$	$P \text{ (kg)}$	$Xg \text{ (kg)}$	$Zg \text{ (kg)}$	$Mx \text{ (kg}\cdot\text{m)}$	$Mz \text{ (kg}\cdot\text{m)}$
Cuaderna inferior	0.0021	4	271.2	11.25	4.85	3050.66	1315.18
Cuaderna intermedia	0.0032	4	513.3	11.25	6.72	5774.21	3449.13
Cuaderna superior	0.0033	4	424.8	12.50	9.02	5310.42	3832.00
Bao inferior	0.0023	2	147.8	11.25	5.55	1663.22	820.52
Bao intermedio	0.0023	2	147.8	11.25	7.80	1663.22	1153.17
Bao superior	0.0026	2	170.4	12.50	10.15	2130.49	1729.96
Bao cubierta suspendida a popa	0.0023	4	295.7	6.50	7.80	1921.95	2306.34
Cartabón	0.0002	6	30.5	11.67	7.83	356.01	238.87

Tabla 16. Distribución de pesos de los elementos transversales de la estructura.

4.3 Mamparos transversales.

Fuera del cálculo han quedado los mamparos transversales del buque.

El peso de estos mamparos se calcula con la siguiente expresión:

$$P_{mam} = A_{mam} \cdot e_{mam} \cdot \rho_{mat} \rightarrow \text{Ec. 5}$$

Y los centros de gravedad están en los centroides de las áreas de sección, y a medio espesor de profundidad.

De esta forma, la distribución de pesos por mamparos es la siguiente:

Mamparo	A (m ²)	e (m)	Dens (kg/m ³)	P (kg)	Xg (kg)	Zg (kg)	Mx (kg·m)	Mz (kg·m)
Pique proa	6.04	0.006	7850.0	520.6	27.50	2.84	14316.66	1478.52
Mamparo de proa de la bodega	7.12	0.006	7850.0	613.7	25.00	3.62	15342.35	2221.57
Mamparo de proa del tanque estabilizador	20.16	0.008	7850.0	2316.9	18.50	3.51	42862.06	8132.21
Mamparo de proa de Cámara de máquinas	26.96	0.006	7850.0	2323.8	15.00	3.41	34856.45	7924.03
Mamparo de popa de Cámara de máquinas	21.04	0.006	7850.0	1813.5	7.50	3.21	13601.26	5821.34
Mamparo de popa de viveros	16.74	0.006	7850.0	1442.9	3.50	2.96	5050.05	4270.90
Mamparo de proa inferior de la superestructura	13.13	0.006	2700.0	389.1	14.12	6.42	5494.14	2498.05
Mamparo de popa inferior de la superestructura	13.13	0.006	2700.0	389.1	15.94	6.42	6202.31	2498.05
Mamparo de proa superior de la superestructura	9.40	0.005	2700.0	232.2	10.63	7.31	2468.57	1697.58
Mamparo de popa superior de la superestructura	9.40	0.005	2700.0	232.2	16.12	7.33	3743.50	1702.22

Tabla 17. Distribución de pesos de los mamparos transversales.

4.4 Peso de la estructura y centro de gravedad.

El centro de gravedad de la estructura estará en crujía, pues el barco es simétrico.

El peso de la estructura se puede obtener sumando cada uno de los pesos de los diferentes elementos desglosados en los apartados anteriores:

$$P_{est} = \sum P_i = 144829 \text{ kg} \rightarrow \text{Ec. 6}$$

Aproximadamente 145 toneladas de acero estructural.

Respecto a la posición longitudinal del centro de gravedad, su posición se podrá calcular según:

$$x_g = \frac{\sum P_i \cdot x_i}{P_{est}} = 15.51 \text{ m} \rightarrow \text{Ec. 7}$$

La estructura del buque tiene su centro de gravedad prácticamente en la cuaderna maestra.

Respecto a la posición vertical del centro de gravedad, la obtenemos aplicando lo siguiente:

$$z_g = \frac{\sum P_i \cdot z_i}{P_{est}} = 2.29 \text{ m} \rightarrow \text{Ec. 8}$$

Más de un metro bajo la línea de flotación.

4.5 Distribución longitudinal de pesos.

La distribución longitudinal de pesos de la estructura es la siguiente:

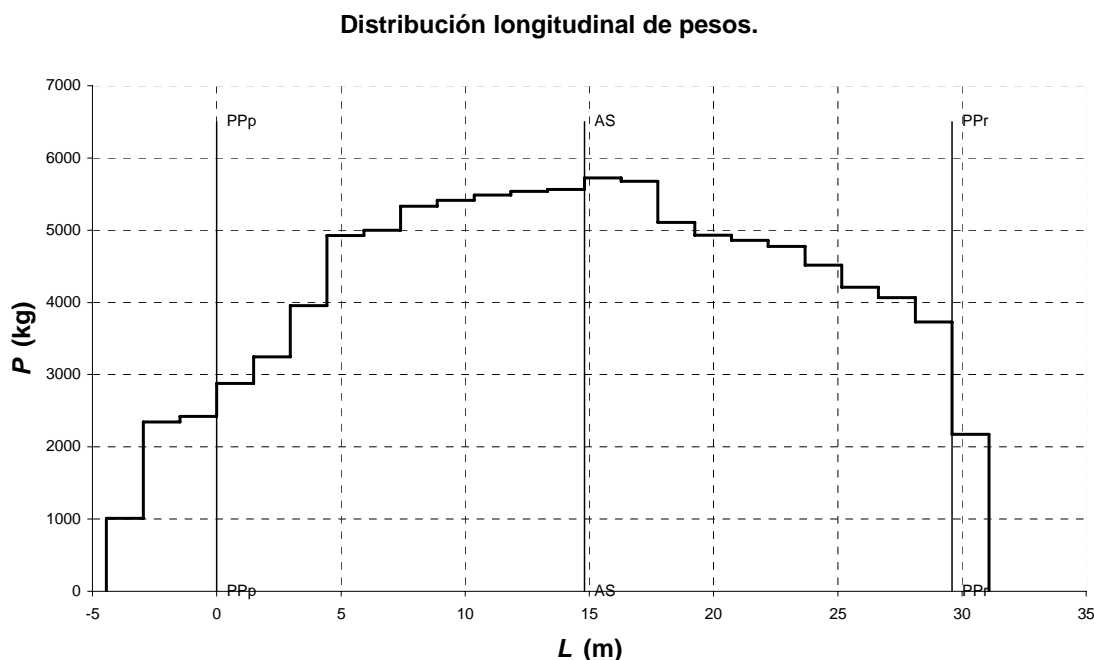


Figura 1. Distribución longitudinal de pesos de la estructura.

5 Cálculo de pesos y c. de g. del equipo y la habilitación.

A parte de la estructura, el peso en rosca del buque contempla el peso de los equipos a bordo, que se pueden dividir en aquellos generales a todos los buques, y aquellos específicos de este por la misión a la que está destinado.

En este apartado desglosaremos los pesos y centros de gravedad de los equipos comunes a todos los barcos.

5.1 *Peso de equipo de gobierno*

En ref. [2] se ofrece la siguiente expresión para el cálculo del peso del timón, mecha y accesorios, servomotor, electrobombas y polines que dan servicio de gobierno al buque:

$$P_g = 0.00224 \cdot A_{\text{timón}} \cdot v^{3/2} + 2 \rightarrow \text{Ec. 9}$$

Por tanto:

Elemento	Peso(Tn)	Xg(m)	Yg(m)	Zg(m)
Equipo de gobierno	2.292	-15.1	0	1.35

Tabla 18. Peso y centro de gravedad del equipo de gobierno.

5.2 *Peso del equipo de salvamento*

Los pesos y centros de gravedad de los equipos de salvamento se resumen en la siguiente tabla:

Elementos	Peso(Tn)	Xg(m)	Yg(m)	Zg(m)
Bote de rescate	0.35	-1.1701	0	10.6
Balsas	0.21	-3.4074	0	9.846
Chalecos	0.05	-3.6422	0	6.2
Otros	0.025	-3.6422	0	60

Tabla 19. Pesos y centros de gravedad de los equipos de salvamento.

5.3 Peso del equipo contraincendios

En ref. [2] se establece la siguiente expresión para conocer el peso del equipo contraincendios:

$$P_{C.I.} = 0.0025 \cdot V_{C.M.} + 1 \rightarrow \text{Ec. 10}$$

Donde: V_{CM} es el volumen de la cámara de máquinas.

Se supondrá que el centro de gravedad se sitúa aproximadamente en el centro de la cámara de máquinas.

Elemento	Peso(Tn)	Xg(m)	Yg(m)	Zg(m)
Equipo contraincendios	1.525	-4.5916	0	1.5

Tabla 20. Pesos y centros de gravedad del equipo contraincendios.

5.4 Peso del equipo de fondeo y amarre

El peso de los molinetes se puede obtener de los datos del fabricante, así como el peso del ancla.

El peso de la cadena en cambio se calcula empleando la expresión que ya se empleó en en cuaderno de equipos y servicios:

$$P_{cadena} = 0.025 \cdot d_c^2 \cdot L_c \rightarrow \text{Ec. 11}$$

Por último se estima un peso de 300kg en bitas, guiacabos, etc.

Con todo ello podemos confeccionar la siguiente tabla sobre pesos y centros de gravedad de los equipos de fondeo y amarre:

Elementos	Peso(Tn)	Xg(m)	Yg(m)	Zg(m)
Cadena	1.684	14.184	0	5.231
Anclas	0.84	15.0884	0	6.231
Molinetes	3.5	13.6056	0	6.923
Bitas, Guías...	0.3	10.6056	0	4.923

Tabla 21. Pesos y centros de gravedad de los equipos de amarre y fondeo.

5.5 Peso pintura y protección catódica

En ref. [2] se propone la siguiente expresión para estimar el peso en pintura:

$$P_{pintura} = 0.008 \cdot P_{acero} \rightarrow \text{Ec. 12}$$

Mientras que para la protección catódica se propone la ecuación:

$$P_{cátodo} = 0.004 \cdot S_m \cdot a \rightarrow \text{Ec. 13}$$

Donde a lo podemos tomar como 3 años.

De esta forma, podemos resumir los pesos y centros de gravedad de pintura y protección catódica en la siguiente tabla:

Elementos	Peso(Tn)	Xg(m)	Yg(m)	Zg(m)
Pintura	3.115	-0.4799	0	2.135
Pintura superestructura	0.321	3.896	0	5.706
Protección catódica	0.942	-0.4799	0	2.423

Tabla 22. Pesos y centros de gravedad de la pintura y la protección catódica.

5.6 *Peso generador de agua dulce*

El fabricante provee los datos de peso del equipo generador de agua dulce, y el centro de gravedad se tomará como si el equipo consistiera en un bloque homogéneo:

Elemento	Peso(Tn)	Xg(m)	Yg(m)	Zg(m)
G.Agua dulce	0.17	-5.05	0.00	1.50

Tabla 23. Peso y centro de gravedad del generador de agua dulce.

5.7 *Instalación eléctrica*

El peso de la instalación eléctrica, excluyendo los generadores, es difícil de calcular. Podemos estimarlo como un peso de 2 toneladas:

Elemento	Peso(Tn)	Xg(m)	Yg(m)	Zg(m)
Instalación eléctrica	2.10	-6.89	0.39	2.43

Tabla 24. Peso y centro de gravedad de la instalación eléctrica.

5.8 *Peso del equipo de navegación*

El peso de los equipos de navegación ha sido estimado en unas dos toneladas y media. En esta partida se incluyen todos los muebles que pudieran encontrarse en el puente de mando. La localización de este peso, será lógicamente en el puente de mando.

Elemento	Peso(Tn)	Xg(m)	Yg(m)	Zg(m)
Equipo de navegación	2.50	-0.99	0.00	8.49

Tabla 25. Peso del equipo de navegación

5.9 *Peso de habilitación*

La habilitación se calcula dando una densidad másica por unidad de área de cada local, lo que permite realizar la estimación que se refleja en la siguiente tabla:

Local	A(m ²)	s(kg/m ²)	Peso(Tn)	Xg(m)	Yg(m)	Zg(m)
Aseo capitán	2.04	175	0.357	-4.25	-1.09	8.49
Aseo cubierta intermedia	2.89	175	0.506	9.09	-1.69	4.23
Aseo cubierta superior	1.16	175	0.203	-5.50	-1.45	5.51
Bodega	35.13	350	12.296	5.09	0.00	3.31
Camarote capitán	4.2	175	0.735	-3.63	-0.98	8.28
Camarote cubierta doble fondo (popa-babor)	4.16	120	0.499	-28.56	-1.64	3.24
Camarote cubierta doble fondo (popa-estribor)	4.16	120	0.499	-28.56	1.64	3.24
Camarote cubierta doble fondo (proa-babor)	8.1	120	0.972	9.85	-0.79	2.23
Camarote cubierta doble fondo (proa-estribor)	8.1	120	0.972	9.85	0.79	2.23
Camarote cubierta intermedia (proa-babor)	9.55	120	1.146	10.85	-2.31	5.51
Camarote cubierta intermedia (proa-estribor)	2.58	120	0.31	10.85	2.31	5.51
Cocina	2.31	250	0.578	-6.43	1.11	5.31
Comedor	8.41	120	1.009	-4.15	0.00	5.31
Derrota	5.4	150	0.81	-2.91	1.29	8.49
Escaleras cámara de máquinas	1.78	30	0.053	-2.59	-1.00	2.23
Escaleras camarotes popa	1.08	30	0.032	-13.54	0.00	4.40
Escaleras camarotes proa	2.24	30	0.067	9.35	0.00	3.83
Lavandería	2.08	225	0.468	-1.33	1.11	5.51
Local del servo	8.37	60	0.502	-14.91	0.00	4.23
Pañol	3.6	60	0.216	14.09	0.00	5.41
Sala de aguas	1.93	120	0.232	-6.41	-0.39	5.51
Sala de control de máquinas	2.58	400	1.032	-1.40	-0.72	5.51

Tabla 26. Pesos y centros de gravedad de los distintos locales.

Podemos agrupar estos pesos en uno único de tal forma que:

Elemento	Peso(Tn)	Xg(m)	Yg(m)	Zg(m)
Habilitación	23.494	2.13	-0.12	4.14

Tabla 27. Peso y centro de gravedad de la habitación.

5.10 Hélice y línea de ejes

La determinación del peso de la hélice así como de la línea de ejes ha sido determinada con ayuda de la siguiente fórmula:

$$P_{helice,l.e.} = 0.08 \cdot D_h^3 \rightarrow \text{Ec. 14}$$

Elemento	Peso(Tn)	Xg(m)	Yg(m)	Zg(m)
Hélice y línea de ejes	0.692	-14.09	0.00	0.20

Tabla 28. Peso y centro de gravedad del propulsor con la línea de ejes.

28.1. Motor principal

El peso del motor principal ha sido tomado de los datos ofrecidos por el fabricante. Evidentemente se tomará el valor del motor con reductora.

Elemento	Peso(Tn)	Xg(m)	Yg(m)	Zg(m)
Motor principal	6.9	-5.97	0.00	1.00

Tabla 29. Peso y centro de gravedad del motor principal.

5.11 Maquinaria auxiliar y tuberías

El peso del resto de la maquinaria auxiliar (generadores eléctricos, depuradoras, bombas...) y tuberías, ha sido estimado en 15 toneladas:

Elemento	Peso(Tn)	Xg(m)	Yg(m)	Zg(m)
Maquinaria auxiliar y tuberías	15.05	-3.90	0.00	1.37

Tabla 30. Pesos y centros de gravedad de la maquinaria auxiliar y las tuberías.

5.12 Peso y centro de gravedad de los equipos.

Sumando el peso de todos los equipos desglosados en los apartados anteriores tenemos que:

$$P_{eq} = \sum P_i = 66127\text{kg} \rightarrow \text{Ec. 15}$$

Cuyo centro de gravedad se sitúa en el siguiente punto:

$$x_g = \frac{\sum P_i \cdot x_i}{P_{eq}} = 14.71\text{m} \rightarrow \text{Ec. 16}$$

$$y_g = \frac{\sum P_i \cdot y_i}{P_{eq}} = -0.03\text{m} \rightarrow \text{Ec. 17}$$

$$z_g = \frac{\sum P_i \cdot z_i}{P_{eq}} = 3.52\text{m} \rightarrow \text{Ec. 18}$$

6 Cálculo de pesos y c. de g. de maquinaria e instalaciones especiales.

6.1 Equipos en cubierta.

Los pesos de cada equipo se han obtenido de los datos ofrecidos por el fabricante.

En este apartado, se ha incluido el peso relativo al palo de proa y al forro de madera de la cubierta. Para el cálculo de este último se ha utilizado la siguiente expresión propuesta por D. M. Meizoso en la que el peso está en toneladas:

$$P_{f.m.} = \frac{0.04 \cdot S_c \cdot e_m}{65000} \rightarrow \text{Ec. 19}$$

En la anterior expresión: S_c , es la superficie de la cubierta y e_m , es el espesor de la madera empleada.

Elementos	Peso(Tn)	Xg(m)	Yg(m)	Zg(m)
Grúa de proa	2.6	9.10	0.00	7.53
Grúa de popa	2.6	-9.77	1.15	8.58
Maquinilla de cubierta	1.578	-2.45	-0.10	3.56
Palo de proa	1.87	12.92	0.00	13.25
Forro de madera de cubierta	2.3	-2.00	0.00	3.91

Tabla 31. Pesos y centros de gravedad de los equipos en cubierta.

6.2 Peso y centro de gravedad de los equipos especiales.

Sumando el peso de todos los equipos desglosados en los apartados anteriores tenemos que:

$$P_{eqe} = \sum P_i = 10940 \text{kg} \rightarrow \text{Ec. 20}$$

Cuyo centro de gravedad se sitúa en el siguiente punto:

$$x_g = \frac{\sum P_i \cdot x_i}{P_{eqe}} = 13.36 \text{m} \rightarrow \text{Ec. 21}$$

$$y_g = \frac{\sum P_i \cdot y_i}{P_{eqe}} = 0.63 \text{m} \rightarrow \text{Ec. 22}$$

$$z_g = \frac{\sum P_i \cdot x_i}{P_{eqe}} = 6.36 \text{m} \rightarrow \text{Ec. 23}$$

7 Peso y c. de g. del buque en rosca (y su distribución longitudinal, si procede).

7.1 Peso en rosca.

Con todos los pesos del buque en rosca desglosados, podemos conocer ya el peso total.

Los pesos que obtuvimos anteriormente fueron:

1. Peso de la estructura: 145Tn.
2. Peso de los equipos: 66Tn.
3. Peso de los equipos especiales: 11 Tn.

Por tanto, el peso del buque en rosca es de 222 Tn.

Durante el dimensionamiento del buque estimamos un peso en rosca del buque de 220 Tn, luego cometimos un error del 1%.

El error es algo mayor si atendemos a cada grupo de pesos individualmente, pero de cualquier forma, es el resultado final el que debe mantenerse cercano a la estimación.

7.2 Centro de gravedad del buque en rosca.

Aplicando las siguientes ecuaciones para nuestros grupos de pesos podemos conocer la posición del centro de gravedad del buque en rosca:

$$x_g = \frac{\sum P_i \cdot x_i}{P_{rosca}} = 15.16 \text{m} \rightarrow \text{Ec. 24}$$

$$y_g = \frac{\sum P_i \cdot y_i}{P_{rosca}} = 0.02 \text{m} \rightarrow \text{Ec. 25}$$

$$z_g = \frac{\sum P_i \cdot x_i}{P_{rosca}} = 2.86 \text{m} \rightarrow \text{Ec. 26}$$

El primer valor está situado a 36cm de la cuaderna maestra, esto es una desviación del 2% del centro del buque, lo que quiere decir que el asiento del buque es correcto¹.

¹ Una desviación del 2% es perfectamente asumible.

La posición transversal del centro de gravedad está 2cm desviada a estribor, lo que respecto a la manga del buque es una desviación del 0.3%, luego el buque no adoptaría una escora perceptible.

Respecto a la posición vertical del centro de gravedad, parece un poco alta respecto de las posiciones verticales de los centros de gravedad de los buques de la base de datos, no obstante no disponemos aún de información suficiente para evaluarlo.

Para poder saber hasta qué punto nos hemos desviado en la posición vertical del centro de gravedad, deberemos esperar al siguiente cuaderno para disponer de la posición final del mismo en cada situación de carga, de tal forma que mediante las hidrostáticas, podremos conocer la altura metacéntrica en cada situación, y así la desviación frente a aquella que estimamos en el dimensionamiento del buque.

7.3 Distribución de pesos.

Añadiendo a la distribución de pesos de la estructura, que se puede observar en la Figura 1. del apartado 4.5, los pesos de los equipos desglosados en 5 y 6, obtenemos la siguiente distribución de pesos:

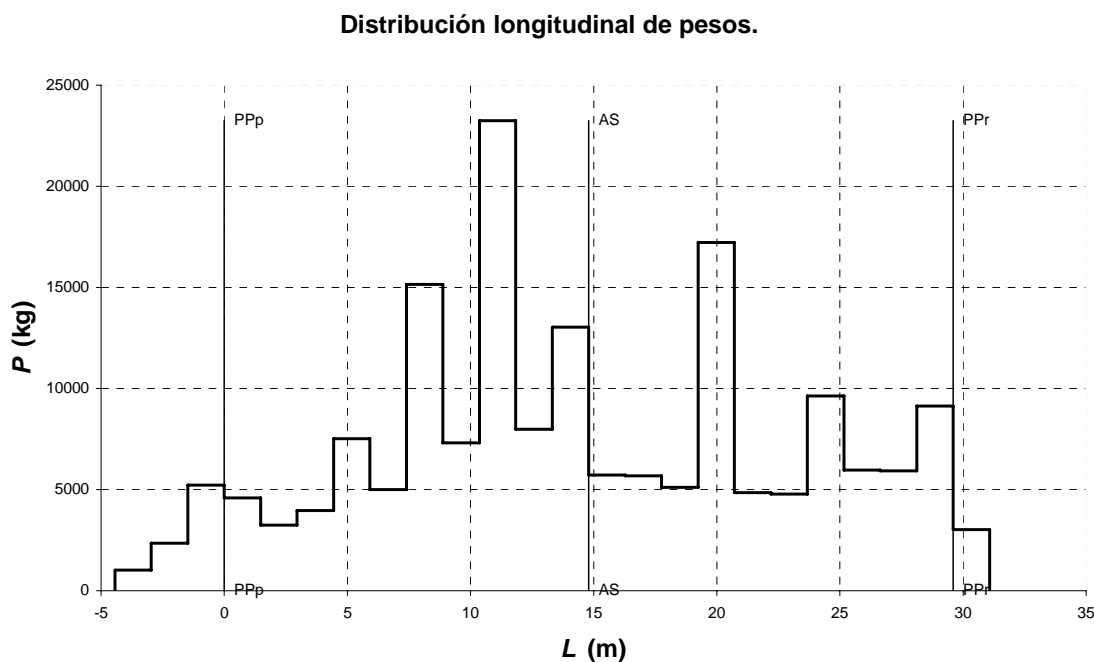


Figura 2. Distribución longitudinal de pesos del buque en rosca.

Donde se observa una gran concentración del peso en la zona de cámara de máquinas, donde además se sitúa la superestructura con una de las grúas articuladas.

8 Acrónimos.

P_{long} , peso del elemento longitudinal de la estructura (4.1).

A_{long} , área de la sección del elemento longitudinal de la estructura (4.1).

ρ_{mat} , densidad del material empleado (4.1).

l , Eslora entre secciones consideradas (4.1).

$cdg_{x,long}$, Posición longitudinal del centro de gravedad del elemento longitudinal de la estructura (4.1).

x_{pp} , Posición longitudinal de la popa de la sección considerada (4.1).
 x_{pr} , Posición longitudinal de la proa de la sección considerada (4.1).
 p_{pp} , Perímetro de la popa de la sección considerada (4.1).
 p_{pr} , Perímetro longitudinal de la proa de la sección considerada (4.1).
 P_{trans} , peso del elemento transversal de la estructura (4.2).
 A_{trans} , área del elemento transversal de la estructura (4.2).
 e_{trans} , espesor del elemento transversal de la estructura (4.2).
 l_{trans} , clara hasta el siguiente elemento estructural de la misma especie (4.2).
 P_{mam} , peso del mamparo (4.3).
 A_{mam} , área del mamparo (4.3).
 e_{mam} , espesor del mamparo (4.3).
 P_{est} , peso de la estructura (4.4).
 P_i , peso de cada elemento de la estructura (4.4).
 x_g, y_g, z_g , coordenadas del centro de gravedad de la estructura (4.4).
 x_i, y_i, z_i , coordenadas del centro de gravedad de cada elemento de la estructura (4.4).
 P_g , peso del sistema de gobierno (5.1).
 $A_{timón}$, área del timón (5.1).
 v , velocidad en nudos del buque (5.1).
 $P_{C.I.}$, peso del sistema de contraincendios (5.3).
 $V_{C.M.}$, volumen de la cámara de máquinas (5.3).
 P_{cadena} , peso de la cadena del sistema de amarre (5.4).
 d_c , diámetro de la cadena empleada (5.4).
 L_c , Longitud de la cadena (5.4).
 $P_{pintura}$, peso de la pintura (5.5).
 P_{acero} , peso “en acero”, o peso de la estructura (5.5).
 $P_{cátodo}$, peso de la protección catódica (5.5).
 S_m , superficie mojada (5.5).
 a , años de servicio del cátodo (5.5).
 $P_{cátodo.}$, peso de la hélice (5.10).
 D_h , diámetro de la hélice (5.10).
 $P_{eq.}$, peso de los equipos (5.12).
 $P_{f.m.}$, peso del forro de madera de la cubierta (6.1).
 S_c , superficie de la cubierta principal (6.1).
 e_m , espesor de la madera aplicada (6.1).
 P_{eqe} , peso de los equipos especiales (6.2).
 P_{rosca} , peso del buque en rosca (7.2).

BUQUE BONITERO DEL CANTÁBRICO
PROYECTO 077.
CURSO 2009-2010

Situaciones de carga y resistencia longitudinal.

DOCUMENTO 12
AUTOR: JOSE LUIS CERCOS PITA
COTUTOR: ANDER LASA GALLURRALDE
TUTOR: ANTONIO SOUTO IGLESIAS

1 Índice de contenidos.

1	<i>Índice de contenidos.</i>	2
2	<i>Especificación del proyecto.</i>	4
3	<i>Objetivos.</i>	5
4	<i>Definición de situaciones de carga.</i>	5
5	<i>Criterios aplicables según reglamentos.</i>	5
6	<i>Calados y estabilidades estática y dinámica para cada situación.</i>	6
6.1	Metodología.	6
6.1.1	Peso y centro de gravedad.	6
6.1.2	Calado y Trimado.	7
6.1.3	Estabilidad inicial.	7
6.1.4	Estabilidad dinámica.	7
6.2	Salida de puerto al 100% de consumo con 100% de viveros.	8
6.2.1	Peso y centro de gravedad.	8
6.2.2	Calado y trimado.	9
6.2.3	Estabilidad inicial.	9
6.2.4	Estabilidad dinámica.	9
6.2.5	Cumplimiento de criterios.	10
6.3	Salida de puerto al 100% de consumo con 0% de viveros.	10
6.3.1	Peso y centro de gravedad.	10
6.3.2	Calado y trimado.	11
6.3.3	Estabilidad inicial.	11
6.3.4	Estabilidad dinámica.	11
6.3.5	Cumplimiento de criterios.	12
6.4	Salida de caladeros al 100% de pesca con el 35% de consumos y 100% de viveros.	12
6.4.1	Calado y trimado.	13
6.4.2	Estabilidad inicial.	13
6.4.3	Estabilidad dinámica.	14
6.4.4	Cumplimiento de criterios.	14
6.5	Salida de caladero al 100% de pesca, 35% de consumibles y 0% de viveros.	14
6.5.1	Calado y trimado.	15
6.5.2	Estabilidad inicial.	15
6.5.3	Estabilidad dinámica.	16
6.5.4	Cumplimiento de criterios.	16
6.6	Llegada a puerto con 100% de pesca, 10% de consumos y 100% de viveros.	17
6.6.1	Calado y trimado.	17
6.6.2	Estabilidad inicial.	18
6.6.3	Estabilidad dinámica.	18
6.6.4	Cumplimiento de criterios.	18
6.7	Llegada a puerto con 100% de pesca, 10% de consumos y 0% de viveros.	19
6.7.1	Calado y trimado.	20
6.7.2	Estabilidad inicial.	20
6.7.3	Estabilidad dinámica.	20
6.7.4	Cumplimiento de criterios.	20
6.8	Llegada a puerto con 20% de pesca, 10% de consumos y 0% de viveros.	21
6.8.1	Calado y trimado.	22

6.8.2	Estabilidad inicial.	22
6.8.3	Estabilidad dinámica.	22
6.8.4	Cumplimiento de criterios.....	23
7	<i>Resistencia longitudinal: pesos, empujes, esfuerzos cortantes y momentos flectores.</i>	23
7.1	Salida de puerto al 100% de consumo con 100% de viveros.....	23
7.2	Salida de puerto al 100% de consumo con 0% de viveros.....	24
7.3	Salida de caladeros al 100% de pesca con el 35% de consumos y 100% de viveros.	24
7.4	Salida de caladero al 100% de pesca, 35% de consumibles y 0% de viveros.	25
7.5	Llegada a puerto con 100% de pesca, 10% de consumos y 100% de viveros.	25
7.6	Llegada a puerto con 100% de pesca, 10% de consumos y 0% de viveros.	26
7.7	Llegada a puerto con 20% de pesca, 10% de consumos y 0% de viveros.	26
8	<i>Estabilidad después de avería cuando lo requieren los reglamentos.</i>	27
8.1	Ángulos de inundación.	27
9	<i>Tabla resumen y análisis de las situaciones de carga.</i>	27
10	<i>Acrónimos.</i>	27
	<i>Anexo I: Proyecto del tanque estabilizador pasivo.</i>	29
1	Introducción.	29
2	Comportamiento en la mar.	29
3	Periodos propios de balance para cada situación de carga.	31
3.1	Metodología.	31
3.2	Periodos propios.	33
4	Condiciones de diseño del tanque estabilizador.	34
5	Proyecto del tanque estabilizador pasivo.....	36
5.1	Tanque corrido.	36
5.2	Tanque en C.	37
6	Uso del tanque estabilizador.	49
	<i>Anexo II: Planos del tanque estabilizador pasivo.</i>	50
	<i>Anexo III: Script Octave/Matlab para análisis de Fourier de las señales de momento y movimiento.....</i>	51

2 Especificación del proyecto.

- CLASIFICACIÓN: **Bureau Veritas**
- TRB: **149**
- GT: **230**
- VOLUMEN DE COMBUSTIBLE: **70 m³**
- VOLUMEN DE VIVEROS: **50 m³**
- VELOCIDAD EN PRUEBAS: **12 .5 kn al 90% MCR**
- EQUIPO PROPULSOR: **Motor Diesel**
- ALOJAMIENTOS: **15 tripulantes**
- ASPECTOS ADICIONALES:
 - 1.- El buque dispondrá de una planta de oxigenación del agua de viveros.
 - 2.- El buque dispondrá de un tanque estabilizador pasivo que reduzca al menos un 50% el movimiento de balance durante la maniobra de pesca.
 3. Se presentará además una planificación para la construcción asociada a los medios de un astillero de la sociedad PYMAR del que se disponga de información suficiente.

3 Objetivos.

En el documento que nos ocupa haremos uso de la información del cuaderno 5, cálculos de arquitectura naval, y del cuaderno 11, peso y centro de gravedad del buque en rosca, para estudiar las situaciones de carga del buque.

Las situaciones de carga del buque están directamente asociadas a la estabilidad del mismo, y por tanto, del cumplimiento de la normativa sobre estabilidad, en este caso, el cumplimiento de la normativa incluida en la Circular 9/77 de la Dirección General de Marina Mercante del Ministerio de Fomento.

Además, con los datos resultantes de la estabilidad del buque podremos, en este cuaderno, abordar el proyecto del tanque estabilizador pasivo que se refleja en el **Anexo I**, y que debe, cumpliendo en todo momento con los criterios mínimos de estabilidad, debe estabilizar el buque de acuerdo a lo exigido en la especificación del proyecto. El resultado de este Anexo será una geometría correspondiente al tanque, y unas directrices sobre el nivel del mismo en cada situación de carga para un óptimo funcionamiento del mismo.

4 Definición de situaciones de carga.

La definición de las situaciones de carga está sujeta a la normativa aplicable de la Circular 9/77 de la Dirección General de Marina Mercante del Ministerio de Fomento, la cuál nos obliga a contemplar, al menos, las siguientes situaciones de carga:

1. Salida de puerto al 100% de consumos.
2. Salida de caladero al 100% de pesca y 35% de consumibles.
3. Llegada a puerto con 100% de pesca y 10% de consumos.
4. Llegada a puerto con 20% de pesca y 10% de consumos.

No obstante, nuestro buque se puede encontrar, en cada una de las anteriores situaciones, con los viveros llenos o vacíos. Las situaciones de carga consideradas serán por tanto las siguientes:

1. Salida de puerto al 100% de consumos y 100% de viveros.
2. Salida de puerto al 100% de consumos y 0% de viveros.
3. Salida de caladero al 100% de pesca, con el 35% de consumos y 100% de viveros.
4. Salida de caladero al 100% de pesca, 35% de consumibles y 0% de viveros.
5. Llegada a puerto con 100% de pesca, 10% de consumos y 100% de viveros.
6. Llegada a puerto con 100% de pesca, 10% de consumos y 0% de viveros.
7. Llegada a puerto con 20% de pesca, 10% de consumos y 0% de viveros.

Nótese que en la última de las condiciones sólo se estudia la situación de carga con viveros vacíos, pues la llegada a puerto en esas condiciones, con los viveros llenos no es una situación realista, y la estabilidad está más comprometida con los viveros vacíos por ser el calado del buque el más bajo posible, y ser el KM prácticamente constante.

5 Criterios aplicables según reglamentos.

De acuerdo a la Circular 9/77 de la Dirección General de Marina Mercante del Ministerio de Fomento. Los criterios aplicables son los siguientes:

1. El área que quede debajo de la curva de brazos adrizantes no será inferior a 0.055m·rad hasta el ángulo de escora 30°, ni inferior a 0.09 m·rad hasta los 40° o hasta el ángulo de inundación si este fuese menor de 40°. Además el área que quede debajo de la curva de brazos adrizantes entre los ángulos de escora de 30° y 40°, no será inferior a 0.03m·rad.
2. El brazo adrizante será de 200 mm, como mínimo, para un ángulo de escora igual o superior a 30°.
3. El brazo adrizante máximo corresponderá a un ángulo de escora no inferior a 25°.
4. La altura metacéntrica inicial corregida no será inferior a 350 mm.
5. El ángulo de escora que puede ocasionar el inicio de la inundación de las bodegas a través de las escotillas que permanecen abiertas durante la faena de pesca, será como mínimo de 20°. Esto se comprobará en la situación de carga de salida de caladero completo de pesca y con el 35% de combustible, provisiones, etc.
6. Cuando en la condición de carga más desfavorable, la estabilidad dinámica a 30° sea inferior a 0, 065 m·rad, deberá estudiarse lo siguiente:
 - i. La aptitud del buque para resistir el efecto de escora provocado por los efectos de rachas de viento y balance intenso.
 - ii. La aptitud del buque para resistir el efecto de escora provocado por la presencia de agua en cubierta.

6 Calados y estabilidades estática y dinámica para cada situación.

6.1 Metodología.

6.1.1 Peso y centro de gravedad.

Para el cálculo del calado y la estabilidad estática y dinámica del buque debemos conocer el desplazamiento y la posición del centro de gravedad en cada situación de carga.

El cálculo del peso se puede realizar tomando el peso del buque en rosca calculado en el cuaderno anterior (peso y centro de gravedad del buque en rosca), añadiéndole los pesos de las diferentes partidas del peso muerto. Todo ello responde a la siguiente fórmula:

$$\Delta = P_{rosca} + \sum_i P_i \rightarrow \text{Ec. 1}$$

El centro de gravedad, cuya posición vertical es el objeto de nuestro interés, se puede calcular tomando momentos desde la línea base, de tal forma que:

$$KG = \frac{P_{rosca} \cdot Z_{g,rosca} + \sum_i P_i \cdot Z_{g,i}}{\Delta} \rightarrow \text{Ec. 2}$$

No obstante buscaremos también la posición longitudinal, pues nos interesa también conocer el trimado del buque:

$$X_g = \frac{P_{rosca} \cdot X_{g,rosca} + \sum_i P_i \cdot X_{g,i}}{\Delta} \rightarrow \text{Ec. 3}$$

Se debe aclarar que el tanque estabilizador no computa en estos cálculos, pues ya se estudiará la posibilidad de emplearlo en las diferentes situaciones de carga en el **Anexo I**, y el efecto sobre la estabilidad que ello conlleva.

6.1.2 Calado y Trimado.

Conocida la posición longitudinal del centro de gravedad del buque, y el desplazamiento del buque, sólo hay que emplear las tablas de hidrostáticas calculadas en el apartado 4.3 del cuaderno 5 (cálculos de arquitectura naval) para conocer el calado y trimado correspondiente a cada situación de carga.

6.1.3 Estabilidad inicial.

Para conocer el GM sólo deberemos restar a KM , información que se extrae de las hidrostáticas, la altura del centro de gravedad del buque calculada mediante **Ec. 2**.

$$GM_0 = KM - KG \rightarrow \text{Ec. 4}$$

A esa altura metacéntrica habrá que realizar las oportunas correcciones por superficie libre correspondientes a los espacios con carga o consumos líquidos.

$$GM = GM_0 - \sum_i GM_{SL,i} \rightarrow \text{Ec. 5}$$

La corrección por superficie libre de cualquier tanque con carga líquida en su interior responde a la siguiente expresión:

$$GM_{SL,i} = I_{area} \frac{\rho_{as}}{\Delta} \rightarrow \text{Ec. 6}$$

Donde:

$I_{area,i}$ es la inercia, en m^4 , del área de la superficie libre.

ρ_{as} es la densidad, en Tn/m^3 , del agua salada.

Δ , es el desplazamiento del buque.

Para tanques de caras plano-paralelas la ecuación 6 resulta en la siguiente expresión:

$$GM_{SL,i} = \frac{1}{12} LB^3 \frac{\rho_{as}}{\Delta} \rightarrow \text{Ec. 7}$$

Siendo:

L , la eslora del tanque considerado.

B , la manga del tanque considerado.

6.1.4 Estabilidad dinámica.

La curva de estabilidad dinámica se trazará empleando la información de las carenas inclinadas calculada en el apartado 5.2 del cuaderno 5.

Tal y como advertíamos en su momento, el valor del brazo adrizante se puede calcular haciendo uso de la siguiente expresión:

$$GZ = KN - KG \sin \theta \rightarrow \text{Ec. 8}$$

6.2 Salida de puerto al 100% de consumo con 100% de viveros.

6.2.1 Peso y centro de gravedad.

Tomando el buque en rosca, y las distintas partidas del peso muerto del buque, podemos confeccionar la siguiente tabla:

Concepto	Llenado	P (Tn)	X_G (m)	Y_G (m)	Z_G (m)
Peso en rosca	-	222.00	0.80	0.02	2.86
Pique_de_proa	100%	10.59	13.67	0.00	2.44
Viveros1_Babor	100%	6.97	-10.29	-2.29	2.83
Viveros1_Centro	100%	12.34	-10.30	0.00	2.28
Viveros1_Estribor	100%	6.97	-10.29	2.29	2.83
Viveros2_Babor	100%	9.88	-8.63	-2.07	2.77
Viveros2_Centro	100%	14.34	-8.30	0.00	2.73
Viveros2_Estribor	100%	9.88	-8.63	2.07	2.77
Aceite_CM	100%	3.62	-5.13	2.10	0.96
Aceite_hidraulico	100%	1.77	-3.29	2.23	0.93
Tanque_servicio_diario	100%	5.23	-1.28	2.28	0.92
Agua_dulce_CM_1	100%	3.73	-5.43	-2.12	0.97
Agua_dulce_CM_2	100%	5.58	-2.01	-2.26	0.92
Tanque_de_lodos	100%	2.33	-0.798	0.000	0.50
Tanque_gasoi_1_babor	100%	7.95	1.20	1.59	0.87
Tanque_gasoi_1_estribor	100%	7.95	1.20	-1.59	0.87
Tanque_gasoi_2_babor	100%	12.51	3.88	1.43	0.91
Tanque_gasoi_2_estribor	100%	12.51	3.88	-1.43	0.91
Tanque_gasoi_3_babor	100%	8.28	7.31	1.07	0.91
Tanque_gasoi_3_estribor	100%	8.28	7.31	-1.07	0.91
Tanque_gasoi_4_babor	100%	2.04	10.75	0.60	1.02
Tanque_gasoi_4_estribor	100%	2.04	10.75	-0.60	1.02
Bodega	0%	0.00	6.64	0.00	1.51
Tanque_gasoi_popa_estribor	100%	7.12	-16.68	1.08	3.53
Tanque_gasoi_popa_babor	100%	7.12	-16.68	-1.08	3.53
Tripulación_y_objetos_personales	-	1.50	-1.40	0.00	3.80
Red_de_cubierta	-	1.00	-10.00	0.00	4.00
Red_de_popa	-	0.38	-15.00	0.00	4.50
Varios_pañol	-	0.50	14.09	0.00	5.23
Viveres	-	2.50	-5.96	-0.77	5.00
Hielo_en_bodega	-	8.00	6.64	0.00	1.51

Tabla 1. Pesos y centros de gravedad.

Aplicando la metodología explicada en 6.1.1 podemos resumir el peso y su centro de gravedad en la siguiente tabla:

Desplazamiento (Tn)	404.95
X_G (m)	-0.57
Y_G (m)	0.01
Z_G (m)	2.44

Tabla 2. Desplazamiento y centro de gravedad en la situación de carga.

6.2.2 Calado y trimado.

De acuerdo a las hidrostáticas, el buque se encuentra a un calado de 3.1m, trimado 0.25m a proa.

6.2.3 Estabilidad inicial.

De acuerdo a las hidrostáticas, el buque tiene un KM de 3.6m.

Aplicando **Ec. 4** tenemos que:

$$GM_0 = 3.6 - 2.4 = 1.2\text{m} \rightarrow \text{Ec. 9}$$

A esta altura metacéntrica debemos aplicarle las correcciones por superficies libres, que a pesar de estar todos los tanques de consumos llenos, aparecerán en el momento en el que comiencen los consumos, y por tanto no podemos obviar su efecto.

Si aplicamos **Ec. 6** a los distintos tanques, obtenemos una corrección por superficie libre tal que¹:

$$GM_{SL} = \frac{192.3}{\Delta} \rightarrow \text{Ec. 10}$$

Lo que para esta condición de carga resulta:

$$GM_{SL} = \frac{192.3}{404.95} \text{m} = 0.5\text{m} \rightarrow \text{Ec. 11}$$

De tal forma que la altura metacéntrica resultante es:

$$GM = GM_0 - GM_{SL} = 1.2 - 0.5\text{m} = 0.7\text{m} \rightarrow \text{Ec. 12}$$

700mm de altura metacéntrica, valor muy superior a los 350mm mínimos que exige la Administración.

6.2.4 Estabilidad dinámica.

Aplicando el procedimiento descrito en 6.1.4, obtenemos la siguiente curva:

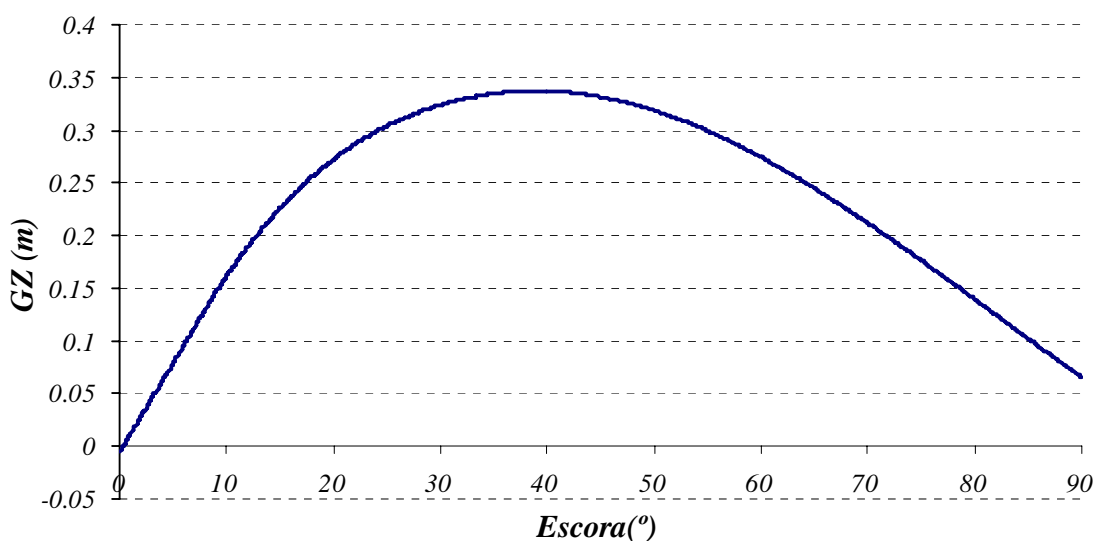


Figura 1. Curva de brazos adrizantes.

¹ Se empleará esta misma expresión en todas las condiciones de carga con los viveros llenos.

6.2.5 Cumplimiento de criterios.

Podemos ahora estudiar si el buque cumple, para esta situación de carga, los requisitos de la Administración, algo que podemos resumir en la siguiente tabla:

Área de 0° a 30° (m·rad)	0.105	OK
Área de 0° a 40° (m·rad)	0.163	OK
Área de 30° a 40° (m·rad)	0.058	OK
GZ para 30° (m·rad)	0.324	OK
Angulo para GZ máximo (°)	39	OK
GMt (m)	0.700	OK

Tabla 3. Cumplimiento de los requisitos de la Administración.

6.3 Salida de puerto al 100% de consumo con 0% de viveros.

6.3.1 Peso y centro de gravedad.

Actuando de la misma forma que anteriormente obtenemos lo siguiente:

Concepto	Llenado	P (Tn)	X _G (m)	Y _G (m)	Z _G (m)
Peso en rosca	-	222.00	0.80	0.02	2.86
Pique_de_proa	100%	10.59	13.67	0.00	2.44
Viveros1_Babor	0%	0.00	-10.24	-1.98	1.55
Viveros1_Centro	0%	0.00	-10.29	0.00	1.51
Viveros1_Estribor	0%	0.00	-10.24	-1.98	1.55
Viveros2_Babor	0%	0.00	-10.24	1.98	1.55
Viveros2_Centro	0%	0.00	-10.29	0.00	1.51
Viveros2_Estribor	0%	0.00	-10.24	1.98	1.55
Aceite_CM	100%	3.62	-5.13	2.10	0.96
Aceite_hidraulico	100%	1.77	-3.29	2.23	0.93
Tanque_servicio_diario	100%	5.23	-1.28	2.28	0.92
Agua_dulce_CM_1	100%	3.73	-5.43	-2.12	0.97
Agua_dulce_CM_2	100%	5.58	-2.01	-2.26	0.92
Tanque_de_lodos	100%	2.33	-0.80	0.00	0.50
Tanque_gasoi_1_babor	100%	7.95	1.20	1.59	0.87
Tanque_gasoi_1_estribor	100%	7.95	1.20	-1.59	0.87
Tanque_gasoi_2_babor	100%	12.51	3.88	1.43	0.91
Tanque_gasoi_2_estribor	100%	12.51	3.88	-1.43	0.91
Tanque_gasoi_3_babor	100%	8.28	7.31	1.07	0.91
Tanque_gasoi_3_estribor	100%	8.28	7.31	-1.07	0.91
Tanque_gasoi_4_babor	100%	2.04	10.75	0.60	1.02
Tanque_gasoi_4_estribor	100%	2.04	10.75	-0.60	1.02
Bodega	0%	0.00	6.64	0.00	1.51
Tanque_gasoi_popa_estribor	100%	7.12	-16.68	1.08	3.53
Tanque_gasoi_popa_babor	100%	7.12	-16.68	-1.08	3.53
Tripulación_y_objetos_personales	-	1.50	-1.40	0.00	3.80
Red_de_cubierta	-	1.50	-10.00	0.00	4.00
Red_de_popa	-	0.50	-15.00	0.00	4.50
Varios_pañol	-	0.50	14.09	0.00	5.23
Viveres	-	2.50	-5.96	-0.77	5.00
Hielo_en_bodega	-	8.00	6.64	0.00	1.51

Tabla 4. Pesos y centros de gravedad.

Lo que resulta en el siguiente desplazamiento y centro de gravedad:

<i>Desplazamiento (Tn)</i>	345.18
<i>X_G (m)</i>	-0.10
<i>Y_G (m)</i>	0.02
<i>Z_G (m)</i>	2.40

Tabla 5. Desplazamiento y centro de gravedad en la situación de carga.

6.3.2 Calado y trimado.

De acuerdo a las hidrostáticas, el buque se encuentra a un calado de 2.8m, trimado 0.25m a proa.

6.3.3 Estabilidad inicial.

De acuerdo a las hidrostáticas, el buque tiene un *KM* de 3.6m.

Aplicando **Ec. 4** tenemos que:

$$GM_0 = 3.6 - 2.4 = 1.2\text{m} \rightarrow \text{Ec. 13}$$

A esta altura metacéntrica debemos aplicarle las correcciones por superficies libres, que a pesar de estar todos los tanques de consumos llenos, aparecerán en el momento en el que comiencen los consumos, y por tanto no podemos obviar su efecto.

Si aplicamos **Ec. 6** a los distintos tanques, obtenemos una corrección por superficie libre tal que²:

$$GM_{SL} = \frac{171.8}{\Delta} \rightarrow \text{Ec. 14}$$

Lo que para esta condición de carga resulta:

$$GM_{SL} = \frac{171.8}{345.18} \text{m} = 0.5\text{m} \rightarrow \text{Ec. 15}$$

De tal forma que la altura metacéntrica resultante es:

$$GM = GM_0 - GM_{SL} = 1.2 - 0.5\text{m} = 0.7\text{m} \rightarrow \text{Ec. 16}$$

6.3.4 Estabilidad dinámica.

Aplicando el procedimiento descrito en 6.1.4, obtenemos la siguiente curva:

² Se empleará esta misma expresión en todas las condiciones de carga con los viveros vacíos.

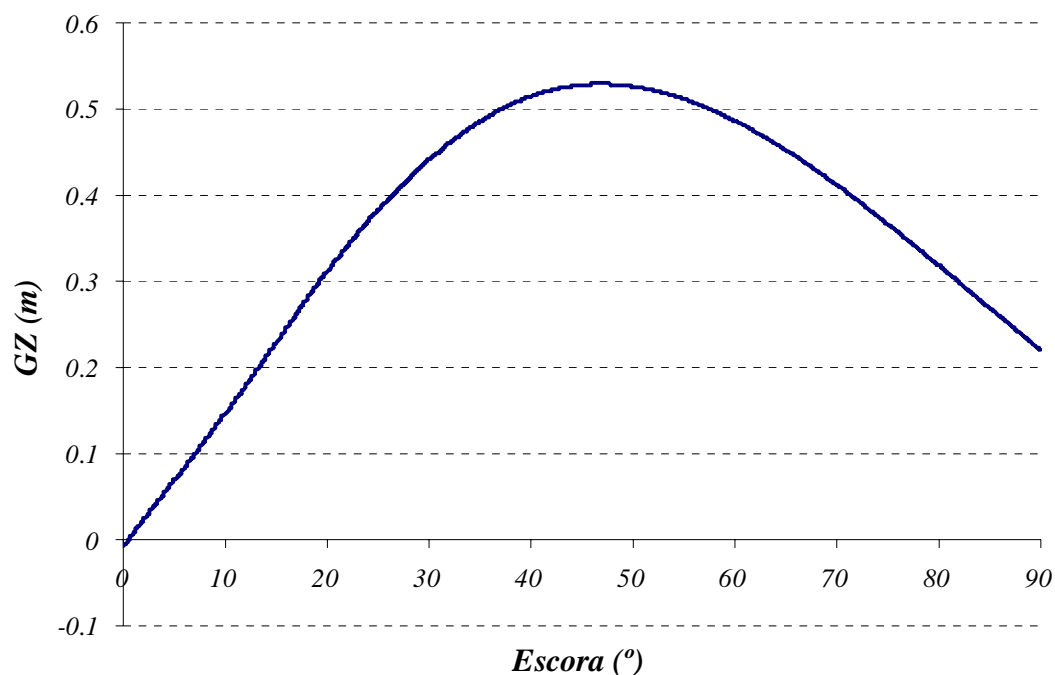


Figura 2. Curva de brazos adrizantes.

6.3.5 Cumplimiento de criterios.

Podemos ahora estudiar si el buque cumple, para esta situación de carga, los requisitos de la Administración, algo que podemos resumir en la siguiente tabla:

Área de 0° a 30° (m·rad)	0.118	OK
Área de 0° a 40° (m·rad)	0.203	OK
Área de 30° a 40° (m·rad)	0.084	OK
GZ para 30° (m·rad)	0.442	OK
Angulo para GZ máximo (°)	47	OK
GMt (m)	0.700	OK

Tabla 6. Cumplimiento de los requisitos de la Administración.

6.4 Salida de caladeros al 100% de pesca con el 35% de consumos y 100% de viveros.

El consumo de los tanques no se lleva a cabo por igual en todos los tanques, sino que se trata de consumir totalmente un tanque antes de acudir al siguiente, para minimizar el efecto de la superficie libre.

En este caso, la siguiente tabla representa el estado de los diferentes tanques en esta situación de carga, y del resto de pesos y sus centros de gravedad:

Concepto	Llenado	P (Tn)	X_G (m)	Y_G (m)	Z_G (m)
Peso en rosca	-	222.00	0.80	0.02	2.86
Pique_de_proa	0%	0.00	13.56	0.00	0.06
Viveros1_Babor	100%	6.97	-10.29	-2.29	2.83
Viveros1_Centro	100%	12.34	-10.30	0.00	2.28
Viveros1_Estribor	100%	6.97	-10.29	2.29	2.83
Viveros2_Babor	100%	9.88	-8.63	-2.07	2.77
Viveros2_Centro	100%	14.34	-8.30	0.00	2.73
Viveros2_Estribor	100%	9.88	-8.63	2.07	2.77
Aceite_CM	35%	1.27	0.47	-6.50	1.79
Aceite_hidraulico	100%	1.77	-3.29	2.23	0.93
Tanque_servicio_diario	100%	5.23	-1.28	2.28	0.92
Agua_dulce_CM_1	75%	2.80	-5.41	-2.04	0.84
Agua_dulce_CM_2	100%	5.58	-2.01	-2.26	0.92
Tanque_de_lodos	100%	2.33	-0.80	0.00	0.50
Tanque_gasoi_1_babor	100%	7.95	1.20	1.59	0.87
Tanque_gasoi_1_estribor	100%	7.95	1.20	-1.59	0.87
Tanque_gasoi_2_babor	100%	12.51	3.88	1.43	0.91
Tanque_gasoi_2_estribor	100%	12.51	3.88	-1.43	0.91
Tanque_gasoi_3_babor	81%	5.55	7.30	-1.00	0.84
Tanque_gasoi_3_estribor	81%	5.55	7.30	1.00	0.84
Tanque_gasoi_4_babor	0%	0.00	9.98	-0.12	0.28
Tanque_gasoi_4_estribor	0%	0.00	9.98	0.12	0.28
Bodega	100%	42.26	6.99	0.00	3.05
Tanque_gasoi_popa_estribor	0%	0.00	-15.89	0.10	1.48
Tanque_gasoi_popa_babor	0%	0.00	-15.89	0.10	1.48
Tripulación_y_objetos_personales	-	1.50	-1.40	0.00	3.80
Red_de_cubierta	-	1.50	-10.00	0.00	4.00
Red_de_popa	-	0.50	-15.00	0.00	4.50
Varios_pañol	-	0.50	14.09	0.00	5.23
Viveres	-	2.50	-5.96	-0.77	5.00
Hielo_en_bodega	-	8.00	6.64	0.00	1.51

Tabla 7. Pesos y centros de gravedad.

Lo que resulta en el siguiente desplazamiento y centro de gravedad:

Desplazamiento (Tn)	410.18
X_G (m)	-0.56
Y_G (m)	-0.02
Z_G (m)	2.42

Tabla 8. Desplazamiento y centro de gravedad en la situación de carga.

6.4.1 Calado y trimado.

De acuerdo a las hidrostáticas, el buque se encuentra a un calado de 3.2m, trimado 0.25m a proa.

6.4.2 Estabilidad inicial.

De acuerdo a las hidrostáticas, el buque tiene un *KM* de 3.6m.

Aplicando Ec. 4 tenemos que:

$$GM_0 = 3.6 - 2.4 = 1.2\text{m} \rightarrow \text{Ec. 17}$$

A la que hay que aplicar la siguiente corrección por superficie libre:

$$GM_{SL} = \frac{192.3}{410.18} \text{m} = 0.5\text{m} \rightarrow \text{Ec. 18}$$

De tal forma que la altura metacéntrica resultante es:

$$GM = GM_0 - GM_{SL} = 1.2 - 0.5\text{m} = 0.7\text{m} \rightarrow \text{Ec. 19}$$

700mm de altura metacéntrica, lo que sigue siendo superior a los 350mm mínimos exigidos por la administración.

6.4.3 Estabilidad dinámica.

Aplicando el procedimiento descrito en 6.1.4, obtenemos la siguiente curva:

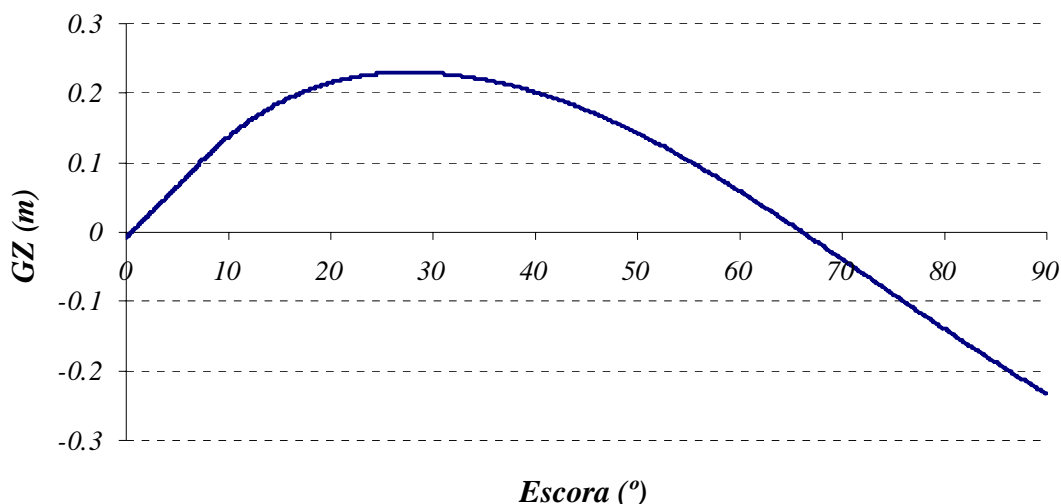


Figura 3. Curva de brazos adrizantes.

6.4.4 Cumplimiento de criterios.

Podemos ahora estudiar si el buque cumple, para esta situación de carga, los requisitos de la Administración, algo que podemos resumir en la siguiente tabla:

Área de 0° a 30° (m·rad)	0.06806	OK
Área de 0° a 40° (m·rad)	0.09934	OK
Área de 30° a 40° (m·rad)	0.03128	OK
GZ para 30° (m·rad)	0.229	OK
Angulo para GZ máximo (°)	28	OK
GMt (m)	0.700	OK

Tabla 9. Cumplimiento de los requisitos de la Administración.

6.5 Salida de caladero al 100% de pesca, 35% de consumibles y 0% de viveros.

Este caso es igual al anterior, pero con los viveros vacíos:

Concepto	Llenado	P (Tn)	X_G (m)	Y_G (m)	Z_G (m)
Peso en rosca	-	222.00	0.80	0.02	2.86
Pique_de_proa	0%	0.00	13.56	0.00	0.06
Viveros1_Babor	0%	0.00	-10.24	-1.98	1.55
Viveros1_Centro	0%	0.00	-10.29	0.00	1.51
Viveros1_Estribor	0%	0.00	-10.24	-1.98	1.55
Viveros2_Babor	0%	0.00	-10.24	1.98	1.55
Viveros2_Centro	0%	0.00	-10.29	0.00	1.51
Viveros2_Estribor	0%	0.00	-10.24	1.98	1.55
Aceite_CM	35%	1.27	0.47	-6.50	1.79
Aceite_hidraulico	100%	1.77	-3.29	2.23	0.93
Tanque_servicio_diario	100%	5.23	-1.28	2.28	0.92
Agua_dulce_CM_1	75%	2.80	-5.41	-2.04	0.84
Agua_dulce_CM_2	100%	5.58	-2.01	-2.26	0.92
Tanque_de_lodos	100%	2.33	-0.80	0.00	0.50
Tanque_gasoi_1_babor	100%	7.95	1.20	1.59	0.87
Tanque_gasoi_1_estribor	100%	7.95	1.20	-1.59	0.87
Tanque_gasoi_2_babor	100%	12.51	3.88	1.43	0.91
Tanque_gasoi_2_estribor	100%	12.51	3.88	-1.43	0.91
Tanque_gasoi_3_babor	81%	5.55	7.30	-1.00	0.84
Tanque_gasoi_3_estribor	81%	5.55	7.30	1.00	0.84
Tanque_gasoi_4_babor	0%	0.00	9.98	-0.12	0.28
Tanque_gasoi_4_estribor	0%	0.00	9.98	0.12	0.28
Bodega	100%	42.26	6.99	0.00	3.05
Tanque_gasoi_popa_estribor	0%	0.00	-15.89	0.10	1.48
Tanque_gasoi_popa_babor	0%	0.00	-15.89	0.10	1.48
Tripulación_y_objetos_personales	-	1.50	-1.40	0.00	3.80
Red_de_cubierta	-	1.50	-10.00	0.00	4.00
Red_de_popa	-	0.50	-15.00	0.00	4.50
Varios_pañol	-	0.50	14.09	0.00	5.23
Viveres	-	2.50	-5.96	-0.77	5.00
Hielo_en_bodega	-	8.00	6.64	0.00	1.51

Tabla 10. Pesos y centros de gravedad.

Lo que resulta en el siguiente desplazamiento y centro de gravedad:

Desplazamiento (Tn)	349.80
X_G (m)	-0.32
Y_G (m)	-0.02
Z_G (m)	2.48

Tabla 11. Desplazamiento y centro de gravedad en la situación de carga.

6.5.1 Calado y trimado.

De acuerdo a las hidrostáticas, el buque se encuentra a un calado de 2.9m, trimado 0.25m a proa.

6.5.2 Estabilidad inicial.

De acuerdo a las hidrostáticas, el buque tiene un *KM* de 3.6m.

Aplicando **Ec. 4** tenemos que:

$$GM_0 = 3.6 - 2.5 = 1.1\text{m} \rightarrow \text{Ec. 20}$$

A la que hay que aplicar la siguiente corrección por superficie libre:

$$GM_{SL} = \frac{171.8}{349.8} \text{ m} = 0.6\text{m} \rightarrow \text{Ec. 21}$$

De tal forma que la altura metacéntrica resultante es:

$$GM = GM_0 - GM_{SL} = 1.1 - 0.6\text{m} = 0.5\text{m} \rightarrow \text{Ec. 22}$$

También dispone de 500mm de altura metacéntrica en esta situación de carga, que sigue siendo superior a los 350mm mínimos exigidos por la administración.

6.5.3 Estabilidad dinámica.

Aplicando el procedimiento descrito en 6.1.4, obtenemos la siguiente curva:

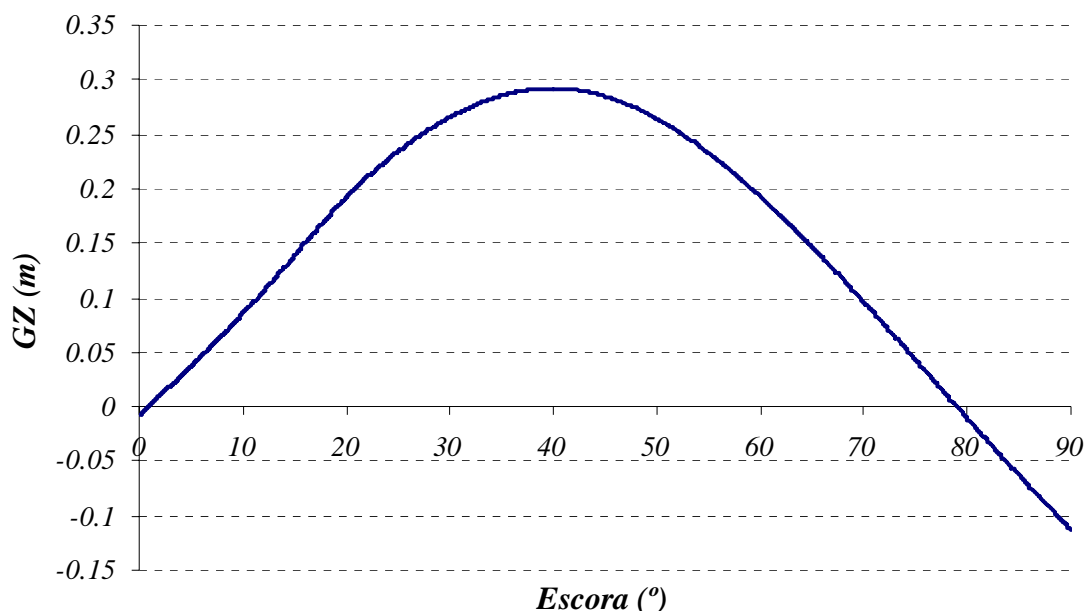


Figura 4. Curva de brazos adrizantes.

6.5.4 Cumplimiento de criterios.

Podemos ahora estudiar si el buque cumple, para esta situación de carga, los requisitos de la Administración, algo que podemos resumir en la siguiente tabla:

Área de 0° a 30° (m·rad)	0.071383	OK
Área de 0° a 40° (m·rad)	0.120794	OK
Área de 30° a 40° (m·rad)	0.049411	OK
GZ para 30° (m·rad)	0.26588	OK
Angulo para GZ máximo (°)	31	OK
GMt (m)	0.500	OK

Tabla 12. Cumplimiento de los requisitos de la Administración.

6.6 Llegada a puerto con 100% de pesca, 10% de consumos y 100% de viveros.

Para mantener el 10% de consumos, con el máximo número de tanques llenos, la distribución de pesos y centros de gravedad es la siguiente:

Concepto	Llenado	P (Tn)	X_G (m)	Y_G (m)	Z_G (m)
Peso en rosca	-	222.00	0.80	0.02	2.86
Pique_de_proa	0%	0.00	13.56	0.00	0.06
Viveros1_Babor	100%	6.97	-10.29	-2.29	2.83
Viveros1_Centro	100%	12.34	-10.30	0.00	2.28
Viveros1_Estribor	100%	6.97	-10.29	2.29	2.83
Viveros2_Babor	100%	9.88	-8.63	-2.07	2.77
Viveros2_Centro	100%	14.34	-8.30	0.00	2.73
Viveros2_Estribor	100%	9.88	-8.63	2.07	2.77
Aceite_CM	10%	0.36	0.47	-6.50	1.79
Aceite_hidraulico	100%	1.77	-3.29	2.23	0.93
Tanque_servicio_diario	100%	5.23	-1.28	2.28	0.92
Agua_dulce_CM_1	0%	0.00	-4.74	-1.36	0.26
Agua_dulce_CM_2	36%	1.99	-1.98	-2.05	0.53
Tanque_de_lodos	100%	2.33	-0.80	0.00	0.50
Tanque_gasoi_1_babor	100%	7.95	1.20	1.59	0.87
Tanque_gasoi_1_estribor	100%	7.95	1.20	-1.59	0.87
Tanque_gasoi_2_babor	0%	12.51	3.88	1.43	0.91
Tanque_gasoi_2_estribor	0%	12.51	3.88	-1.43	0.91
Tanque_gasoi_3_babor	0%	5.55	7.30	-1.00	0.84
Tanque_gasoi_3_estribor	0%	5.55	7.30	1.00	0.84
Tanque_gasoi_4_babor	0%	0.00	9.98	-0.12	0.28
Tanque_gasoi_4_estribor	0%	0.00	9.98	0.12	0.28
Bodega	100%	42.26	6.99	0.00	3.05
Tanque_gasoi_popa_estribor	0%	0.00	-15.89	0.10	1.48
Tanque_gasoi_popa_babor	0%	0.00	-15.89	0.10	1.48
Tripulación_y_objetos_personales	-	1.50	-1.40	0.00	3.80
Red_de_cubierta	-	1.50	-10.00	0.00	4.00
Red_de_popa	-	0.50	-15.00	0.00	4.50
Varios_pañol	-	0.50	14.09	0.00	5.23
Viveres	-	2.50	-5.96	-0.77	5.00
Hielo_en_bodega	-	8.00	6.64	0.00	1.51

Tabla 13. Pesos y centros de gravedad.

Lo que resulta en el siguiente desplazamiento y centro de gravedad:

Desplazamiento (Tn)	402.88
X_G (m)	-0.51
Y_G (m)	0.03
Z_G (m)	2.54

Tabla 14. Desplazamiento y centro de gravedad en la situación de carga.

6.6.1 Calado y trimado.

De acuerdo a las hidrostáticas, el buque se encuentra a un calado de 3.1m, trimado 0.1m a proa.

6.6.2 Estabilidad inicial.

De acuerdo a las hidrostáticas, el buque tiene un KM de 3.6m.

Aplicando **Ec. 4** tenemos que:

$$GM_0 = 3.6 - 2.5 = 1.1\text{m} \rightarrow \text{Ec. 23}$$

A la que hay que aplicar la siguiente corrección por superficie libre:

$$GM_{SL} = \frac{192.3}{402.88} \text{m} = 0.5\text{m} \rightarrow \text{Ec. 24}$$

De tal forma que la altura metacéntrica resultante es:

$$GM = GM_0 - GM_{SL} = 1.1 - 0.5\text{m} = 0.6\text{m} \rightarrow \text{Ec. 25}$$

600mm de altura metacéntrica en esta situación de carga.

6.6.3 Estabilidad dinámica.

Aplicando el procedimiento descrito en 6.1.4, obtenemos la siguiente curva:

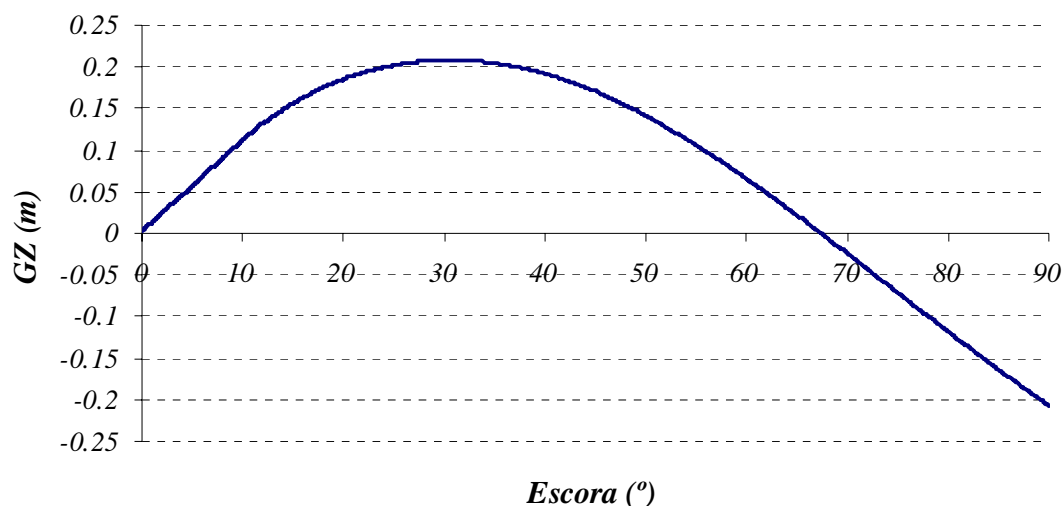


Figura 5. Curva de brazos adrizantes.

6.6.4 Cumplimiento de criterios.

Podemos ahora estudiar si el buque cumple, para esta situación de carga, los requisitos de la Administración, algo que podemos resumir en la siguiente tabla:

Área de 0° a 30° (m·rad)	0.071383	OK
Área de 0° a 40° (m·rad)	0.120794	OK
Área de 30° a 40° (m·rad)	0.049411	OK
GZ para 30° (m·rad)	0.26588	OK
Angulo para GZ máximo (°)	31	OK
GMt (m)	0.600	OK

Tabla 15. Cumplimiento de los requisitos de la Administración.

6.7 Llegada a puerto con 100% de pesca, 10% de consumos y 0% de viveros.

En esta situación de carga hacemos uso de los tanques de lastre, quedando los pesos y centros de gravedad como sigue:

Concepto	Llenado	P (Tn)	X _G (m)	Y _G (m)	Z _G (m)
Peso en rosca	-	222.00	0.80	0.02	2.86
Pique_de_proa	0%	0.00	13.56	0.00	0.06
Viveros1_Babor	0%	0.00	-10.24	-1.98	1.55
Viveros1_Centro	0%	0.00	-10.29	0.00	1.51
Viveros1_Estribor	0%	0.00	-10.24	-1.98	1.55
Viveros2_Babor	0%	0.00	-10.24	1.98	1.55
Viveros2_Centro	0%	0.00	-10.29	0.00	1.51
Viveros2_Estribor	0%	0.00	-10.24	1.98	1.55
Aceite_CM	10%	0.36	0.47	-6.50	1.79
Aceite_hidraulico	100%	1.77	-3.29	2.23	0.93
Tanque_servicio_diario	100%	5.23	-1.28	2.28	0.92
Agua_dulce_CM_1	0%	0.00	-4.74	-1.36	0.26
Agua_dulce_CM_2	36%	1.99	-1.98	-2.05	0.53
Tanque_de_lodos	100%	2.33	-0.80	0.00	0.50
Tanque_gasoi_1_babor	100%	7.95	1.20	1.59	0.87
Tanque_gasoi_1_estribor	100%	7.95	1.20	-1.59	0.87
Tanque_gasoi_2_babor	0%	12.51	3.88	1.43	0.91
Tanque_gasoi_2_estribor	0%	12.51	3.88	-1.43	0.91
Tanque_gasoi_3_babor	0%	5.55	7.30	-1.00	0.84
Tanque_gasoi_3_estribor	0%	5.55	7.30	1.00	0.84
Tanque_gasoi_4_babor	0%	0.00	9.98	-0.12	0.28
Tanque_gasoi_4_estribor	0%	0.00	9.98	0.12	0.28
Bodega	100%	42.26	6.99	0.00	3.05
Tanque_gasoi_popa_estribor	0%	0.00	-15.89	0.10	1.48
Tanque_gasoi_popa_babor	0%	0.00	-15.89	0.10	1.48
Tanque_lastre	100%	2.60	11.34	0.79	1.84
Tripulación_y_objetos_personales	-	1.50	-1.40	0.00	3.80
Red_de_cubierta	-	1.50	-10.00	0.00	4.00
Red_de_popa	-	0.50	-15.00	0.00	4.50
Varios_pañol	-	0.50	14.09	0.00	5.23
Viveres	-	2.50	-5.96	-0.77	5.00
Hielo_en_bodega	-	8.00	6.64	0.00	1.51

Tabla 16. Pesos y centros de gravedad.

Lo que resulta en el siguiente desplazamiento y centro de gravedad:

Desplazamiento (Tn)	345.09
X_G (m)	-0.31
Y_G (m)	0.04
Z_G (m)	2.51

Tabla 17. Desplazamiento y centro de gravedad en la situación de carga.

6.7.1 Calado y trimado.

De acuerdo a las hidrostáticas, el buque se encuentra a un calado de 2.9m, trimado 0.25m a proa.

6.7.2 Estabilidad inicial.

De acuerdo a las hidrostáticas, el buque tiene un KM de 3.6m.

Aplicando **Ec. 4** tenemos que:

$$GM_0 = 3.6 - 2.5 = 1.1\text{m} \rightarrow \text{Ec. 26}$$

A la que hay que aplicar la siguiente corrección por superficie libre:

$$GM_{SL} = \frac{171.8}{345.09} \text{m} = 0.6\text{m} \rightarrow \text{Ec. 27}$$

De tal forma que la altura metacéntrica resultante es:

$$GM = GM_0 - GM_{SL} = 1.1 - 0.6\text{m} = 0.5\text{m} \rightarrow \text{Ec. 28}$$

En esta situación de carga dispone de 500mm de altura metacéntrica, que sigue siendo superior a los 350mm mínimos exigidos por la administración.

6.7.3 Estabilidad dinámica.

Aplicando el procedimiento descrito en 6.1.4, obtenemos la siguiente curva:

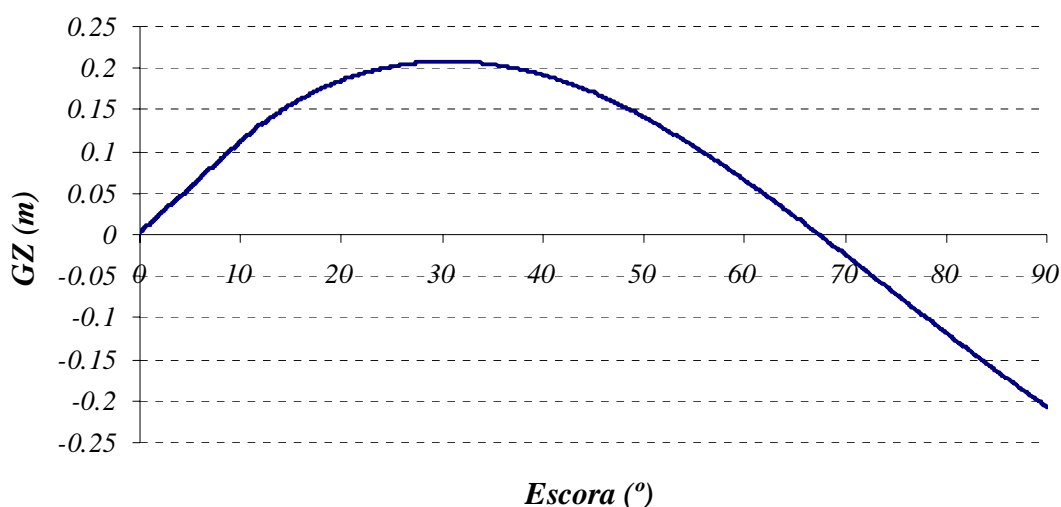


Figura 6. Curva de brazos adrizantes.

6.7.4 Cumplimiento de criterios.

Podemos ahora estudiar si el buque cumple, para esta situación de carga, los requisitos de la Administración, algo que podemos resumir en la siguiente tabla:

Área de 0° a 30° (m·rad)	0.071855	OK
Área de 0° a 40° (m·rad)	0.10732	OK
Área de 30° a 40° (m·rad)	0.035465	OK
GZ para 30° (m·rad)	0.26588	OK
Angulo para GZ máximo (°)	31	OK
GMt (m)	0.500	OK

Tabla 18. Cumplimiento de los requisitos de la Administración.

6.8 Llegada a puerto con 20% de pesca, 10% de consumos y 0% de viveros.

Esta es presumiblemente la peor situación de carga en el buque, en la que también haremos uso del lastre, quedando los pesos y centros de gravedad como sigue:

Concepto	Llenado	P (Tn)	X _G (m)	Y _G (m)	Z _G (m)
Peso en rosca	-	222.00	0.80	0.02	2.86
Pique de proa	0%	0.00	13.56	0.00	0.06
Viveros1_Babor	0%	0.00	-10.24	-1.98	1.55
Viveros1_Centro	0%	0.00	-10.29	0.00	1.51
Viveros1_Estribor	0%	0.00	-10.24	-1.98	1.55
Viveros2_Babor	0%	0.00	-10.24	1.98	1.55
Viveros2_Centro	0%	0.00	-10.29	0.00	1.51
Viveros2_Estribor	0%	0.00	-10.24	1.98	1.55
Aceite_CM	10%	0.36	0.47	-6.50	1.79
Aceite_hidraulico	100%	1.77	-3.29	2.23	0.93
Tanque_servicio_diario	100%	5.23	-1.28	2.28	0.92
Agua_dulce_CM_1	0%	0.00	-4.74	-1.36	0.26
Agua_dulce_CM_2	36%	1.99	-1.98	-2.05	0.53
Tanque_de_lodos	100%	2.33	-0.80	0.00	0.50
Tanque_gasoi_1_babor	100%	7.95	1.20	1.59	0.87
Tanque_gasoi_1_estribor	100%	7.95	1.20	-1.59	0.87
Tanque_gasoi_2_babor	0%	12.51	3.88	1.43	0.91
Tanque_gasoi_2_estribor	0%	12.51	3.88	-1.43	0.91
Tanque_gasoi_3_babor	0%	5.55	7.30	-1.00	0.84
Tanque_gasoi_3_estribor	0%	5.55	7.30	1.00	0.84
Tanque_gasoi_4_babor	0%	0.00	9.98	-0.12	0.28
Tanque_gasoi_4_estribor	0%	0.00	9.98	0.12	0.28
Bodega	20%	8.45	6.68	0.00	1.85
Tanque_gasoi_popa_estribor	0%	0.00	-15.89	0.10	1.48
Tanque_gasoi_popa_babor	0%	0.00	-15.89	0.10	1.48
Tanque_lastre	100%	2.60	11.34	0.79	1.84
Tripulación_y_objetos_personales	-	1.50	-1.40	0.00	3.80
Red_de_cubierta	-	1.50	-10.00	0.00	4.00
Red_de_popa	-	0.50	-15.00	0.00	4.50
Varios_pañol	-	0.50	14.09	0.00	5.23
Viveres	-	2.50	-5.96	-0.77	5.00
Hielo_en_bodega	-	8.00	6.64	0.00	1.51

Tabla 19. Pesos y centros de gravedad.

Lo que resulta en el siguiente desplazamiento y centro de gravedad:

Desplazamiento (Tn)	311.28
X_G (m)	-0.29
Y_G (m)	0.04
Z_G (m)	2.42

Tabla 20. Desplazamiento y centro de gravedad en la situación de carga.

6.8.1 Calado y trimado.

De acuerdo a las hidrostáticas, el buque se encuentra a un calado de 2.6m, trimado 0.25m a proa.

6.8.2 Estabilidad inicial.

De acuerdo a las hidrostáticas, el buque tiene un KM de 3.5m.

Aplicando **Ec. 4** tenemos que:

$$GM_0 = 3.5 - 2.4 = 1.1\text{m} \rightarrow \text{Ec. 29}$$

A la que hay que aplicar la siguiente corrección por superficie libre:

$$GM_{SL} = \frac{171.8}{311.28} \text{m} = 0.6\text{m} \rightarrow \text{Ec. 30}$$

De tal forma que la altura metacéntrica resultante es:

$$GM = GM_0 - GM_{SL} = 1.1 - 0.6\text{m} = 0.5\text{m} \rightarrow \text{Ec. 31}$$

En esta situación de carga dispone de 500mm de altura metacéntrica, que sigue siendo superior a los 350mm mínimos exigidos por la administración.

6.8.3 Estabilidad dinámica.

Aplicando el procedimiento descrito en 6.1.4, obtenemos la siguiente curva:

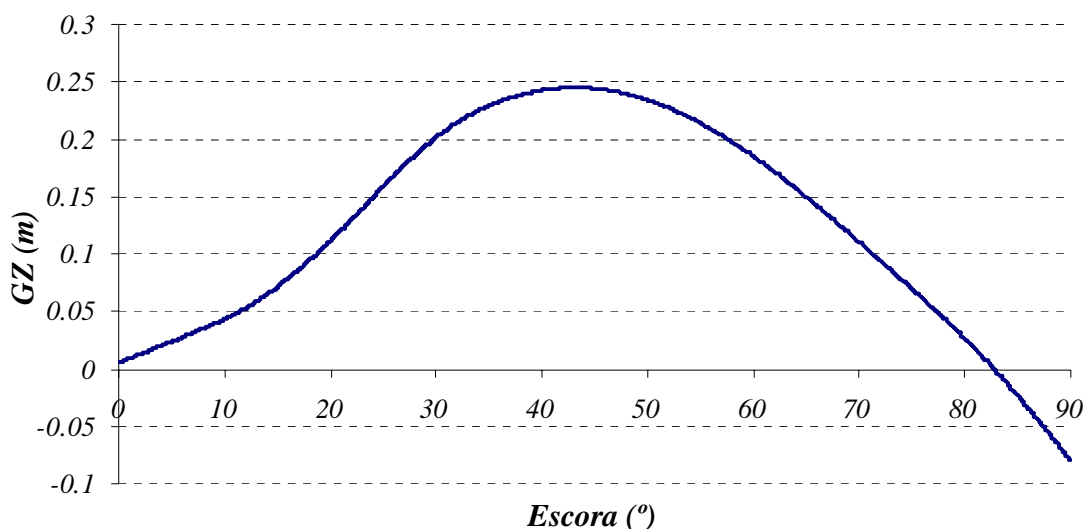


Figura 7. Curva de brazos adrizantes.

6.8.4 Cumplimiento de criterios.

Podemos ahora estudiar si el buque cumple, para esta situación de carga, los requisitos de la Administración, algo que podemos resumir en la siguiente tabla:

Área de 0° a 30° (m·rad)	0.057558	OK
Área de 0° a 40° (m·rad)	0.094142	OK
Área de 30° a 40° (m·rad)	0.036584	OK
GZ para 30° (m·rad)	0.21215	OK
Angulo para GZ máximo (°)	40	OK
GMt (m)	0.500	OK

Tabla 21. Cumplimiento de los requisitos de la Administración.

Por tanto se cumplen los criterios de estabilidad mínimos exigidos por la Administración en todas las situaciones de carga. Más adelante presentaremos una tabla resumen.

7 Resistencia longitudinal: pesos, empujes, esfuerzos cortantes y momentos flectores.

La normativa no nos obliga a cumplir ningún criterio relacionado con la resistencia longitudinal, pues se considera que buques de este tamaño no son propensos a fallos por resistencia longitudinal. No obstante, puesto que este apartado forma parte de la normativa de Proyectos Fin de Carrera de la E.T.S.I.N., se presentan a continuación las distribuciones longitudinales de pesos y empujes, y los esfuerzos cortantes y momentos flectores que de ello se derivan.

7.1 Salida de puerto al 100% de consumo con 100% de viveros.

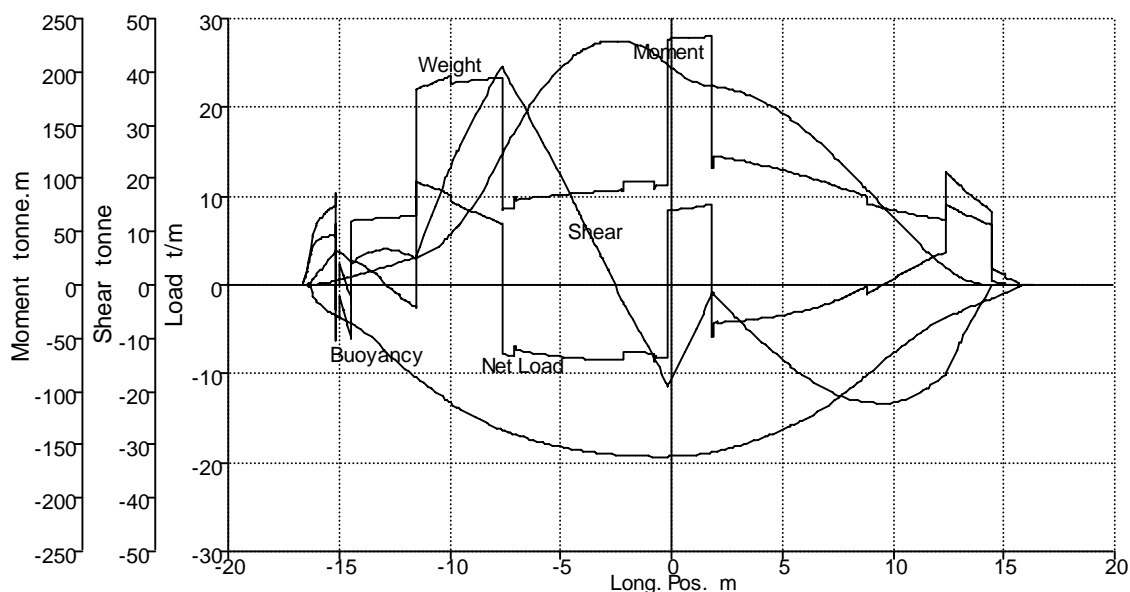


Figura 8. Distribución longitudinal de pesos, empujes, esfuerzos cortantes, y momentos flectores.

7.2 Salida de puerto al 100% de consumo con 0% de viveros.

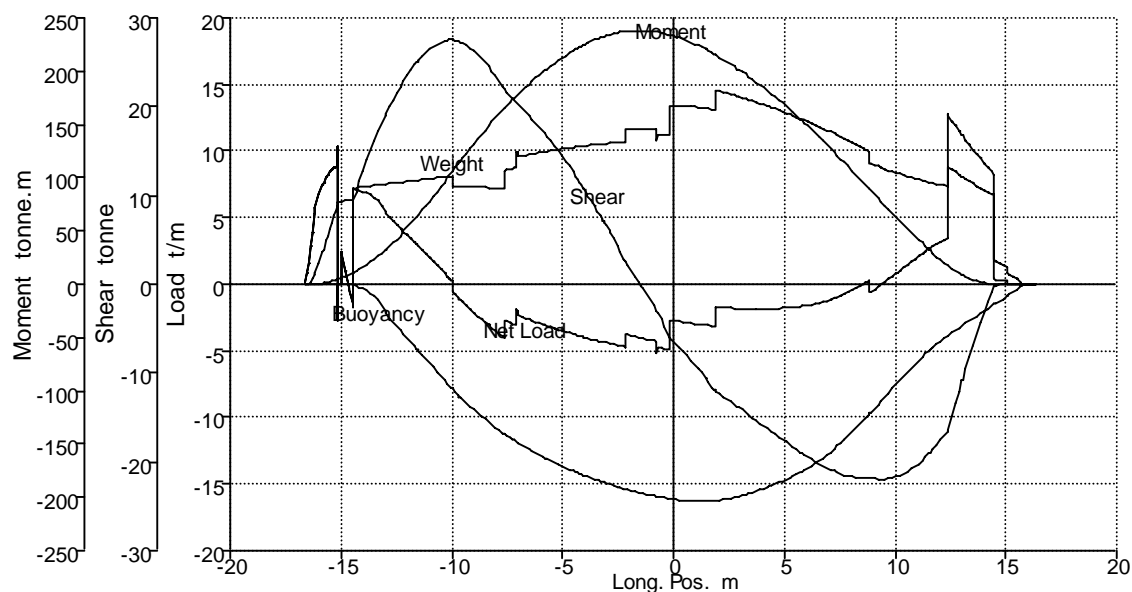


Figura 9. Distribución longitudinal de pesos, empujes, esfuerzos cortantes, y momentos flectores.

7.3 Salida de caladeros al 100% de pesca con el 35% de consumos y 100% de viveros.

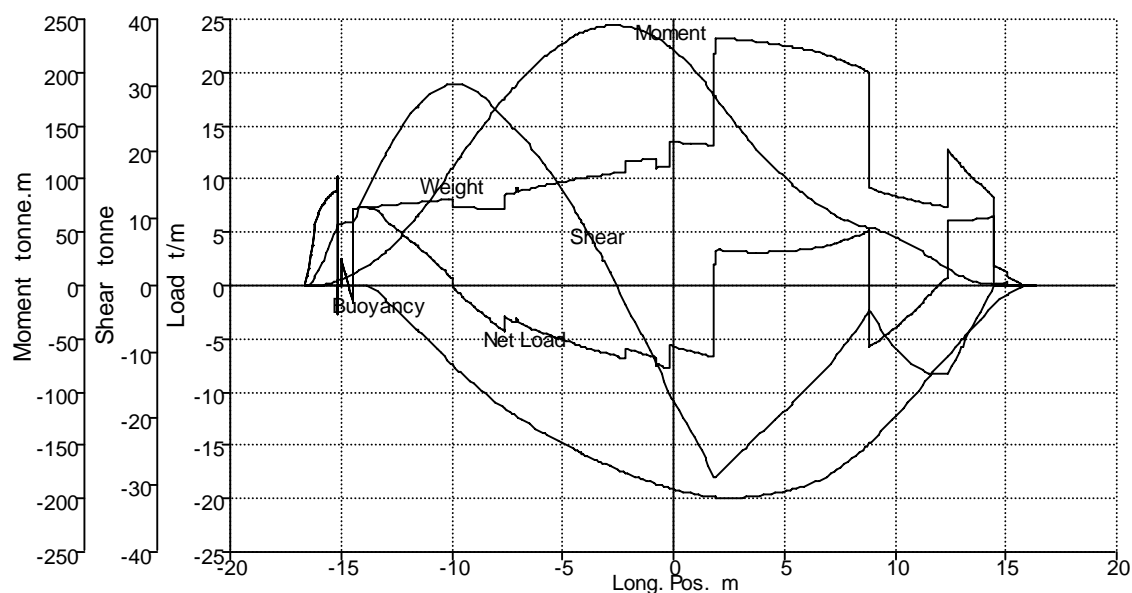


Figura 10. Distribución longitudinal de pesos, empujes, esfuerzos cortantes, y momentos flectores.

7.4 Salida de caladero al 100% de pesca, 35% de consumibles y 0% de viveros.

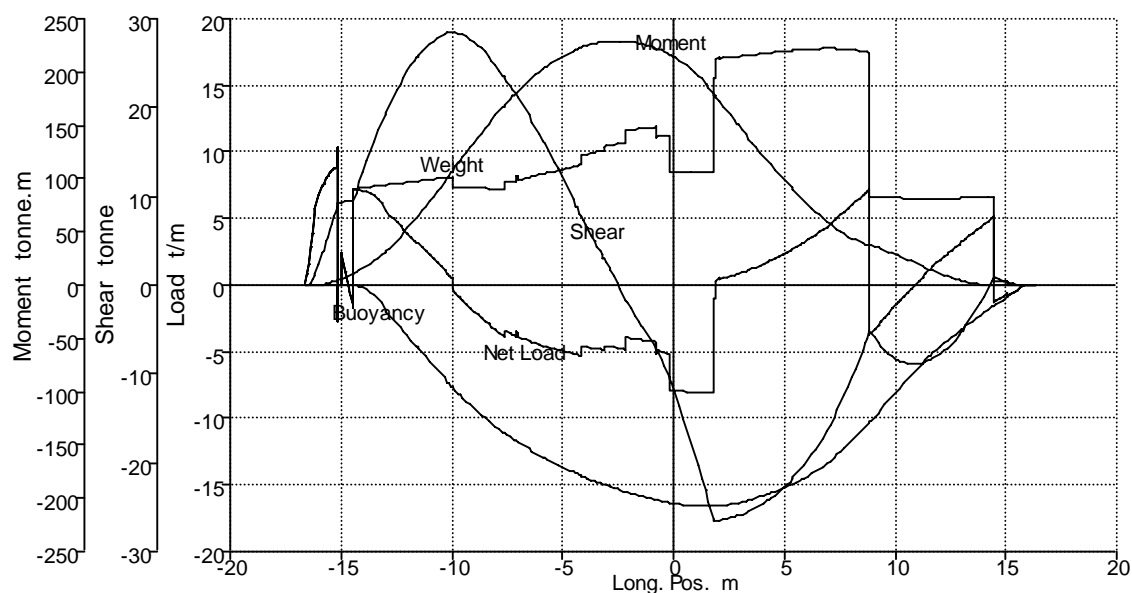


Figura 11. Distribución longitudinal de pesos, empujes, esfuerzos cortantes, y momentos flectores.

7.5 Llegada a puerto con 100% de pesca, 10% de consumos y 100% de viveros.

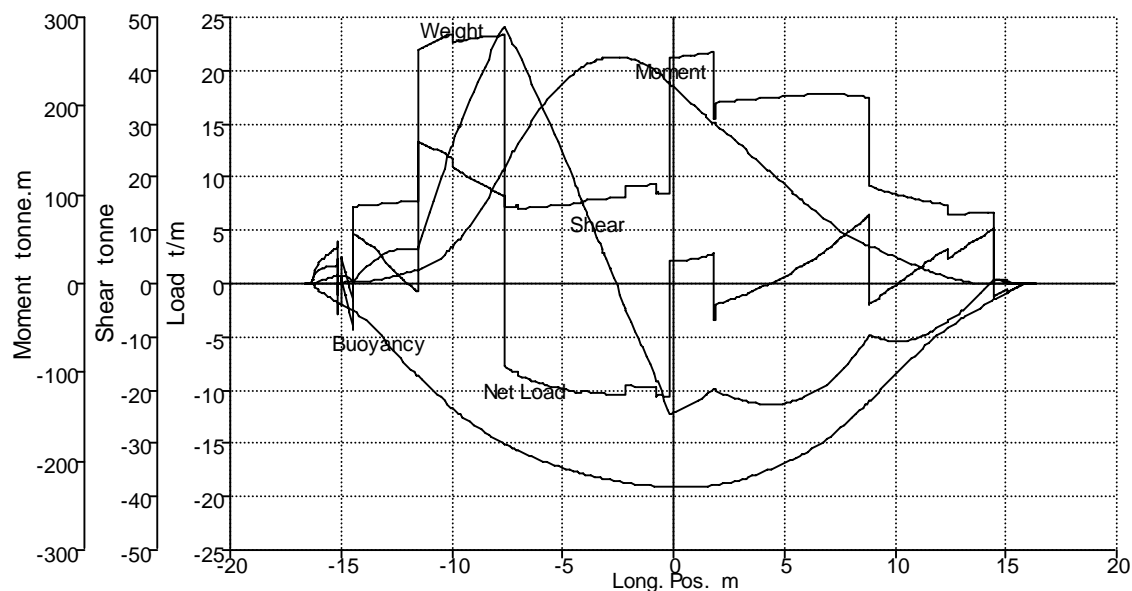


Figura 12. Distribución longitudinal de pesos, empujes, esfuerzos cortantes, y momentos flectores.

7.6 Llegada a puerto con 100% de pesca, 10% de consumos y 0% de viveros.

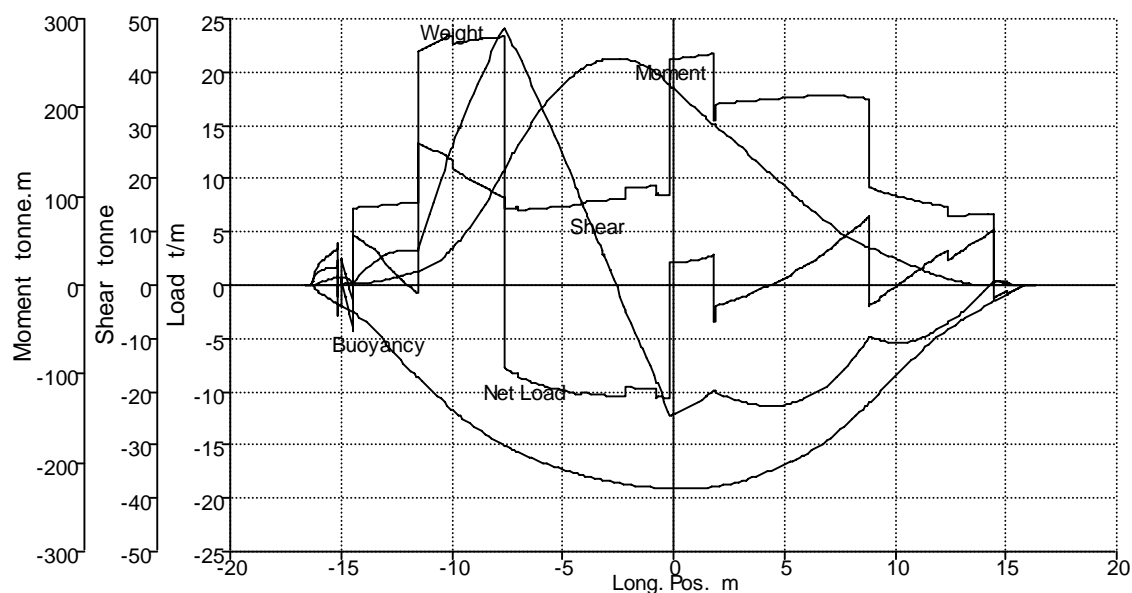


Figura 13. Distribución longitudinal de pesos, empujes, esfuerzos cortantes, y momentos flectores.

7.7 Llegada a puerto con 20% de pesca, 10% de consumos y 0% de viveros.

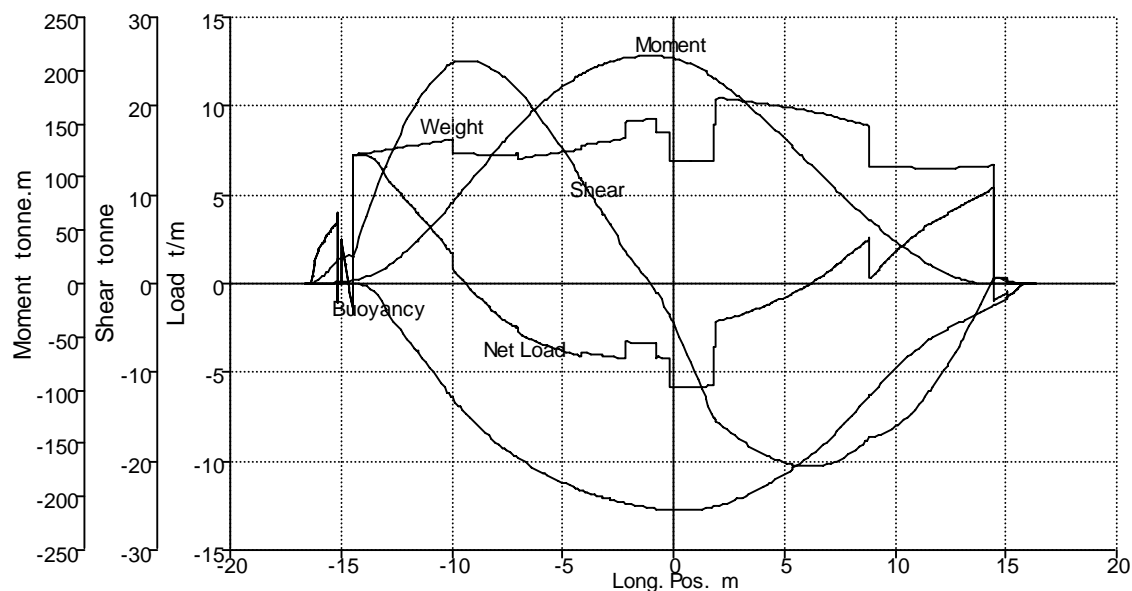


Figura 14. Distribución longitudinal de pesos, empujes, esfuerzos cortantes, y momentos flectores.

8 Estabilidad después de avería cuando lo requieren los reglamentos.

Para el proyecto que nos ocupa solo se debe respetar el reglamento de ángulos de inundación.

8.1 Ángulos de inundación.

La Dirección General de Marina Mercante establece que, para las situaciones de carga que se han estudiado en este documento, el ángulo de inundación, que es aquel en el que el agua puede alcanzar una abertura en la cubierta, sea superior a 20° en todo caso.

La primera abertura por donde puede comenzar la inundación es la abertura de la bodega, situada en el siguiente punto:

$$X = 5.367\text{m}$$

$$Y = 0.000\text{m} \rightarrow \text{Ec. 32}$$

$$Z = 4.988\text{m}$$

Para el caso de mayor calado, de 3.4 metros, el ángulo de inundación es de:

$$\theta = \arctan\left(\frac{Z - C}{B/2}\right) = \arctan\left(\frac{4.988 - 3.4}{3.6/2}\right) = 41.3^\circ \rightarrow \text{Ec. 33}$$

Luego se cumple el criterio holgadamente.

9 Tabla resumen y análisis de las situaciones de carga.

En la siguiente tabla se resume el estado del buque en las distintas situaciones de carga, y sus propiedades de estabilidad:

	Límite	S.C. 1	S.C. 2	S.C. 3	S.C. 4	S.C. 5	S.C. 6	S.C. 7
Calado (m)	-	3.1	2.8	3.2	2.9	3.1	2.9	2.6
Área de 0° a 30° (m·rad)	0.055	0.105	0.118	0.068	0.071	0.072	0.067	0.058
Área de 0° a 40° (m·rad)	0.090	0.163	0.203	0.099	0.121	0.107	0.112	0.094
Área de 30° a 40° (m·rad)	0.030	0.058	0.084	0.031	0.049	0.035	0.045	0.037
GZ para 30° (m)	0.200	0.324	0.442	0.229	0.266	0.266	0.244	0.212
Ángulo de escora para GZ máximo (°)	25	39	47	28	31	28	28	40
GMt (m)	0.35	0.70	0.70	0.70	0.50	0.60	0.50	0.50

Tabla 22. Tabla resumen de las situaciones de carga.

Podemos observar que se superan los valores mínimos que exige la normativa en todas las situaciones de carga.

10 Acrónimos.

Δ , desplazamiento del buque (6.2).

P_{rosca} , peso en rosca del buque (6.2).

P_i , pesos que conforman el peso muerto (6.2).

KG , altura del centro de gravedad (6.2).

$Z_{g,rosca}$, altura del centro de gravedad del buque en rosca (6.2).

$Z_{g,i}$, altura del centro de gravedad de cada concepto del peso muerto (6.2).

KM , altura del metacentro desde la línea base (6.2).

GM_0 , altura metacéntrica sin corregir por superficies libres (6.2).

GM , altura metacéntrica corregida por superficies libres (6.2).

$GM_{SL,i}$, corrección por superficies libres de cada tanque (6.2).

I_{area} , inercia del área de la superficie libre del tanque (6.2).

ρ_{as} , densidad del agua salada (6.2).

L , eslora del tanque (6.2).

B , manga del tanque (6.2).

GZ , brazo adrizante (6.2).

KN , carena inclinada (6.2).

θ , ángulo de escora (6.2).

X , posición longitudinal de la abertura en cubierta (8.1).

Y , posición transversal de la abertura en cubierta (8.1).

Z , altura de la abertura en cubierta (8.1).

θ , ángulo de inundación (8.1).

C , calado máximo (8.1).

B , manga del buque (8.1).

Anexo I: Proyecto del tanque estabilizador pasivo.

1 Introducción.

La especificación del proyecto indica que (ver apartado 2):

“El buque dispondrá de un tanque estabilizador pasivo que reduzca al menos un 50% el movimiento de balance durante la maniobra de pesca”.

En este anexo se documenta el proyecto de un tanque estabilizador capaz de cumplir con los requisitos impuestos en la especificación, intentando al mismo tiempo que el tanque pueda ser empleado en la mayor parte de las situaciones de carga para poder mejorar las condiciones de explotación del buque en el mayor número de situaciones posibles.

Para el diseño del tanque estabilizador comenzaremos haciendo un breve estudio de comportamiento en la mar para conocer los ángulos de balance aproximados a los que se enfrentará el buque si no dispone de un tanque estabilizador pasivo.

Una vez conozcamos los ángulos de balance previsibles estudiaremos las condiciones de operación del tanque estabilizador, lo que incluye conocer los periodos propios de balance del buque en cada situación de carga, y el momento que debe generar el tanque para cumplir con los requisitos impuestos en la especificación.

A falta de ensayos reales, haremos uso de códigos CFD para obtener el momento efectivo que ejerce el tanque estabilizador pasivo (que depende del momento generado por el tanque, y del desfase con respecto al movimiento del buque) y así poder estimar la eficiencia del mismo, con objeto de poder valorar si se cumplen satisfactoriamente los requisitos de la especificación.

2 Comportamiento en la mar.

De cara a conocer los ángulos de balance a los que se enfrentaría el buque en caso de no disponer de un sistema estabilizador lo primero que necesitamos es conocer el mar en el que operará.

D.Francisco Berenguer , D. José Luis Arreche García y D. Pilar Sanz Moral establecen que para el mar Cantábrico la distribución anual del oleaje tiene las siguientes características:

H	T				
		Corta (≤8seg)	Regular (8 seg<T<12 seg)	Larga (≥12 seg)	Total
	≤ 2 m.	19,8%	39,9%	7,7%	67,4%
	2-4 m.	2,3%	14,1%	11,1%	27,5%
	≥ 4 m.	-	1,2%	3,9%	5,1%
	Total	22,1%	55,2%	22,7%	100%

Tabla 23. Olas del mar Cantábrico.

Observamos una clara dominancia, en cuanto a ocurrencias se refiere, del oleaje de menos de 2m, y periodos entre los 8s y los 12s.

Por otra parte, para conocer el efecto que una ola, de una determinada frecuencia y altura, tiene sobre el buque, se emplea una función de transferencia o *RAO* (Response Amplitude Operator). El *RAO* puede estimarse haciendo uso de una serie de hipótesis de

linealidad válidas para olas de pequeña pendiente mediante teoría de rebanadas. En nuestro caso lo hemos hecho con el módulo Seakeeper de MAXSURF.

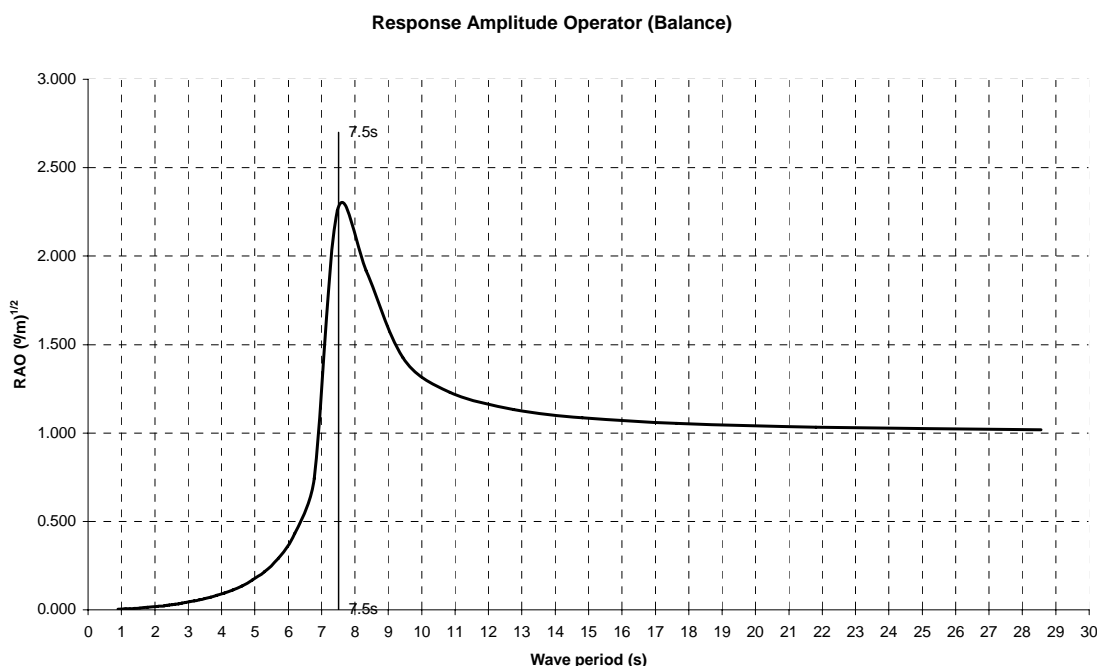


Figura 15. RAO para movimientos de balance de nuestro buque.

La función de transferencia que se observa en la figura Figura 15. corresponde al movimiento de balance de nuestro buque en olas de través. En este caso el RAO corresponde a la situación de carga primera, en la que el buque sale de puerto con la bodega vacía, al 100% de consumo con 100% de viveros.

En rigor, deberíamos conocer el efecto del oleaje en cada una de las situaciones de carga, o al menos, en aquellas en las que el buque se encuentra realizando operaciones de pesca dado que la especificación del proyecto exige que el tanque estabilizador reduzca los ángulos de balance durante las maniobras de pesca. Sin embargo, como veremos más adelante, el estudio que aquí estamos realizando sólo es necesario para obtener una estimación de los ángulos de balance, que dentro de unos márgenes aceptables no es un dato relevante para el dimensionamiento del tanque³, simplemente marcarán las condiciones en las simulaciones CFD.

El máximo del RAO marca el periodo propio de balance del buque en esa situación de carga, en este caso aproximadamente de 7.5s. Más adelante calcularemos los periodos propios en cada situación de carga, y comprobaremos si este valor es adecuado.

El RAO presentado en la figura Figura 15. es la función de transferencia que opera alturas de ola para devolver ángulos de balance⁴ según la siguiente expresión:

$$\theta(T) = RAO(T)^2 \cdot H(T) \rightarrow \text{Ec. 34}$$

Donde:

T , periodo de la ola.

³ Aunque hablamos de un sistema marcadamente no lineal, lo cierto es que para el rango de ángulos de balance en el que previsiblemente nos moveremos el efecto del ángulo no será significativo.

⁴ Existe otra forma de caracterizar el movimiento de balance del buque, y es mediante una función de transferencia que transforme pendientes de ola en ángulos de balance.

θ , ángulo de balance.

H , altura de la ola.

Conviene aclarar que al ser olas de través, el periodo de encuentro con la ola coincide con el periodo de la ola⁵.

La ola que producirá ángulos de balance mayores será aquella que tenga alturas mayores, y cuyo periodo se aproxime al máximo al periodo propio de balance del buque. Por tanto, la ola más perjudicial, de entre aquellas que son más probables en el mar Cantábrico (Tabla 23), será la que tenga 2m de altura, y un periodo de 8s. Haciendo uso de la Ec. 34 obtenemos un ángulo de balance tal que:

$$\theta = 2.1^2 \cdot 2 \approx 10^\circ \rightarrow \text{Ec. 35}$$

Es decir, existe una alta probabilidad de que el buque se encuentre faenando con olas de 2m y 8s, resultando en un movimiento de balance de 10° .

De la ref. [33] se extrae que 8° de balance es el denominado ángulo del pánico, porque se puede demostrar empíricamente que es el ángulo en el que el pasaje de un buque comienza a sentir que sus vidas están en riesgo. Bien es cierto que las tripulaciones están entrenadas, y por tanto este ángulo probablemente no les haga temer seriamente por sus vidas, no obstante, no cabe duda que afecta muy negativamente a la capacidad de operación del buque y su tripulación, lo que puede causar graves repercusiones económicas para el armador.

Realizaremos por tanto las simulaciones CFD a ángulos de balance de 10° .

3 Periodos propios de balance para cada situación de carga.

El parámetro más importante en el diseño del tanque estabilizador es el periodo propio de balance del buque. Como hemos visto anteriormente se puede conocer el periodo propio de balance a partir del *RAO*, mediante el máximo de la curva, no obstante, resulta mucho más intuitivo analizar el periodo propio de balance del buque a partir del *GM*, parámetro característico de la estabilidad del buque.

3.1 Metodología.

Planteamos la ecuación del movimiento de balance correspondiente a un ensayo de extinción:

$$\frac{\delta^2 \theta}{\delta t^2} + K \frac{\delta \theta}{\delta t} + w^2 \theta = 0 \rightarrow \text{Ec. 36}$$

En la que el primer término es el referente a las fuerzas externas, el segundo término es el término referente a la disipación de energía, o amortiguamiento, y el tercer término es el armónico, o término restaurador. En primera instancia podemos suponer que el término amortiguador es nulo, suposición suficientemente próxima a la realidad, pues se puede demostrar que el periodo propio de balance no varía demasiado por incluir el término amortiguador.

$$\frac{\delta^2 \theta}{\delta t^2} + w^2 \theta = 0 \rightarrow \text{Ec. 37}$$

Podemos multiplicar ambos términos por la inercia obteniendo:

⁵ Adicionalmente, al estar el buque parado, esta propiedad sería extensible a olas provenientes de cualquier ángulo.

$$I \frac{\delta^2 \theta}{\delta t^2} + K_{rest} \theta = 0 \rightarrow \text{Ec. 38}$$

Ahora el primer término es la fuerza aplicada para alcanzar una determinada aceleración angular, que debe ser igual al valor del término restaurador. El término restaurador es por tanto el momento adrizante del buque⁶:

$$M(\theta) = -I \frac{\delta^2 \theta}{\delta t^2} \rightarrow \text{Ec. 39}$$

Esta es la expresión angular de la segunda ley de Newton.

La relación entre el brazo adrizante y la altura metacéntrica es la siguiente:

$$GZ = GM \cdot \sin(\theta) \rightarrow \text{Ec. 40}$$

El momento adrizante será el desplazamiento del buque por el brazo adrizante:

$$M(\theta) = \Delta \cdot GZ = \Delta \cdot GM \cdot \sin(\theta) \rightarrow \text{Ec. 41}$$

Y combinando las expresiones 39 y 41 tenemos que:

$$\Delta \cdot GM \cdot \sin(\theta) = -I \frac{\delta^2 \theta}{\delta t^2} \rightarrow \text{Ec. 42}$$

Respecto a la inercia del buque, podemos tomarla como la de un cilindro perfecto multiplicado por un factor de forma:

$$I = K_{forma} \cdot \Delta \cdot B^2 \rightarrow \text{Ec. 43}$$

El factor de forma se puede medir mediante ensayos de estabilidad, pero para este tipo de buques se puede tomar como 0.88⁷.

Y entrando de nuevo en Ec. 43, tenemos que:

$$\Delta \cdot GM \cdot \sin(\theta) = -K_{forma} \cdot \Delta \cdot B^2 \frac{\delta^2 \theta}{\delta t^2} \rightarrow \text{Ec. 44}$$

Esta es una ecuación diferencial cuya solución no es trivial. No obstante, al estar empleando hipótesis de ángulos pequeños, ya que estamos haciendo uso de la altura metacéntrica, podemos sustituir el seno del ángulo por el valor del ángulo en radianes⁸:

$$\sin(\theta) \approx \theta \rightarrow \text{Ec. 45}$$

Sustituyendo y simplificando, la ecuación diferencial se puede escribir como:

$$\frac{\delta^2 \theta}{\delta t^2} = -\frac{GM \cdot \theta}{K_{forma} \cdot B^2} \rightarrow \text{Ec. 46}$$

⁶ Entendiendo que se tratan ángulos de balance en los que el buque es todavía capaz de ejercer un par adrizante.

⁷ En realidad este no es el factor de forma que se emplea en la ecuación final, ya que al despejar tendremos la raíz de éste multiplicada por 2π , y será el conjunto de todo ello lo que aproximaremos por 0.88. Suele ser común encontrar literatura que dice que el factor de forma igual a la unidad corresponde a un cilindro, obviando este párrafo.

⁸ Para ángulos pequeños el seno del ángulo se puede aproximar por el valor del ángulo, y el coseno por la unidad.

Ahora nos encontramos ante una ecuación diferencial armónica par. Podemos por tanto ensayar una solución del tipo:

$$\theta = A \cdot \sin(\omega t) \rightarrow \text{Ec. 47}$$

Solución a la que correspondería la siguiente derivada segunda:

$$\frac{\delta^2 \theta}{\delta t^2} = -\omega^2 A \cdot \sin(\omega t) = -\omega^2 \theta \rightarrow \text{Ec. 48}$$

Combinando las ecuaciones 46 y 48 obtenemos que:

$$-\omega^2 \theta = -\frac{GM \cdot \theta}{K_{forma} \cdot B^2} \rightarrow \text{Ec. 49}$$

Y sustituyendo la frecuencia angular por su valor en función del periodo, y simplificando tenemos la expresión que buscábamos:

$$T = K_{forma} \frac{B}{\sqrt{GM}} \rightarrow \text{Ec. 50}$$

Y como ya habíamos mencionado unas líneas antes, podemos aproximar el factor de forma por 0.88:

$$T = 0.88 \frac{B}{\sqrt{GM}} \rightarrow \text{Ec. 51}$$

Como se puede observar, el periodo propio no depende de la ola que lo excita, y tampoco del ángulo de balance alcanzado. También se observa que el periodo propio es inversamente proporcional al valor de la altura metacéntrica, es decir, alturas metacéntricas altas dan periodos propios cortos, o lo que es lo mismo, buques *nerviosos*. En cambio, alturas metacéntricas pequeñas dan lugar a periodos propios de balance largos, lo que resulta en barcos *perezosos*.

Como la manga del buque es fija, el único dato que varía entre las condiciones de carga es el brazo metacéntrico, que será por tanto, el que fije el periodo propio en cada situación de carga.

3.2 Periodos propios.

Atendiendo a la Tabla 22 podemos observar los brazos metacéntricos existentes en las diferentes situaciones de carga. Al estudiar dicha tabla vemos que existen tres alturas metacéntricas:

$$\begin{aligned} GM_1 &= 0.7m \text{ (S.C. 1, 2, y 3)} \\ GM_2 &= 0.6m \text{ (S.C. 5)} \\ GM_3 &= 0.5m \text{ (S.C. 4, 6, y 7)} \end{aligned} \rightarrow \text{Ec. 52}$$

Aplicando Ec. 51 obtenemos los correspondientes periodos propios:

$$\begin{aligned} T_1 &= 7.6s \\ T_2 &= 8.2s \\ T_3 &= 9.6s \end{aligned} \rightarrow \text{Ec. 53}$$

Luego el tanque estabilizador debe ser capaz de estabilizar en esas situaciones de periodo de balance.

El *RAO* que aparece en la Figura 15. marcaba como periodo propio de balance del buque 7.5s, y mediante la Ec. 51 hemos obtenido 7.6s. es decir, obtenemos valores muy similares, lo que quiere decir que existe coherencia entre ambos métodos.

4 Condiciones de diseño del tanque estabilizador.

El tanque estabilizador debe ser capaz de reducir los movimientos de balance un 50% encontrándose el buque balanceándose en su periodo propio. Por tanto el tanque estabilizador debe ser capaz de sincronizarse con periodos de balance de 7.6s, 8.2s, y 9.0s.

El espacio destinado para el tanque estabilizador pasivo será el espacio situado entre las cuadernas 30 y 37, teniendo su cubierta inferior sobre el doble fondo, y su cubierta superior como la cubierta principal:

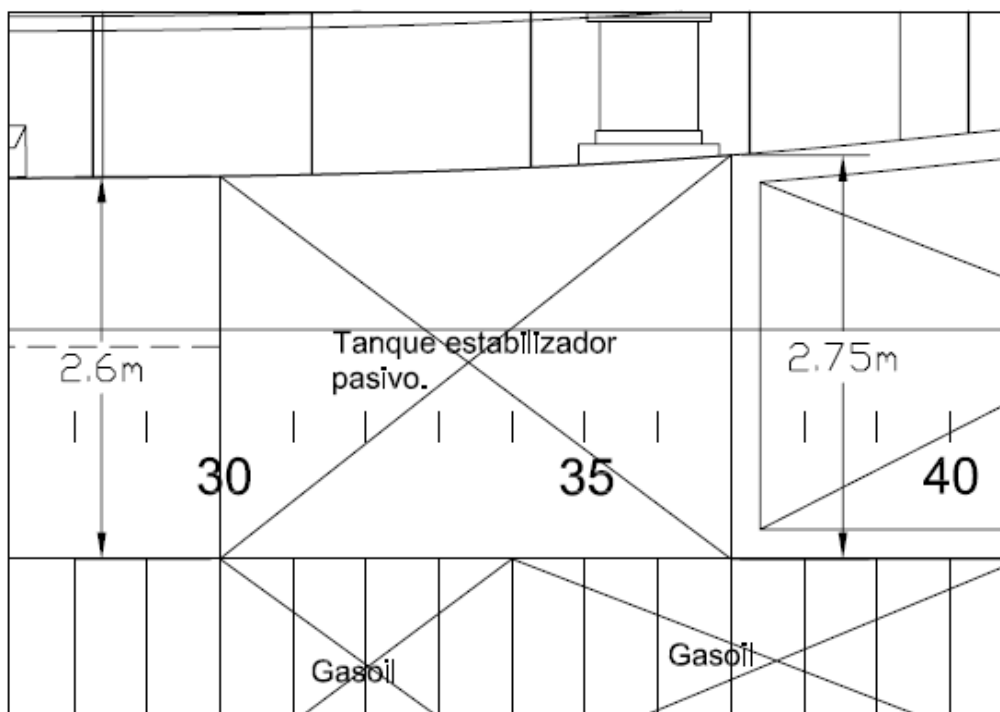


Figura 16. Perfil del espacio destinado al tanque estabilizador.

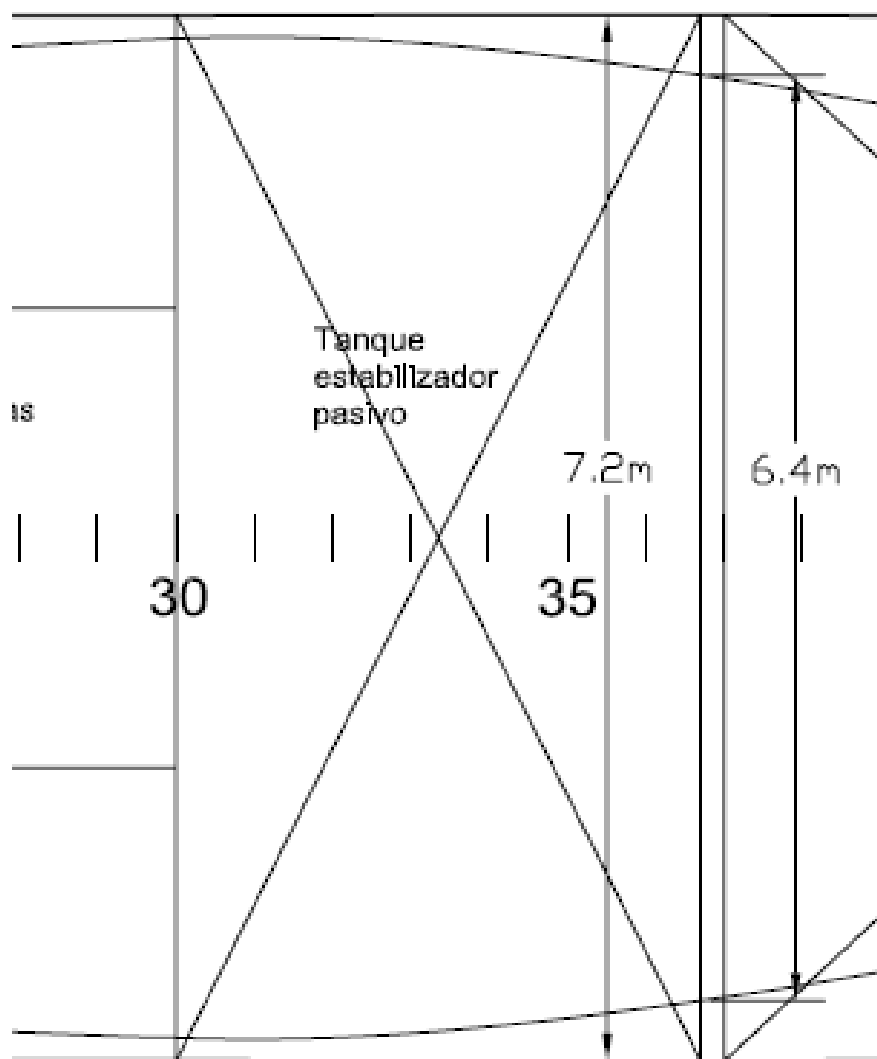


Figura 17. Planta del espacio destinado al tanque estabilizador.

Por tanto el tanque estabilizador podrá emplear la eslora total destinada al mismo, y un puntal de hasta 2.6m⁹, en cambio solo podrá hacer uso de 6.4m de manga, pues por simplicidad necesita tener los costados plano-paralelos.

Por tanto las dimensiones máximas del tanque serán las siguientes:

$$L_{\max} = 3.5\text{m}$$

$$B_{\max} = 6.4\text{m} \rightarrow \text{Ec. 54}$$

$$D_{\max} = 2.6\text{m}$$

Además, para conseguir estabilizar el movimiento de balance un 50% debe ser capaz de generar un momento tal que el ángulo de balance resultante sea al menos la mitad del que se alcanza sin tanque estabilizador.

El momento adrizante del buque lo podremos calcular, para cada situación de carga, como:

⁹ Aunque empleará la cubierta principal como cubierta superior, el puntal que se toma es el mínimo.

$$M(\theta) = \Delta \cdot GZ = \Delta \cdot GM \cdot \sin(\theta) \rightarrow \text{Ec. 55}$$

Por último, para que el uso del tanque estabilizador sea lo más simple posible, no se establecerán niveles de llenado con una resolución (precisión) inferior a 5cm.

5 Proyecto del tanque estabilizador pasivo.

Por el hecho de deber estabilizar mediante un tanque estabilizador pasivo, en situaciones en las que los periodos propios de balance varían, los tanques tipo U quedan descartados, pues no se pueden sincronizar fácilmente a cada periodo de balance, haciéndolos ineficaces.

Las alternativas que se valoran son:

1. Tanque corrido.
2. Tanque en C.

5.1 Tanque corrido.

La alternativa más barata es la de un tanque corrido de caras plano-paralelas que ocupe el espacio máximo disponible.

5.1.1 Sincronización del tanque con el periodo del buque.

Los tanques corridos tienen un periodo propio que puede ser calculado utilizando la realción de dispersión en aguas poco profundas (ref. [37]):

$$T = \frac{2\pi B}{3.4\sqrt{gh}} \rightarrow \text{Ec. 56}$$

Donde:

B es la manga del tanque, en este caso 6.4 m.

g es la aceleración de la gravedad.

h es el nivel de agua del tanque.

El objetivo es sincronizar el tanque con el periodo del buque, es decir, definiremos el nivel de agua salada del tanque para cada situación de carga como:

$$h = \left(\frac{2\pi B}{3.4T} \right)^2 \frac{1}{g} \rightarrow \text{Ec. 57}$$

Por tanto, para los distintos periodos propios de balance del buque, los niveles de agua del tanque estabilizador pasivo son los siguientes:

$$h_{7.6s} = \left(\frac{2\pi \cdot 6.4}{3.4 \cdot 7.6} \right)^2 \frac{1}{9.81} \text{ m} = 0.30 \text{ m};$$

$$h_{8.2s} = \left(\frac{2\pi \cdot 6.4}{3.4 \cdot 8.6} \right)^2 \frac{1}{9.81} \text{ m} = 0.20 \text{ m}; \rightarrow \text{Ec. 58}$$

$$h_{9.0s} = \left(\frac{2\pi \cdot 6.4}{3.4 \cdot 9.0} \right)^2 \frac{1}{9.81} \text{ m} = 0.15 \text{ m};$$

5.1.2 Altura metacéntrica haciendo uso del tanque.

Al hacer uso del tanque la altura metacéntrica disminuye, y por tanto se corre el riesgo de no cumplir con los criterios de estabilidad estática, que obligan a que el brazo metacéntrico sea superior en cualquier caso a 350mm.

Para las distintas condiciones de carga el GM resultante al añadir la masa de agua del tanque estabilizador es el siguiente:

	Límite	S.C. 1	S.C. 2	S.C. 3	S.C. 4	S.C. 5	S.C. 6	S.C. 7
GM_c (m)	0.35	0.70	0.70	0.70	0.50	0.60	0.50	0.50

Tabla 24. Brazos metacéntricos incluyendo la masa de agua del tanque estabilizador.

Como vemos, la inclusión de la masa de agua no tiene un efecto significativo sobre las alturas metacéntricas, pues el centro de gravedad de la misma esta muy próximo al del buque, no obstante, al tratarse de un tanque corrido entre ambas bandas existe un importante efecto de corrección de superficie libre.

La corrección por superficie libre de un tanque corrido que comparte crujía con el buque se puede calcular con la siguiente expresión:

$$GM_{corr} = I_{area} \frac{\rho_{as}}{\Delta} = \frac{1}{12} LB^3 \frac{\rho_{as}}{\Delta} \rightarrow \text{Ec. 59}$$

Lo que, aplicado a cada situación de carga resulta como sigue:

	Límite	S.C. 1	S.C. 2	S.C. 3	S.C. 4	S.C. 5	S.C. 6	S.C. 7
GM_{te} (m)	0.35	0.51	0.47	0.51	0.28	0.41	0.27	0.25

Tabla 25. Brazos metacéntricos con el tanque estabilizador pasivo en funcionamiento.

Como se puede comprobar, existen tres situaciones de carga en las que no esta permitido el uso del tanque estabilizador pasivo, pues no se cumplirían las prescripciones de la Administración.

En un principio esto no sería un problema, pero resulta que una de las condiciones de carga se refiere a una situación a la salida del caladero en la que es necesario emplear el tanque estabilizador para cumplir con los requerimientos de la especificación. Por tanto **el tanque corrido no es una alternativa viable.**

5.2 Tanque en C.

El tanque en C consiste en un tanque corrido en el que se estrecha la clara que conecta ambas bandas del tanque, lo que tiene una serie de ventajas:

1. Al reducir el área en planta del tanque se reduce la corrección por superficie libre, lo que puede significar que su uso sea viable en más situaciones de carga.
2. Al reducir la clara en la parte central del tanque, gran parte del agua se desplaza a los costados, aumentando el momento generado, y por tanto la eficiencia del tanque estabilizador pasivo.
3. Al reducir la clara del tanque los movimientos de agua son menos violentos, produciendo menores problemas de *sloshing*.

Efectivamente, al tener una menor superficie libre será posible emplear el tanque estabilizador en un mayor número de situaciones.

El tanque estabilizador será el que se presenta en el **Anexo II**. El puntal del tanque es de 1.6m, situándose el conjunto lo más alto posible permitiendo de esta forma que la cubierta inferior del mismo coincida con el tecla de cámara de máquinas y los palmejares de la bodega.

5.2.1 Sincronización del tanque con el periodo del buque.

Los niveles del tanque en C que se observa en el **Anexo II**, en función del periodo de balance, serán los siguientes (ref. [37]):

Nivel (cm)	Periodo propio (s)
90	7.6
80	7.9
70	8.3
60	8.7
50	9.2

Tabla 26. Niveles para los distintos periodos propios.

Dado que los periodos propios de balance de nuestro buque son de 7.6s (S.C. 1, 2 y 3), 8.2s (S.C. 5) y 9.0s (S.C. 4, 6 y 7), se emplea el tanque con niveles de 90cm, 70cm, y 50cm de agua salada.

5.2.2 Altura metacéntrica haciendo uso del tanque.

Para las distintas condiciones de carga el *GM* resultante al añadir la masa de agua del tanque estabilizador es el siguiente:

	Límite	S.C. 1	S.C. 2	S.C. 3	S.C. 4	S.C. 5	S.C. 6	S.C. 7
<i>GM_c</i> (m)	0.35	0.70	0.70	0.70	0.50	0.60	0.50	0.50

Tabla 27. Brazos metacéntricos incluyendo la masa de agua del tanque estabilizador.

En este caso tampoco aparecen efectos significativos por estar el centro de gravedad de la masa de agua muy próximo al centro de gravedad del buque.

La corrección por superficie libre de un tanque en C que comparte crujía con el buque se puede calcular con la siguiente expresión:

$$GM_{corr} = I_{area} \frac{\rho_{as}}{\Delta} = \frac{1}{12} (LB^3 - lb^3) \frac{\rho_{as}}{\Delta} \rightarrow \text{Ec. 60}$$

Lo que, aplicado a cada situación de carga resulta como sigue:

	Límite	S.C. 1	S.C. 2	S.C. 3	S.C. 4	S.C. 5	S.C. 6	S.C. 7
<i>GM_{te}</i> (m)	0.35	0.60	0.56	0.61	0.37	0.50	0.36	0.34

Tabla 28. Brazos metacéntricos con el tanque estabilizador pasivo en funcionamiento.

En este caso vemos que sólo existe una situación de carga en la que no es posible emplear el tanque estabilizador pasivo, pero en este caso, esa situación de carga no está contemplada por la especificación.

5.2.3 Simulaciones CFD.

Para obtener información acerca del desfase entre el movimiento del buque (y por ende del tanque) y el momento generado por el mismo, y el valor del momento que genera el tanque, vamos a realizar simulaciones CFD.

Más adelante, en siguientes fases del proyecto, se deberían hacer ensayos para obtener información más fiable de los valores del momento y su desfase, no obstante en ref. [36] se dimensiona con éxito un tanque estabilizador mediante CFD, lo que da cierta esperanza sobre los resultados que se obtienen.

Se trata de un problema 3D para el que emplearemos un código de volúmenes finitos llamado OpenFOAM. Una vez obtengamos los resultados realizaremos un análisis de Fourier mediante el script Octave/MATLAB que se adjunta en el **Anexo III**, para obtener la amplitud y el desfase del primer armónico del momento.

Periodo de 7.6s (S.C. 1, 2 y 3).

Para el periodo de 7.6 segundos el nivel del tanque estabilizador es de 90cm, y tal y como se ha explicado anteriormente se hará oscilar 10° .

Para que el tanque estabilizador funcione en su punto óptimo la señal del momento generado por el fluido debe estar desfasada $\pi/2$ respecto de la señal de movimiento del tanque.

La señal de movimiento del tanque es un seno puro, salvo al comienzo, y hasta $T/4$, que tiene una etapa de inicialización para que la derivada al inicio sea nula. Se corren dos periodos más la etapa de inicialización, para extinguir, en la medida de lo posible, el estacionario.

Las señales de movimiento y momento resultantes para este periodo son las siguientes:

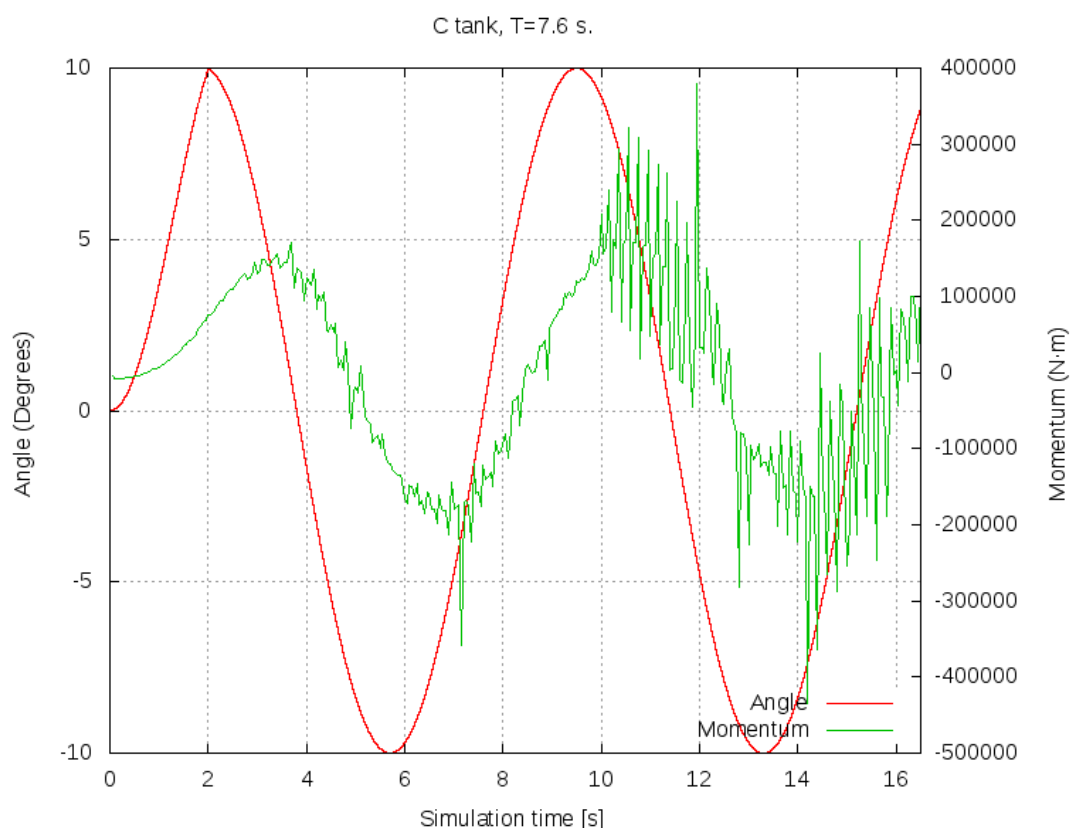


Figura 18. Señal de movimiento del tanque, y momento generado por el fluido.

La señal roja corresponde al ángulo de balance del tanque, en grados, mientras que la curva verde corresponde al momento generado por el tanque estabilizador, en N·m. Aparece, tras el primer *bandazo* del tanque ruido numérico asociado a la baja densidad de maya empleada, perturbación que no afecta significativamente al primer armónico de la señal, objetivo de la simulación¹⁰, tal y como se comprobó con un pequeño estudio de refinamiento de la maya.

Como se mencionaba anteriormente, para un funcionamiento óptimo del tanque, la señal de momento debe estar desfasada $\pi/2$ respecto de la señal de movimiento, y en cualquier caso sería deseable que el desfase sea de al menos $\pi/4$, lo que quiere decir que

¹⁰ Cálculos de fuerza globales, como es este ejemplo, no suelen requerir grandes densidades de maya, mientras que valores muy localizados, como por ejemplo la presión en un punto, requieren altas densidades de maya.

estando el tanque adrizado, el costado que se alza debe tener la mayor cantidad de agua posible.

Esto lo podemos ver gráficamente en la siguiente figura correspondiente a la simulación:

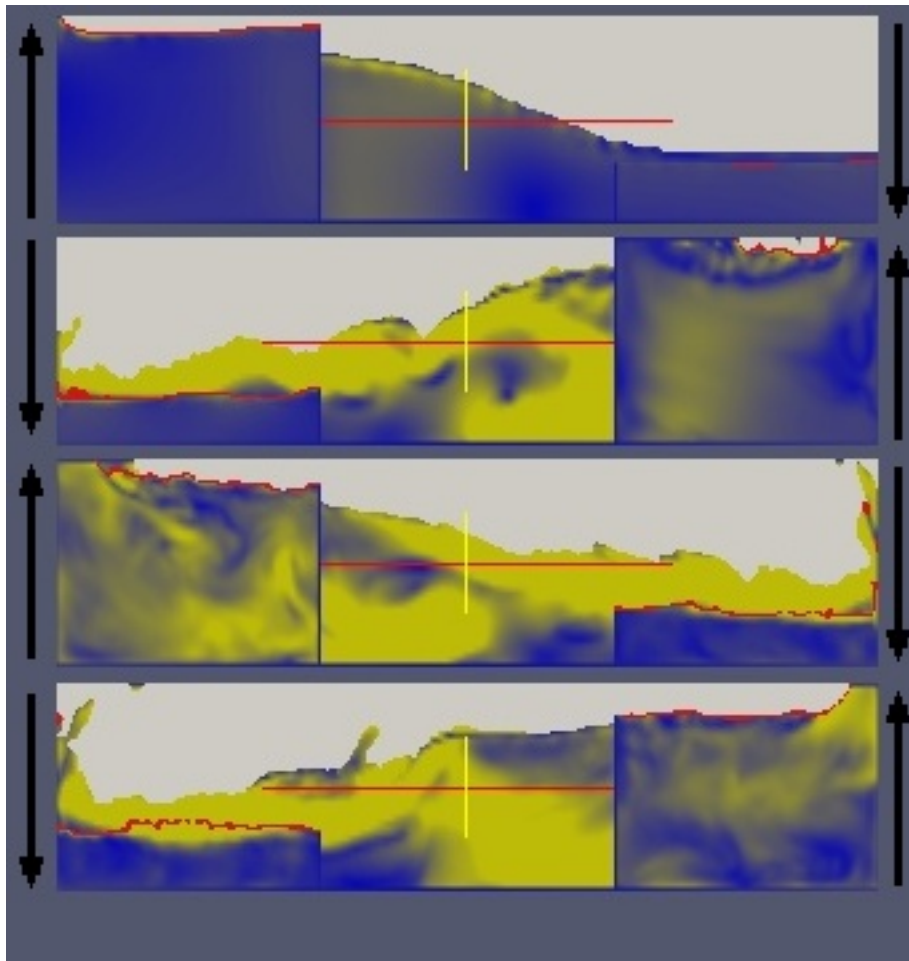


Figura 19. Ilustraciones de la simulación en los instantes en los que el tanque se encuentra adrizado.

Las flechas de los lados indican el sentido de movimiento de cada costado del tanque estabilizador. En cada situación se muestra la clara del tanque en el fondo, y los bloques de los costados al frente. En los bloques se remarca con una línea roja el nivel del agua.

Como se puede observar, la mayor parte del agua se encuentra en el costado que se alza.

Podemos realizar un análisis de Fourier del intervalo de la simulación correspondiente al segundo periodo, haciendo uso del script Octave/MATLAB que se presenta en el **Anexo III**, para obtener el módulo del momento y su desfase con respecto al movimiento. El análisis de Fourier busca directamente la señal cuyo periodo es el del movimiento del tanque (primer armónico), en este caso de 7.6s. El resultado puede observarse en la siguiente figura:

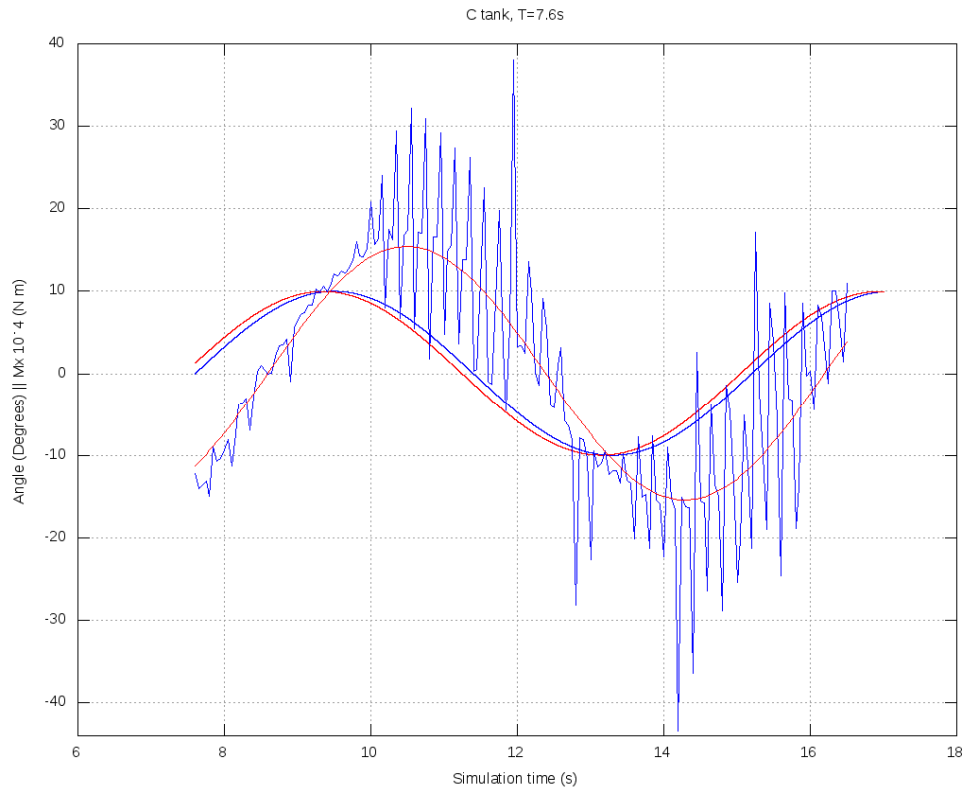


Figura 20. Análisis de Fourier de las señales de momento y movimiento.
Las señales azules son las originales, y las señales rojas las resultantes.
El momento, y el desfase respecto del movimiento, resulta como sigue:

$$M = 1.5 \cdot 10^5 \text{ N} \cdot \text{m} \rightarrow \text{Ec. 61}$$

$$\varphi = 54.3^\circ$$

Si trasladamos el problema al dominio de la frecuencia, y situamos en el eje real el fador de la señal de movimiento, resulta el fador de momento como sigue (ref. [37]):

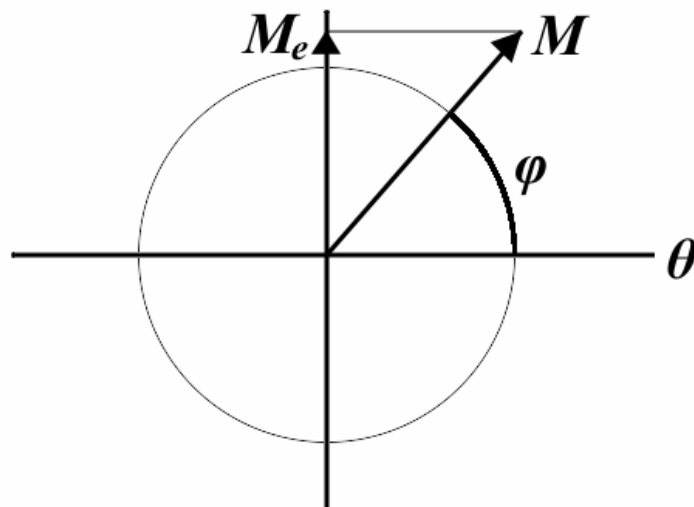


Figura 21. Diagrama fasorial del momento frente al movimiento.
De tal forma que el momento efectivo M_{ef} es aquel que se encuentra en cuadratura con respecto al movimiento:

$$M_{ef} = M \cdot \sin(\varphi) = 1.2 \cdot 10^5 \text{ N} \cdot \text{m} \rightarrow \text{Ec. 62}$$

Existe un vídeo asociado a esta simulación llamado **T76_C_NR.avi**.

Periodo de 8.2s (S.C. 5).

En este caso, para un periodo de 8.2s, el tanque estabilizador se llena con 70cm de agua salada, siendo la señal de momento generado por el tanque estabilizador frente al movimiento del buque la representada en el siguiente gráfico:

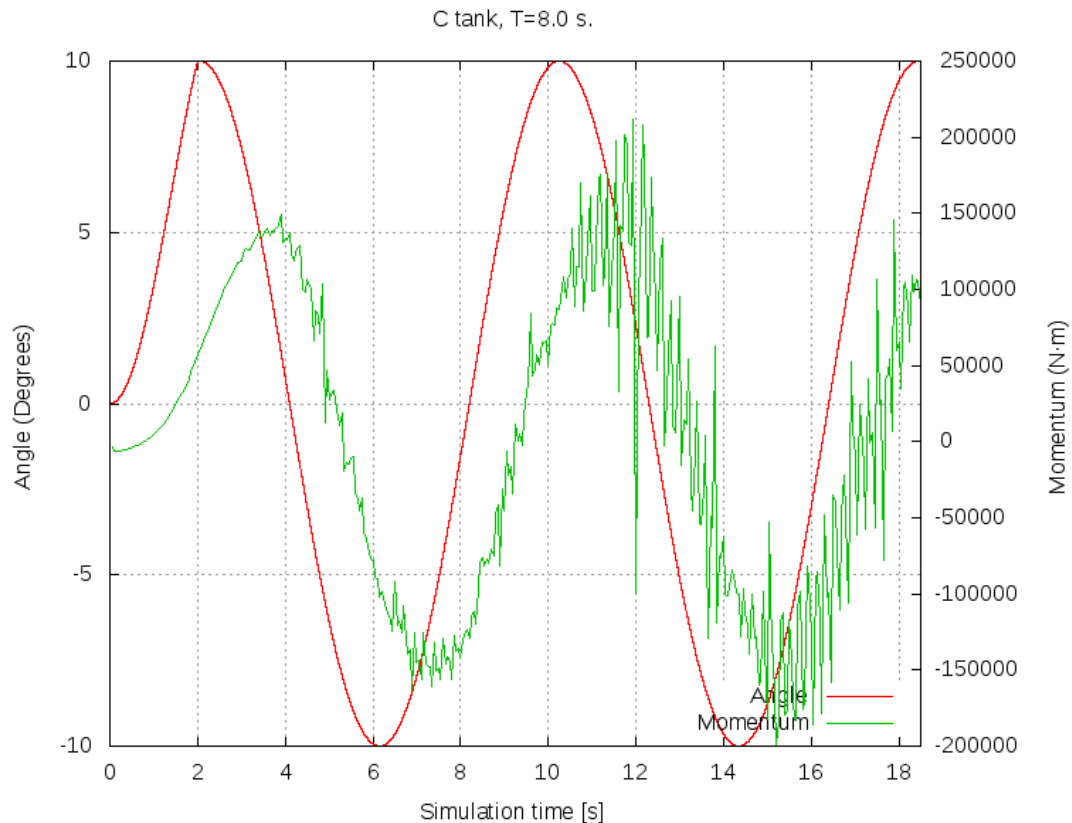


Figura 22. Señal de movimiento del tanque, y momento generado por el fluido.
Resultando el estado del tanque en los cortes por cero como sigue:

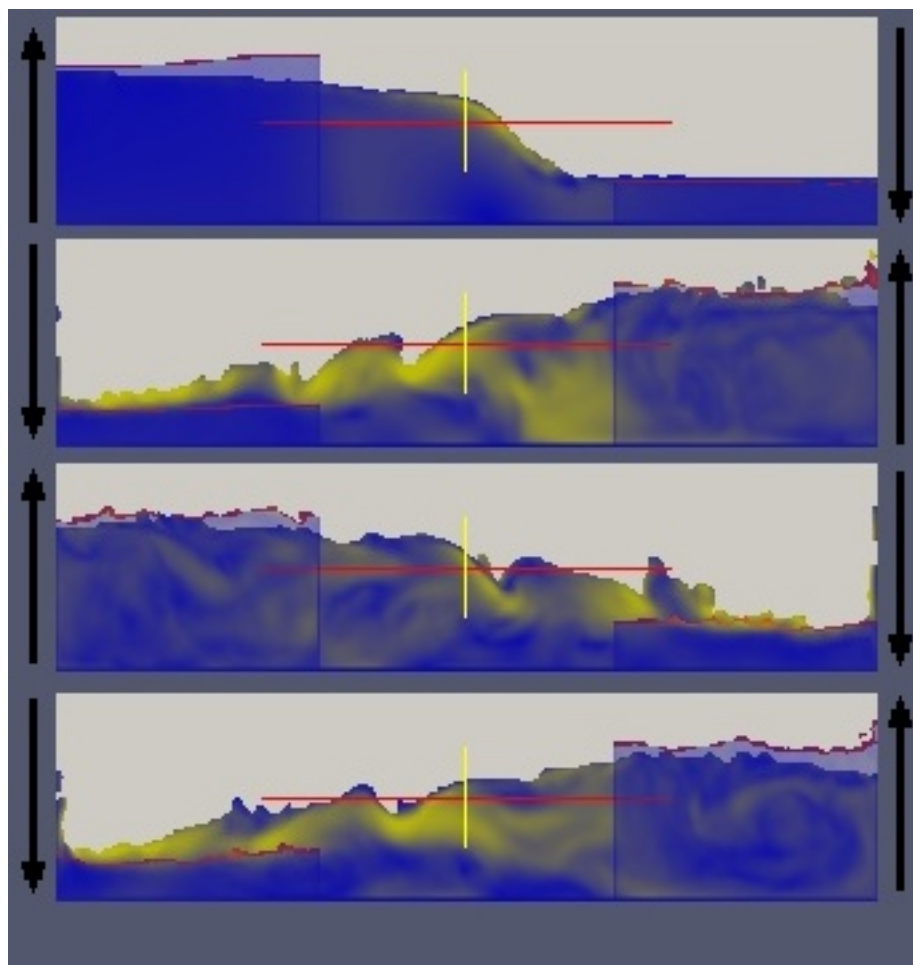


Figura 23. Ilustraciones de la simulación en los instantes en los que el tanque se encuentra adrizado.

Realizando el análisis de Fourier de estas señales obtenemos el siguiente gráfico:

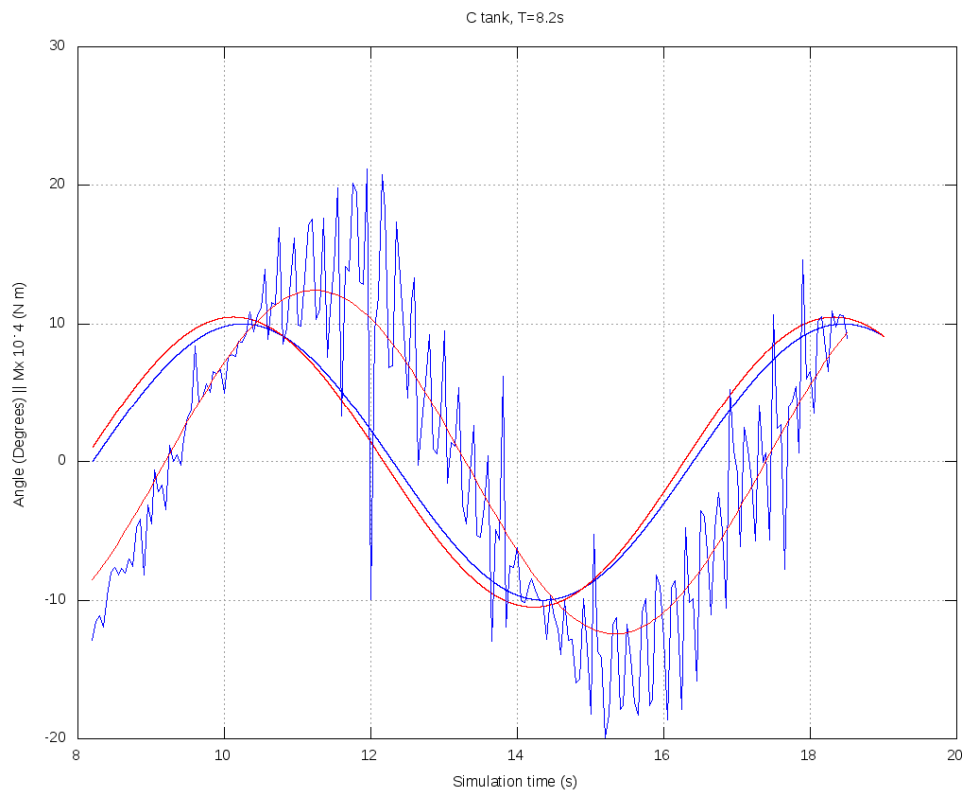


Figura 24. Análisis de Fourier de las señales de momento y movimiento.

Donde, como antes, las señales azules son las originales, y las señales rojas las resultantes del análisis.

El momento, y el desfase respecto del movimiento, resulta como sigue:

$$\begin{aligned} M &= 1.3 \cdot 10^5 \text{ N} \cdot \text{m} \\ \varphi &= 50.0^\circ \end{aligned} \rightarrow \text{Ec. 63}$$

De tal forma que el momento efectivo resultante es el siguiente:

$$M_{ef} = M \cdot \sin(\varphi) = 1.0 \cdot 10^5 \text{ N} \cdot \text{m} \rightarrow \text{Ec. 64}$$

Existe un vídeo asociado a esta simulación llamado **T82_C_NR.avi**.

Periodo de 9.0s (S.C. 4, 6 y 7).

Para el periodo de 9.0s el tanque estabilizador se llena con 50cm de agua salada, siendo la señal de momento generado por el tanque estabilizador frente al movimiento del buque la representada en el siguiente gráfico:

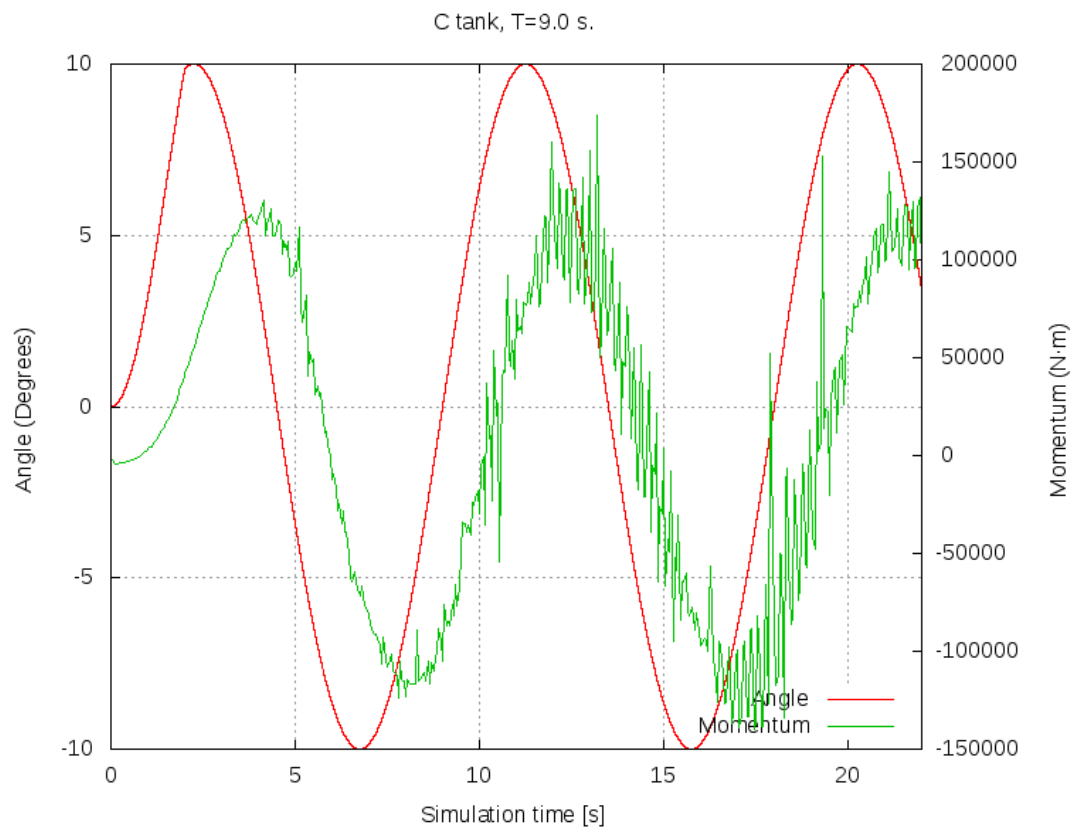


Figura 25. Señal de movimiento del tanque, y momento generado por el fluido.
Resultando el estado del tanque en los cortes por cero como sigue:

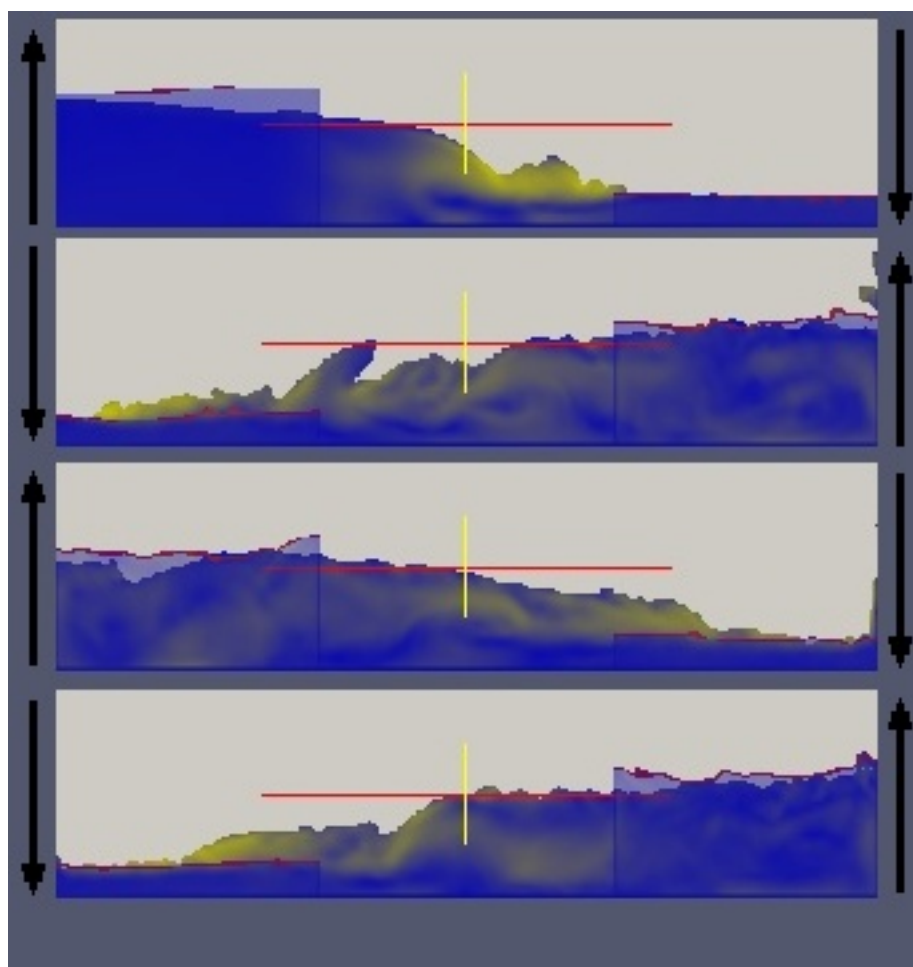


Figura 26. Ilustraciones de la simulación en los instantes en los que el tanque se encuentra adrizado.

Realizando el análisis de Fourier de estas señales obtenemos el siguiente gráfico:

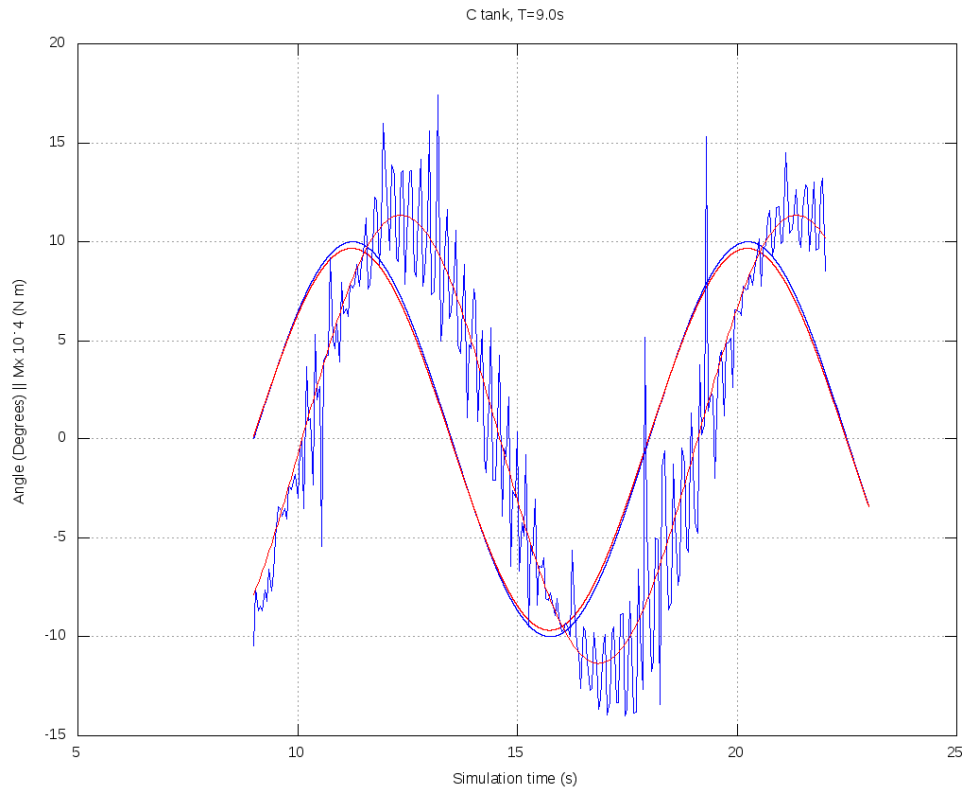


Figura 27. Análisis de Fourier de las señales de momento y movimiento.

Donde, como antes, las señales azules son las originales, y las señales rojas las resultantes del análisis.

El momento, y el desfase respecto del movimiento, resulta como sigue:

$$\begin{aligned} M &= 1.1 \cdot 10^5 \text{ N} \cdot \text{m} \rightarrow \text{Ec. 65} \\ \varphi &= 44.8^\circ \end{aligned}$$

De tal forma que el momento efectivo resultante es el siguiente:

$$M_{ef} = M \cdot \sin(\varphi) = 7.8 \cdot 10^4 \text{ N} \cdot \text{m} \rightarrow \text{Ec. 66}$$

Existe un vídeo asociado a esta simulación llamado **T90_C_NR.avi**.

5.2.4 Eficiencia.

Existen varios modos de medir la eficiencia de un dispositivo estabilizador, pero probablemente el más completo es aquel que responde a la siguiente ecuación:

$$\eta = 1 - \frac{\theta_{ce}}{\theta_{se}} \rightarrow \text{Ec. 67}$$

Siendo:

η , eficiencia del tanque estabilizador pasivo.

θ_{ce} , ángulo de balance con el tanque estabilizador.

θ_{se} , ángulo de balance sin el tanque estabilizador.

No obstante, resolver Ec. 67 requiere un complejo estudio del movimiento en balance del buque en mares irregulares, que en esta fase del proyecto, y con las

aproximaciones realizadas para el diseño del tanque estabilizador, no es oportuno. En su lugar se pueden hacer ciertas aproximaciones.

Se puede suponer que el balance del buque sin tanque estabilizador (θ_{se}) es de 10° en todas las situaciones de carga, para los periodos propios, de tal forma que el momento adrizante máximo sin estabilizador M_{se} que se registrará en cada situación de carga responderá a la siguiente expresión:

$$M_{se} = g \cdot \Delta \cdot GM \cdot \sin(\theta_{se}) \rightarrow \text{Ec. 68}$$

En la situación de equilibrio podemos suponer que el momento adrizante es igual al momento que generan sobre el buque la ola:

$$M_{se} = M_{wave} \rightarrow \text{Ec. 69}$$

Una vez entre en funcionamiento el tanque estabilizador pasivo el momento adrizante con estabilizador M_{ce} será:

$$M_{ce} = M(\theta_{ce}) + M_{ef} \rightarrow \text{Ec. 70}$$

Siendo:

$M(\theta_{ce})$ el par adrizante generado por el buque en el ángulo de balance θ_{ce} .

θ_{ce} el ángulo de balance del buque con el estabilizador activo.

M_{ef} , el momento efectivo generado por el tanque estabilizador pasivo.

Se puede suponer que el ángulo de balance con el tanque estabilizador pasivo en funcionamiento θ_{ce} será aquél en que se cumpla que:

$$M_{ce} = M_{wave} = M_{se} \rightarrow \text{Ec. 71}$$

Pero el momento adrizante del buque con el tanque estabilizador cumple la misma expresión que sin el:

$$M(\theta_{ce}) = g \cdot \Delta \cdot GM \cdot \sin(\theta_{ce}) \rightarrow \text{Ec. 72}$$

De tal forma que combinando las ecuaciones 68, 69, 70 y 71 llegamos a que:

$$\sin(\theta_{ce}) = \sin(\theta_{se}) - \frac{M_{ef}}{g \cdot \Delta \cdot GM} \rightarrow \text{Ec. 73}$$

Usando esta última expresión podemos confeccionar la siguiente tabla:

	S.C. 1	S.C. 2	S.C. 3	S.C. 4	S.C. 5	S.C. 6	S.C. 7
M_{ef} (N·m)	120000	120000	120000	78000	100000	78000	78000.00
Desplazamiento (Tn)	412	345	410	350	403	345	311.28
θ_{ce} (°)	4.8	4.2	4.8	4.3	4.7	4.2	3.77

Tabla 29. Ángulos de balance usando el tanque estabilizador pasivo.

Con esta información, y haciendo uso de la definición de eficiencia del tanque estabilizador (Ec. 67), podemos establecer el valor de la misma en cada situación de carga:

	S.C. 1	S.C. 2	S.C. 3	S.C. 4	S.C. 5	S.C. 6	S.C. 7
θ_{ce} (°)	4.8	4.2	4.8	4.3	4.7	4.2	3.77
η	52.5%	57.8%	52.2%	57.1%	52.9%	58.1%	0.0%

Tabla 30. Eficiencia del tanque estabilizador en cada situación de carga.

Como vemos, en todas las situaciones en las que se puede emplear el dispositivo estabilizador la eficiencia es superior al 50%, y como la situación de carga en la que no

se puede emplear no está contemplada en la especificación, por no tratarse de maniobras de pesca, se establece que **el sistema estabilizador cumple con los requerimientos de la especificación del proyecto.**

Adicionalmente, el tanque puede ser empleado con éxito en situaciones de carga no exigidas por la especificación.

6 Uso del tanque estabilizador.

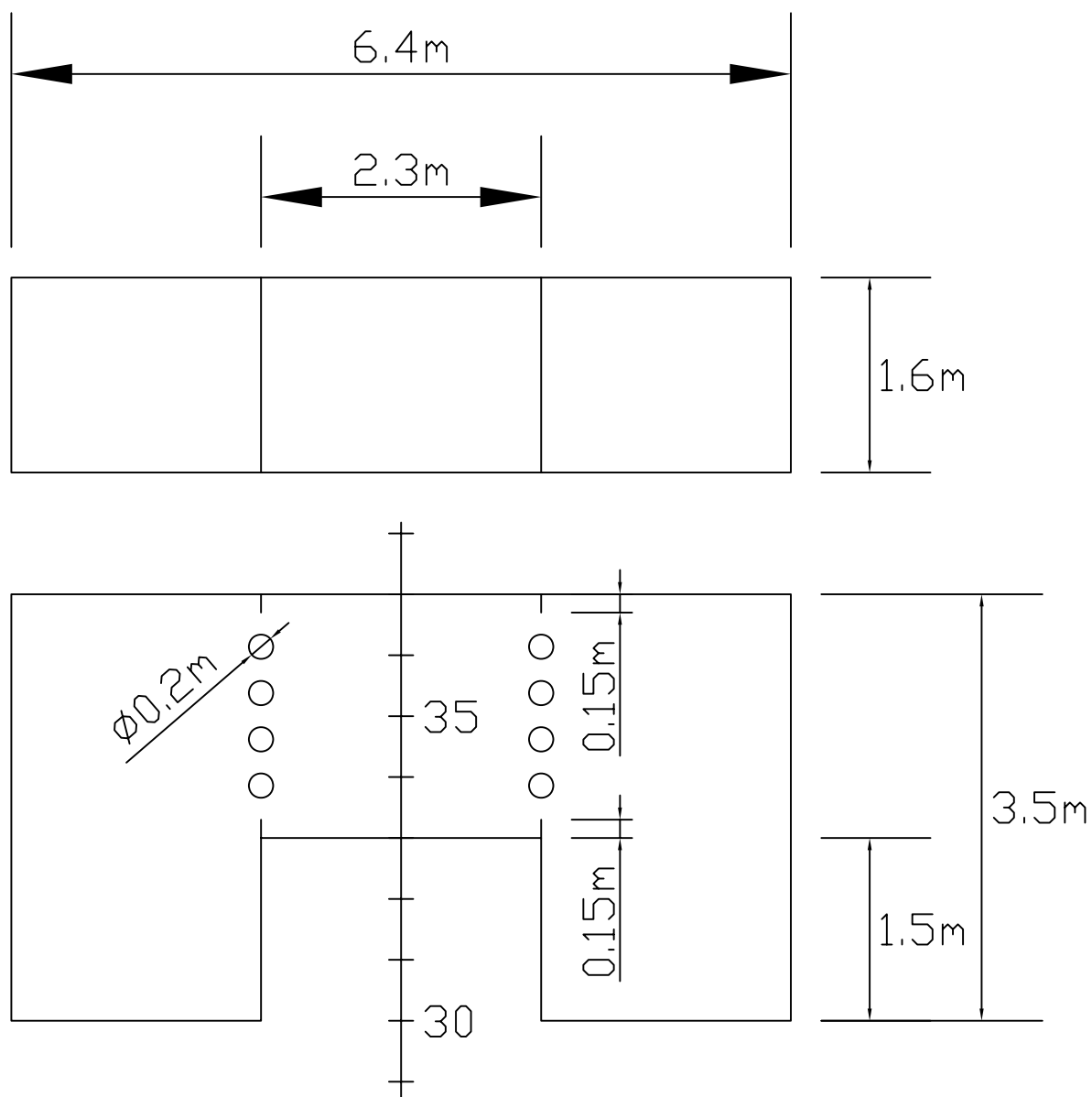
Las directrices para el empleo del tanque estabilizador se resumen en la siguiente tabla:

		Nivel (cm)
Marea para pesca de Anchoa	Salida de puerto	90
	Caladero	90
	Llegada a puerto (con bodegas llenas)	60
Marea para pesca de Bonito	Salida de puerto	90
	Caladero	50
	Llegada a puerto (con bodegas llenas)	50
Resto de situaciones		0

Tabla 31. Directrices de manejo del tanque estabilizador pasivo.

Como se puede ver las directrices son claras para evitar que se use de forma equivocada el tanque, poniendo en serio riesgo el buque y su tripulación.

Anexo II: Planos del tanque estabilizador pasivo.



BONITERO DEL CANTÁBRICO

- Tanque estabilizador -

1/50

Autor: Jose Luis Cercós Pita

Tutor: Antonio Souto Iglesias

Cotutor: Ander Lasa Gallurralde

Nº Proyecto:

077

Anexo III: Script Octave/Matlab para análisis de Fourier de las señales de momento y movimiento.

```
%% Fourier transform script para
% obtener el modulo y el desfase
% del momento frente al movimiento.
%%

%% 1st.- Inicializacion
clear all; % Limpiamos todas las variables
close all; % Cerramos todos los archivos
T=9.0;      % Periodo en segundos
w0=2*pi/T;  % Frecuencia angular
%% 2nd.- Senal de movimiento
[header, data] = hdrload('Mov.dat');
t=data(:,1);
n=length(t);
alpha=data(:,7);
plot(t,alpha);
shg;
% Analisis de Fourier
j=sqrt(-1);
u=exp(j*w0*t);
calpha=u*alpha/n;
approx=2*real(calpha)*cos(w0*t)-2*imag(calpha)*sin(w0*t);
hold on;
grid('on');
title ("C tank, T=9.0s");
xlabel ("Simulation time (s)");
ylabel ("Angle (Degrees) || Mx 10^-4 (N m)");
H=plot(t,approx,'r');
beta1=atan(real(calpha)/imag(calpha))
```

```
approxbeta=2*abs(calpha)*sin(w0*t-beta1);
% plot(t,approxbeta,'g');
%% 3rd.- Senal de momento
[header, data] = hdrload('Mom.dat');
t=data(:,1);
n=length(t);
mom=data(:,10);
plot(t,mom/1e4);
shg;
% Analisis de Fourier
j=sqrt(-1);
u=exp(j*w0*t);
calpha=u'*mom/n;
approx=2*real(calpha)*cos(w0*t)-2*imag(calpha)*sin(w0*t);
hold on;
plot(t,approx/1e4,'r');
beta2=atan(real(calpha)/imag(calpha))
approxbeta=2*abs(calpha)*sin(w0*t-beta2);
%plot(t,approxbeta/1e3,'g');
lag=(beta2-beta1)*180/pi % grados
momento=2*abs(calpha)
%% 4th.- Save plot
print('MxFourier.png','-dpng');
```

BUQUE BONITERO DEL CANTÁBRICO
PROYECTO 077.
CURSO 2009-2010

Presupuesto.

DOCUMENTO 13
AUTOR: JOSE LUIS CERCOS PITA
COTUTOR: ANDER LASA GALLURRALDE
TUTOR: ANTONIO SOUTO IGLESIAS

1 Índice de contenidos.

1	<i>Índice de contenidos.</i>	2
2	<i>Especificación del proyecto.</i>	<i>¡Error! Marcador no definido.</i>
3	<i>Objetivos.</i>	4
4	<i>Presupuesto de materiales y mano de obra.</i>	5
4.1	Ingeniería.	6
4.2	Costes administrativos.	6
4.3	Estructura.	6
4.3.1	Acero laminado.	7
4.3.2	Aluminio.	7
4.3.3	Otros materiales.	7
4.3.4	Timón y mechas.	7
4.3.5	Soldadura.	7
4.3.6	Pintura y control de corrosión.	7
4.3.7	Coste de materiales de la estructura.	7
4.3.8	Mano de obra.	8
4.3.9	Resumen de costes de la estructura.	9
4.4	Instalación propulsora	10
4.4.1	Coste de los equipos.	10
4.4.2	Mano de obra.	11
4.4.3	Resumen de costes.	11
4.5	Maquinaria auxiliar.	12
4.5.1	Costes de los equipos.	12
4.5.2	Costes de mano de obra.	13
4.5.3	Resumen de costes.	14
4.6	Maquinaria en cubierta	14
4.7	Instalaciones especiales	15
4.7.1	Costes de los materiales.	15
4.7.2	Mano de obra.	16
4.7.3	Resumen de costes.	16
4.8	Equipo, armamento e instalaciones	17
4.8.1	Coste de los materiales.	17
4.8.2	Mano de obra.	18
4.8.3	Resumen de costes.	19
4.9	Cargos y respetos.	20
4.10	Costes generales (OVERHEADS).	20
4.11	Resumen	20
5	<i>Acrónimos.</i>	22
	<i>Anexo I: Gestión del proyecto de construcción.</i>	23
1	Introducción	23
2	Límites del estudio	25
3	Recursos.	25

4	Proceso industrial.	26
5	Bloques.....	31
6	Análisis temporal de las tareas	33
7	Estudio temporal de los costes e ingresos	35
	<i>Anexo II: Diagrama de Gantt de la planificación.....</i>	<i>39</i>

2 Especificación del proyecto.

- CLASIFICACIÓN: **Bureau Veritas**
- TRB: **149**
- GT: **230**
- VOLUMEN DE COMBUSTIBLE: **70 m³**
- VOLUMEN DE VIVEROS: **50 m³**
- VELOCIDAD EN PRUEBAS: **12 .5 kn al 90% MCR**
- EQUIPO PROPULSOR: **Motor Diesel**
- ALOJAMIENTOS: **15 tripulantes**
- ASPECTOS ADICIONALES:
 - 1.- El buque dispondrá de una planta de oxigenación del agua de viveros.
 - 2.- El buque dispondrá de un tanque estabilizador pasivo que reduzca al menos un 50% el movimiento de balance durante la maniobra de pesca.
 3. Se presentará además una planificación para la construcción asociada a los medios de un astillero de la sociedad PYMAR del que se disponga de información suficiente.

3 Objetivos.

En este documento se determinará el precio del buque, suponiendo un margen de beneficio del 10%.

Además, se documenta en el **Anexo I** el proyecto de construcción del buque (planificación del mismo) asociado a los medios de un astillero de la sociedad PYMAR (ASTILLEROS GONDÁN, S.A. será el elegido), tal y como exigía la especificación del proyecto (ver apartado 2).

4 Presupuesto de materiales y mano de obra.

Para realizar el presupuesto conviene agrupar los costes en partidas con características comunes, lo que facilita su estudio. En cada partida tendremos costes de recursos de trabajo, que identificaremos como mano de obra, y costes materiales que comprenden los materiales en sentido estricto, los equipos, etc. Los agruparemos del siguiente modo:

1. Ingeniería: Los costes de ingeniería se refieren a la mano de obra invertida en la ingeniería de detalle.
2. Costes administrativos: Los costes administrativos comprenden los costes de clasificación, de certificados, de botadura, de varada, de garantías, etc.
3. Estructura: En este concepto se contemplan los costes del acero y aluminio empleado en la estructura del buque, así como los costes de soldadura, preparación de superficies, pintura, etc.
4. Instalación propulsora: Costes del motor principal, hélice, y línea de ejes, contemplándose también los costes asociados a su montaje.
5. Maquinaria auxiliar: En esta partida se contabilizarán los costes relativos a la planta de generación eléctrica y los costes de equipos de trasiego, refrigeración y lubricación de auxiliares.
6. Maquinaria en cubierta: Costes del equipo de gobierno y los costes de los equipos de fondeo, amarre y remolque.
7. Instalaciones especiales: Costes de las instalaciones y equipos especiales de servicios contraincendios y de seguridad.
8. Equipo, armamento e instalaciones: Se engloban los costes de los diversos equipos que incorpora el buque que no están contemplados en los conceptos anteriores, pues no tienen una relevancia individual tan significativa, como pueden ser los accesorios de la maniobra de fondeo y amarre, los medios de salvamento y seguridad, la habilitación y equipos de fonda, los equipos náuticos y de comunicaciones internas y externas, el servicio contraincendios, las grúas, la instalación eléctrica, las tuberías, conductos, etc.
9. Cargos y respetos: Costes de los repuestos reglamentarios y no reglamentarios así como los especiales.
10. Costes generales (OVERHEADS): Son los costes que resultan difícilmente imputables al barco, pero que conforman una parte importante del coste de construcción del mismo, y que comprenden conceptos como alumbrado, red de fuerza, agua, gas, teléfono, software, andamiaje, amortización de equipos, viajes, etc.

La suma de todos los costes anteriores determinará, añadiendo el beneficio del 10% que habíamos estipulado, el presupuesto del buque, que deberá contemplar además la distribución de los pagos (algo que se realizará en el **Anexo I**).

4.1 Ingeniería.

Los costes de ingeniería están en torno al 10% del valor total del buque. Sin embargo, en este caso concreto supondremos que la ingeniería básica la provee el armador al astillero en el momento de la firma del contrato, y por tanto sólo se incluyen los costes de la ingeniería de detalle. Para ello supondremos un coste de 36 euros la hora, y un plazo de 3200 horas (aproximadamente 2 personas a jornada completa durante 10 meses).

Por tanto los costes de ingeniería quedan como sigue:

Costes varios del astillero	horas	Coste (€)
Costes de ingeniería	3200	115200
Total	-	115200

Tabla 1. Costes asociados a ingeniería.

4.2 Costes administrativos.

La construcción del buque conlleva ciertos costes administrativos relativos al mismo, debidos a la clasificación del buque, a visados en el Colegio Oficial de Ingenieros Navales, a las pruebas, a seguros, etc. En este caso supondremos, de la misma forma que en el apartado anterior, que el proyecto básico lo provee el armador, el cual cuenta con un Director de Obra a su cargo, y por tanto el proyecto viene visado por el C.O.I.N, luego esos costes no se contemplan en el presupuesto. La estimación de todos los costes imputables al astillero, basada en buques ya construidos, se desglosa en la siguiente tabla:

Costes varios del astillero	Coste (€)
Costes de Sociedad de Clasificación	25000
Pruebas y garantía	10000
Permiso de construcción y Seguro	10000
Total	45000

Tabla 2. Costes administrativos.

4.3 Estructura.

La estructura conlleva unos costes que podemos agrupar de la siguiente forma:

1. Acero laminado:
 - a. Chapas y perfiles de acero.
 - b. Palos y polines.
2. Aluminio.
3. Otros materiales.
4. Timón y accesorios.

5. Materiales auxiliares de construcción del casco (soldadura).
6. Pintura y control de corrosión:
 - a. Pintura exterior (obra viva y obra muerta).
 - b. Pintura interior.
 - c. Protección catódica.
7. Mano de obra.

4.3.1 Acero laminado.

El coste en acero estructural se puede estimar a partir de los datos del peso de la estructura que se obtuvo en el cuaderno 11, Pesos y c. de g. del buque en rosca, y del coste por tonelada de acero.

El coste de acero se puede fijar en 690€/Tn, precio revisado en septiembre del 2010 (London Metal Exchange <http://www.lme.com/>). El peso de acero estructural que se extrae del cuaderno 11 es de 135Tn, lo que implica un coste de 93000€

El peso de palos y polines es de 3Tn, lo que implica un coste de 2000€

Sumando ambos tenemos un coste en acero laminado de 95000€

4.3.2 Aluminio.

Para el coste del aluminio procedemos de una forma similar a la llevada a cabo con el acero.

El precio del aluminio, revisado en noviembre de 2010, se fija en 1680€/Tn. El peso de aluminio que se extrae del cuaderno 11 es de 10Tn, lo que implica un coste de 17000€

4.3.3 Otros materiales.

El coste de otros materiales que se puedan emplear en la estructura se puede estimar como el 10% del coste del acero y aluminio, es decir, 11000€

4.3.4 Timón y mechas.

El precio de la estructura del timón y las mechas se puede estimar, a partir de información recogida de buques similares, en 20000€

4.3.5 Soldadura.

El coste en material de soldadura se puede estimar como el 15% del coste del acero, unos 14000€

4.3.6 Pintura y control de corrosión.

La pintura, y el control de corrosión se puede estimar a partir de información de buques similares, valor que se cifra en 15000€

4.3.7 Coste de materiales de la estructura.

El coste de la estructura se resume en la siguiente tabla:

Costes de estructura (materiales)	Coste (€)	% del total
Acero	95000	55%
Timones y mechas	20000	12%
Aluminio	17000	10%
Pintura y control de corrosión	15000	9%
Soldadura	14000	8%
Otros materiales	11000	6%
Total	172000	

Tabla 3. Coste de los materiales estructurales.

Podemos representar la importancia de cada uno de los costes en un diagrama:

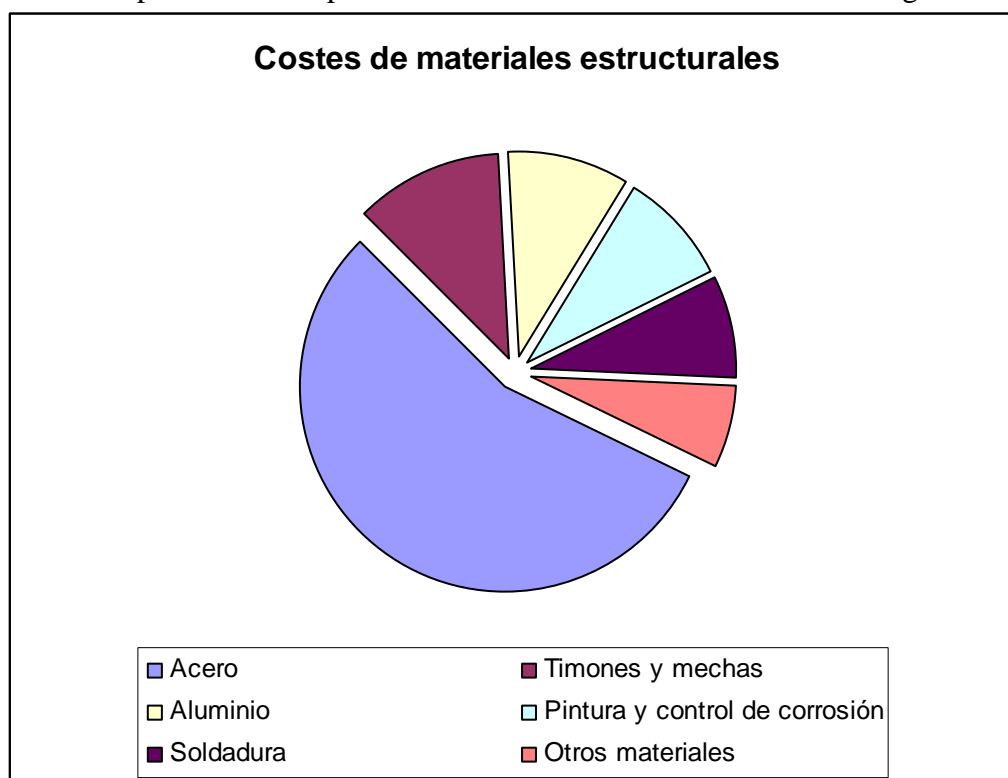


Figura 1. Diagrama de costes de los materiales de la estructura.

4.3.8 Mano de obra.

El coste de la mano de obra se puede fijar en 25€/la hora.

Las horas de mano de obra aplicadas sobre la estructura se puede estimar a partir de la siguiente expresión, extraída de la ref. [40] (el listado completo de referencias se encuentra en el cuaderno 1).

$$h_{estructura} = K_s \cdot P_s \cdot (1 + 0.3(1 - C_b)) \cdot (1 + 0.5 \cdot C_c) \rightarrow \text{Ec. 1}$$

Donde:

K_s es un índice de mano de obra que depende del tipo de buque, y que en nuestro caso vale 0.2.

P_s es el peso de la estructura, que se extrae del cuaderno 11, Pesos y c. de g. del buque en rosca., de la cual queremos calcular el número de horas de trabajo.

C_c , es una constante que depende del tipo de material empleado, 1 para el acero.

En nuestro caso obtenemos que:

$$h_{estructura} = 0.2 \cdot 145000 \cdot (1 + 0.3 \cdot (1 - 0.51)) \cdot (1 + 0.5) = 40000 \text{ horas} \rightarrow \text{Ec. 2}$$

Por otra parte, las horas de realización del timón se pueden estimar con la siguiente expresión:

$$h_{timón} = 100 \cdot A_{timón} = 100 \cdot 2.5 = 250 \text{ horas} \rightarrow \text{Ec. 3}$$

Por último, el número de horas que se emplearán en la pintura del buque serán las siguientes:

$$h_{pint} = 0.25 \cdot S_{e.muerta} \cdot (1 + 0.3 \cdot n_{muerta}) + 0.0875 \cdot S_{e.viva} \cdot n_{viva} + 0.4 \cdot S_{in} \cdot n_{in} = 650 \text{ horas} \rightarrow \text{Ec. 4}$$

Donde:

$S_{e.muerta}$ es la superficie a pintar de la obra muerta.

n_{muerta} es el número de manos de pintura a aplicar sobre la obra muerta.

$S_{e.viva}$ es la superficie a pintar de la obra viva.

n_{viva} es el número de manos de pintura a aplicar sobre la obra viva.

S_{in} es la superficie a pintar de los espacios interiores.

n_{in} es el número de manos de pintura a aplicar sobre los espacios interiores.

Todo ello resulta en la siguiente tabla de costes:

Costes de estructura (mano de obra)	horas	Coste (€)	% del total
Estructura	20000	500000	96%
Timón	250	6250	1%
Pintura y protección catódica	650	16250	3%
Totales	20900	522500	

Tabla 4. Costes de la mano de obra invertida en la estructura.

4.3.9 Resumen de costes de la estructura.

Sumando los costes de los materiales (4.3.7) y de la mano de obra (4.3.8) obtenemos los siguientes costes para la partida de estructura del buque:

Costes de estructura (mano de obra)	Coste (€)	% del total
Materiales	172000	25%
Mano de obra	522500	75%
Totales	694500	

Tabla 5. Costes de la construcción de la estructura del buque.

Lo que se puede representar gráficamente:

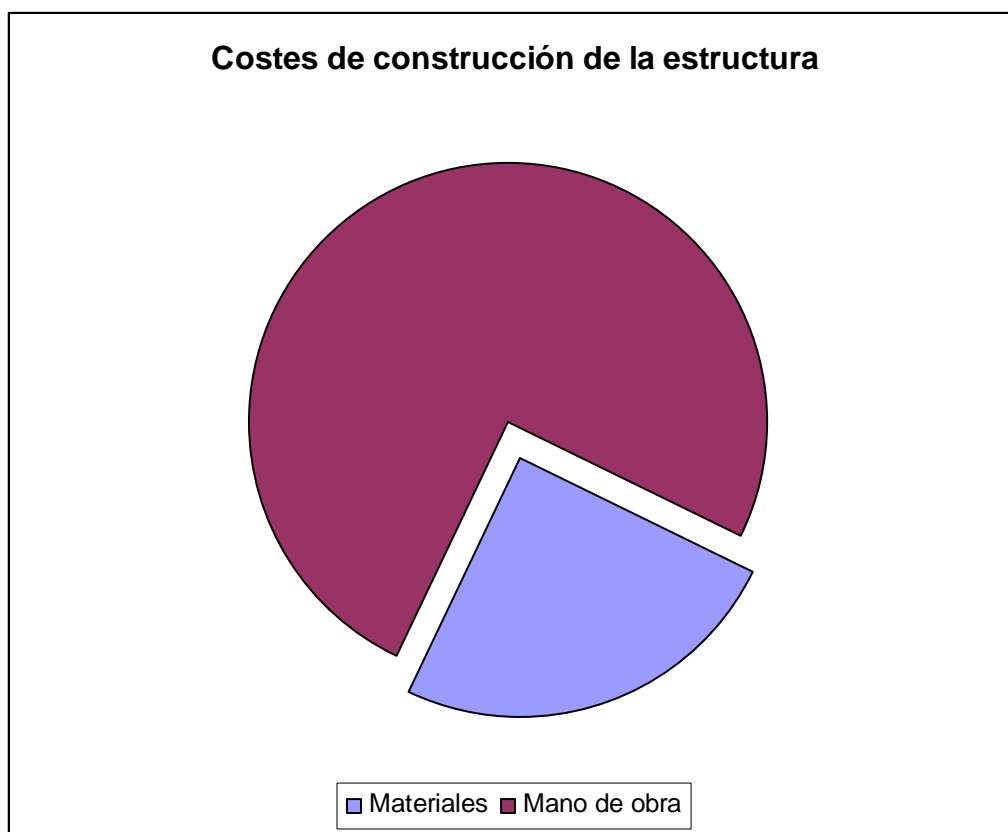


Figura 2. Diagrama de coste de la construcción de la estructura.

Se observa que el coste de la mano de obra es 3 veces superior al coste de los materiales de la estructura.

4.4 Instalación propulsora

4.4.1 Coste de los equipos.

A partir de los datos de fabricantes, y de buques similares, obtenemos la siguiente partida de costes:

Coste de propulsión (material)	Coste (€)	% del total
Motor	130300	60%
Reductora	47560	22%
Chumacera	8000	4%
Hélice	18000	8%
Bocina	5200	2%
Ejes	5000	2%
Acoplamientos	1500	1%
Accesorios	740	0%
Total	216300	

Tabla 6. Costes asociados a la planta propulsora.

Estos costes se pueden presentar gráficamente:

Costes de la instalación propulsora

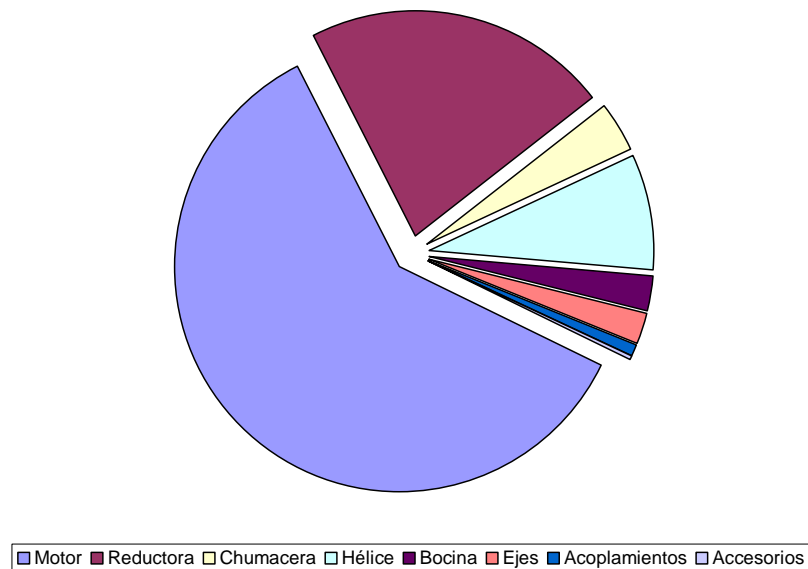


Figura 3. Diagrama de costes de la instalación propulsora.

Se observa, como era de esperar, que el coste del motor principal es claramente superior al del resto de componentes, suponiendo el 63% del coste total de la instalación propulsora.

4.4.2 Mano de obra.

Para conocer las horas necesarias para la instalación del motor principal se emplea la siguiente fórmula (ref. [40]):

$$h_{motor} = 10 \cdot BHP^{2/3} = 10 \cdot 1140^{2/3} = 1090 \text{ horas} \rightarrow \text{Ec. 5}$$

Respecto a la línea de ejes, en la ref. [35] se propone la siguiente expresión:

$$h_{l.ejes} = 0.75 \cdot BHP = 0.75 \cdot 1140 = 860 \text{ horas} \rightarrow \text{Ec. 6}$$

La hélice, por otra parte, requiere el siguiente número de horas:

$$h_{hélice} = 240 + 0.004 \cdot BHP = 240 + 0.004 \cdot 1140 = 245 \text{ horas} \rightarrow \text{Ec. 7}$$

Si nuevamente establecemos el coste por hora de mano de obra en 25€ obtenemos los siguientes costes:

Coste de propulsión (mano de obra)	horas	Coste (€)	% del total
Instalación de motor principal	1000	25000	50%
Línea de ejes y chumacera	750	18750	38%
Instalación de hélice	250	6250	13%
Totales	2000	50000	

Tabla 7. Costes de mano de obra invertidos en la instalación propulsora.

4.4.3 Resumen de costes.

Tomando los costes de los equipos (4.4.1) y de la mano de obra que se debe invertir en su instalación (4.4.2), podemos confeccionar la siguiente tabla resumen de los costes:

Coste de propulsión	Coste (€)	% del total
Materiales	216300	85%
Mano de obra	50000	20%
<i>Total</i>	255300	

Tabla 8. Costes asociados a la instalación propulsora.

Lo que se puede plasmar gráficamente:

Costes de la instalación propulsora

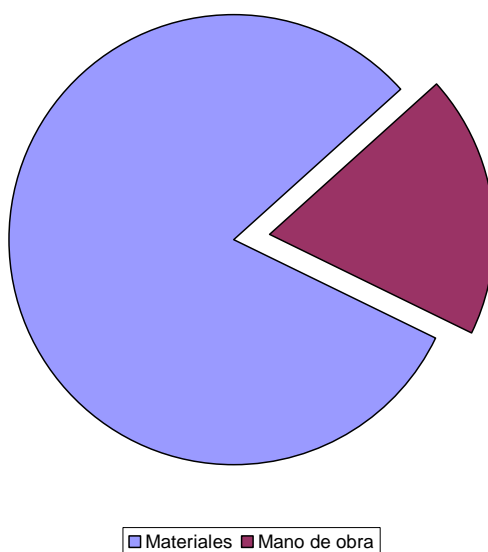


Figura 4. Costes de la planta propulsora.

4.5 Maquinaria auxiliar.

4.5.1 Costes de los equipos.

En este concepto se engloba toda la planta de generación eléctrica, donde se incluyen los grupos electrógenos y las baterías, cuyo coste viene determinado por el fabricante, las bombas de trasiego, el servicio de refrigeración, el sistema de generación de agua dulce, y el servicio de combustible.

Los costes se resumen en la siguiente tabla:

Coste de maquinaria auxiliar propulsión (material)	Coste (€)	% del total
Grupos electrógenos	120000	77%
Bombas	9600	6%
Separadora	7230	5%
Varios	5000	3%
Baterías	3500	2%
Generador de agua dulce	2250	1%
Equipos de desmontaje	2000	1%
Compresores	3800	2%
Ventiladores	2250	1%
Hidróforos	1090	1%
Total	156720	

Tabla 9. Coste asociado al material de la maquinaria auxiliar de la propulsión
Podemos generar un gráfico para valorar la importancia de cada concepto:

Costes de los equipos auxiliares

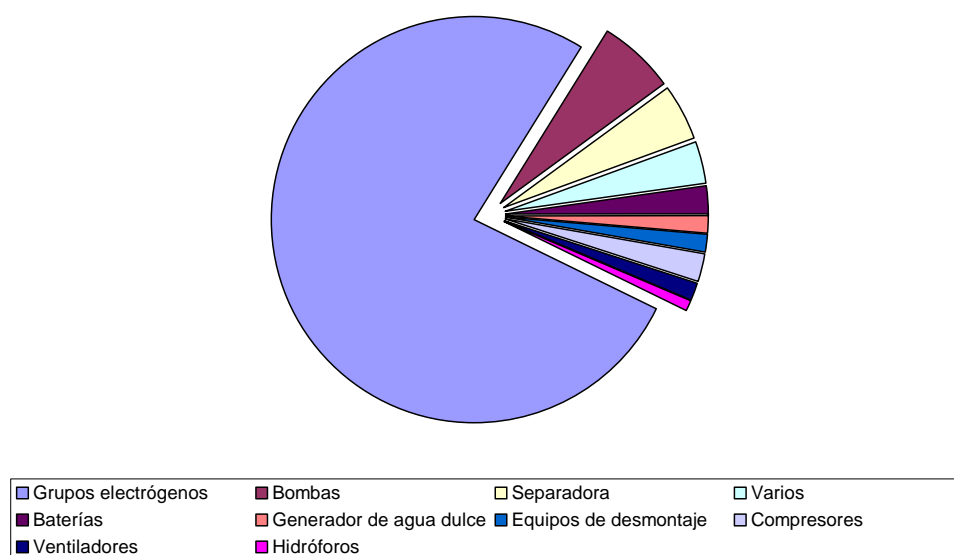


Figura 5. Diagrama coste asociado al material de la maquinaria auxiliar de la propulsión.

4.5.2 Costes de mano de obra.

Las horas necesarias para la instalación de los equipos se puede tomar de la información de buques similares.

Podemos confeccionar la siguiente tabla de costes:

Coste de maquinaria auxiliar propulsión (mano de obra)	horas	Coste (€)	% del total
Otras instalaciones	500	12500	56%
Instalación de grupos electrógenos	400	10000	44%
Totales	600	22500	

Tabla 10. Costes de mano de obra para la instalación de la maquinaria auxiliar.

4.5.3 Resumen de costes.

Sumando los costes de los equipos asociados a este concepto (4.5.1), y la mano de obra que se debe invertir en los mismos (4.5.2), podemos obtener los costes totales computables a este concepto:

Coste de maquinaria auxiliar propulsión	Coste (€)	% del total
Materiales	156720	87%
Mano de obra	22500	13%
Total	179220	

Tabla 11. Costes asociados a la maquinaria auxiliar.

Lo que podemos representar gráficamente para realzar el peso sobre el coste de cada una de las partes:

Costes de los equipos auxiliares

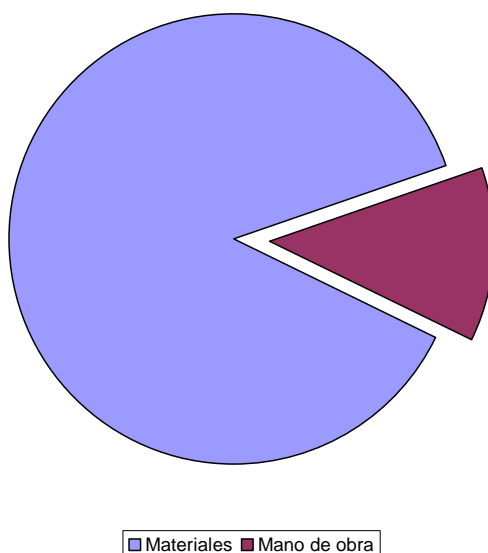


Figura 6. Diagrama de costes asociados a la maquinaria auxiliar.

Donde se observa que para esta partida, el coste en materiales es significativamente superior al de la mano de obra necesaria.

4.6 Maquinaria en cubierta

El coste de los equipos englobados en este concepto es el siguiente:

Casco de maquinaria auxiliar de cubierta	Coste (€)	% del total
Equipo de gobierno	12000	13%
Maquinilla de cerco	15000	17%
Equipos de maniobra cubierta	8000	9%
Halador	5000	6%
Grúas	50000	56%
Total	90000	

Tabla 12. Coste de la maquinaria de cubierta.

En este caso no se estudian los costes por mano de obra, pues no son significativos si se comparan con los costes que se están manejando.

Podemos visualizar estos costes en un diagrama circular:

Costes de la maquinaria de cubierta

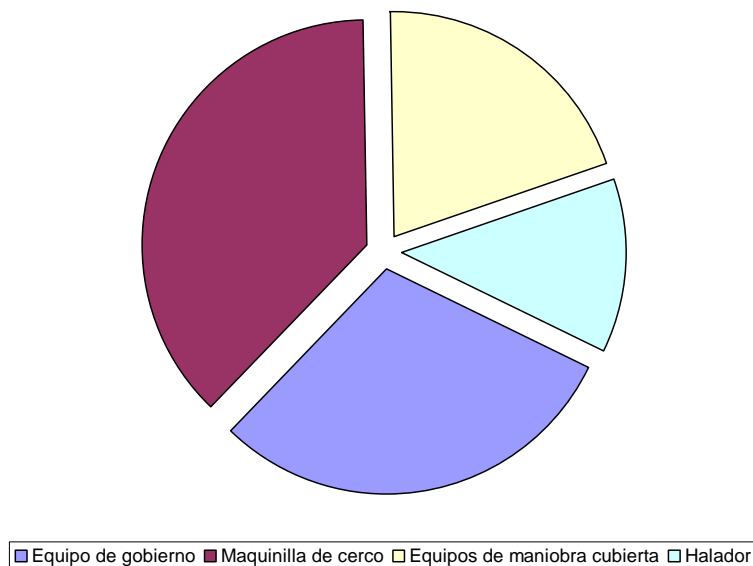


Figura 7. Esquema de distribución de costes de la maquinaria en cubierta.

4.7 Instalaciones especiales

4.7.1 Costes de los materiales.

Las instalaciones especiales que se contemplan son las siguientes:

1. Instalación frigorífica de la bodega.
2. Servicio de rociado de agua por el costado.
3. Equipo de automatización, alarmas y control.

Estos costes se estiman a partir de información de buques similares, obteniéndose la siguiente tabla:

Coste especiales (material)	Coste (€)	% del total
Equipo de frío bodega	35000	57%
Instalaciones de automatización, control y alarmas	20000	33%
Rociadores	300	0%
Forros y aislamiento	6000	10%
<i>Total</i>	61300	

Tabla 13. Costes de los materiales para los equipos especiales.

Y representando gráficamente estos valores:

Costes de los equipos especiales

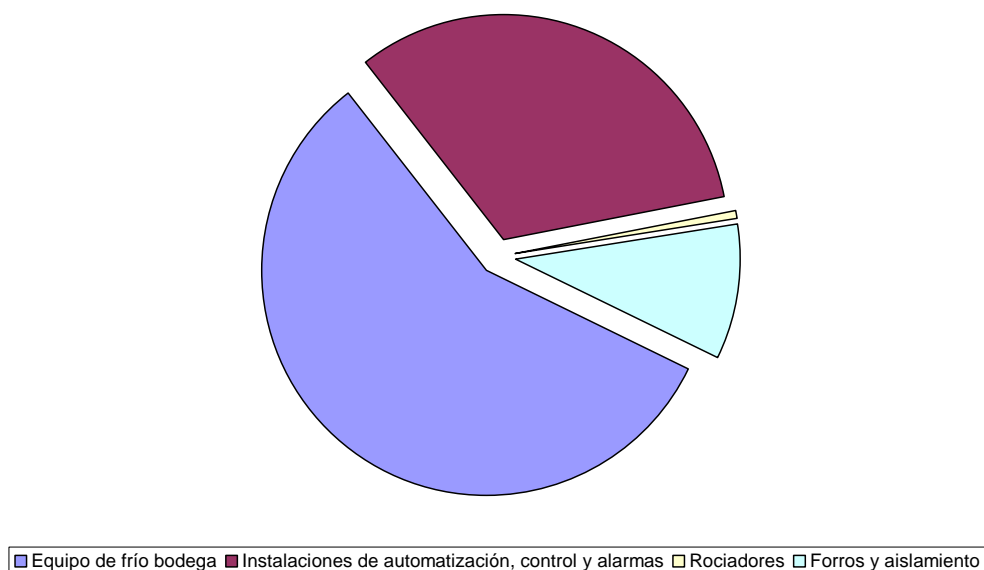


Figura 8. Distribución de costes de los materiales para los equipos especiales.

4.7.2 Mano de obra.

De la misma forma que con los materiales, las horas de trabajo se estiman mediante información obtenida de buques similares:

Coste especiales (mano de obra)	horas	Coste (€)	% del total
Instalaciones de automatización, control y alarmas	500	12500	48%
Equipo de frío bodega	200	5000	19%
Rociadores	40	1000	4%
Forros y aislamiento	300	7500	29%
Totales	1040	26000	

Tabla 14. Costes de mano de obra asociados a las instalaciones especiales.

4.7.3 Resumen de costes.

Sumando los costes de los materiales (4.7.1) y los costes de mano de obra (4.7.2) correspondientes a las instalaciones especiales, obtenemos el coste imputable a esta partida:

Coste especiales	Coste (€)	% del total
Materiales	61300	70%
Mano de obra	26000	30%
Total	87300	

Tabla 15. Coste de las instalaciones especiales.

Cuya distribución podemos valorar visualmente mediante el siguiente gráfico:

Costes de los equipos especiales

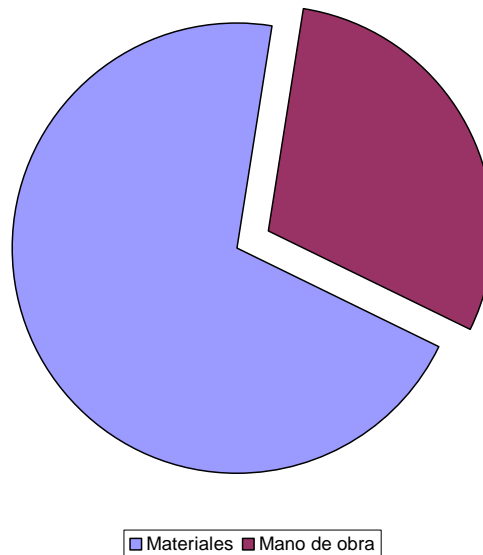


Figura 9. Distribución de costes de las instalaciones especiales.

4.8 Equipo, armamento e instalaciones

4.8.1 Coste de los materiales.

En esta partida englobamos todos aquellos equipos y servicios que no se han contemplado anteriormente. Los costes de estos equipos se estiman a partir de buques similares, salvo:

Equipos de cocina, lavandería y fonda, que se aproximan mediante la siguiente expresión:

$$C_{cocina} = K_{co} \cdot N \rightarrow \text{Ec. 8}$$

Donde:

K_{co} es una constante que depende del tipo de buque.

N es el número de tripulantes.

En nuestro caso:

$$C_{cocina} = 230 \cdot 15 = 3500 \text{€} \rightarrow \text{Ec. 9}$$

Tuberías y conductos, que se estiman mediante la siguiente expresión:

$$C_{tub} = 450(0.015V_{C.M.} + 0.18L_{pp}) + 0.88BHP + 0.25(V_{C.M.} + V_{carga}) = 5000 \text{€} \rightarrow \text{Ec. 10}$$

Por tanto, los costes correspondientes a esta partida, en concepto de materiales, se resumen en la siguiente tabla:

Equipo, armamento e instalaciones (material)	Coste (€)	% del total
Equipos de navegación	180000	68%
Válvulas	15000	6%
Tubería y accesorios	12000	5%
Botes y balsas	12000	5%
Forrado bodega	7000	3%
Conductores	5000	2%
Puertas, escotillas y ventanas	5000	2%
Equipo contraincendios	4000	2%
Equipos de cocina, lavandería y fonda	3500	1%
Tanques no estructurales	3000	1%
Elementos de fondeo y amarre	3000	1%
Mobiliario	2900	1%
Niveles y mirillas	2000	1%
Subpavimentos y pavimentos	2000	1%
Aerotermos	2000	1%
Escalas y peldaños	1500	1%
Equipos de ventilación y extracción	1000	0%
Palos, jarcia, candeleros y pasamanos	900	0%
Tapas de viveros	800	0%
Aislamiento de conductos	800	0%
Decoración y accesorios	800	0%
Elementos de salvamento	500	0%
Acondicionamiento del pañol	400	0%
Total	265100	

Tabla 16. Coste de los materiales de equipos, armamento e instalaciones.

4.8.2 Mano de obra.

En ref. [40] se proponen los conceptos de mano de obra aplicables, y las expresiones para calcular las horas necesarias en cada uno de ellos, lo que se resume en la siguiente tabla:

Equipo, armamento e instalaciones (mano de obra)	horas	Coste (€)	% del total
Soldadura armamento	3000	75000	19%
Montaje de equipos y elementos	2900	72500	19%
Tubería a bordo	2800	70000	18%
Calderería a bordo	1800	45000	12%
Instalación eléctrica	1470	36750	9%
Calderería taller	1400	35000	9%
Tubería taller	900	22500	6%
Ajuste	700	17500	5%
Recubrimiento de tubería	250	6250	2%
Subpavimentos y pavimentos	150	3750	1%
Acondicionamiento de pañol	70	1750	0%
Aislamiento térmico fuera de cámara de máquinas	40	1000	0%
Totales	15480	387000	

Tabla 17. Coste de mano de obra de equipos, armamento e instalaciones.

4.8.3 Resumen de costes.

Reuniendo el coste de los materiales (4.8.1) y de la mano de obra (4.8.2) obtenemos el siguiente coste para esta partida:

Equipo, armamento e instalaciones	Coste (€)	% del total
Mano de obra	265100	41%
Materiales	387000	59%
Total	652100	

Tabla 18. Coste de equipos, armamento e instalaciones.

Como se puede observar, una partida muy significativa en su conjunto. Podemos presentar gráficamente estos resultados:

Costes de equipos, armamento e instalaciones

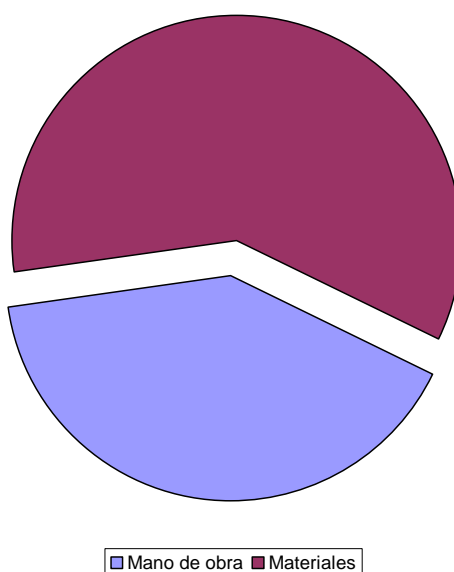


Figura 10. Distribución de costes de equipos, armamento e instalaciones.

Se observa como en este caso la mano de obra toma casi el 70% del coste global de esta partida.

4.9 Cargos y respetos

Los respetos se pueden dividir en:

1. Cargos y respetos reglamentarios.
2. Respetos especiales.

Los costes se resumen por tanto en la siguiente tabla:

Coste de cargos y respetos	Coste (€)	% del total
Respetos especiales	9000	32%
Cargos y respetos reglamentarios	19500	68%
Total	28500	

Tabla 19. Coste de cargos y respetos.

4.10 Costes generales (OVERHEADS).

Los costes generales que resultan difícilmente imputables al buque (denominados comúnmente *OVERHEADS*), pues no repercuten directamente en él, son necesarios para llevar a cabo la construcción del mismo, y conforman una parte importante del coste final de construcción del buque.

Estos costes comprenden conceptos tan variados como pueden ser alumbrado, red de fuerza, agua, gas, teléfono, software, andamiaje, amortización de equipos, viajes, costes imprevistos.

Normalmente la forma de actuar es sumar todos estos costes, y luego repartirlo entre los buques en construcción ponderándolo mediante el peso del buque, su precio, o algún otro indicativo similar.

A la hora de estimar esta partida de costes se puede asumir un 10% del coste acumulado por todas las anteriores partidas.

Por tanto, el coste imputable a este concepto es el siguiente:

$$C_{OVERHEADS} = 0.1 \cdot \sum C_i = 0.1 \cdot 2550770 \text{€} = 255077 \text{€} \rightarrow \text{Ec. 11}$$

4.11 Resumen

Si tomamos los costes desglosados en los apartados anteriores (4.1 a 4.10), y los sumamos podremos obtener el coste total del buque, y el peso que cada partida tiene sobre el mismo:

Costes	Coste (€)	% del total
Ingeniería	115200	4%
Administrativos	45000	2%
Estructura	1194500	41%
Instalación de propulsión	255300	9%
Maquinaria auxiliar	179220	6%
Maquinaria de cubierta	90000	3%
Equipos especiales	87300	3%
Equipo, armamento e instalaciones	652100	22%
Cargos y respetos	28500	1%
OVERHEADS	264712	9%
Total	2911832	

Tabla 20. Costes desglosados del buque.

Es decir, la construcción del buque conllevará un coste de **2911832€**

Podemos analizar el peso de cada partida representando gráficamente los resultados de la Tabla 20:

Costes del buque

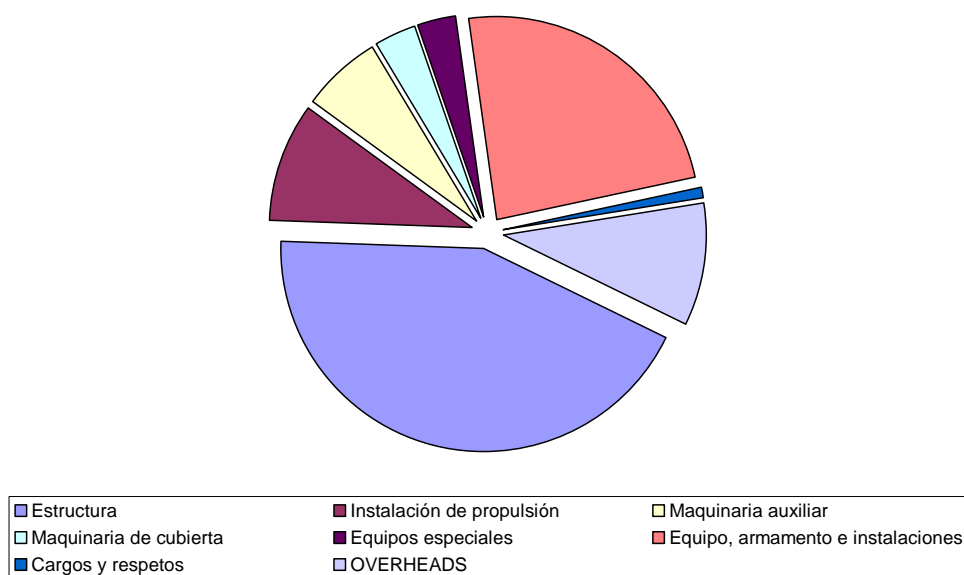


Figura 11. Distribución de costes de las distintas partidas de la construcción del buque.

Se observa un importante volumen del coste en estructura y equipos, seguido de coste muy relevante correspondiente a la planta propulsora y a los costes generales. El resto de partidas se sitúan en márgenes muy inferiores, que rondan el 5%.

El coste de ingeniería vale finalmente un 4% del coste final de construcción del buque, valor que se sitúa dentro del intervalo que presentábamos como razonable en 4.1, luego es un valor satisfactorio.

Al coste de construcción del buque se le debe añadir un 10% en concepto de beneficio, para dar el precio de venta del barco:

$$P = 1.1 \cdot C_{\text{buque}} = 1.1 \cdot 2911832 \text{€} = 3203015 \text{€} \rightarrow \text{Ec. 12}$$

Luego el astillero presupuestaría el precio del buque como “*tres millones, doscientos tres mil, quince euros (3203015€)*”.

5 Acrónimos.

$h_{estructura}$, horas de mano de obra dedicadas a la estructura (4.3).

K_s , índice de mano de obra (4.3).

P_s es el peso de la estructura de la cual queremos calcular el número de horas de trabajo (4.3).

C_c , es una constante que depende del tipo de material empleado (4.3).

$h_{timón}$, horas de mano de obra dedicados al timón (4.3).

$A_{timón}$, área del timón (4.3).

$$h_{pint} = 0.25 \cdot S_{e.muerta} \cdot (1 + 0.3 \cdot n_{muerta}) + 0.0875 \cdot S_{e.viva} \cdot n_{viva} + 0.4 \cdot S_{in} \cdot n_{in} = 650 \text{ horas} \rightarrow \text{Ec. 13}$$

$h_{timón}$, horas de mano de obra dedicados a pintura y sistema anticorrosión (4.3).

$S_{e.muerta}$, superficie de la obra muerta (4.3).

n_{muerta} , número de manos en la obra muerta (4.3).

$S_{e.viva}$, superficie de la obra viva (4.3).

n_{viva} , número de manos en la obra muerta (4.3).

S_{in} , superficie interior (4.3).

n_{in} , número de manos en el interior (4.3).

h_{motor} , horas de mano de obra dedicados al motor principal (4.4).

BHP , caballos de potencia del motor principal (4.4).

$h_{l.ejes}$, horas de mano de obra dedicados a la línea de ejes (4.4).

$h_{hélice}$, horas de mano de obra dedicados a la hélice (4.4).

C_{cocina} , coste de los equipos de cocina, fonda y lavandería (4.8).

K_{co} , constante dependiente del tipo de buque. (4.8).

N , número de tripulantes (4.8).

C_{cocina} , coste de tuberías y conducciones (4.8).

$V_{C.M.}$, volumen de la cámara de máquinas (4.8).

V_{carga} , volumen de carga del buque (4.8).

L_{pp} , eslora entre perpendiculares (4.8).

P , precio presupuestado del buque (4.11).

C_{cocina} , coste de construcción del buque (4.11).

Anexo I: Gestión del proyecto de construcción.

1 Introducción

El objetivo de este apartado es intentar organizar y administrar recursos de manera tal que se pueda culminar todo el trabajo requerido en el proyecto dentro del alcance, el tiempo y costes definidos, para ello se empleará **Microsoft Project**, cuyo archivo se encuentra adjunto con el nombre **PFC_077_BoniteroCantabrico.mpp**.

También se añade en el Anexo II un diagrama de Gantt de la planificación resultante.

La especificación del proyecto indica que “*Se presentará además una planificación para la construcción asociada a los medios de un astillero de la sociedad PYMAR del que se disponga de información suficiente*”. Los astilleros que se valoran son los que se muestran en las siguientes imágenes:



Figura 12. Astilleros BALENCIAGA,S.A.



Figura 13. Astilleros ARMÓN, S.A. (Navia)



Figura 14. Astillero RÍA DE AVILÉS, S.L.



Figura 15. Astilleros Gondán, S.A.

Entre todos ellos se ha elegido ASTILLEROS GONDÁN, S.A.¹., debido a que la información que se disponía de éste era mayor que de los anteriores.

¹ Según la clasificación ofrecida por PYMAR de los astilleros en función del TRB, se trata de un astillero pequeño, ya que la mayor parte de buques construidos tienen menos de 1000 TRB (<http://www.gondan.com/principal.htm>.)

No obstante, no se pretende ni mucho menos reproducir la secuencia constructiva exacta que emplea el astillero en cuestión, sino emplear los recursos de éste para poder crear una planificación estimativa de la construcción de nuestro barco proyecto.

2 Límites del estudio

A la hora de hacer un estudio como el que se va a abordar es importante poner el punto de inicio y fin del mismo. Para nosotros el punto de inicio estará en el aprovisionamiento de acero² y el fin se situará en el día de término de la construcción del barco (no se contemplarán: las pruebas, garantía...)

El astillero tiene capacidad para poder crear más de un barco simultáneamente. En este caso se supondrá que se dispone de grada en la fase de construcción en la que es necesaria.

3 Recursos

Los recursos de trabajo (en la terminología de MS Project) de los cuales disponemos pueden ser divididos en:

1. Recursos tangibles:

- a. Talleres mecánicos.
- b. Parque de materiales.
- c. Naves de prefabricación con posibilidad de poder trabajar con bloques planos y curvos.
- d. Taller de corte y curvado de perfiles.
- e. Parque de perfiles.
- f. Oxicorte.
- g. Parque de chapas.
- h. Taller eléctrico.
- i. Máquina curvadora de chapas.
- j. Taller de tuberos.
- k. Taller de carpintería.
- l. Almacén de pintura.
- m. Oficinas.
- n. Gradas.
- o. Grúas³: en la figura 16 solamente se han dibujado las grúas exteriores, no obstante habrá más grúas⁴ en las naves de prefabricación.
- p. Materiales.

2. Recursos humanos:

- a. Soldadores.
- b. Carpinteros.
- c. Ingenieros técnicos y superiores.
- d. Tuberos.
- e. Electricistas.
- f. Contables...

² Se ha situado el inicio el día 21 de Septiembre de 2010.

³ Se supondrá que la capacidad de izado es de 10 Tn.

⁴ Serán de tipo pórtico.

3. Recursos financieros.

- Posibilidades de pedir créditos.
- Capital disponible.
- Inversores.

4. Recursos intangibles:

- Marca del astillero.
- Nivel de experiencia.
- Información de otros proyectos parecidos al que queremos llevar a cabo.
- Listado de proveedores.

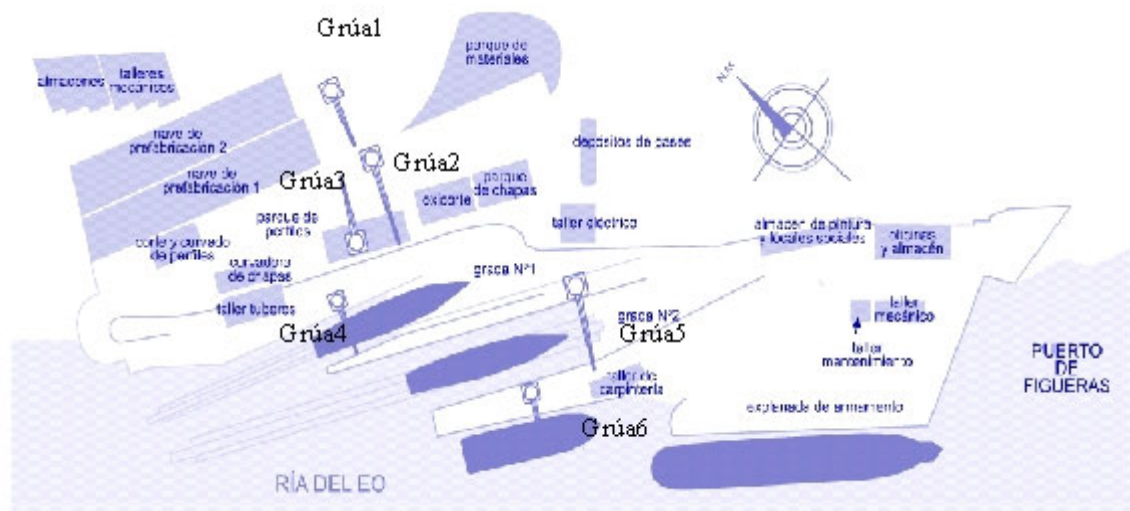


Figura 16. Plano de distribución del astillero, con grúas exteriores.

4 Proceso industrial.

El proceso industrial seguido para la construcción del buque puede contemplarse en la siguiente figura:

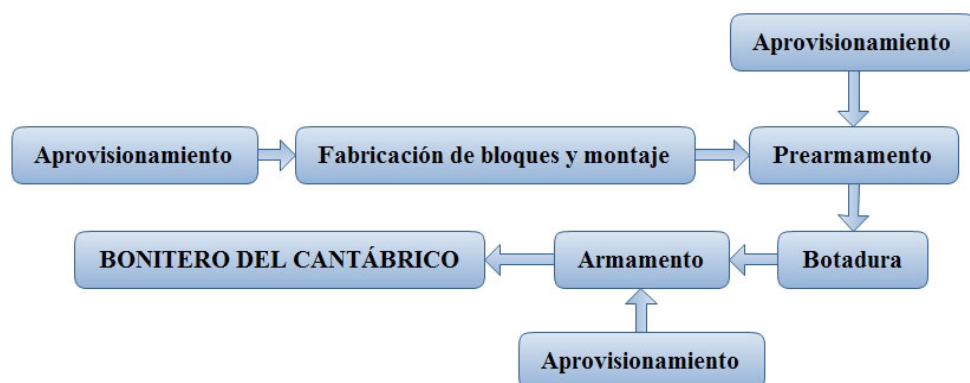


Figura 17. Diagrama constructivo simplificado⁵

⁵ El diagrama es mucho más complicado, ya que por ejemplo no tenemos que tener montados todos los bloques para empezar el prearmamento, no obstante el cuadro muestra de forma simplificada la secuencia temporal constructiva.

Y está conformado por las fases que se enumeran a continuación:

- Aprovisionamiento de materiales y equipos: Esta aportación exterior estará constituida por los materiales básicos necesarios para la elaboración del buque (chapa, pintura, equipos de navegación, comunicaciones...) Estas compras estarán definidas técnicamente por el propio astillero, se realizan siguiendo rigurosamente una planificación de la construcción, de manera que cada cosa esté en el momento que se la necesita, no mucho antes, ya que produciría un gasto adelantado que aumentaría el coste de la construcción, ni después, pues acarrearía el retraso de todas las actividades que se deriven de ella o tengan relación con ella, retrasando el plazo del buque y aumentando el número de horas inactivas de las personas asignadas a la construcción del buque. El aprovisionamiento será dividido en dos tipos: interno (del astillero a los distintos talleres) y externo (del exterior al astillero⁶.)

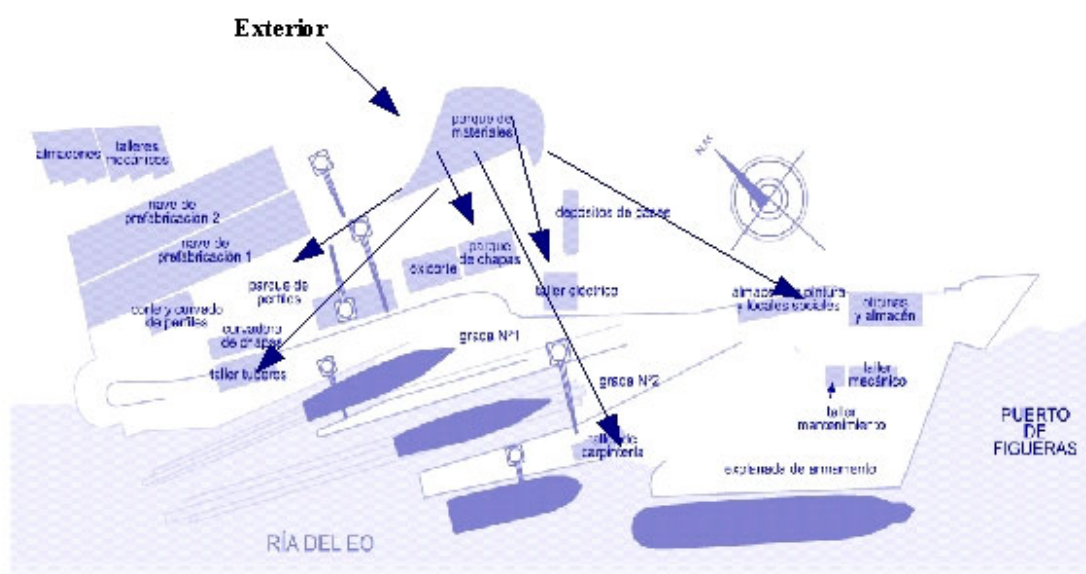


Figura 18. Diagrama principal de aprovisionamiento interno y externo

- Preparación y elaboración⁷: Las planchas y perfiles de acero, una vez pasados por máquinas que aplanan las deformaciones que puedan adquirir en el transporte desde la acería y su manipulación, son automáticamente transferidas a unas máquinas que mediante el chorreado a presión con granalla se les eliminan las oxidaciones que pudieran tener, y posteriormente en otra máquina se pintan con una pintura de imprimación que las protegerá del peligro de corrosión durante el proceso de construcción. Las planchas y los perfiles así tratados son cortados con las dimensiones y formas precisas en máquinas de corte. Tras lo anterior se curvarán los perfiles y chapas que fuesen necesarios. Mediante estos procedimientos, los miles de piezas de acero que componen el “puzzle” que es realmente el casco del barco y su estructura estarán preparadas, identificadas

⁶ Según se ofrece en la Figura 18 el punto de enlace del astillero con el exterior será el parque de materiales.

⁷ Para esta fase se utilizarán las grúas número: uno, dos y tres.

mediante números para iniciar el ensamblaje con que las diferentes partes o secciones del barco empiezan a tomar forma.



Figura 19. Curvadora de chapas de cilindros

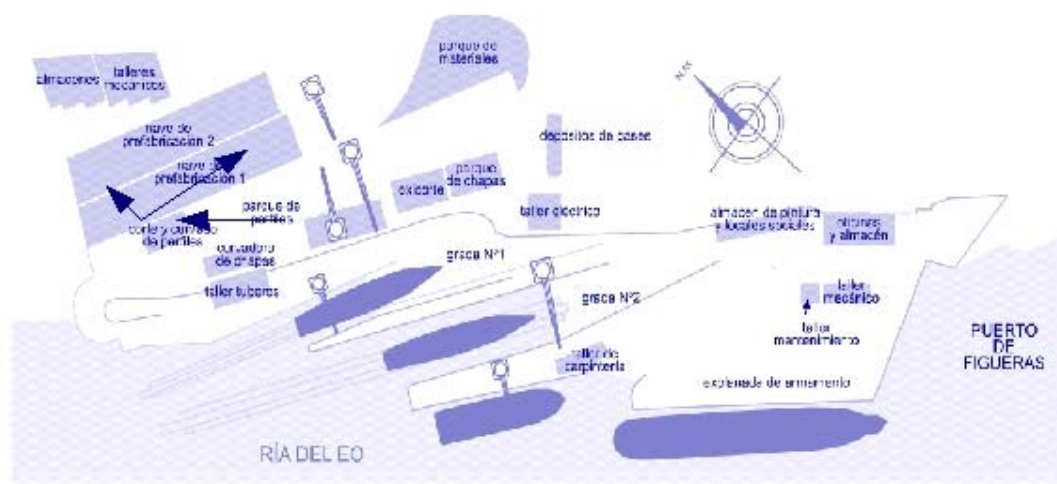


Figura 20. Proceso de preparación de perfiles

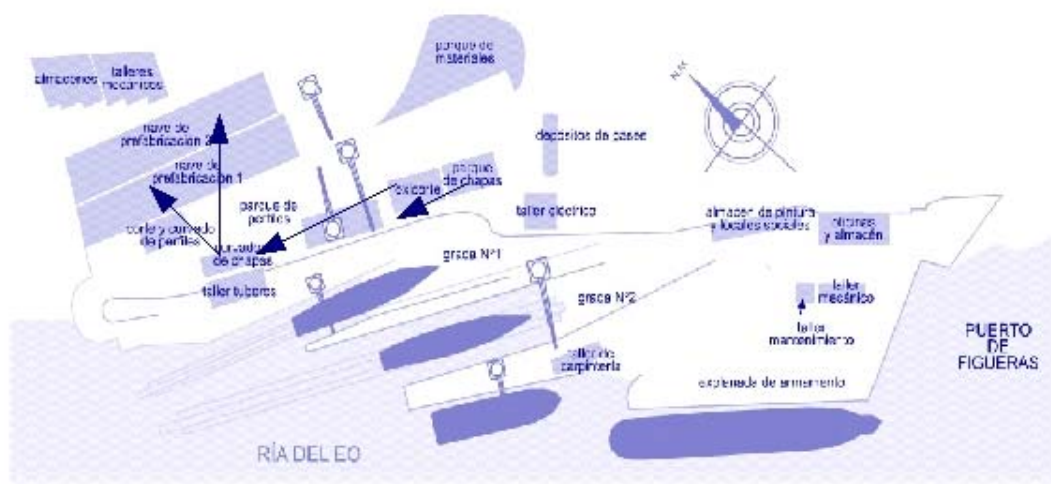


Figura 21. Proceso de preparación de chapas

- Prefabricación⁸: Se trata de pasar de partes en dos dimensiones (como son la mayoría que salen de elaboración), a bloques tridimensionales. Dado que en el casco posee partes planas y curvas, se producirán lo que llamamos “bloques planos” y “bloques curvos”⁹.



Figura 22. Primer bloque creado por Navantia para un RORO para Acciona

- Premontaje¹⁰: y montaje: Los elementos de la estructura ya prefabricados, pasan a otra zona en la que son unidos entre sí para formar secciones mayores, que conformarán los bloques definitivos que se colocarán en el lugar destinado para erigir el buque. La grada elegida para construir el barco será la número uno. En esta fase se realiza el pintado del buque.
- Prearmamento: Incorporación al barco de los distintos equipos y tubería. Antiguamente, casi todo el armamento se llevaba a cabo cuando el casco y su estructura estaban prácticamente terminados, y el buque ya botado y a flote, lo cual, para la filosofía de entonces, consumía menos tiempo en la grada y permitía dedicar ésta a construir más buques. Lo que realmente se hacía era trasladar el cuello de botella de todos los procesos a la fase de armamento. La buena práctica en la construcción naval, como en la mayoría de las actividades, es que hay que tratar de evitar los cuellos de botella, y planificarse para que estos no aparezcan.

⁸ Para estas tareas se emplearán las grúas: uno, dos y tres.

⁹ Los primeros serán realizados en la nave de prefabricación número uno y los segundos en la número dos.

¹⁰ El premontaje consistirá en la colocación de algunos equipos y tuberías.

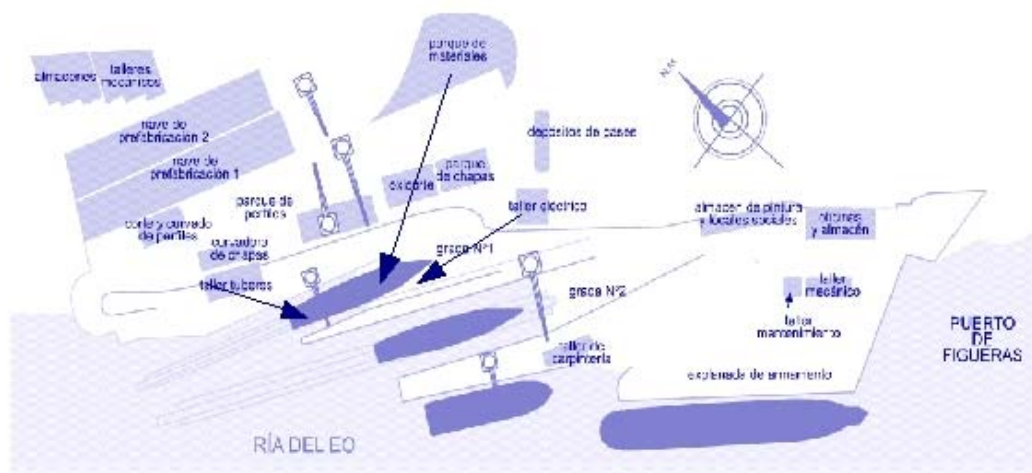


Figura 23. Diagrama de flujo de los bloques.

- Botadura: El acto de poner el buque en el agua.



Figura 24. Barco durante la botadura

- Armamento: En esta etapa se terminará de armar al barco: equipos restantes a los del prearmamento, habilitación, electricidad...

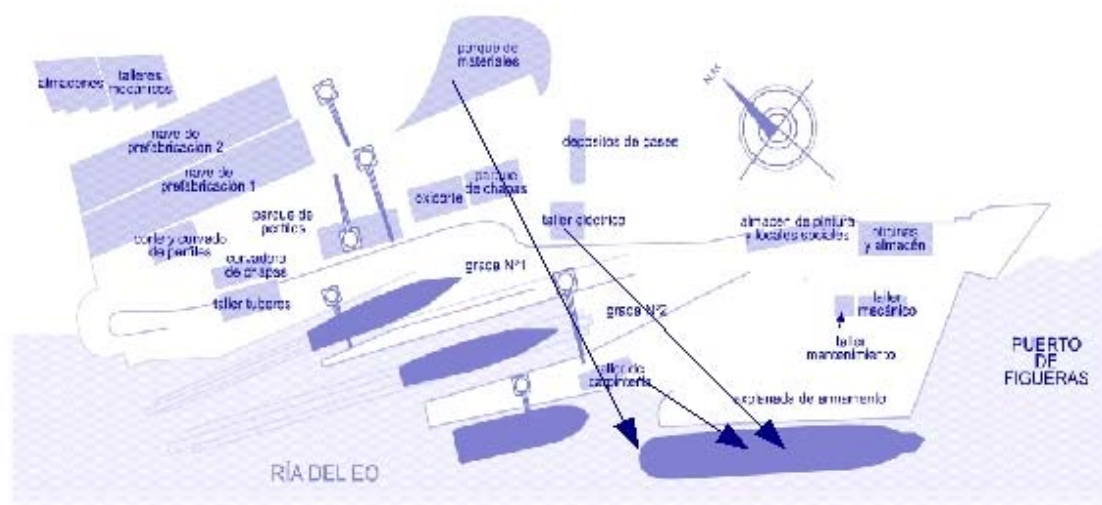


Figura 25. Operaciones de armamento

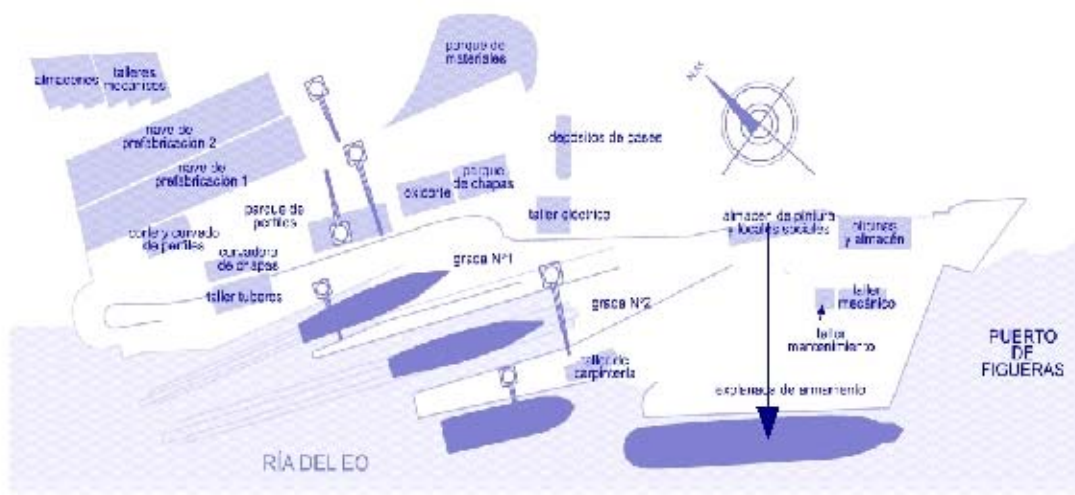


Figura 26. Pintado

5 Bloques¹¹

Para la construcción del barco lo dividiremos en varios bloques, el número de éstos dependerá de la capacidad de izado de las grúas y medios de transporte que dispone nuestro astillero, en nuestro astillero se ha supuesto que es de 15 Tons (a la hora de realizar los cálculos se supondrá una capacidad de 10 Tn¹².) Como el peso de la estructura es de unas 125 Tn, suponiendo que la distribución de pesos es uniforme a lo largo del barco, cosa que no es cierta¹³, como fue estudiado en el documento de cálculo de pesos, tomaremos un coeficiente de seguridad de 1.5. Aplicando la siguiente expresión obtenemos unos 19 bloques.

$$n_{\text{bloques}} = \frac{P_{\text{estructura}} \cdot C_s}{C_{\text{izado}}} = \frac{125 \cdot 0.5}{10} \approx 19 \rightarrow \text{Ec. 14}$$

¹¹ Para simplificar en cada tarea de bloque incluiremos la preparación y elaboración, prefabricación y premontaje.

¹² Ello hará que nos podamos tomar un margen de un 30% frente al punto de izado máximo de la grúa.

¹³ Debido a que tenemos zonas que pesan más que otra.

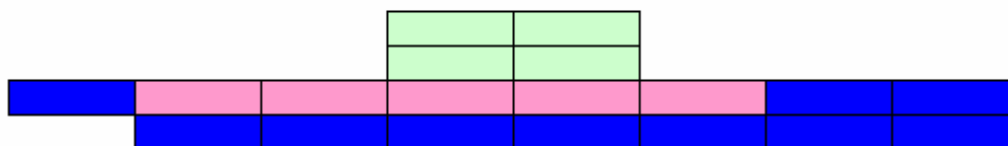


Figura 27. Bloques necesarios para la construcción de nuestro barco

Tipo de bloque	Color
Bloque Curvo	Azul
Bloque plano	Rosa
Bloque plano (Aluminio)	Verde

Tabla. 1→Leyenda del diagrama de bloques superior

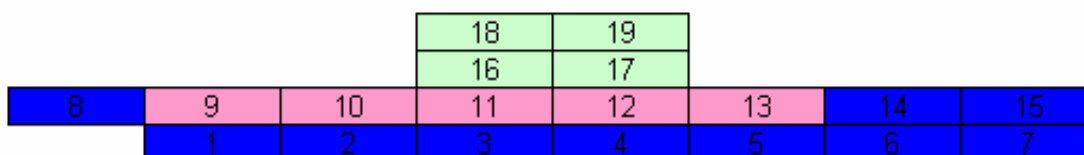


Figura 28. Numeración de los bloques

La secuencia de montaje de los bloques, así como los días netos de inicio y fin de creación¹⁴ de bloques¹⁵ es la siguiente:

Bloque	Fecha de inicio	Fecha para montaje
5	0	10
4	2.5	12.5
13	6	14
3	5	15
12	8	16
2	7.5	17.5
11	10	18
1	10	20
10	12	20
6	12.5	22.5
9	14	22
7	15	25
16	16	24
8	17.5	27.5
17	18	26

¹⁴ Se supondrá que el tiempo estimado para la elaboración de un bloque plano será de unos ocho días efectivos, así como la elaboración de un bloque curvo llevará 10 días.

¹⁵ Aquí se incluyen las operaciones de preparación y elaboración y prefabricación

14	20	30
18	20	28
15	22.5	32.5
19	22	30

Tabla 21. Secuencia de montaje

Los tiempos dados más arriba, son relativos al tiempo de inicio del bloque 5. En el diagrama de más abajo se puede ver mejor cual será la secuencia para el montaje de nuestro barco.

			18(16)	19(18)				
			16(12)	17(14)				
8(15)	9(10)	10(8)	11(7)	12(5)	13(3)	14(17)	15(19)	
	1(9)	2(6)	3(4)	4(2)	5(1)	6(11)	7(13)	

Tabla 22. Orden de montaje¹⁶

6 *Análisis temporal de las tareas*

Se adjunta en el Anexo II el diagrama de Gantt en el que se observan visualmente las tareas y su extensión en el tiempo.

Para efectuar este análisis se ha supuesto un calendario laboral estándar en el que:

- La jornada laboral se divide en dos: mañana (9:00 a 13:00) y tarde (15:00 a 19:00.) Tendremos 8 horas efectivas por día.
- Fines de semana no son laborables.
- Comienzo de la construcción del buque el día 21/09/2010.

Con todo lo anterior tendremos que¹⁷:

BONITERO DEL CANTÁBRICO	92 días	21/09/2010 9:00	26/01/2011 19:00
Inicio de construcción	0 días	21/09/2010 9:00	21/09/2010 9:00
Aprovisionamiento bloques acero	2 días	21/09/2010 9:00	22/09/2010 19:00
Aprovisionamiento bloques aluminio	1 día	13/10/2010 9:00	13/10/2010 19:00
Aprovisionamiento equipos prearmamento	2 días	06/10/2010 9:00	07/10/2010 19:00
Aprovisionamiento equipos armamento	2 días	16/11/2010 9:00	17/11/2010 19:00
Construcción de bloques	32.5 días	23/09/2010 9:00	06/11/2010 13:00
Montaje	24 días	07/10/2010 9:00	09/11/2010 19:00
Prearmamento	27.5 días	08/10/2010 15:00	16/11/2010 19:00
Puesta de quilla	0 días	06/10/2010 19:00	06/10/2010 19:00
Botadura	0 días	18/11/2010 19:00	18/11/2010 19:00
Armamento	50 días	18/11/2010 9:00	26/01/2011 19:00

Tabla 23. Resumen del análisis temporal de las tareas

Si desglosamos el apartado de construcción de bloques¹⁸ quedará que:

¹⁶ Se muestra entre corchetes el orden de montaje de los distintos bloques.

¹⁷ Todas las tareas con duración nula, serán hitos.

Construcción de bloques	32.5 días	23/09/2010 9:00	06/11/2010 13:00
Bloque 5 (curvo)	10 días	23/09/2010 9:00	06/10/2010 19:00
Bloque 4 (curvo)	10 días	25/09/2010 15:00	09/10/2010 13:00
Bloque 13 (plano)	8 días	01/10/2010 9:00	12/10/2010 19:00
Bloque 3 (curvo)	10 días	30/09/2010 9:00	13/10/2010 19:00
Bloque 12 (plano)	8 días	05/10/2010 9:00	14/10/2010 19:00
Bloque 2 (curvo)	10 días	02/10/2010 15:00	16/10/2010 13:00
Bloque 11 (plano)	8 días	07/10/2010 9:00	16/10/2010 19:00
Bloque 1 (curvo)	10 días	07/10/2010 9:00	20/10/2010 19:00
Bloque 10 (plano)	8 días	09/10/2010 9:00	20/10/2010 19:00
Bloque 6 (curvo)	10 días	09/10/2010 15:00	23/10/2010 13:00
Bloque 9 (plano)	8 días	13/10/2010 9:00	22/10/2010 19:00
Bloque 7 (curvo)	10 días	14/10/2010 9:00	27/10/2010 19:00
Bloque 16 (plano Al)	8 días	15/10/2010 9:00	26/10/2010 19:00
Bloque 8 (curvo)	10 días	16/10/2010 15:00	30/10/2010 13:00
Bloque 17 (plano Al)	8 días	19/10/2010 9:00	28/10/2010 19:00
Bloque 14 (curvo)	10 días	21/10/2010 9:00	03/11/2010 19:00
Bloque 18 (plano Al)	8 días	21/10/2010 9:00	30/10/2010 19:00
Bloque 15 (curvo)	10 días	23/10/2010 15:00	06/11/2010 13:00
Bloque 9 (plano Al)	8 días	23/10/2010 9:00	03/11/2010 19:00

Tabla 24. Desglose de la construcción de bloques

Por otro lado, para el montaje de los bloques¹⁹ quedará que:

Montaje	24 días	07/10/2010 9:00	09/11/2010 19:00
Bloque 5 (curvo)	1.5 días	07/10/2010 9:00	08/10/2010 13:00
Bloque 4 (curvo)	1.5 días	09/10/2010 15:00	12/10/2010 19:00
Bloque 13 (plano)	1 día	13/10/2010 9:00	13/10/2010 19:00
Bloque 3 (curvo)	1.5 días	14/10/2010 9:00	15/10/2010 13:00
Bloque 12 (plano)	1 día	15/10/2010 9:00	15/10/2010 19:00
Bloque 2 (curvo)	1.5 días	16/10/2010 15:00	19/10/2010 19:00
Bloque 11 (plano)	1 día	19/10/2010 9:00	19/10/2010 19:00
Bloque 1 (curvo)	1.5 días	21/10/2010 9:00	22/10/2010 13:00
Bloque 10 (plano)	1 día	21/10/2010 9:00	21/10/2010 19:00
Bloque 6 (curvo)	1.5 días	23/10/2010 15:00	26/10/2010 19:00
Bloque 9 (plano)	1 día	23/10/2010 9:00	23/10/2010 19:00
Bloque 7 (curvo)	1.5 días	28/10/2010 9:00	29/10/2010 13:00
Bloque 16 (plano Al)	1.75 días	27/10/2010 9:00	28/10/2010 17:00
Bloque 8 (curvo)	1.5 días	30/10/2010 15:00	02/11/2010 19:00
Bloque 17 (plano Al)	1.75 días	29/10/2010 9:00	30/10/2010 17:00
Bloque 14 (curvo)	1.5 días	04/11/2010 9:00	05/11/2010 13:00
Bloque 18 (plano Al)	1.75 días	02/11/2010 9:00	03/11/2010 17:00
Bloque 15 (curvo)	1.5 días	06/11/2010 15:00	09/11/2010 19:00

Tabla 25. Desglose del montaje de os bloques

Para el prearmamento²⁰, tendremos que:

¹⁸ Se ha supuesto que la duración para los bloques planos es de 8 días y para los bloques curvos de 10 días.

¹⁹ Se ha supuesto que la duración para montar un bloque curvo es de un día y medio, para un bloque plano de un día y finalmente para los bloques planos de aluminio de 1.75 días.

²⁰ Se ha supuesto para los bloques planos una duración de cuatro días, para los bloques planos de aluminio de cinco días y finalmente para los bloques curvos cuatro o cinco días, según el bloque a considerar.

Prearmamento	27.5 días	08/10/2010 15:00	16/11/2010 19:00
Bloque 5 (curvo)	4 días	08/10/2010 15:00	14/10/2010 13:00
Bloque 4 (curvo)	4 días	13/10/2010 9:00	16/10/2010 19:00
Bloque 13 (plano)	4 días	14/10/2010 9:00	19/10/2010 19:00
Bloque 3 (curvo)	4 días	15/10/2010 15:00	21/10/2010 13:00
Bloque 12 (plano)	4 días	16/10/2010 9:00	21/10/2010 19:00
Bloque 2 (curvo)	4 días	20/10/2010 9:00	23/10/2010 19:00
Bloque 11 (plano)	4 días	20/10/2010 9:00	23/10/2010 19:00
Bloque 1 (curvo)	4 días	22/10/2010 15:00	28/10/2010 13:00
Bloque 10 (plano)	4 días	22/10/2010 9:00	27/10/2010 19:00
Bloque 6 (curvo)	4 días	27/10/2010 9:00	30/10/2010 19:00
Bloque 9 (plano)	4 días	26/10/2010 9:00	29/10/2010 19:00
Bloque 7 (curvo)	4 días	29/10/2010 15:00	04/11/2010 13:00
Bloque 16 (plano AI)	5 días	28/10/2010 17:00	04/11/2010 17:00
Bloque 8 (curvo)	5 días	03/11/2010 9:00	09/11/2010 19:00
Bloque 17 (plano AI)	5 días	30/10/2010 17:00	06/11/2010 17:00
Bloque 14 (curvo)	4 días	05/11/2010 15:00	11/11/2010 13:00
Bloque 18 (plano AI)	5 días	03/11/2010 17:00	10/11/2010 17:00
Bloque 15 (curvo)	5 días	10/11/2010 9:00	16/11/2010 19:00

Tabla 26. Desglose de la partida de prearmamento

7 Estudio temporal de los costes e ingresos

Para efectuar el siguiente análisis se tendrán en cuenta las siguientes consideraciones relativas a los ingresos:

1. Se realizarán cuatro pagos por parte del armador.
2. El primer pago se efectuará con la puesta de quilla (consistirá en un 15% del precio del barco.)
3. El segundo pago será efectuado cuando se efectuó la botadura (será el 55% del precio del barco.)
4. El tercer pago se realizará al efectuar el armamento completo del barco²¹ (constará del 25% del precio total.)
5. El último pago será una vez finalizada la garantía del barco (será del 5% del total.)
6. No se tendrán en cuenta efectos de depreciación de dinero, por lo que el precio del buque es estático en el tiempo.
7. Se estimará un tiempo de garantía de dos años, desde el fin del armamento del barco.

Hito	Porcentaje²²	Ingreso (euros)	Fecha
Puesta de quilla	15%	313850	06/10/2010
Botadura	55%	1150783	18/11/2010
Fin de armamento	25%	523083	26/01/2011
Fin de garantía	5%	104617	26/01/2013

²¹ Este pago lo normal es que sea efectuado por el armador una vez realizadas las pruebas de mar, aunque como no han sido aquí consideradas, se supondrá que el pago se realizará cuando el barco esté listo para realizar las pruebas de mar.

²² Porcentaje respecto al total que era 2092332 euros.

Tabla 27. Flujos de ingresos.

Por otro lado, el desglose de costes (antes contabilizados) es:

Costes²³	Coste material	Coste mano de obra	Coste total
Varios	-	-	101000
Estructura	172000	522500	721750
Equipo, armamento e instalaciones	186600	402000	588600
Maquinaria cubierta	28515	2985	31500
Instalación propulsora	205300	50000	255300
Maquinaria auxiliar	100420	15000	115420
Respetos	-	-	15500
Instalaciones especiales	55300	17750	73050

Tabla 28. Desglose de costes

Los asignaremos a las siguientes tareas:

Tarea	Asignación	Coste (€)
Inicio de construcción	Varios	101000
Aprovisionamiento bloques acero	73% de la estructura	126290
Aprovisionamiento bloques aluminio	23% de la estructura	46710
Aprovisionamiento equipos prearmamento	20% Armamento, 65% Máquinas auxiliares, 100% Instalación propulsora	307893
Aprovisionamiento equipos armamento	80% Armamento, 35% Máquinas auxiliares, 100% Inst. especiales, 100% M. cubierta, y respetos	283742
Construcción de bloques	85% Estructura (M.O.)	466438
Montaje	15% Estructura (M.O.)	82313
Prearmamento	20% Armamento (M.O.), 65% Máquinas auxiliares (M.O.), 100% Inst. propulsora (M.O.)	140150
Armamento	80% Armamento (M.O.), 35% Máquinas auxiliares (M.O.), 100% Inst. especiales (M.O.), 100% M. cubierta (M.O.)	347585

Tabla 29. Relación entre los costes y las tareas establecidas

Suponiendo que los costes son contabilizados al término de la tarea correspondiente y que los costes relativos a distintos bloques son repartidos de forma proporcional, tendremos que:

²³ Todos los costes están expresados en euros.

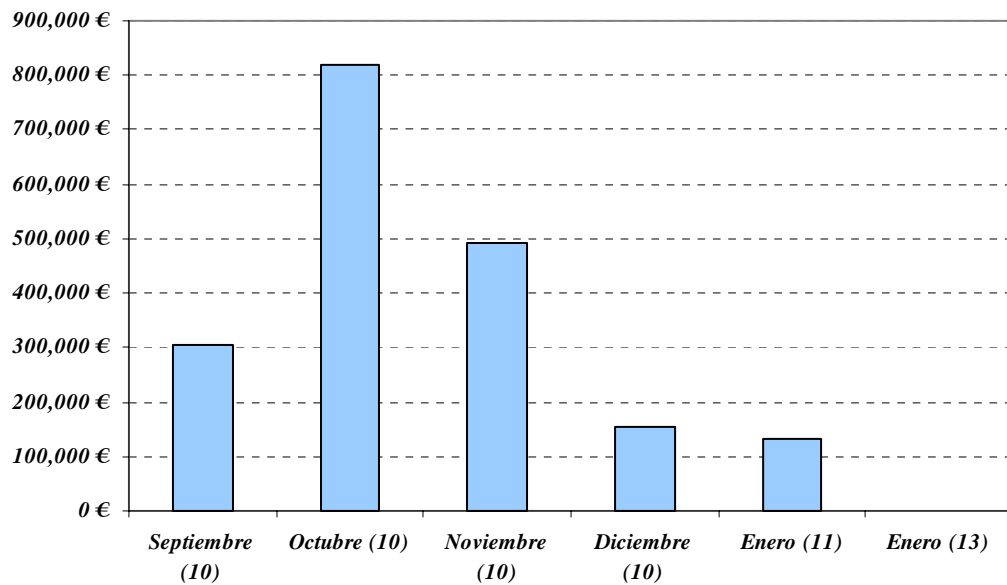


Figura 29. Diagrama temporal de costes.

Para obtener el beneficio obtenido aplicaremos la siguiente expresión²⁴:

$$\text{Beneficio}_i = \text{Ingresos}_i - \text{Costes}_i \rightarrow \text{Ec. 15}$$

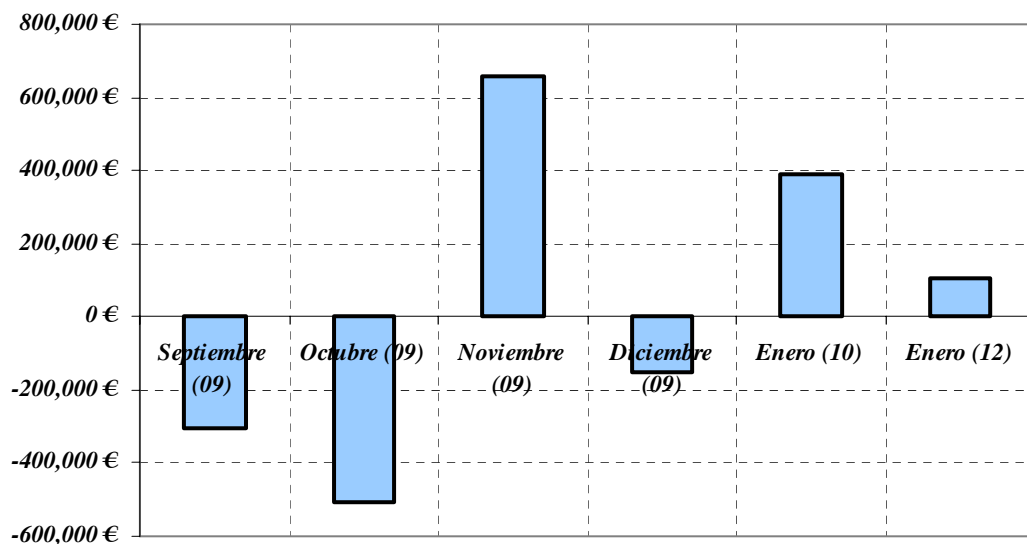


Figura 30. Diagrama temporal de beneficio para cada mes

Resulta además importante definir el beneficio acumulado para cada periodo, ya que ello nos dará una idea de la cantidad de dinero que necesitamos para afrontar el mes en estudio.

²⁴ La cual refleja el beneficio obtenido en cada uno de los meses estudiados.

$$\sum Beneficio_i = \sum Ingresos_i - \sum Costes_i \rightarrow \text{Ec. 16}$$

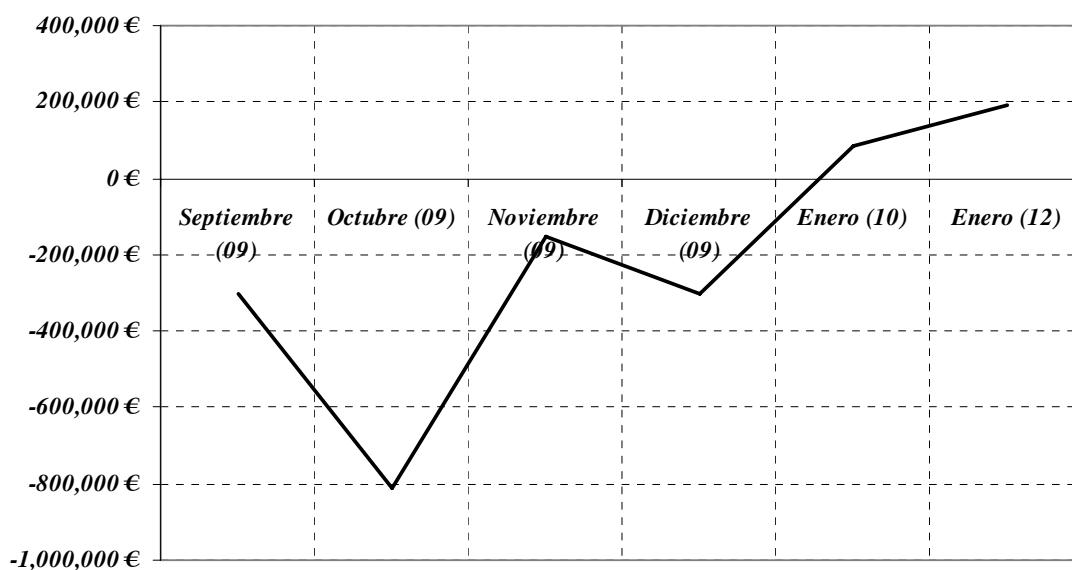


Figura 31. Diagrama temporal de beneficio acumulativo para cada mes

El anterior gráfico nos muestra las grandes cargas que debe soportar el astillero en los primeros meses de construcción, así como el astillero no obtiene un beneficio hasta etapas finales del proyecto.

Mes	Beneficio acumulativo
Septiembre (10)	-303222
Octubre (10)	-809698
Noviembre (10)	-151241
Diciembre (10)	-304587
Enero (11)	85595
Enero (13)	190212

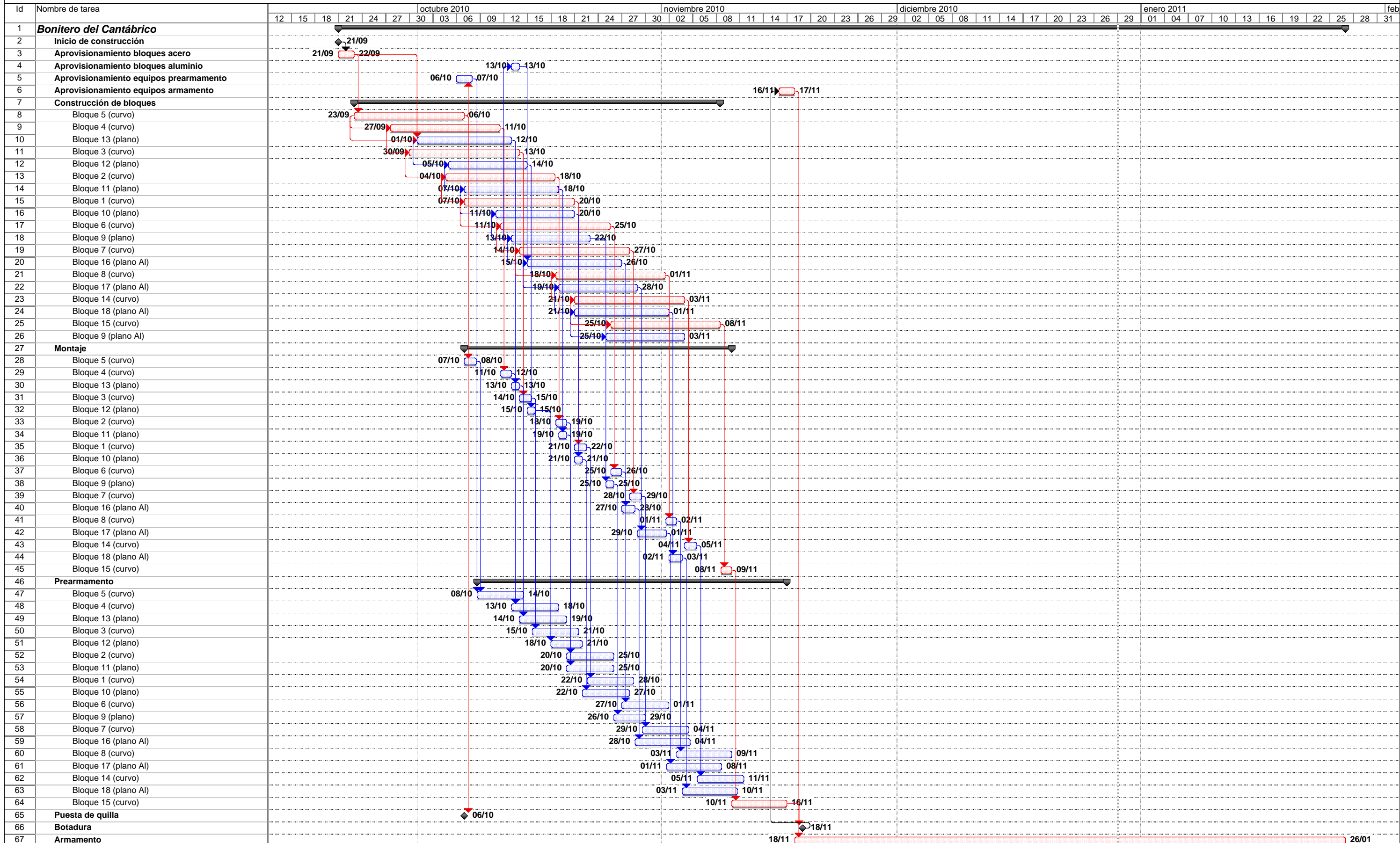
Tabla 30. Beneficio acumulativo para cada mes

Con los anteriores datos el astillero podrá calcular si fuese necesario la cantidad de dinero que tiene que pedir prestada (crédito), sin más que aplicar la siguiente expresión (para los meses en que sea negativo el beneficio acumulativo):

$$Crédito_i = C.D._i + \sum Beneficio_i \rightarrow \text{Ec. 17}^{25}$$

²⁵ $C.D._i$, capital disponible en periodo i .

Anexo II: Diagrama de Gantt de la planificación.



Bonitero del Cantábrico.
Proyecto: 077
Fecha: mié 29/12/10

Autor: Jose Luis Cercós Pita.
Cotutor: Ander Lasa Gallurralde.
Tutor: Antonio Souto Iglesias.

BONITERO DEL CANTÁBRICO
PROYECTO 077.
CURSO 2009-2010

Memoria final.

DOCUMENTO 14
AUTOR: JOSE LUIS CERCOS PITA
COTUTOR: ANDER LASA GALLURRALDE
TUTOR: ANTONIO SOUTO IGLESIAS

1 Índice de contenidos.

1	<i>Índice de contenidos.</i>	2
2	<i>Especificación del proyecto.</i>	3
3	<i>Objetivos</i>	4
4	<i>Exposición del grado de cumplimiento de los requisitos del proyecto y esbozo de las modificaciones, en su caso, que hubieran sido necesarias en los cuadernos afectados si se hubiera podido realizar otro ciclo de la espiral de proyecto.</i>	4
4.1	Estado actual del proyecto.	4
4.1.1	Grado de cumplimiento de los requisitos del proyecto.	4
4.1.2	Situación en la espiral de proyecto.	5
4.2	Modificaciones a realizar en las sucesivas vueltas a la espiral del proyecto. ...	6
4.2.1	Dimensionamiento.	6
4.2.2	Formas.	6
4.2.3	Disposición general.	6
4.2.4	Cálculos de Arquitectura Naval.	8
4.2.5	Cálculo de potencia. Proyecto de propulsores y timones.	8
4.2.6	Planta eléctrica.	8
4.2.7	Resistencia estructural.	9
4.2.8	Pesos y c. de g. del buque en rosca.	9
4.2.9	Situaciones de carga y resistencia longitudinal.	9
4.2.10	Presupuesto y planificación.	9
5	<i>Agradecimientos.</i>	9

2 Especificación del proyecto.

- CLASIFICACIÓN: **Bureau Veritas**
- TRB: **149**
- GT: **230**
- VOLUMEN DE COMBUSTIBLE: **70 m³**
- VOLUMEN DE VIVEROS: **50 m³**
- VELOCIDAD EN PRUEBAS: **12 .5 kn al 90% MCR**
- EQUIPO PROPULSOR: **Motor Diesel**
- ALOJAMIENTOS: **15 tripulantes**
- ASPECTOS ADICIONALES:
 - 1.- El buque dispondrá de una planta de oxigenación del agua de viveros.
 - 2.- El buque dispondrá de un tanque estabilizador pasivo que reduzca al menos un 50% el movimiento de balance durante la maniobra de pesca.
 3. Se presentará además una planificación para la construcción asociada a los medios de un astillero de la sociedad PYMAR del que se disponga de información suficiente.

3 Objetivos

En el presente documento analizaremos, en el estado actual del proyecto, el grado de cumplimiento de los requisitos del proyecto, los problemas y contratiempos que guarda, y las modificaciones que en sucesivas vueltas a la espiral del proyecto sería conveniente realizar.

4 Exposición del grado de cumplimiento de los requisitos del proyecto y esbozo de las modificaciones, en su caso, que hubieran sido necesarias en los cuadernos afectados si se hubiera podido realizar otro ciclo de la espiral de proyecto.

4.1 *Estado actual del proyecto.*

4.1.1 Grado de cumplimiento de los requisitos del proyecto.

Si acudimos a la especificación completa del proyecto podremos analizar los requisitos del proyecto, y el grado de cumplimiento de los mismos.

En primer lugar se establecía que la sociedad de clasificación sería el Bureau Veritas, criterio que se ha respetado durante la completa realización del proyecto, llevando a cabo el desarrollo del mismo de acuerdo a la normativa aplicable al tipo de buque, y a su tamaño, de acuerdo al Bureau Veritas.

En este proyecto se establecía el arqueo en “*Gross Tonnage*” (GT), y en Toneladas de Registro Bruto (TRB), una práctica poco convencional en la actualidad, ya que los buques modernos se arquean únicamente en GT, no obstante, el arqueo en TRB es relevante porque los costes de Seguridad Social están parcialmente subvencionados al armador si este resulta inferior a 150TRB. En el cuaderno 5, Cálculos de Arquitectura Naval, se estudio el arqueo por ambos sistemas, cumpliéndose los requisitos que se contemplan en la especificación.

Por otra parte, en la especificación del proyecto no se establecía el tamaño de la bodega, que se obtuvo en el cuaderno 1, Memoria explicativa del tipo de buque y servicio al que se destina, por dos métodos:

1. Mediante la información disponible en la base de datos.
2. Desglosando pesos del arqueo, en GT, presentado en la especificación del proyecto.

La especificación si fijaba, en cambio, el volumen de combustible y de viveros necesario, siendo de 70m³ para el combustible, y de 50m³ para los viveros. En el cuaderno 4, Disposición general, se destinó el espacio que ocuparían los tanques de combustible, y los viveros, y en el cuaderno 5, Cálculos de Arquitectura Naval, se calculó, estimando el porcentaje del volumen computable a estructura y sus refuerzos, el volumen de los tanques de combustible y de viveros, cumpliendo holgadamente los requisitos impuestos en la especificación del proyecto¹.

¹ Como se verá más adelante, en esta fase del proyecto conviene ser generoso en cuanto a volúmenes impuestos por la especificación, pues aún no se dispone de información suficiente en cuanto a la estructura y sus refuerzos, debiéndose evitar que el volumen resulte insuficiente.

La especificación obliga a que el buque sea capaz de desarrollar una velocidad de 12.5 nudos al 90% del MCR, además de imponer un motor diésel como equipo propulsor. Durante el cuaderno 3, Formas, se realizó un estudio y optimización de las formas, empleando para ello cálculos CFD, y estimaciones de potencia mediante la regresión de Amadeo. Más tarde en el cuaderno 6, Cálculo de potencia. Proyecto de propulsores y timones, se realizó la curva de potencia-velocidad mediante la regresión de Amadeo, que es la información más fiable de la que disponemos en esta fase del proyecto, y se eligió un motor propulsor y una hélice capaces de dar, al 90% del MCR, la velocidad en pruebas indicada en la especificación.

La dotación de la nave se estipula en la especificación del proyecto que debe ser de 15 tripulantes, y de acuerdo a ello se han dispuesto, en el cuaderno 4, espacios suficientes para ellos, incluyendo los respectivos servicios de aseo, cocina, fonda y lavandería, de acuerdo a la normativa de Alojamientos en buques pesqueros (29 de Agosto de 1970.).

La especificación establecía que los viveros contarían con un sistema de oxigenación, que se dispuso durante la realización del cuaderno 4, Disposición general, albergándose las bombonas de oxígeno en la superestructura, en el primer nivel, facilitando así el acceso a las mismas para su reposición.

El buque debía disponer, de acuerdo a la especificación del proyecto, un tanque estabilizador pasivo capaz de reducir en, al menos, un 50% el movimiento de balance del buque durante las maniobras de pesca. Durante el cuaderno 4, Disposición general, se estableció el espacio que ocuparía dicho tanque, a proa de cámara de máquinas, y durante la realización del cuaderno 12, Situaciones de carga y resistencia longitudinal, se dimensionó y proyectó dicho tanque, resultando el diseño óptimo un tanque en C cuyos mamparos longitudinales en la clara coincidían con las esloras de la cubierta principal, y la varengas del doble fondo. Dicho tanque se probó mediante simulaciones CFD, la mejor información de la que se disponía en esta fase del proyecto, disponiendo de eficiencias superiores al 50% en todas las situaciones de pesca, cumpliendo por tanto con los requisitos impuestos en la especificación del proyecto.

La especificación imponía por último que se presentara además una planificación para la construcción asociada a los medios de un astillero de la sociedad PYMAR del que se disponga de información suficiente. En el Anexo I del cuaderno 13, Presupuesto, se realizó dicha tarea para ASTILLEROS GONDÁN, S.A.

4.1.2 Situación en la espiral de proyecto.

Con objeto de situar el proyecto lo más cerca del final de la espiral del proyecto se comenzó el proyecto dimensionando el buque por dos métodos, mediante regresiones aplicadas a los buques presentes en la base de datos, y mediante un método directo presente en la ref. [32]. Ambos métodos dieron resultados muy similares, lo que nos permitió dar unas dimensiones iniciales que probablemente darán buenos resultados.

Se ha tratado el proyecto del buque con el máximo detalle posible a partir de la información de la que se disponía durante su realización.

No obstante, en este mismo documento, abordaremos las modificaciones, mejoras, y correcciones que se deberían realizar en el proyecto en los sucesivos ciclos del mismo.

4.2 Modificaciones a realizar en las sucesivas vueltas a la espiral del proyecto.

Probablemente la mejor forma de analizar las modificaciones que se deben realizar al proyecto del buque Bonitero del Cantábrico que nos ocupa, sea abordarlas cuaderno por cuaderno, y así conocer las interacciones y los resultados que se verían afectados por esas modificaciones.

4.2.1 Dimensionamiento.

El dimensionamiento, tal y como se ha mencionado anteriormente, se ha realizado mediante dos métodos, regresiones a partir de buques similares presentes en la base de datos, y mediante un método directo que se puede consultar en la ref. [32]. Esto da ciertas garantías, no obstante, con la información de la que ahora se dispone, se podría repetir el proceso para comprobar que es correcto, o las modificaciones, previsiblemente pequeñas, que se pueden realizar al dimensionamiento.

4.2.2 Formas.

El proceso de desarrollo de formas del buque, caracterizado por un afinamiento de las formas de proa, y la incorporación de un bulbo, ha conllevado un efecto negativo grave, y es la reducción del coeficiente de bloque del valor que se estimaba en un principio, de 0.58, hasta un valor de 0.51, algo que tiene efectos negativos, que se pueden observar en el cuaderno 12, Situaciones de carga y resistencia longitudinal, pues el buque trima por proa en la totalidad de las situaciones de carga, y que debe ser corregido.

Para corregir este efecto probablemente la mejor opción sería recuperar cuerpo en proa, para así conseguir el buque no trime tanto. Ello conllevaría cambios en los cuadernos 4, 5, 10, 11 y 12. El cambio de las hidrostáticas (cuaderno 5) tendría efectos en la estabilidad del buque, lo que conllevaría repetir el diseño del tanque estabilizador pasivo.

Además, las formas en proa se caracterizan por ser formas en V con un gran abanico y un apreciable lanzamiento (formas muy abiertas), que tienen buenos comportamientos en cuanto a resistencia al avance, aumentan el efecto de machetazos o *Pitching*, que ponen a prueba los materiales y resultan molestos para la vida en la mar.

Así pues se deberían estudiar otras alternativas para las formas de proa, que no acaben perfilándose tan abiertas en los puntales más altos.

Por otra parte, una vez estén definidas las formas finales del buque, se deberían llevar estas formas a un canal de ensayos para obtener un valor mucho más fiable de la resistencia al avance, lo que afectaría a los cuadernos 6, 7, 8, 10, 11, 12 y 13.

4.2.3 Disposición general.

En primera instancia, conocidas las formas del tanque estabilizador pasivo, deberían incorporarse al plano de disposición general, en el lugar destinado al mismo.

Al haberse dispuesto un tanque estabilizador en C, se libera el espacio donde se ha estrechado la clara:

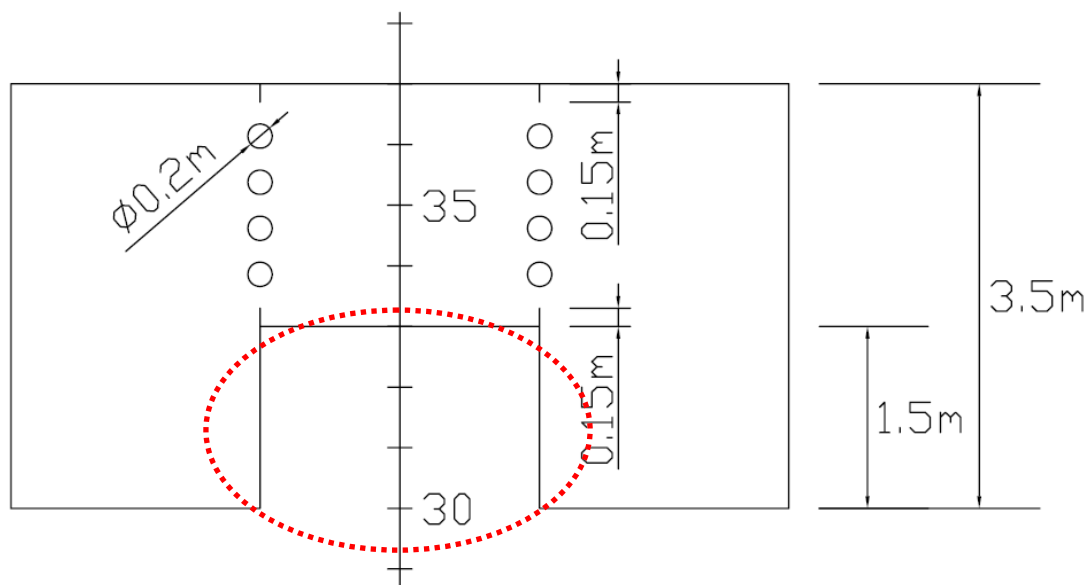


Figura 1. Plano del tanque estabilizador pasivo.

Además, al ser el puntal del tanque de 1.6m se libera bajo el mismo un espacio de 1m de puntal bajo el tanque estabilizador.

Ese espacio liberado (en la clara del tanque estabilizador, y bajo el mismo) es especialmente valioso, pues los tanques de servicio diario y de aceite hidráulico pueden situarse allí (actualmente se encuentran emplazados en el doble fondo bajo cámara de máquinas), consiguiéndose con ello que en caso de fallo de la bomba del motor, el tanque de servicio diario pudiera seguir alimentando por gravedad al mismo, disponiendo así de 24 horas para solucionar el problema, y consiguiéndose también que el aceite hidráulico llegue con presión a la succión de la bomba de alimentación del mismo.

En ese caso el tanque de servicio diario probablemente ya no podría hacer las veces de tanque de sedimentación, pues su volumen sería demasiado reducido, y se debería instalar un tanque de servicio diario (que podría ser el tanque de servicio diario actual).

Por otra parte se debería estudiar la posibilidad de no disponer tanques de combustible en la popa, pues la normativa futura prohibirá este tipo de tanques debido al alto riesgo de impacto en esa zona.

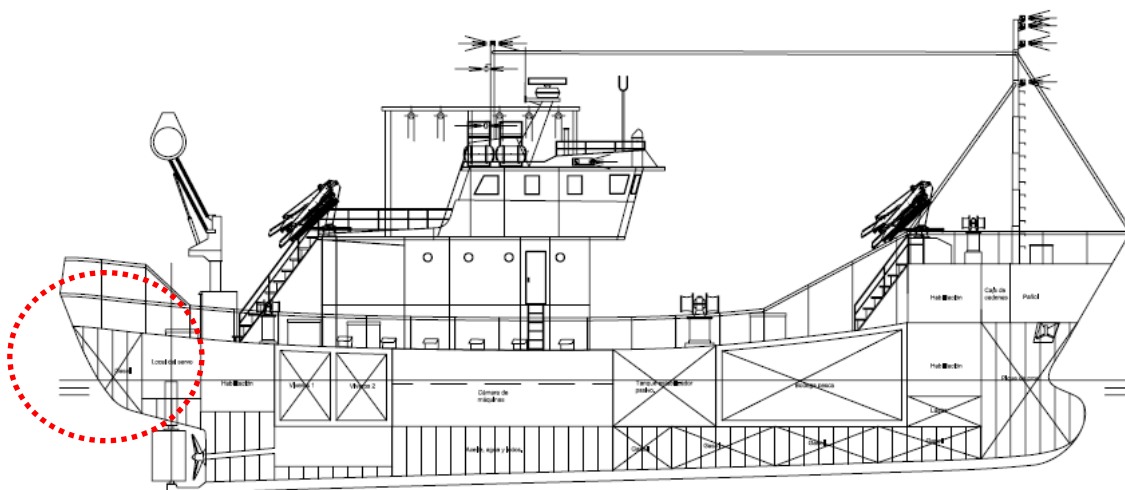


Figura 2. Perfil de la disposición general.

El castillo de proa tiene la principal ventaja de que establece la cubierta intermedia horizontal, y facilita el acceso a la habitación del castillo mediante un acceso a popa del mismo, no necesitando una escotilla en el castillo, por no hablar de las mejoras en cuanto a comportamiento en la mar se refiere, y más concretamente en inmersión de la proa. No obstante el armador puede poner objeciones debido al incremento en acero, y puede ser interesante estudiar otras alternativas.

4.2.4 Cálculos de Arquitectura Naval.

Teniendo ya una definición mucho más precisa de la estructura, deberían repetirse los cálculos de capacidades de los distintos espacios para conocer con mayor exactitud los volúmenes disponibles, prestando especial atención a la capacidad de combustible y viveros, pues forman parte de la especificación del proyecto.

Se podría además, relacionado con lo anterior, estudiar reducir estos espacios ajustándolos en la medida de lo posible a la especificación, si con ello conseguimos algunos efectos positivos como la ampliación del volumen de bodegas, pero siempre teniendo en cuenta la deseable propiedad de la continuidad de la estructura.

Por otra parte, una vez definidas las formas finales, y enviadas a un canal de ensayos, conviene también realizar los ensayos de estabilidad para obtener las hidrostáticas, con los valores más fiables posibles.

4.2.5 Cálculo de potencia. Proyecto de propulsores y timones.

Con la información de resistencia al avance devuelta por el canal de ensayos se deberá valorar si la planta propulsora es adecuada, teniendo en cuenta que:

1. Si la planta propulsora es claramente insuficiente, y vista la necesidad de modificar las formas, se deberá estudiar modificar las formas para que si lo sea, pues desde el encargo del motor hasta su recepción puede llevar un largo tiempo, y por tanto será probablemente muy recomendable adaptar las formas pudiendo así encargar el motor cuanto antes.
2. Si la planta propulsora es adecuada, o esta ligeramente sobredimensionada, mantenerla con objeto de no anular el encargo del motor, pues tal y como se ha mencionado, el tiempo de espera puede ser muy importante.
3. Si la planta propulsora está claramente sobredimensionada, tal vez se pueda estudiar incorporar un generador de cola.

En caso de ser necesario reemplazar la planta propulsora se deberían modificar en consecuencia los cuadernos 7, 8, 9, 10, 11, 12, y 13.

Respecto al proyecto de la hélice se debe realizar un diseño de la misma más en profundidad, para poder enviar cuanto antes las formas al canal de ensayos y así poder realizar los ensayos de propulsor aislado, y los ensayos de buque autopulsado.

4.2.6 Planta eléctrica.

En primera instancia se debería tratar de disponer de equipos de la misma marca en la maquinaria principal, y en los grupos generadores, pues eso facilita la disposición de repuestos y respetos, y la tareas de mantenimiento y reparación.

Además de lo dicho anteriormente, se deberían estudiar los cambios necesarios en caso de que se dispusiera un generador de cola.

4.2.7 Resistencia estructural.

Pese a que con la estructura dispuesta el buque cumple con la normativa aplicable, debería considerarse realizar simulaciones mediante elementos finitos para conocer más detalladamente la respuesta de la estructura a las distintas sollicitaciones locales y globales que soportará durante su periodo de vida útil.

4.2.8 Pesos y c. de g. del buque en rosca.

Se debería realizar ya un análisis en profundidad del peso del buque en rosca, y su centro de gravedad, contabilizando ya cada refuerzo considerado por separado, y obteniendo de los fabricantes los pesos de los distintos equipos que se han estimado en esta fase, por no haberse concretado el fabricante y modelo del mismo.

Un análisis más minucioso tendría efectos en el cuaderno 12.

4.2.9 Situaciones de carga y resistencia longitudinal.

Con las hidrostáticas obtenidas por el canal de ensayos en sus pruebas de estabilidad se deberían rehacer los cálculos de calado, trimado, y estabilidad para cada situación de carga, lo que obligaría a buscar las nuevas condiciones de funcionamiento del tanque estabilizador pasivo, y en caso de que las nuevas condiciones de estabilidad no permitieran su uso, repetir el proyecto del mismo con una geometría distinta.

4.2.10 Presupuesto y planificación.

Se debería entrar más en profundidad en la planificación, y en ese sentido se ha de desligar la parte de acero y armamento en la planificación. Mientras que la parte de acero se puede descomponer, tal y como se ha hecho, en bloques, la parte de armamento responde mejor a una zonificación, o división por zonas como cuerpo central, cámara de máquinas, popa, proa, etc.

En relación a lo anterior también se debería incluir una estimación de horas necesarias utilizando mediciones y rendimientos, a partir del cuaderno 11, pesos y centro de gravedad del buque, así como una definición precisa de bloques en función de las cuadernas, cubiertas y mamparos que los limiten que se extrae del cuaderno 10, resistencia estructural.

5 Agradecimientos.

Coincide, y de alguna forma me es grato, que la escritura de estas líneas se realice una fecha tan señalada como es el 24 de Diciembre, fechas de celebración con la familia y los amigos, y sin duda un gran momento para expresarles aquello que escribo en las siguientes líneas.

En primer lugar, mis más sinceros agradecimientos a D. Ander Lasa Gallurralde, cotutor de este proyecto, cuya experiencia en el sector, e inestimable ayuda, han dirigido el proyecto en la dirección correcta, y a D. Antonio Souto Iglesias, tutor del proyecto, por sus innumerables horas de trabajo en busca de errores, y sus incansables ayudas en los momentos más difíciles del desarrollo de este bonito trabajo.

No podría olvidar a D. Ricardo Abad Arroyo, amigo y compañero que me ayudó, siempre que lo he necesitado, en el desarrollo del proyecto del tanque estabilizador, y en todo lo que a él se refiere.

De la misma forma debo expresar un profundo agradecimiento a D. Luis Pérez Rojas, que ha sido de inestimable ayuda durante todas las fases del proyecto.

Debo agradecer también su esfuerzo y ayuda a los miembros del tribunal, D. José Fernando Nuñez Basáñez, D. Ignacio Diez de Ulzurrun, y D. Ricardo Zamora Rodríguez, que han aportado su mejor voluntad para corregir los numerosos fallos que han surgido durante la realización del proyecto, aportando un conocimiento que a buen seguro valoraré muy positivamente durante toda mi etapa profesional.

Tengo que dar también mi agradecimiento a Sonsoles Jiménez Caballero, cuya generosidad a la hora de compartir conocimientos es sólo comparable al tamaño de su corazón.

Deben recibir también una mención especial mi madre, Maria Teresa Pita Riola, y mi hermano, Lorenzo Cercós Pita, que me aguantan día a día y nunca cesan de ofrecerme su apoyo.

Y por último un agradecimiento más general, pero no menos emotivo, a mi familia, a todos mis compañeros del canal, a mis amigos y compañeros de la carrera y a todas las personas que me han brindado su apoyo.

¡Muchas gracias a todos!

Madrid a 24 de Diciembre de 2010

Fdo.: Jose Luis Cercós Pita

Bonitero del Cantábrico

Proyecto 077

Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales (UPM)



- Autor: Jose Luis Cercós Pita
- Tutor: Antonio Souto Iglesias
- Cotutor: Ander Lasa Gallurralde

Índice

- 1) Especificación del proyecto.
- 2) 1^{er} Bloque.
 - 1) Tipo de buque y servicio al que se destina.
 - 2) Dimensionamiento.
 - 3) Formas.
 - 4) Disposición general.
- 3) 2^o Bloque.
 - 1) Planta propulsora.
 - 2) Planta eléctrica.

Índice

4) 3^{er} Bloque.

- 1) Resistencia estructural.
- 2) Situaciones de carga (Tanque estabilizador pasivo).
- 3) Presupuesto.
- 4) Conclusiones.

Índice

1) Especificación del proyecto.

2) 1^{er} Bloque.

1) Tipo de buque y servicio al que se destina.

2) Dimensionamiento.

3) Formas.

4) Disposición general.

3) 2^o Bloque.

1) Planta propulsora.

2) Planta eléctrica.

Especificación del proyecto.

- CLASIFICACIÓN: Bureau Veritas
- TRB: 149
- GT: 230
- VOLUMEN DE COMBUSTIBLE: 70m³
- VOLUMEN DE VIVEROS: 50m³
- VELOCIDAD EN PRUEBAS: 12.5kn (90% del MCR)
- EQUIPO PROPULSOR: Motor Diesel
- ALOJAMIENTOS: 15 tripulantes

Especificación del proyecto.

- Aspectos adicionales:

- 1.- El buque dispondrá de una planta de oxigenación del agua de viveros.
- 2.- El buque dispondrá de un tanque estabilizador pasivo que reduzca al menos un 50% el movimiento de balance durante la maniobra de pesca.
- 3.- Se presentará además una planificación para la construcción asociada a los medios de un astillero de la sociedad PYMAR del que se disponga de información suficiente.

1^{er} Blocue.



Índice

- 1) Especificación del proyecto.
- 2) 1^{er} Bloque.
 - 1) Tipo de buque y servicio al que se destina.
 - 2) Dimensionamiento.
 - 3) Formas.
 - 4) Disposición general.
- 3) 2^o Bloque.
 - 1) Planta propulsora.
 - 2) Planta eléctrica.

Tipo de buque y servicio al que se destina.

- Modo de operación.
 - Pesca de anchoa mediante cerco.
 - Pesca de bonito mediante cebo vivo.



Tipo de buque y servicio al que se destina.

- Pesca de anchoa mediante cerco.
 - Especie pelágica.
 - Pesca durante la noche.
 - Atracción del pez mediante luz.
 - Uso del bote de rescate.
 - Almacenamiento vivo dentro de los viveros.
 - Sistema de oxigenación para aumentar la capacidad.

Tipo de buque y servicio al que se destina.

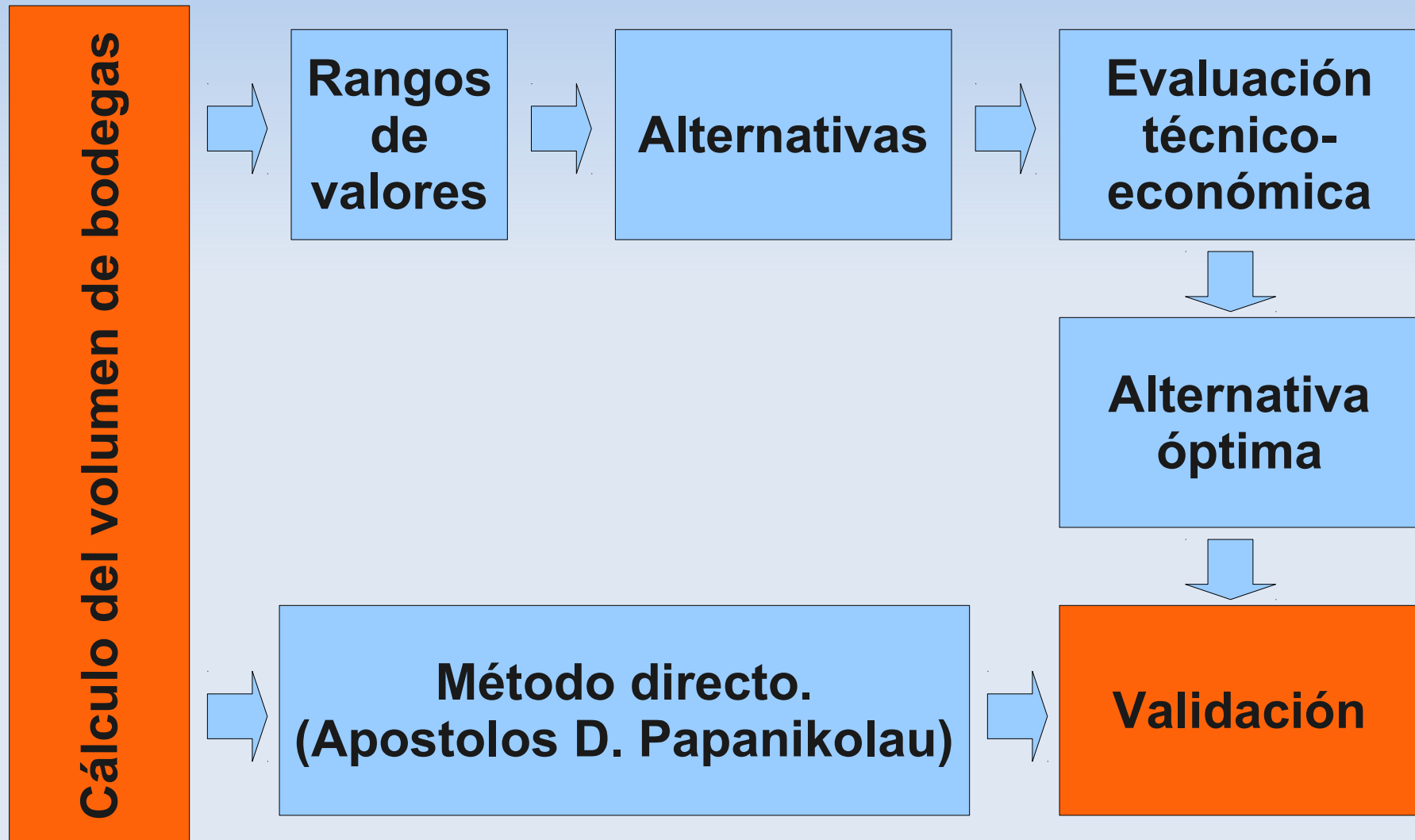
- Pesca de bonito mediante cebo vivo.
 - Pesca con caña sin cebar.
 - Proceso:
 - Desembarco de cebo vivo y rociado de agua.
 - Captura con caña y embarcado del pez.
 - Golpe y liberado del pez del anzuelo.
 - Estiba de las capturas en bodega.
- **Pescado de gran calidad.**

Índice

- 1) Especificación del proyecto.
- 2) 1^{er} Bloque.
 - 1) Tipo de buque y servicio al que se destina.
 - 2) Dimensionamiento.
 - 3) Formas.
 - 4) Disposición general.
- 3) 2^o Bloque.
 - 1) Planta propulsora.
 - 2) Planta eléctrica.

Dimensionamiento.

- Proceso:



Dimensionamiento.

- Eslora: 29.2m
- Manga: 7.2m
- Calado: 3.4m
- Puntal: 3.8m
- Peso muerto: 204.3 Tn
- Peso en rosca: 220.9 Tn
- Desplazamiento: 425.2 Tn
- Coeficiente de bloque: 0.59
- Número de Froude: 0.38

Índice

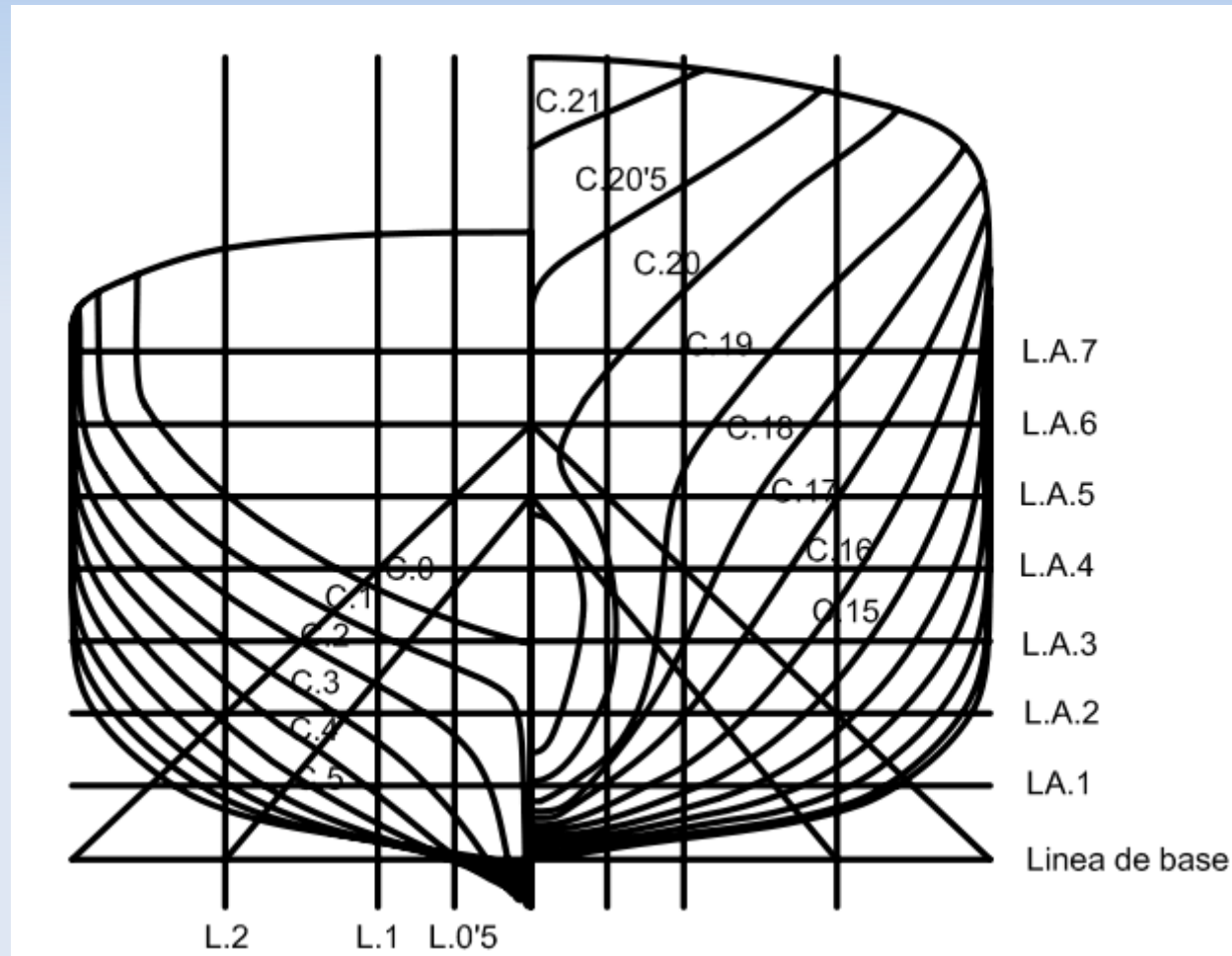
- 1) Especificación del proyecto.
- 2) 1^{er} Bloque.
 - 1) Tipo de buque y servicio al que se destina.
 - 2) Dimensionamiento.
 - 3) **Formas.**
 - 4) Disposición general.
- 3) 2^o Bloque.
 - 1) Planta propulsora.
 - 2) Planta eléctrica.

Formas.

- Incorporación de bulbo.
 - Poco convencional en este tipo de embarcaciones.
 - Alto número de Froude = Resistencia por formación de olas muy significativa.
 - Bulbo dimensionado según el método de Amadeo.
 - Área = 0.837 m^2
 - Altura de la nariz = 1.299 m
 - Eslora del bulbo = 0.797 m
 - Simulaciones CFD, y método de Amadeo devuelven resultados positivos.

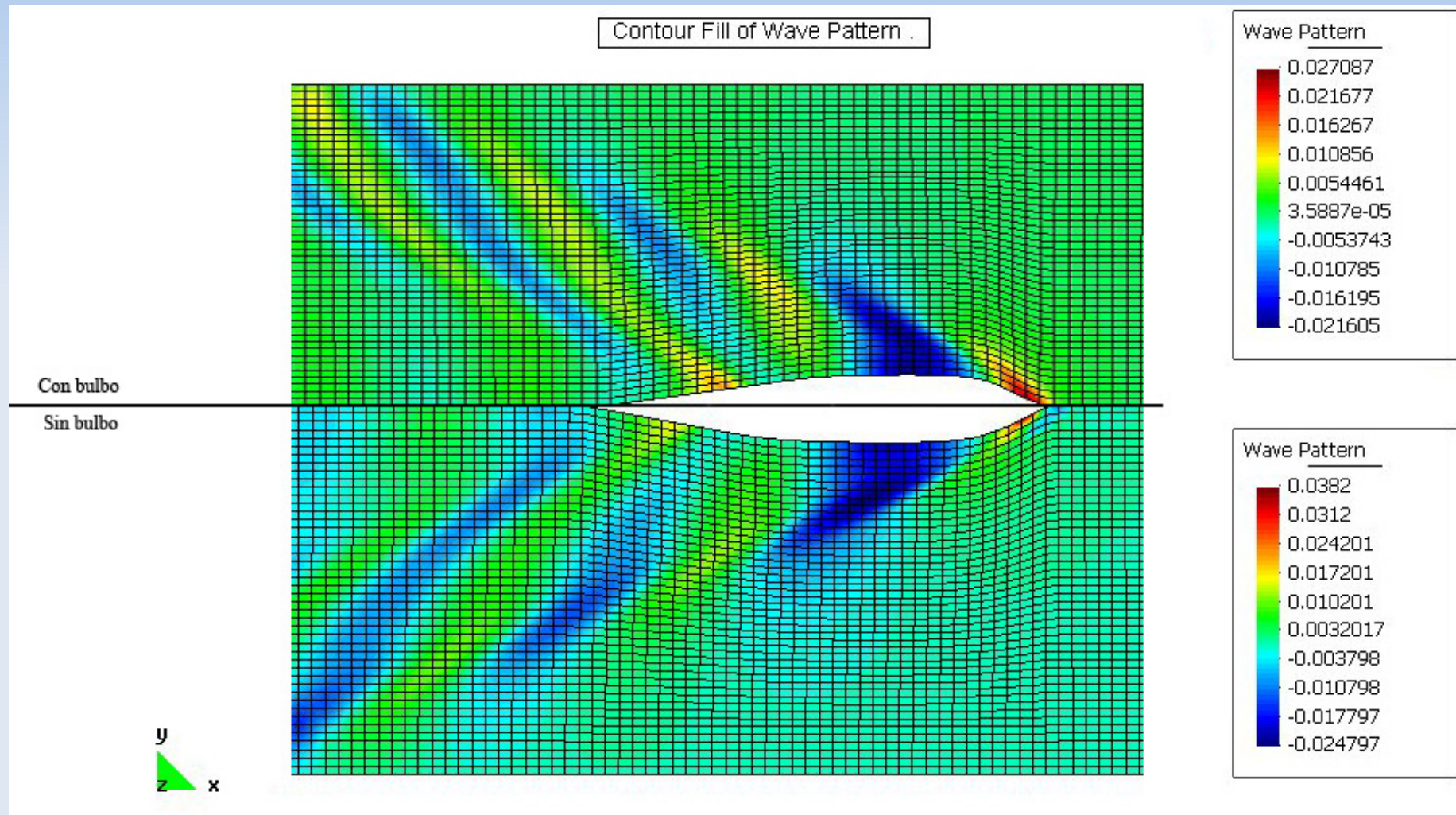
Formas.

- Formas resultantes.



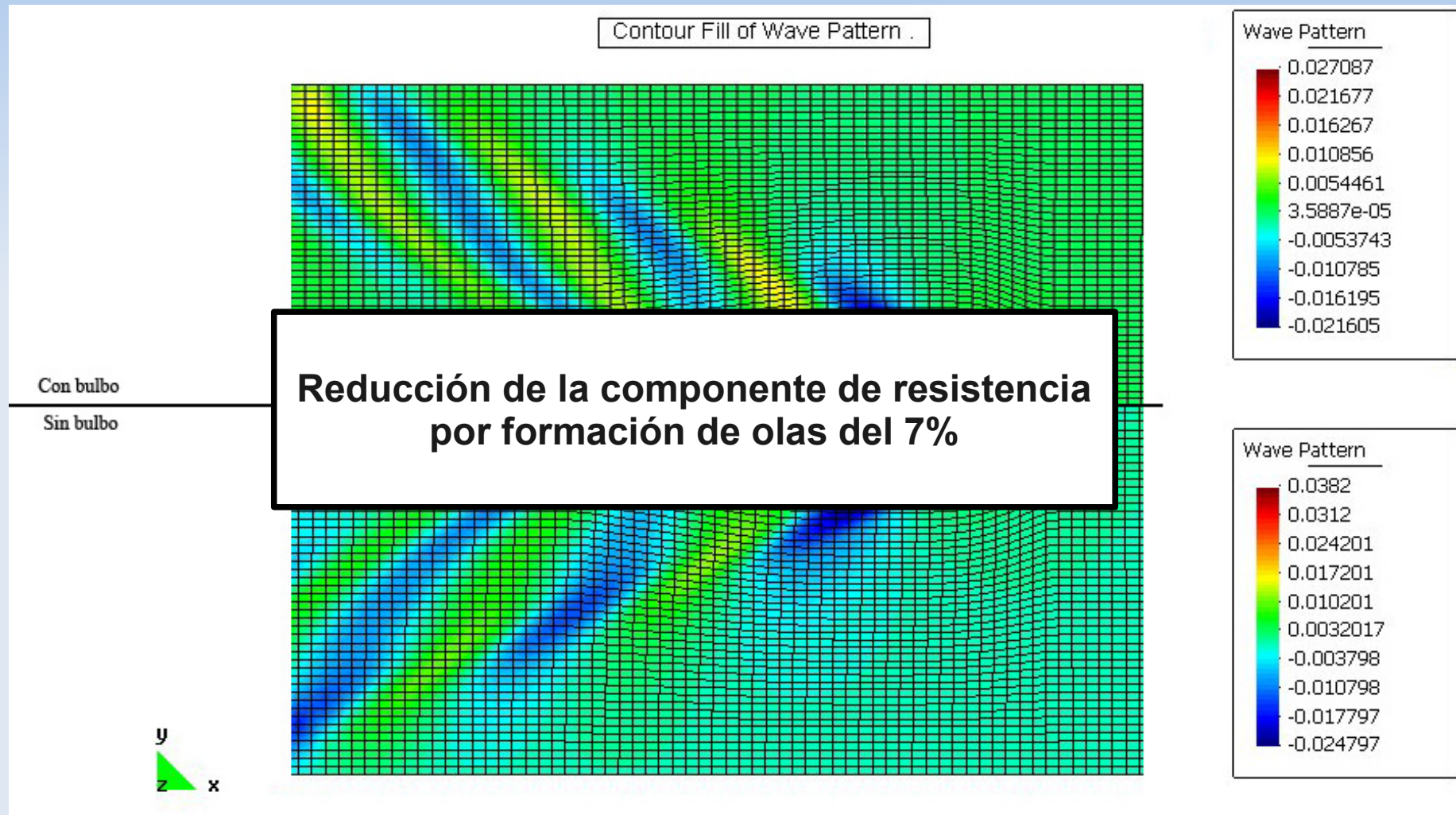
Formas.

- Simulaciones CFD.



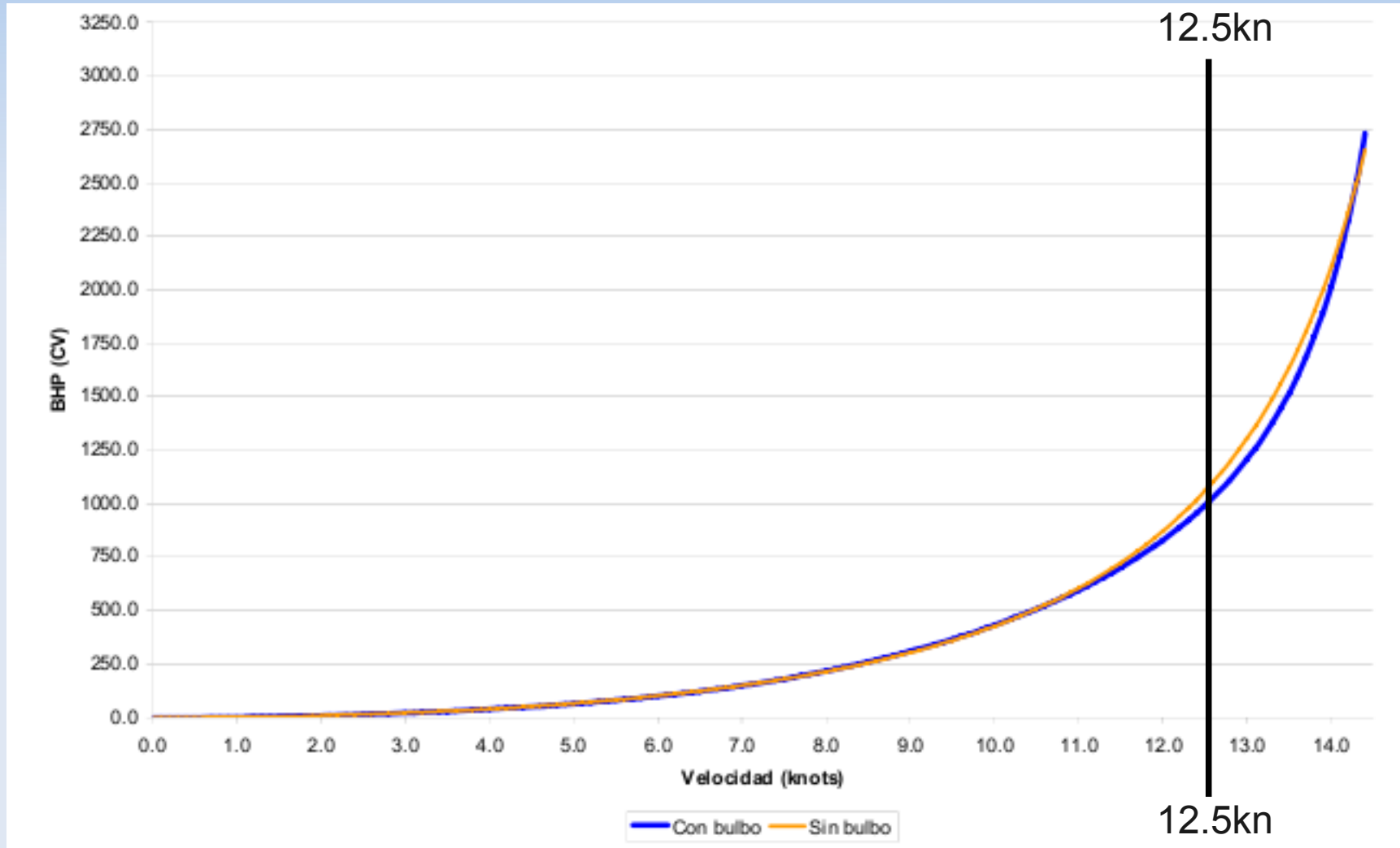
Formas.

- Simulaciones CFD.



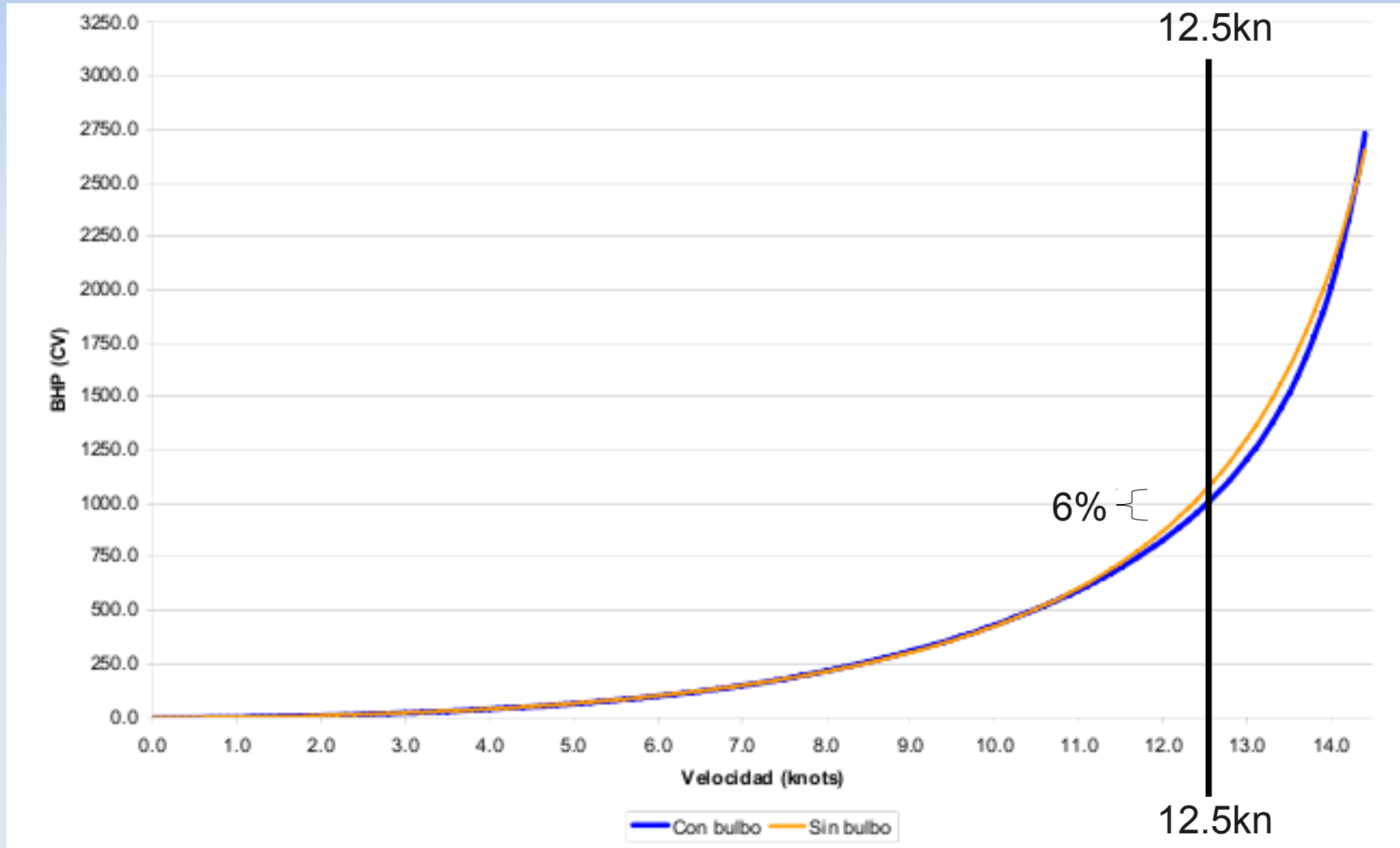
Formas.

- Método de Amadeo.



Formas.

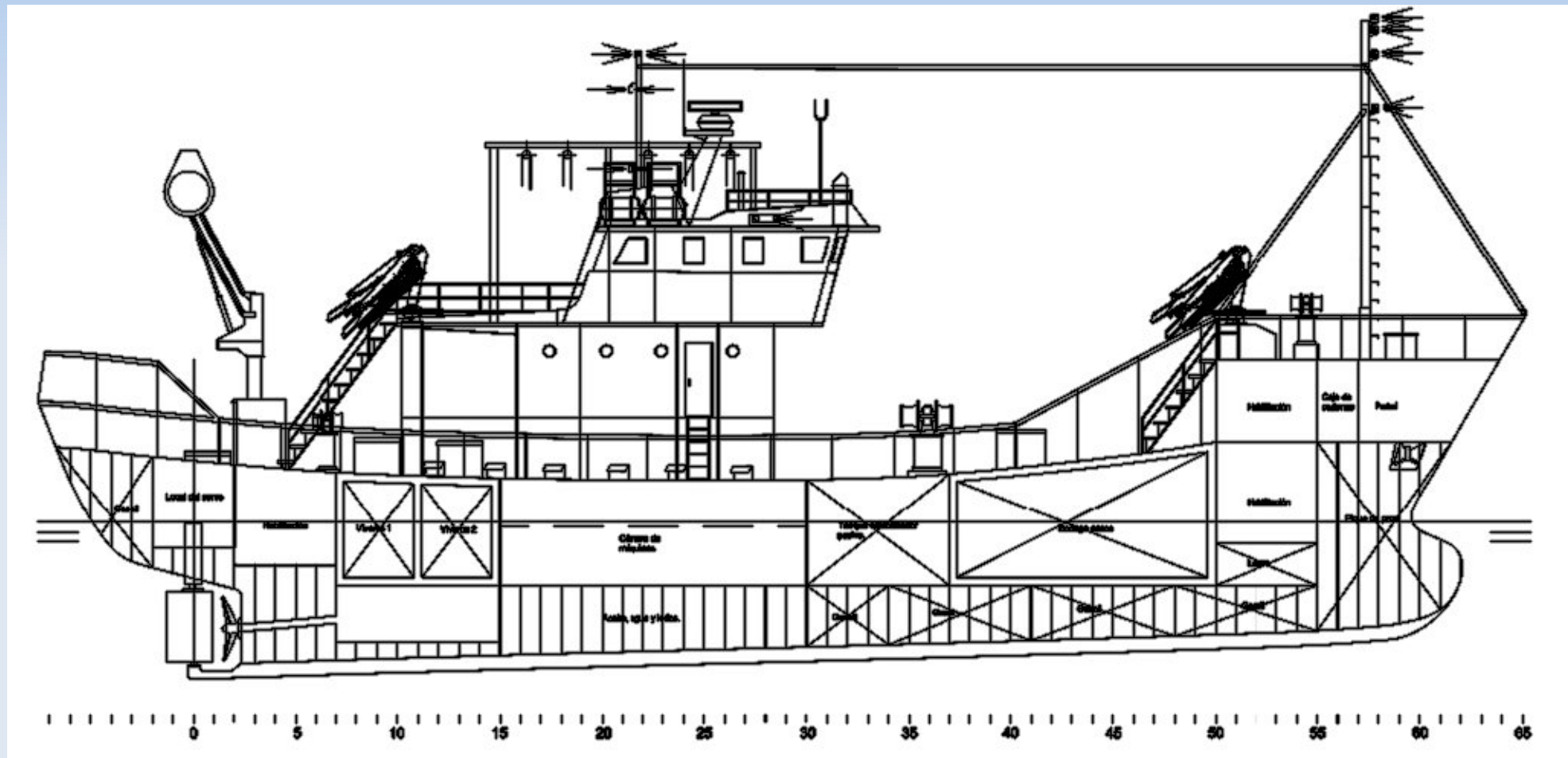
- Método de Amadeo.



Índice

- 1) Especificación del proyecto.
- 2) 1^{er} Bloque.
 - 1) Tipo de buque y servicio al que se destina.
 - 2) Dimensionamiento.
 - 3) Formas.
 - 4) Disposición general.
- 3) 2^o Bloque.
 - 1) Planta propulsora.
 - 2) Planta eléctrica.

Disposición general.



2º Bloque.



Índice

- 1) Especificación del proyecto.
- 2) 1^{er} Bloque.
 - 1) Tipo de buque y servicio al que se destina.
 - 2) Dimensionamiento.
 - 3) Formas.
 - 4) Disposición general.
- 3) 2^o Bloque.
 - 1) **Planta propulsora.**
 - 2) Planta eléctrica.

Planta propulsora.

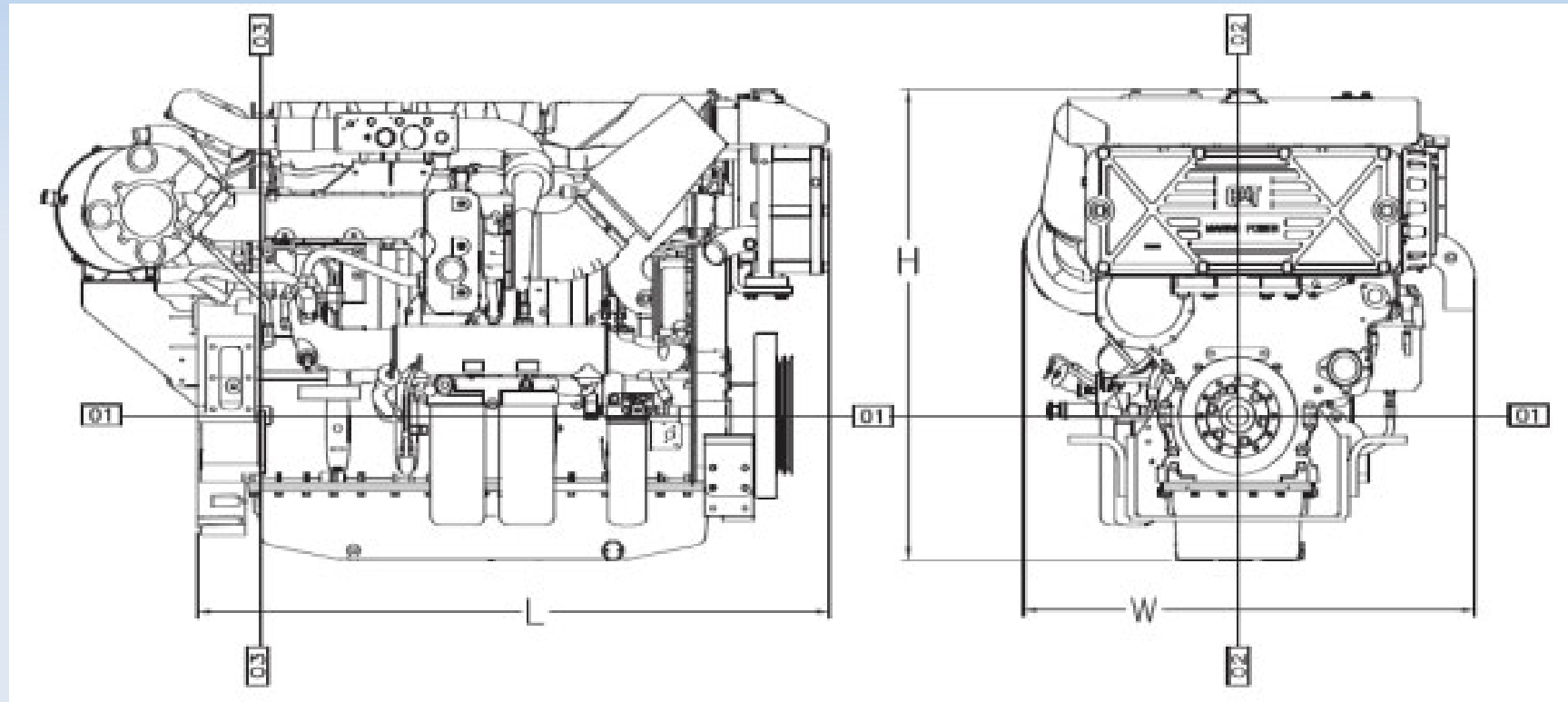
- Motor Caterpillar C18 ACCERT (E1150)

C18 ACERT E1150	
Potencia	1136 BHP
rpm	1200
Cilindros	6
Relación de compresión	18.1:1
Cilindrada	23.6 l
Consumo específico	203.7 (g/kWh)
Consumo de aceite	0.5 (g/kWh)
Presión media efectiva	17.4 bar

C18 ACERT E1150	
Peso	4927 kg
Longitud	1504 mm
Ancho	1077 mm
Alto	1144 mm

Planta propulsora.

- Motor Caterpillar C18 ACCERT (E1150)



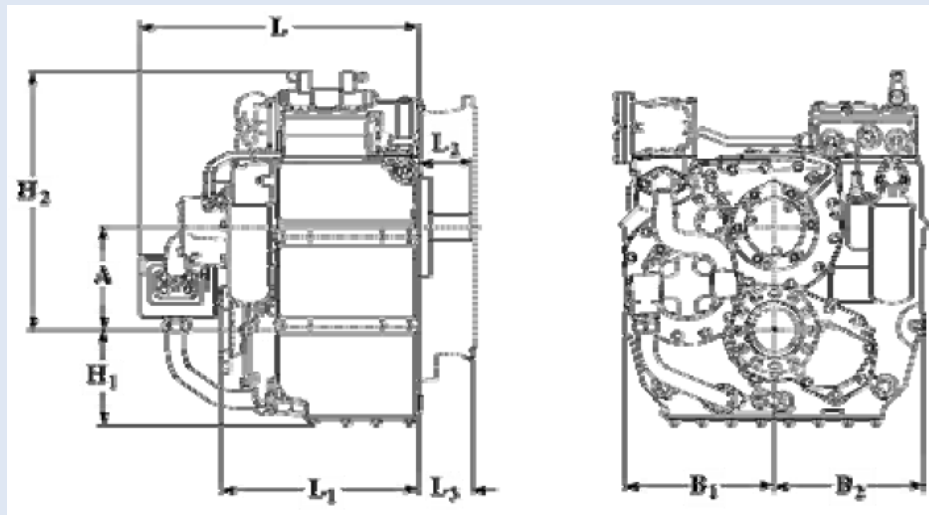
Planta propulsora.

- Reductora ZF W2300.

- $R = 4.760$

- $n_{\text{hélice}} = 252\text{rpm}$

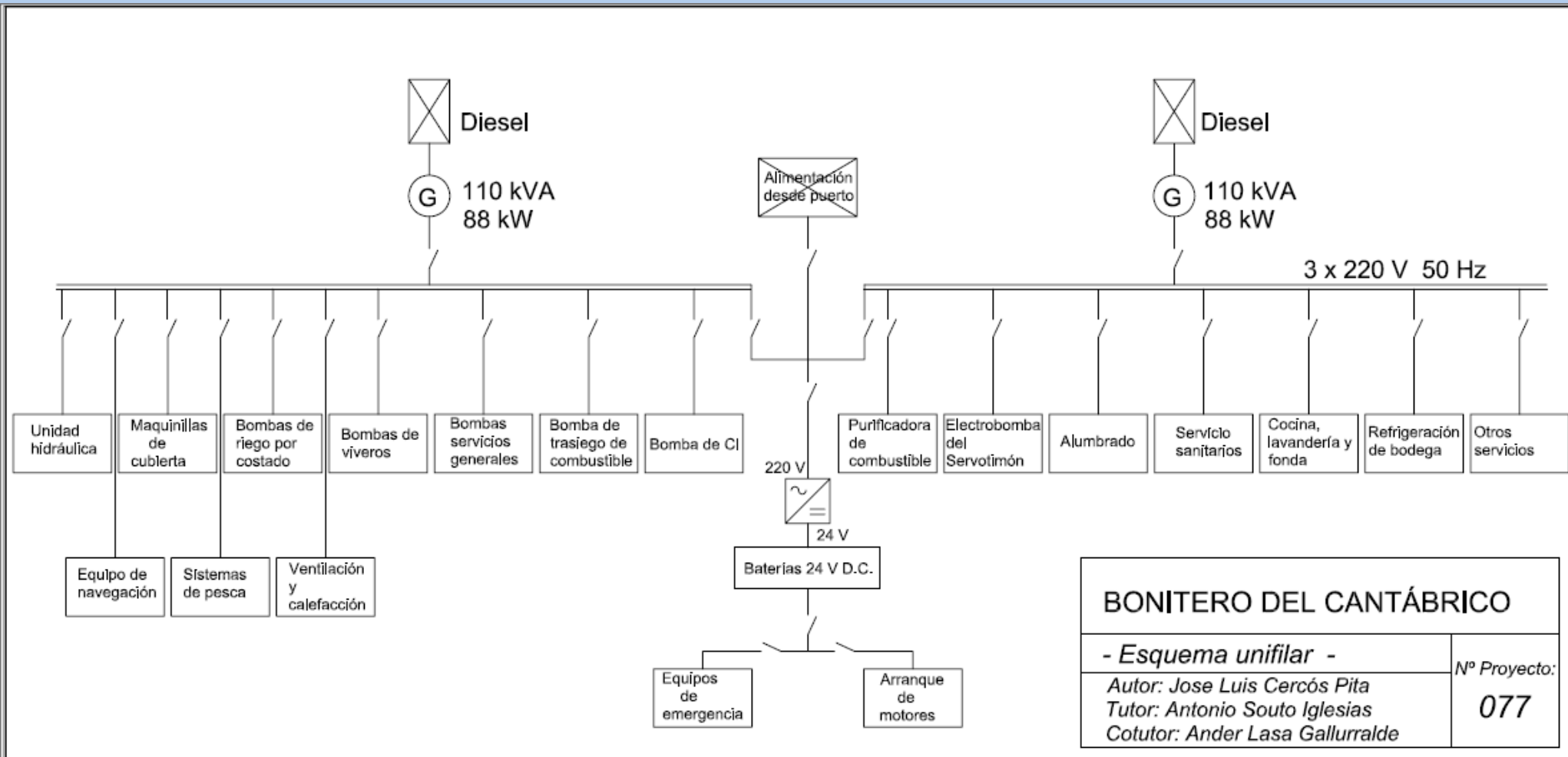
ZF W2300	
Peso	2035 kg
Longitud	589 mm
Ancho	680 mm
Alto	967 mm
Diámetro eje salida	175-385 mm



Índice

- 1) Especificación del proyecto.
- 2) 1^{er} Bloque.
 - 1) Tipo de buque y servicio al que se destina.
 - 2) Dimensionamiento.
 - 3) Formas.
 - 4) Disposición general (y tabla de capacidades).
- 3) 2^o Bloque.
 - 1) Planta propulsora.
 - 2) **Planta eléctrica.**

Planta eléctrica.



Planta eléctrica.

- Dos grupos electrógenos:
 - Motor John Deere MJS115-1 (125 kW).
 - Alternador Stamford UCI274D (110 kVA).
- 36 baterías ÓPTIMA modelo YellowTop S 5.5 (24 V).
- Toma de alimentación desde puerto.

3^{er} Blocue.



Índice

4) 3^{er} Bloque.

1) Resistencia estructural.

2) Situaciones de carga (Tanque estabilizador pasivo).

3) Presupuesto.

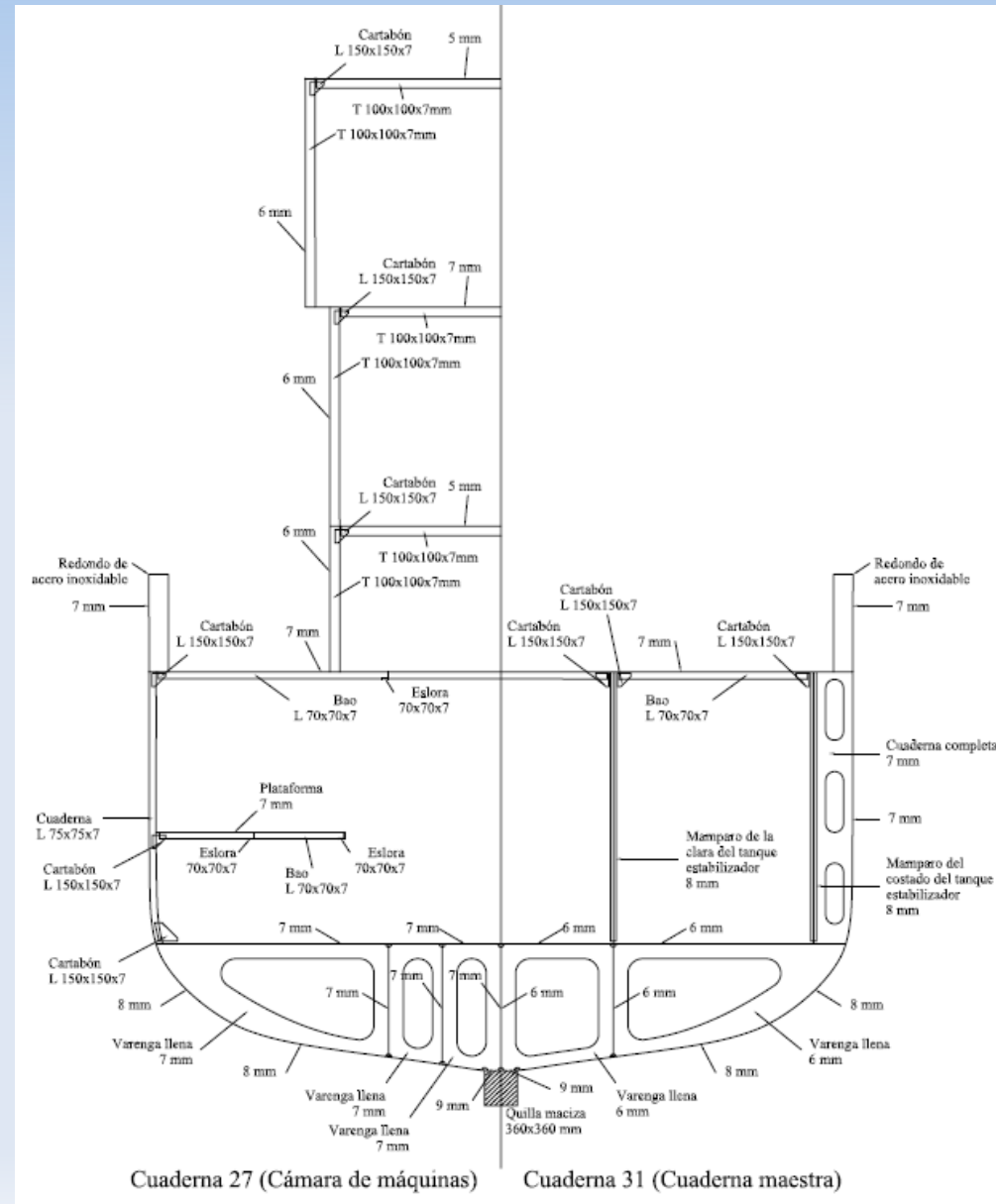
4) Conclusiones.

Division por zonas.



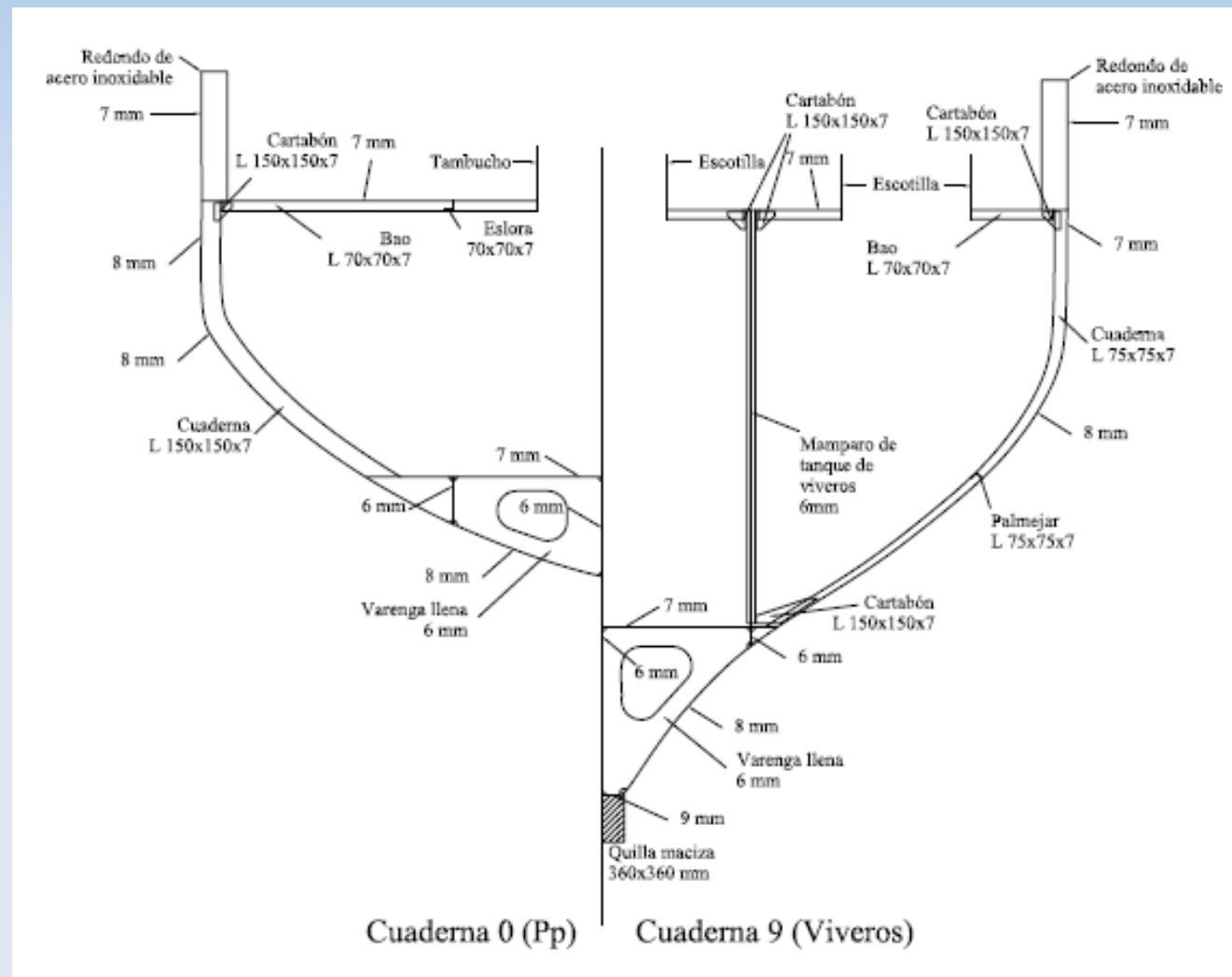
Resistencia estructural.

Zona media.



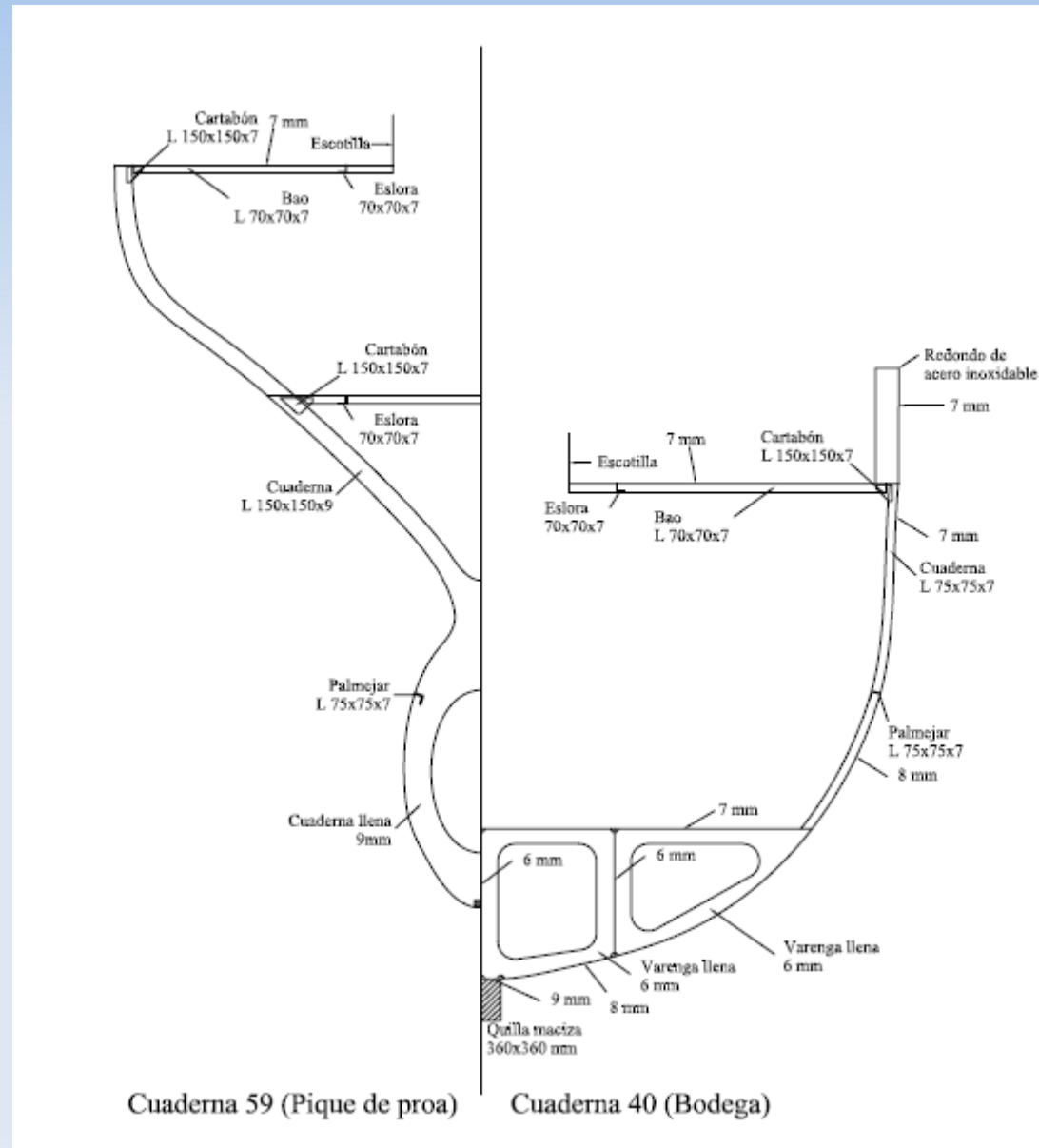
Resistencia estructural.

Zona de popa.



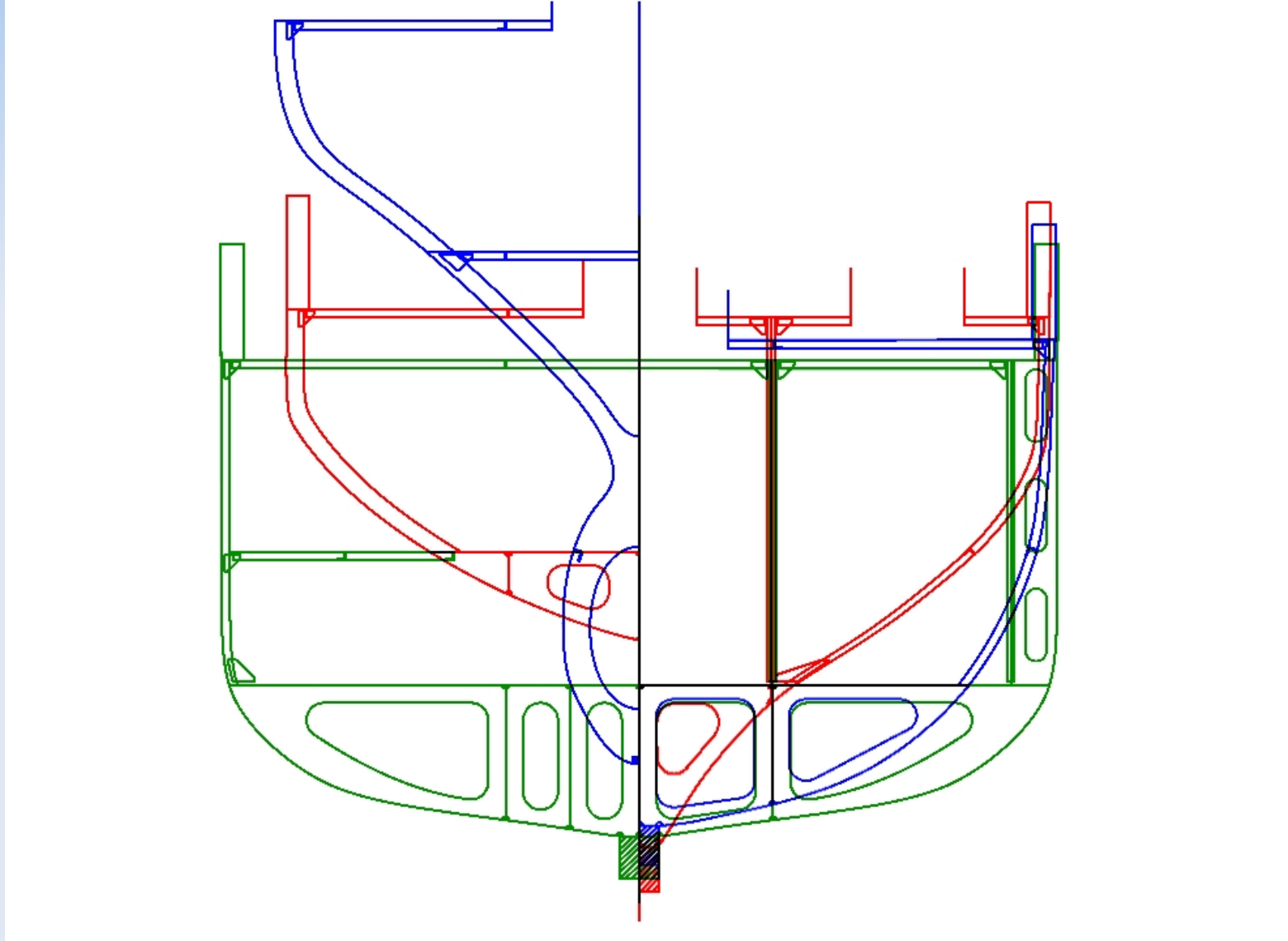
Resistencia estructural.

Zona de proa.



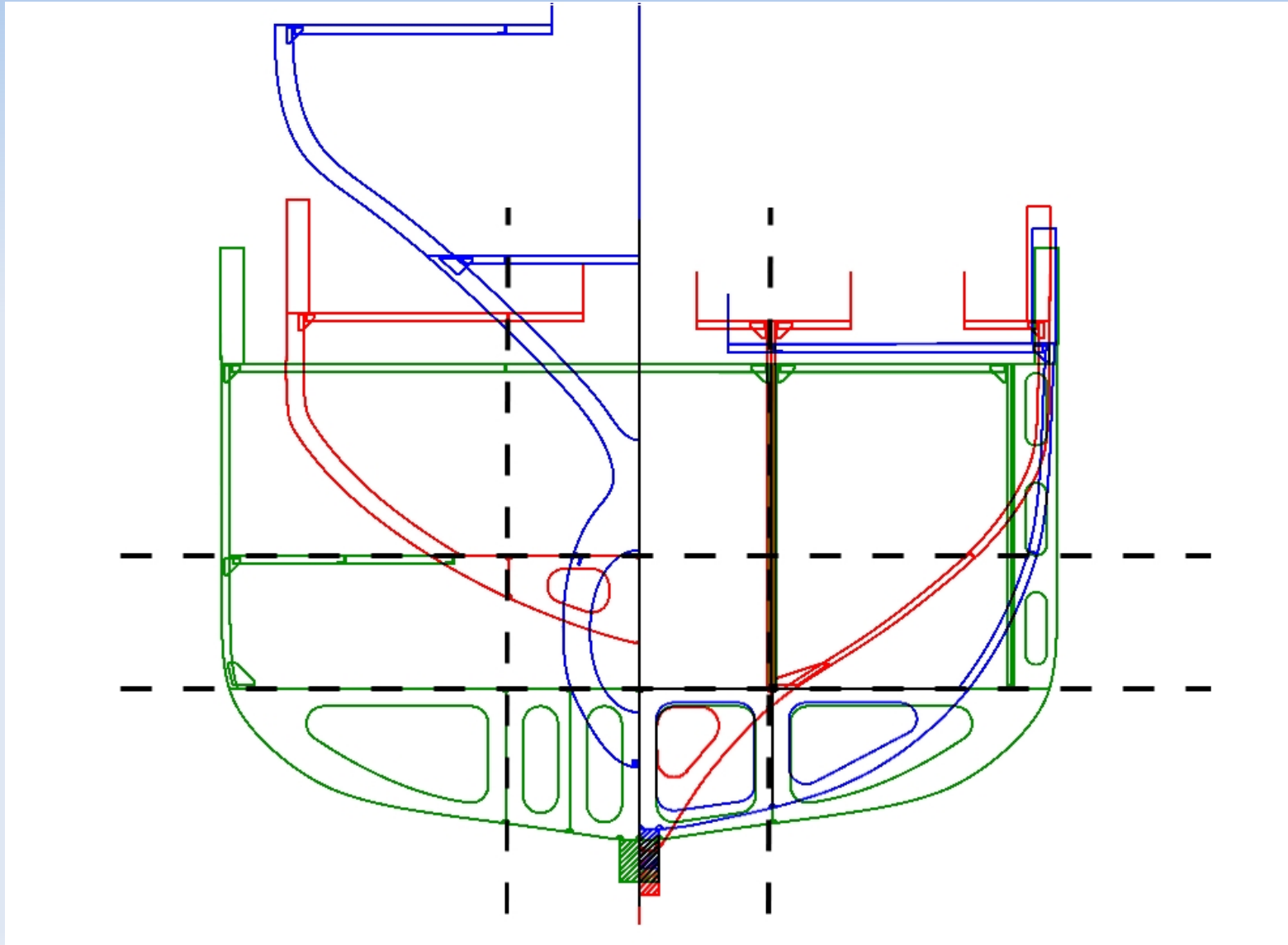
Resistencia estructural.

Continuidad.



Resistencia estructural.

Continuidad.



Resistencia estructural.

- Comprobación de cargas sobre cubiertas.
 - Consideraciones.
 - Placa apoyada.
 - Peso uniformemente distribuido.
 - Fenómenos de fatiga (alto factor de seguridad).
 - Elementos.
 - Grúa en proa.
 - Grúa en popa.
 - Motor principal.
 - Motores auxiliares.

Índice

4) 3^{er} Bloque.

1) Resistencia estructural.

2) Situaciones de carga (Tanque estabilizador pasivo).

3) Presupuesto.

4) Conclusiones.

Situaciones de carga.

- Situaciones de carga:

SC1.- Salida de puerto al 100% de consumos y 100% de viveros.

SC2.- Salida de puerto al 100% de consumos y 0% de viveros.

SC3.- Salida de caladero al 100% de pesca, con el 35% de consumos y 100% de viveros.

SC4.- Salida de caladero al 100% de pesca, 35% de consumibles y 0% de viveros.

SC5.- Llegada a puerto con 100% de pesca, 10% de consumos y 100% de viveros.

SC6.- Llegada a puerto con 100% de pesca, 10% de consumos y 0% de viveros.

SC7.- Llegada a puerto con 20% de pesca, 10% de consumos y 0% de viveros.

Situaciones de carga.

- Estabilidad:

	Límite	S.C. 1	S.C. 2	S.C. 3	S.C. 4	S.C. 5	S.C. 6	S.C. 7
Calado (m)	-	3.1	2.8	3.2	2.9	3.1	2.9	2.6
Área de 0° a 30° (m·rad)	0.055	0.105	0.118	0.068	0.071	0.072	0.067	0.058
Área de 0° a 40° (m·rad)	0.090	0.163	0.203	0.099	0.121	0.107	0.112	0.094
Área de 30° a 40° (m·rad)	0.030	0.058	0.084	0.031	0.049	0.035	0.045	0.037
GZ para 30° (m)	0.200	0.324	0.442	0.229	0.266	0.266	0.244	0.212
Ángulo de escora para GZ máximo (°)	25	39	47	28	31	28	28	40
GMt (m)	0.35	0.70	0.70	0.70	0.50	0.60	0.50	0.50

Tanque estabilizador pasivo.

- Ángulos de balance de 10° .
- Periodos propios de balance de 7.6s, 8.2s, y 9.6s
 - S.C.1 = 7.6s
 - S.C.2 = 7.6s
 - S.C.3 = 7.6s ← **Caladero**
 - S.C.4 = 9.6s ← **Caladero**
 - S.C.5 = 8.2s
 - S.C.6 = 9.6s
 - S.C.7 = 9.6s
- Alternativa en U descartada (difícil de sincronizar).

Tanque estabilizador pasivo.

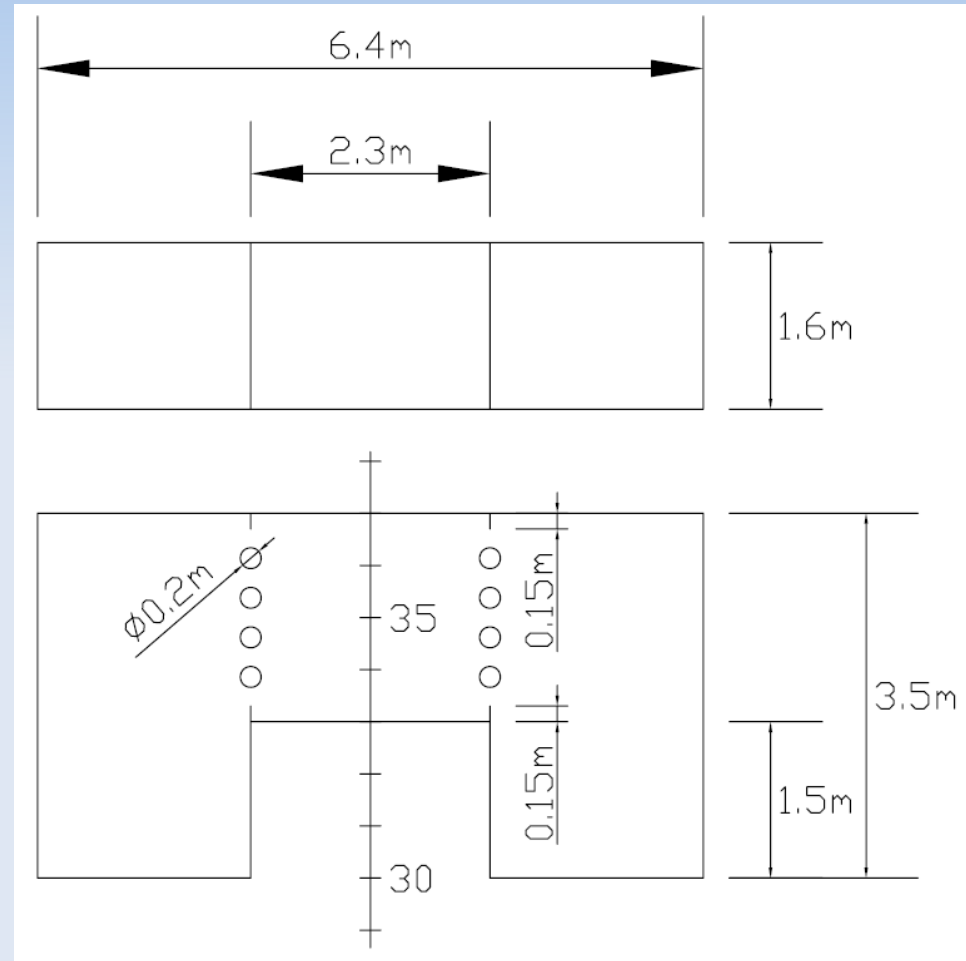
- Tanque estabilizador corrido de 3.5x6.4x1.6 m.
 - No se puede emplear en situaciones de carga requeridas por la especificación, pues no cumple criterios de estabilidad.
 - Alternativa inviable.

	S.C.1	S.C.2	S.C.3	S.C.4	S.C.5	S.C.6	S.C.7
<i>GMc</i> (m)	0.70	0.70	0.70	0.50	0.60	0.50	0.50
<i>GMe</i> (m)	0.51	0.47	0.51	0.28	0.41	0.27	0.25

Caladero

Tanque estabilizador pasivo.

- Tanque estabilizador en C.
 - Menor superficie libre.
 - Mayor volumen de agua en los costados.
 - Espacio liberado para tanques del doble fondo.



Tanque estabilizador pasivo.

- Tanque estabilizador en C.
 - Cumple los criterios de estabilidad (salvo en una situación de carga).

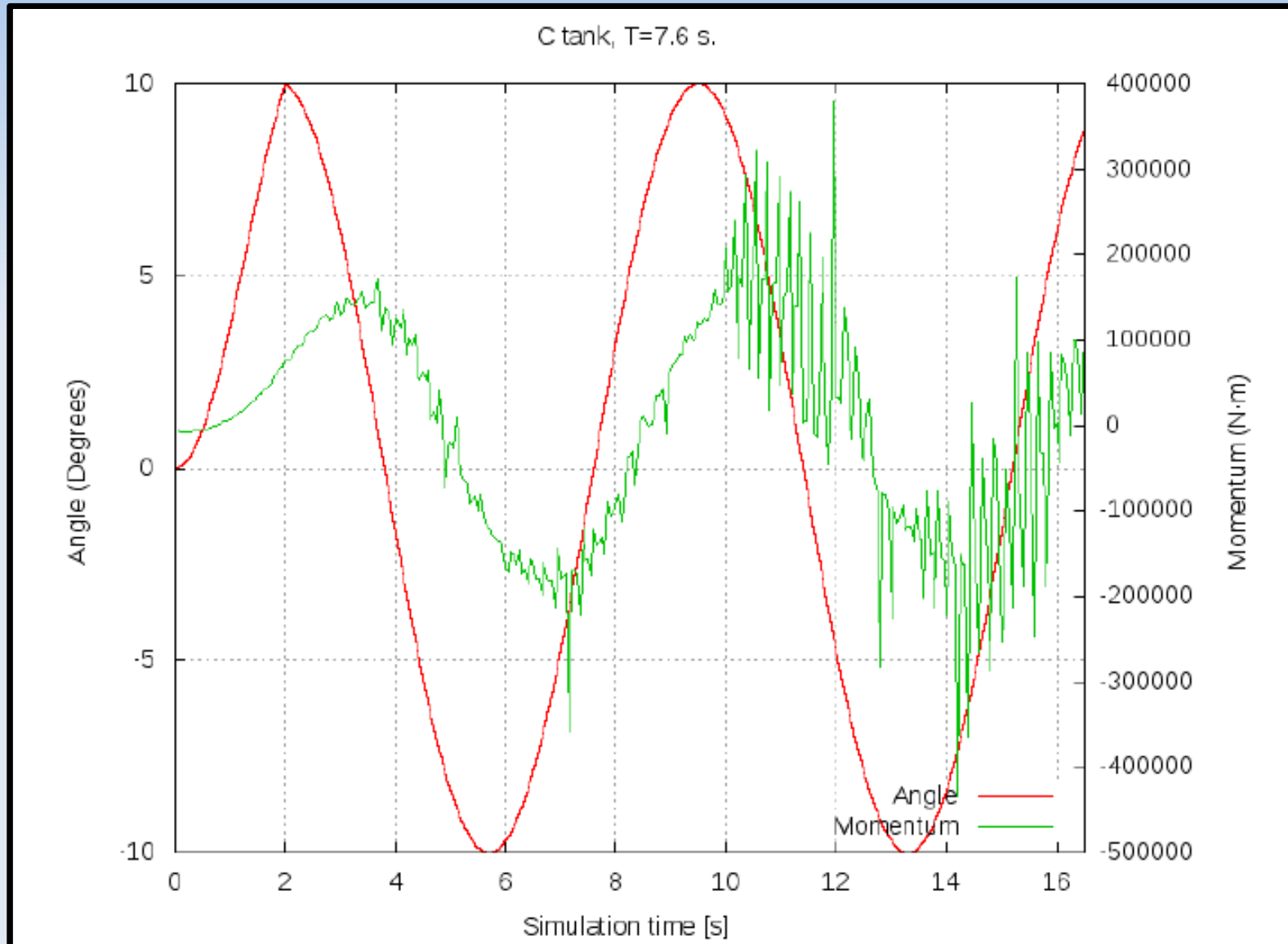
	S.C.1	S.C.2	S.C.3	S.C.4	S.C.5	S.C.6	S.C.7
<i>GM_c</i> (m)	0.70	0.70	0.70	0.50	0.60	0.50	0.50
<i>GM_{te}</i> (m)	0.60	0.56	0.61	0.37	0.50	0.36	0.34

Caladero

- Simulaciones CFD (OpenFOAM).

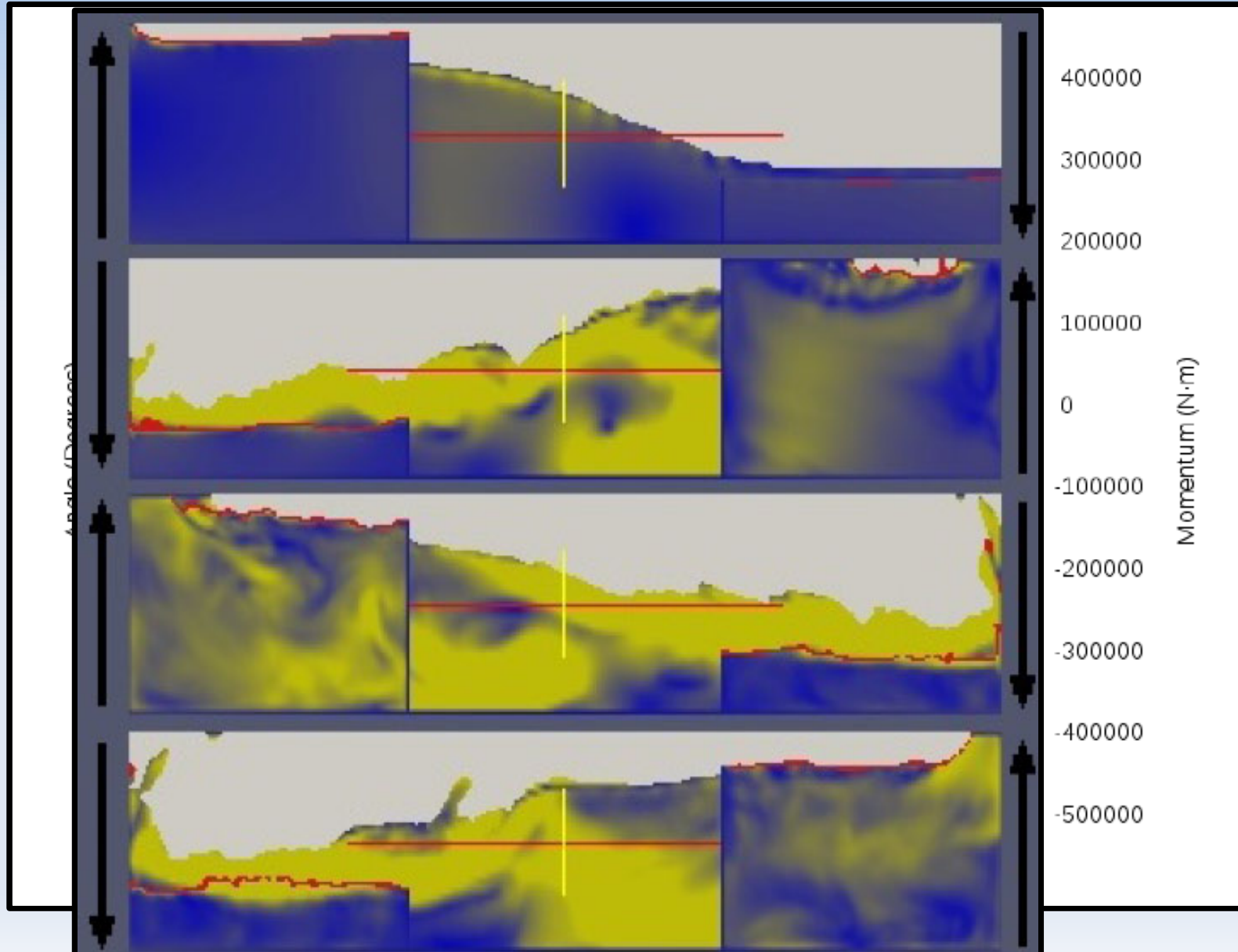
Tanque estabilizador pasivo.

- Periodo de 7.6s.



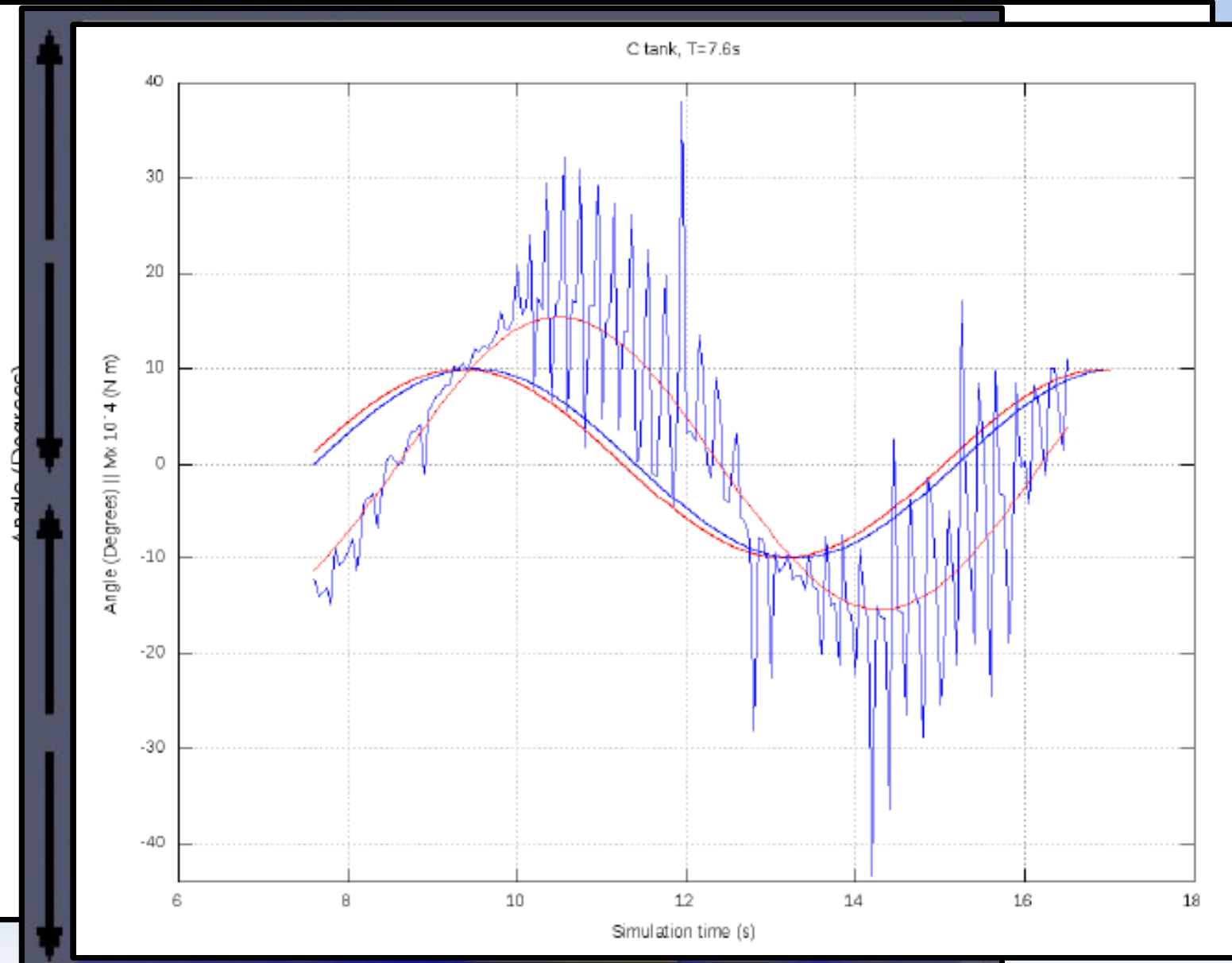
Tanque estabilizador pasivo.

- Periodo de 7.6s.



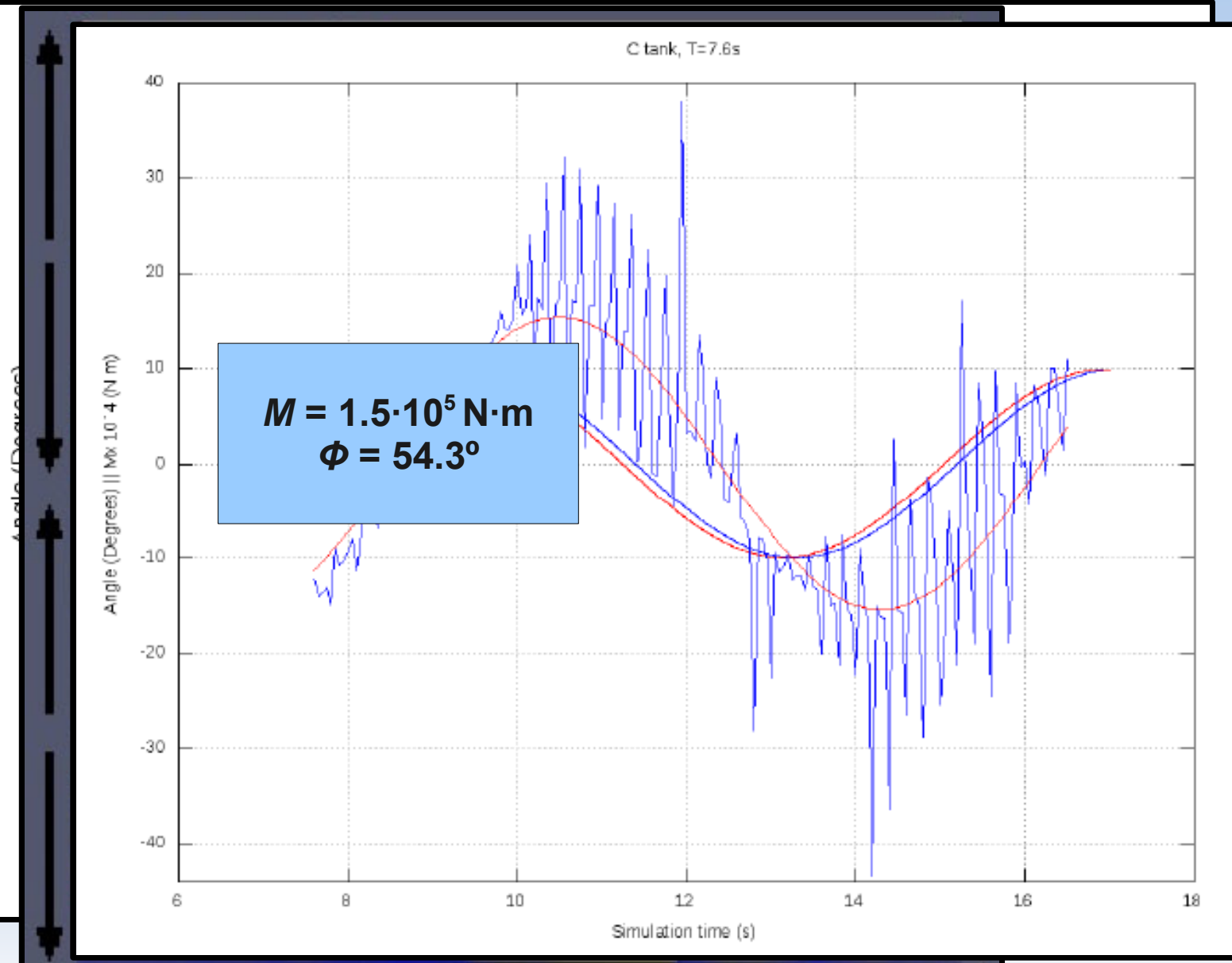
Tanque estabilizador pasivo.

- Periodo de 7.6s.



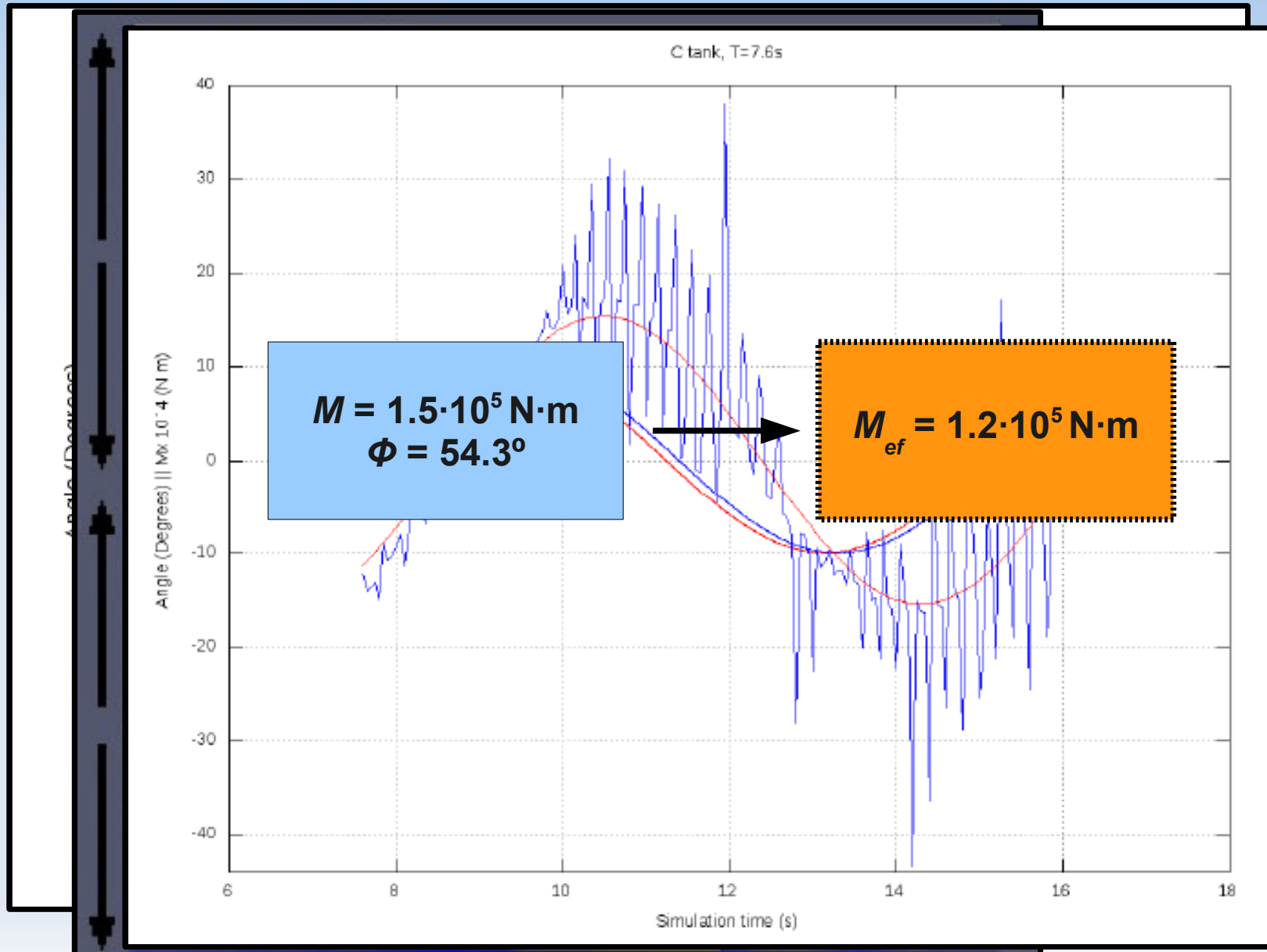
Tanque estabilizador pasivo.

- Periodo de 7.6s.



Tanque estabilizador pasivo.

- Periodo de 7.6s.



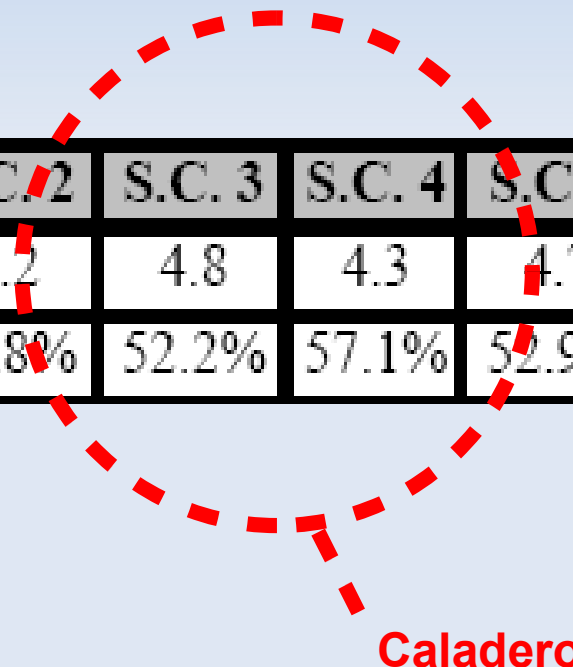
Tanque estabilizador pasivo.

- Eficiencia del tanque mayor al 50% en todas las condiciones de carga en las que se emplea el tanque.

	S.C. 1	S.C. 2	S.C. 3	S.C. 4	S.C. 5	S.C. 6	S.C. 7
θ_{ce} (°)	4.8	4.2	4.8	4.3	4.7	4.2	3.77
η	52.5%	57.8%	52.2%	57.1%	52.9%	58.1%	0.0%

Tanque estabilizador pasivo.

- Eficiencia del tanque mayor al 50% en todas las condiciones de carga en las que se emplea el tanque.



	S.C. 1	S.C. 2	S.C. 3	S.C. 4	S.C. 5	S.C. 6	S.C. 7
θ_{ce} (°)	4.8	4.2	4.8	4.3	4.7	4.2	3.77
η	52.5%	57.8%	52.2%	57.1%	52.9%	58.1%	0.0%

Caladero

Tanque estabilizador pasivo.

- Directrices de empleo del tanque estabilizador pasivo.

		Nivel (cm)
Marea para pesca de Anchoa	Salida de puerto	90
	Caladero	90
	Llegada a puerto (con bodegas llenas)	60
Marea para pesca de Bonito	Salida de puerto	90
	Caladero	50
	Llegada a puerto (con bodegas llenas)	50
Resto de situaciones		0

Índice

4) 3^{er} Bloque.

1) Resistencia estructural.

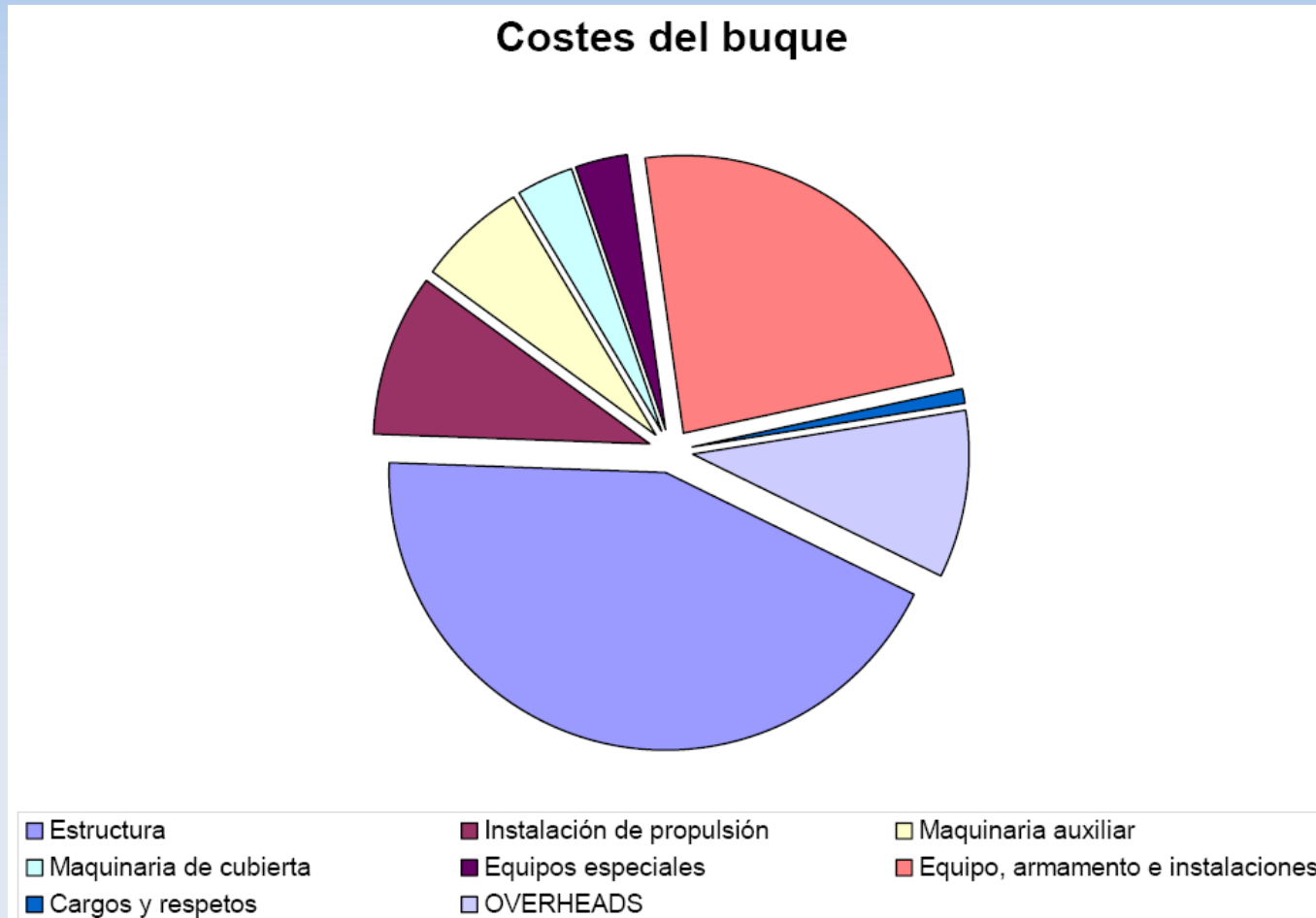
2) Situaciones de carga (Tanque estabilizador pasivo).

3) Presupuesto.

4) Conclusiones.

Presupuesto.

- Coste de construcción del buque = 2.911.832 €.



Precio = 3.203.015 €.

Índice

4) 3^{er} Bloque.

1) Resistencia estructural.

2) Situaciones de carga (Tanque estabilizador pasivo).

3) Presupuesto.

4) Conclusiones.

Conclusiones.

- Cumplimiento de las especificaciones del proyecto.
- Modificaciones y mejoras.
 - Formas (C_b y formas en V muy abiertas a proa).
 - Tanques de aceite y servicio diario en el espacio liberado por el tanque estabilizador.
 - Combustible de popa al doble fondo.
 - Experiencias en canal de ensayos.
 - Elementos finitos de la estructura.

¡Gracias!

