

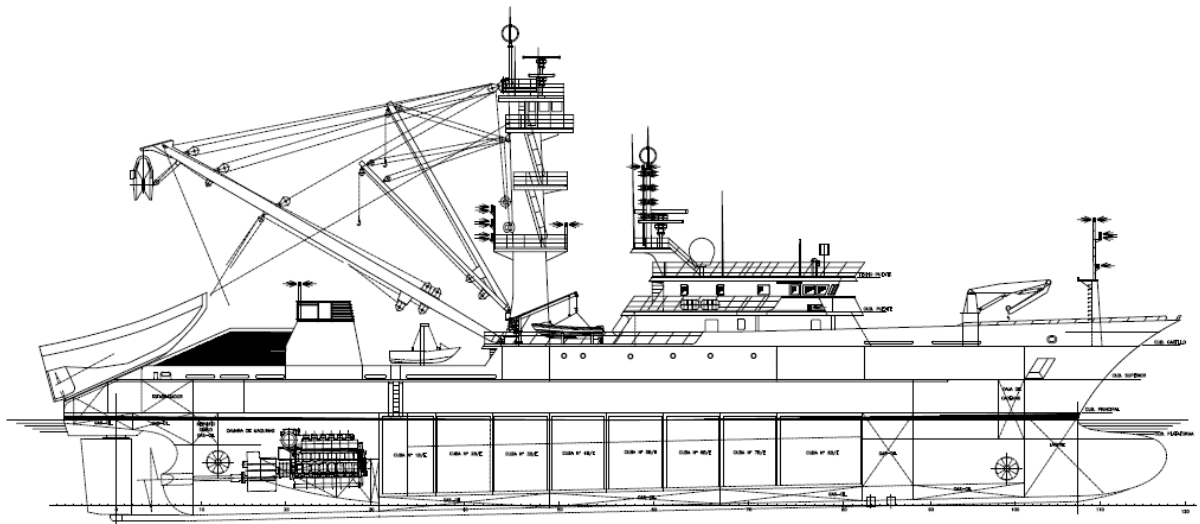
PROYECTO NÚMERO: 13-P8

BUQUE: ATUNERO CERQUERO DE 1200 TN

ALUMNO: AITOR RAMIL VIZOSO

TUTOR: MARCOS MÍGUEZ GONZÁLEZ

CUADERNO 1



RPA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA NAVAL Y OCEÁNICA

GRADO EN INGENIERÍA DE PROPULSIÓN Y SERVICIOS DEL BUQUE

CURSO 2.014-2015

PROYECTO NÚMERO: 13-P8

TIPO DE BUQUE: ATUNERO

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

CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA: 1200 Tn.

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

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

PROPULSIÓN: Una línea de ejes accionada por motor diésel.

TRIPULACIÓN Y PASAJE: 26 tripulantes.

OTROS EQUIPOS E INSTALACIONES: Hélice transversal en proa.

Ferrol, Enero de 2.015.

ALUMNO: Aitor Ramil Vizoso.

ÍNDICE

- Introducción
- Dimensionamiento
 - Base de datos
 - Obtención de dimensiones
 - Resultado final
 - Obtención de coeficientes y desplazamiento
 - Resumen
- Elección de la cifra de mérito
 - Cálculos costes de las alternativas
 - Elección de la alternativa
- Estimación de pesos
 - Peso en rosca
 - Peso muerto
 - Desplazamiento
- Cálculo preliminar de francobordo

INTRODUCCIÓN

En el presente cuaderno se hará un dimensionamiento preliminar del buque atunero correspondiente al proyecto número 13-P8, además de un estudio para la optimización de estas dimensiones.

El buque es un atunero cerquero con casco de acero. Como cualquier pesquero, es un barco de volumen, por lo que el volumen de cubas será el parámetro del que se partirá a la hora de obtener las dimensiones del buque a diseñar. El atunero de este proyecto tiene un requerimiento de volumen de carga de 1725 m^3 , que corresponde con 1200 Tn. de atún. Otro parámetro a considerar es la velocidad de servicio.

DIMENSIONAMIENTO

Para estimar una aproximación de las dimensiones del buque se usará una base de datos que contenga las características principales de una serie de atuneros. A partir de esta base de datos se harán unas rectas de regresión y se obtendrán las características principales preliminares del buque a diseñar.

BASE DE DATOS

En la siguiente tabla se incluyen varias dimensiones de algunos atuneros. Para la selección de los mismos se tuvo en cuenta el año de construcción, con el fin de tener información de buques con la configuración actual de atuneros. Como se explicó anteriormente, el criterio para comenzar el dimensionamiento es el volumen de cubas. Los buques incluidos en esta base de datos están dentro del rango de $1700\text{-}3300 \text{ m}^3$.

Buque	L	Lpp	B	Dsup	T	V	Vol. Cubas
Montelucia	91,9	79,22	16,2	9,8	6,5	18	2550
Playa de Anzoras	85,5	72,6	13,85	9,6	6,6	17	2123
Elai-Alai	80	68,65	13,8	8,85	6,45	15,1	1768
Albacora Uno	105	91	16,6	10,2	7,3	16,8	3316
Playa de Aritzatxu	75,60	72,60	13,85	9,15	6,40	17,9	1919
Rosita C	84,1	72,1	14	8,8	6	15	2060
San Andres	78	68,16	14	8	6	13,5	1862
Txopituna	77,3	66,45	13,6	9,05	6,6	14,5	1881
Sant Yago Uno	79,80	69,20	13,50	8,90	6,25	16,6	1935
Draco	95,70	82,70	15,20	9,95	6,70	18	2593
Izaro	88,65	72,2	14,35	9,35	6,8	18,2	2700
Torre Giulia	81,9	75,1	13,7	6,7	6,57	16,5	1790
Itsas Txori	95,8	82,3	14,7	9,3	6,47	18	2240
Playa de Anzoras	84,5	73,97	13,85	9,1	6,42	16,5	2083

Tabla 1. Base de datos.

Dónde:

- **L:** Eslora
- **Lpp:** Eslora entre perpendiculares
- **B:** Manga
- **Dsup:** Puntal a la cubierta superior
- **T:** Calado
- **V:** Velocidad de servicio

Además de los datos incluidos en la Tabla 1, se completará otra tabla con algunas relaciones dimensionales de los mismos buques, que podrán resultar interesantes a la hora de obtener las rectas de regresión y así obtener las dimensiones del buque.

Buque	Vol. Cubas ^{1/3}	Lpp/B	D/Lpp	Lpp/D	D/B	D/T	Lpp/T
Montelucia	13,66	4,89	0,12	8,08	0,60	1,51	12,19
Playa de Anzoras	12,85	5,24	0,13	7,56	0,69	1,45	11,00
Elai-Alai	12,09	4,97	0,13	7,76	0,64	1,37	10,64
Albacora Uno	14,91	5,48	0,11	8,92	0,61	1,40	12,47
Playa de Aritzatxu	12,43	5,24	0,13	7,93	0,66	1,43	11,34
Rosita C	12,72	5,15	0,12	8,19	0,63	1,47	12,02
San Andres	12,30	4,87	0,12	8,52	0,57	1,33	11,36
Txopituna	12,34	4,89	0,14	7,34	0,67	1,37	10,07
Sant Yago Uno	12,46	5,13	0,13	7,78	0,66	1,42	11,07
Draco	13,74	5,44	0,12	8,31	0,65	1,49	12,34
Izaro	13,92	5,03	0,13	7,72	0,65	1,38	10,62
Torre Giulia	12,14	5,48	0,09	11,21	0,49	1,02	11,43
Itsas Txori	13,08	5,60	0,11	8,85	0,63	1,44	12,72
Playa de Anzoras	12,77	5,34	0,12	8,13	0,66	1,42	11,52

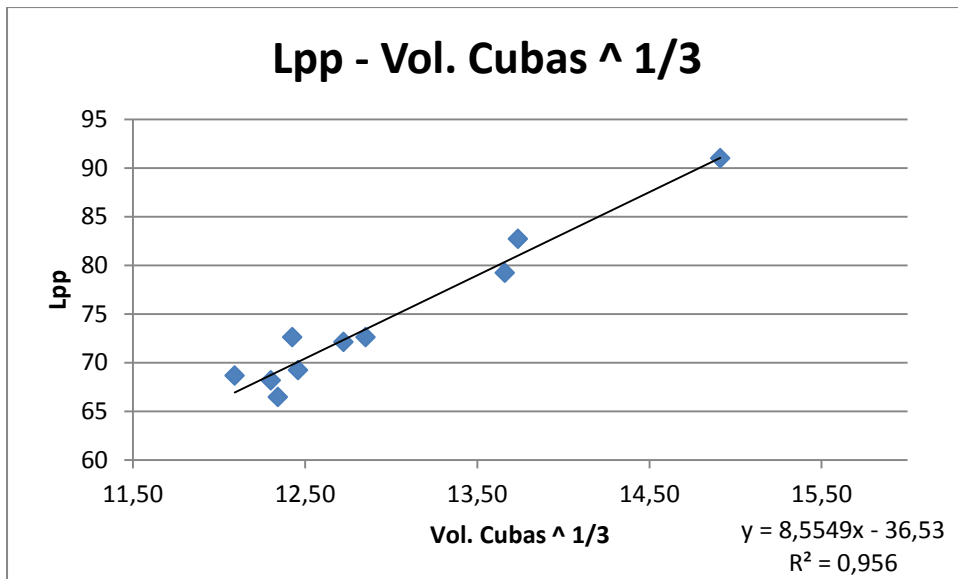
Tabla 2. Relación de dimensiones.

OBTENCIÓN DE DIMENSIONES

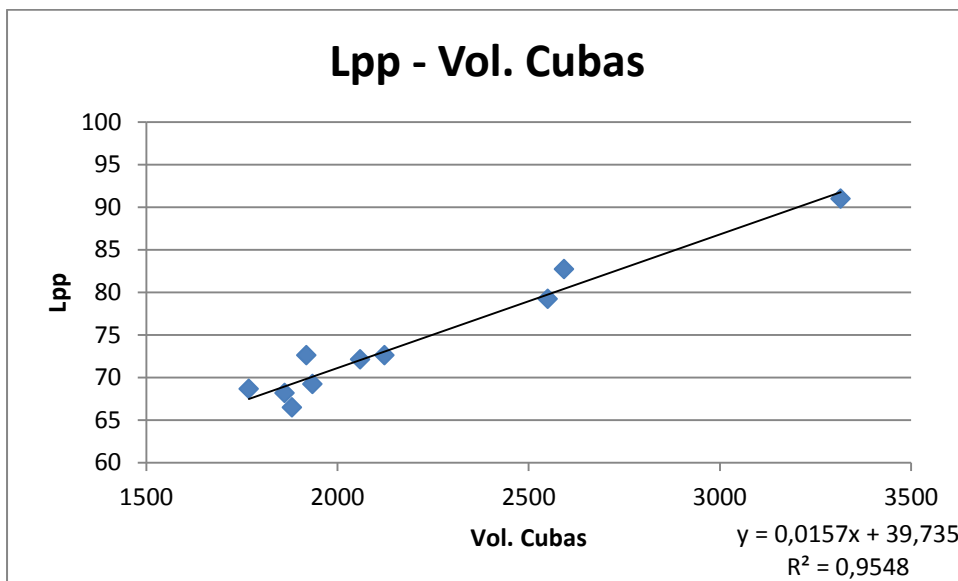
Como se explicó con anterioridad, una vez disponible la base de datos, se reflejarán una serie de datos en una nube de puntos y se ajustará una recta de regresión sobre ella, lo cual nos permitirá obtener unas dimensiones preliminares del buque. Se tendrá en cuenta en todos los diagramas el valor de R^2 , llamado coeficiente de dispersión, que indicará la exactitud de los datos.

Obtención Lpp

Para la obtención de la eslora entre perpendiculares usaremos las regresiones de Lpp en función del volumen de cubas.



$$Lpp_1 = 8.5549 \cdot \text{Vol.Cubas}^{1/3} - 36.53 = 66.07 \text{ m}$$



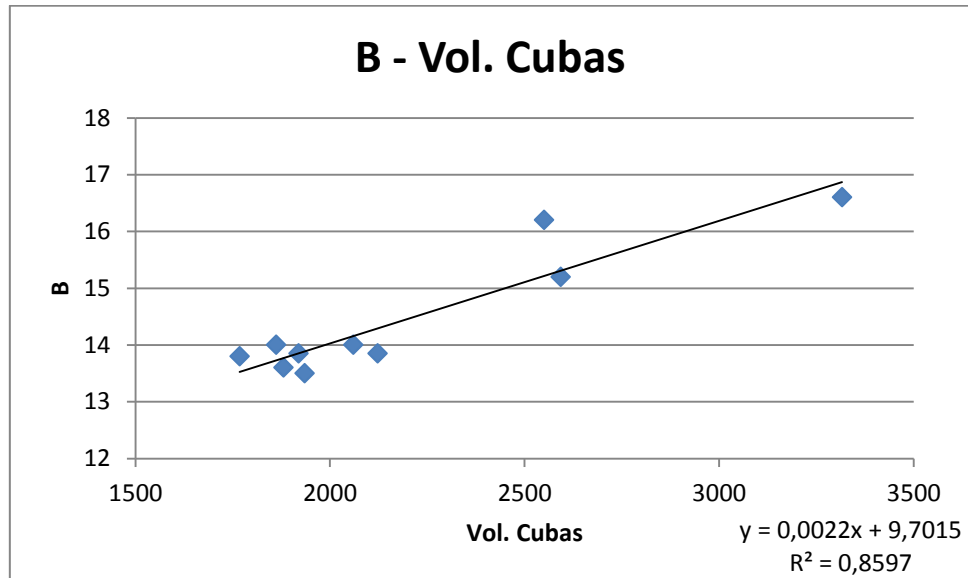
$$Lpp_2 = 0.0157 \cdot \text{Vol.Cubas} + 39.735 = 66.82 \text{ m}$$

Como vemos el valor del coeficiente de dispersión es próximo a la unidad, por lo que los resultados son bastante exactos. A partir de estas dos regresiones obtendremos la eslora entre perpendiculares preliminar haciendo la media aritmética de los resultados.

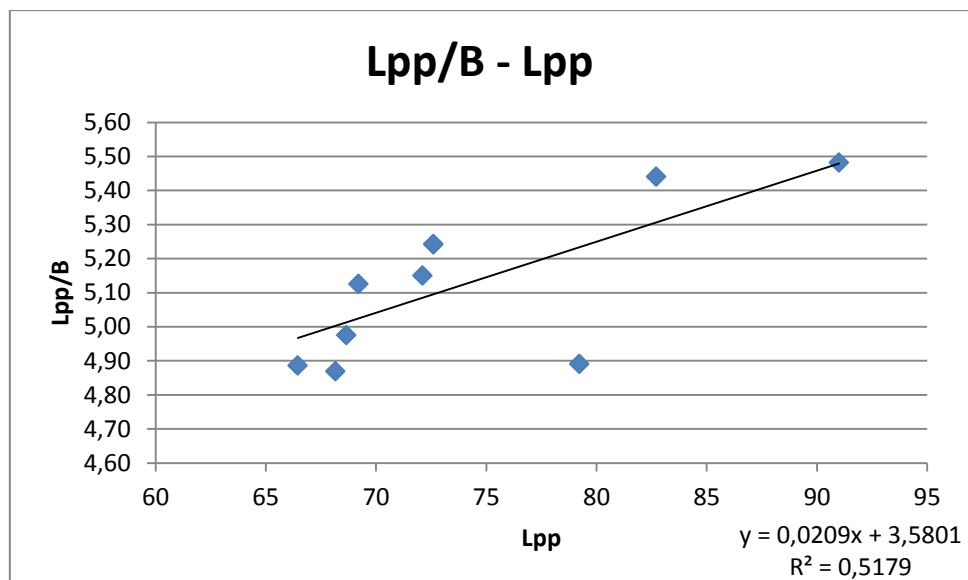
$$Lpp_{\text{final}} = (Lpp_1 + Lpp_2) / 2 = 66.44 \text{ m}$$

Obtención B

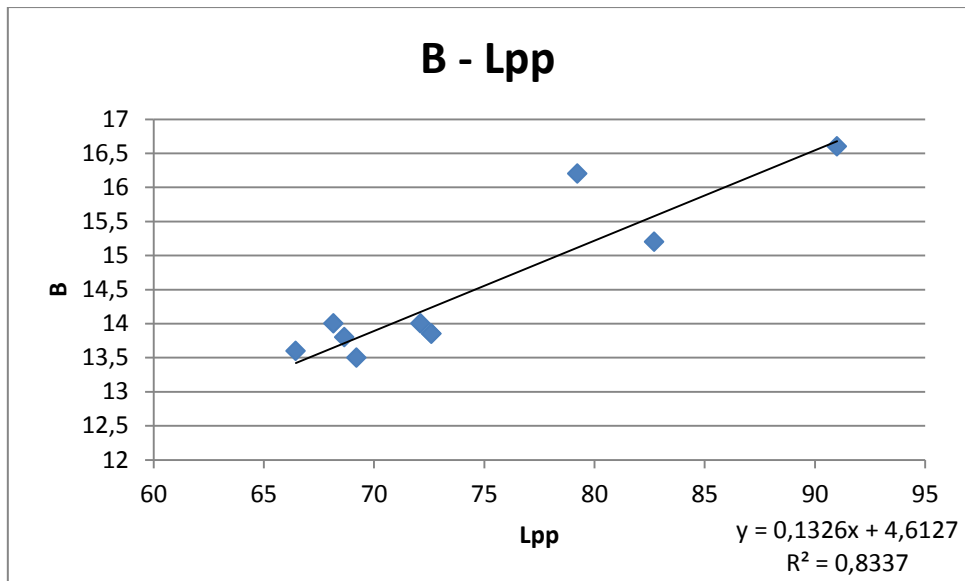
La manga será obtenida de las regresiones en función del volúmenes de cubas y en función de la eslora entre perpendiculares.



$$B_1 = 0.0022 \cdot \text{Vol.Cubas} + 9.7015 = 13.49 \text{ m}$$



$$\text{Lpp} / B_2 = 0.0209 \cdot \text{Lpp} + 3.5801 = 13.37 \text{ m}$$



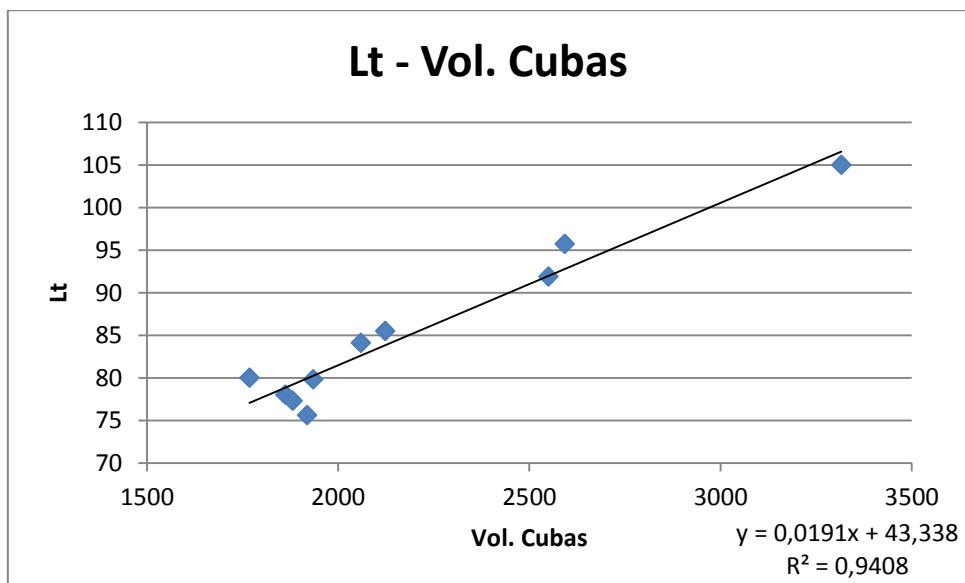
$$B_3 = 0.1326 \cdot Lpp + 4.6127 = 13.42 \text{ m}$$

Como en el caso de la eslora entre perpendiculares, la manga final será la media de los tres resultados obtenidos.

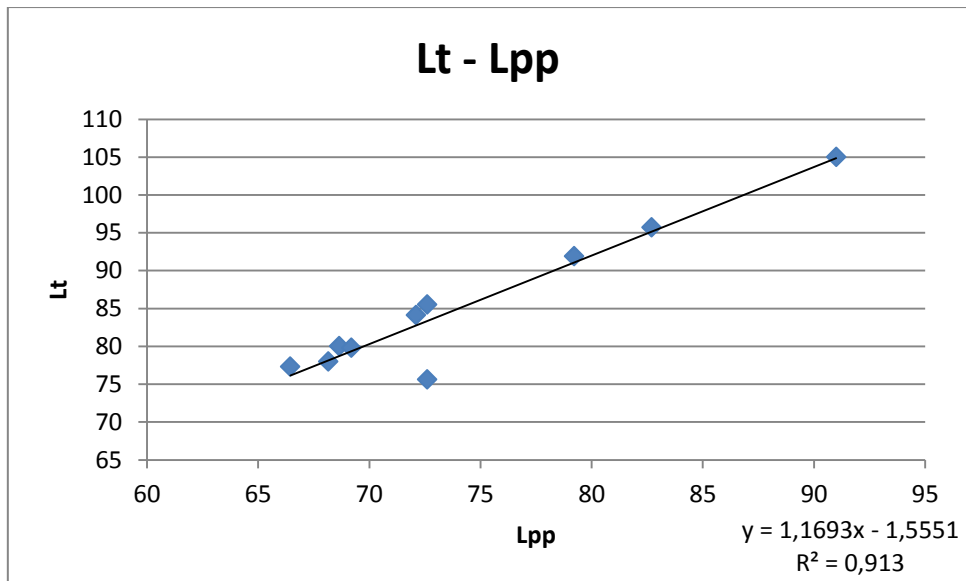
$$B_{\text{final}} = (B_1 + B_2 + B_3) / 3 = 13.43 \text{ m}$$

Obtención L

Para obtener la eslora se usarán dos regresiones, en función del volumen de cubas, y en función de la eslora entre perpendiculares.



$$L_1 = 0.0191 \cdot \text{Vol.Cubas} + 43.338 = 76.28 \text{ m}$$

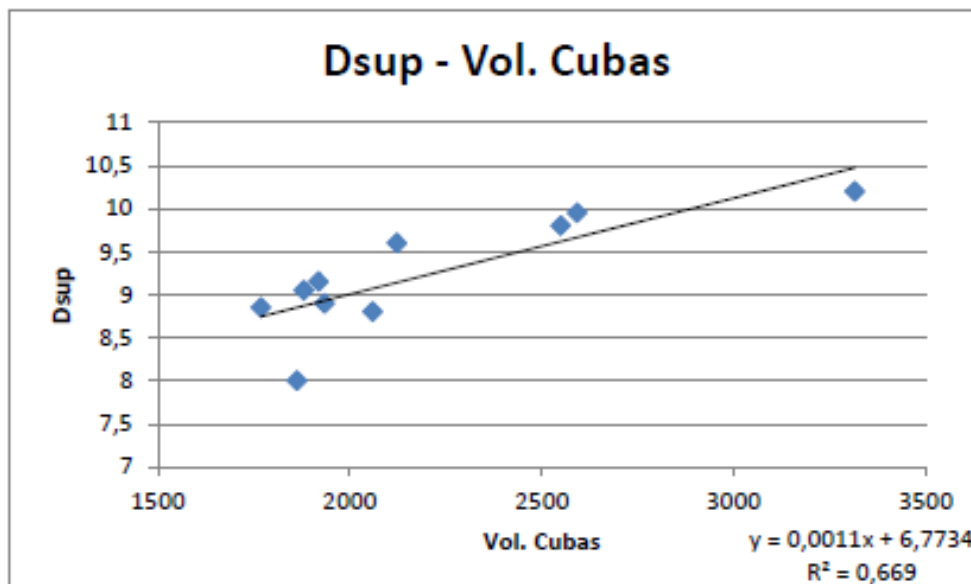


$$L_2 = 1.1693 \cdot L_{pp} - 1.5551 = 76.14 \text{ m}$$

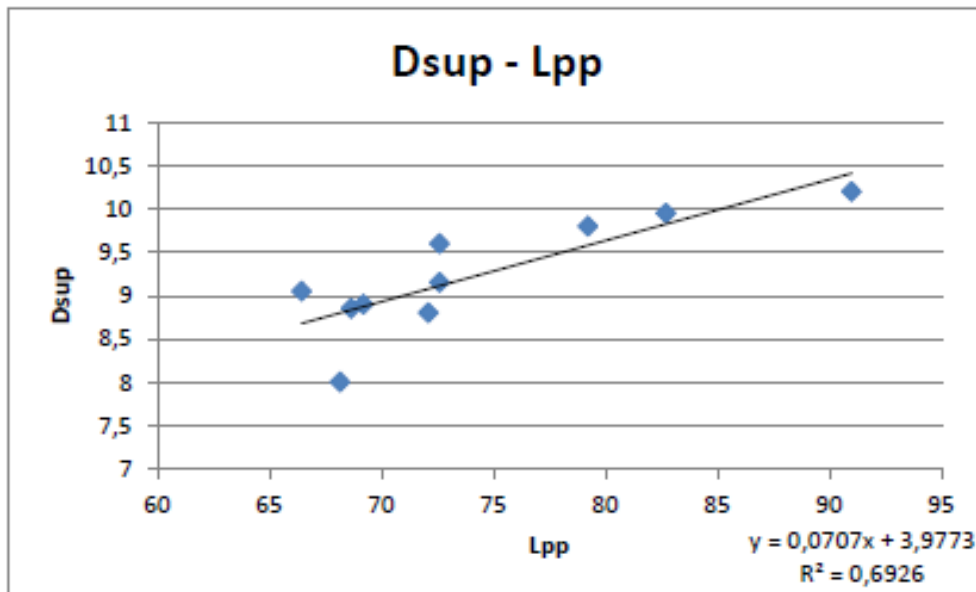
$$L_{\text{final}} = (L_1 + L_2) / 2 = 76.21 \text{ m}$$

Obtención Dsup

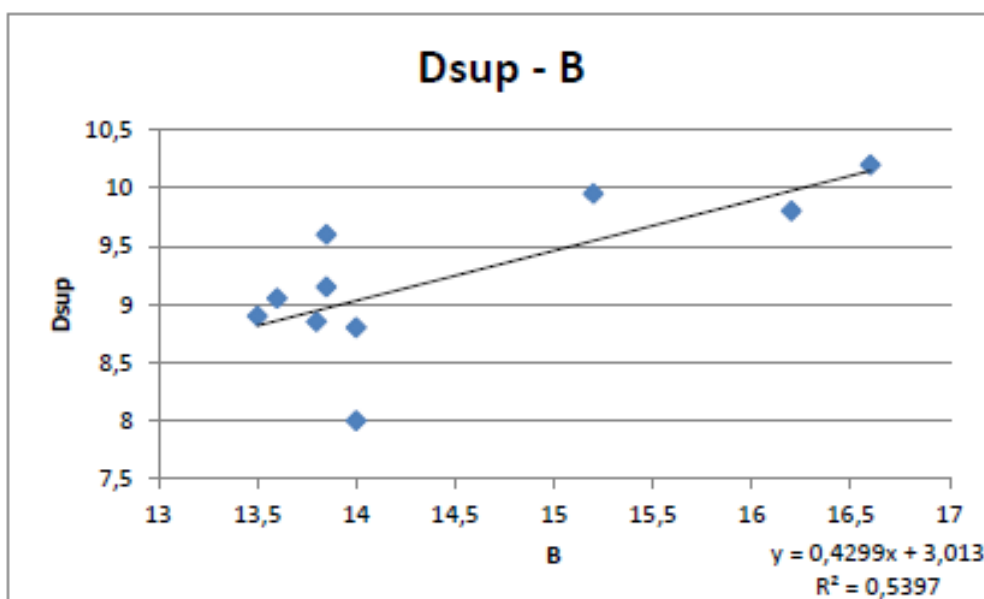
Para obtener el puntal a la cubierta superior usaremos las siguientes regresiones:



$$D_{\text{sup}_1} = 0.0011 \cdot \text{Vol.Cubas} + 6.7734 = 8.67 \text{ m}$$



$$Dsup_2 = 0.0707 \cdot Lpp + 3.9773 = 8.67 \text{ m}$$

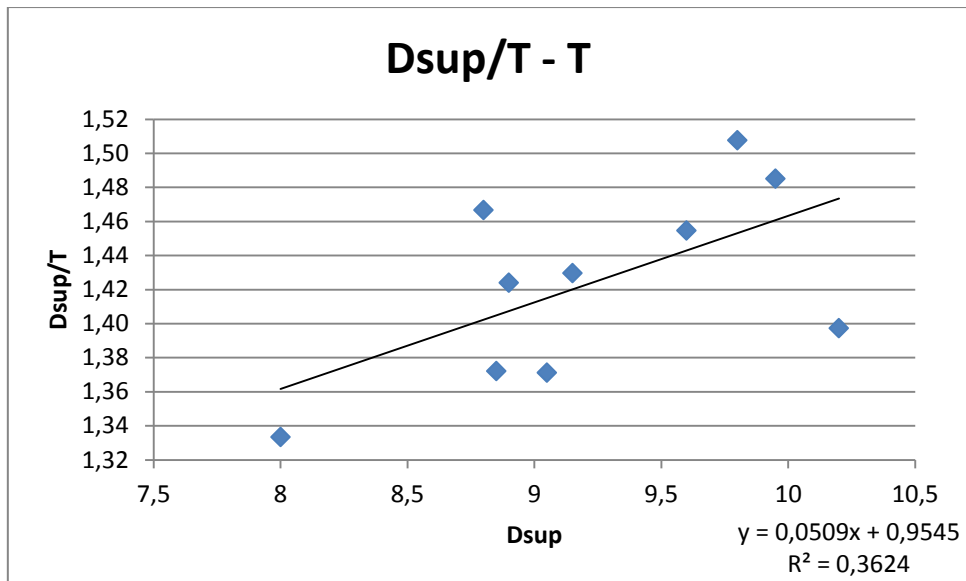


$$Dsup_3 = 0.4299 \cdot B + 3.013 = 8.79 \text{ m}$$

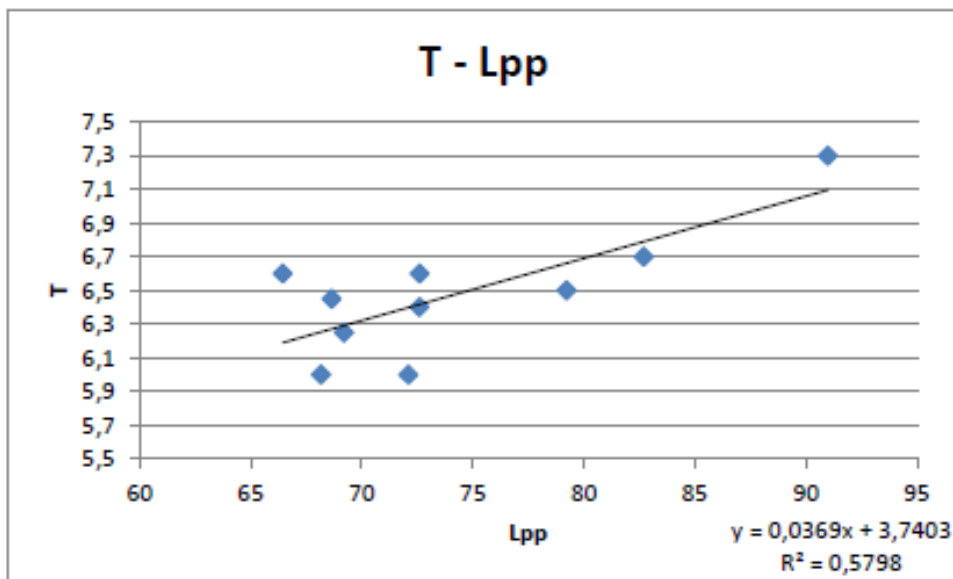
$$Dsup_{\text{final}} = (Dsup_1 + Dsup_2 + Dsup_3) / 3 = 8.71 \text{ m}$$

Obtención T

Para el cálculo del calado se usarán las regresiones en función de la eslora y del puntal a la cubierta superior.



$$Dsup / T_1 = 0.0509 \cdot T_1 + 0.9545 = 6.23 \text{ m}$$



$$T_2 = 0.0369 \cdot Lpp + 3.74 = 6.19 \text{ m}$$

$$T_{\text{final}} = (T_1 + T_2) / 2 = 6.21 \text{ m}$$

RESULTADO FINAL

Los valores de dimensiones que se han obtenido mediante las rectas de regresión quedan recogidos en la siguiente tabla.

	L [m]	Lpp [m]	B [m]	Dsup [m]	T [m]	Vol. Cubas [m ³]
MEDIDAS	76,15	66,44	13,43	8,71	6,21	1725

Tabla 3. Dimensiones obtenidas.

El puntal a la cubierta principal será de 6,55 m., ya que en este tipo de buques la distancia entre cubierta principal y superior oscila entre 2,20 y 2,80 metros.

OBTENCIÓN DE COEFICIENTES Y DESPLAZAMIENTO

A partir de las dimensiones obtenidas anteriormente y del requerimiento de velocidad, se obtendrán una serie de coeficientes.

Las siguientes expresiones, contenidas en el documento “Estimación de coeficientes” facilitado en la asignatura de Proyecto de Sistemas de Propulsión, hacen referencia a una aproximación de los coeficientes principales del buque.

$$Fr = \frac{V \cdot 0,5144}{(9,81 \cdot Lpp)^{0.5}} = 0,33$$

$$Cp = 1,2 - (2,12 \cdot Fr) = 0,50$$

$$Cm = 1 - (2 \cdot Fr^4) = 0,976$$

$$Cb = Cp \cdot Cm = 0,488$$

$$Cf = 0,248 + (0,778 \cdot Cb) = 0,627$$

Además de estos coeficientes, se estimará el desplazamiento del buque a partir del coeficiente de bloque.

$$\Delta = Cb \cdot 1,026 \cdot Lpp \cdot B \cdot T = 2774,37 \text{ Tn}$$

RESUMEN

En la siguiente tabla se reflejan todas las dimensiones y coeficientes obtenidos hasta el momento. Estos datos serán los de partida a la hora de diseñar el buque.

	L [m]	Lpp [m]	B [m]	Dsup [m]	T [m]	Vol. Cubas [m ³]
<i>MEDIDAS</i>	76,15	66,44	13,43	8,71	6,21	1725

Tabla 4. Dimensiones obtenidas.

	Cp	Cm	Cb	Cf
<i>COEFICIENTES</i>	0.50	0.976	0.488	0.627

Tabla 5. Coeficientes obtenidos.

Además, como recopilación de datos, se tiene un número de Froude igual a 0.31 para la velocidad de servicio de 16,5 Kn.; y un desplazamiento de 2774,37 Tn.

Con objeto de comprobar que los coeficientes antes citados son valores aceptables para buques de este tipo, se compararán con los de los buques contenidos en la base de datos "Txopituna", "Playa de Aritzatxu" y "Montelucia":

Buque	L	Lpp	B	Dsup	T	V	Vol. Cubas
<i>Txopituna</i>	77.3	66.45	13.6	6.55	6.6	14.5	1881
<i>Playa de Aritzatxu</i>	75.60	72.60	13.85	6.65	6.40	17.9	1919
<i>Montelucia</i>	91.9	79.22	16.2	7.3	6.5	18	2550
<i>BUQUE PROYECTO</i>	76.63	66.44	13.43	8.71	6.21	16.5	1725

Tabla 6. Comprobación dimensiones.

Buque	Fr	Cp	Cm	Cb	Cf
<i>Txopituna</i>	0.292	0.581	0.985	0.572	0.693
<i>Playa de Aritzatxu</i>	0.345	0.469	0.972	0.455	0.602
<i>Montelucia</i>	0.332	0.496	0.976	0.484	0.624
<i>BUQUE PROYECTO</i>	0.31	0.5	0.976	0.488	0.627

Tabla 7. Comprobación coeficientes.

Se comprueba que los valores obtenidos son admisibles en buques de este tipo.

ELECCIÓN DE LA CIFRA DE MÉRITO

En este apartado se harán una serie de combinaciones de las características antes expuestas y se elegirá una de ellas, que será la más beneficiosa en cuanto a precio de construcción del buque se refiere.

Para ello, se calculará el coste total para todas las combinaciones que cumplan con unos requisitos técnicos. Dentro del coste total se engloba el coste de peso del acero, coste de la maquinaria, coste del equipo restante, y coste por tripulante.

Se generarán las alternativas a partir de las dimensiones preliminares obtenidas anteriormente (designadas con el subíndice 0), con incrementos del 5%, obtenidas con las siguientes expresiones presentadas por el profesor D. Fernando Junco Ocampo:

- Eslora: $L_i = l_i \cdot L_0$, siendo $l_i = 0.85, 0.90, 0.95, 1.00, 1.05, 1.10$.
- Manga: $B_{ij} = b_{ij} \cdot B_0$, siendo $b_{ij} = 0.90, 0.95, 1.00, 1.05, 1.10$.
- Puntal: $D_{ij} = ((L_0 \cdot B_0)/(L_i \cdot B_{ij})) / D_0$
- Calado: $T_{ij} = ((L_0 \cdot B_0)/(L_i \cdot B_{ij})) / T_0$
- Coeficiente prismático: $C_{Pik} = C_{Pi0} + c_{pk}$, siendo:
 - $C_{Pi0} = 1.2 - 2.12 \cdot Fn_i$
 - $Fn_i = v / (g \cdot L_i)^{1/2}$
 - $C_{pk} = 0.01, 0.02, 0.03$
- Coeficiente de la maestra: $C_{Mi} = 1 - 2 \cdot Fn_i^4$
- Coeficiente de bloque: $C_{Bik} = C_{Pik} \cdot C_{Mi}$
- Desplazamiento: $\Delta_{ijk} = 1.025 \cdot C_{Bik} \cdot L_i \cdot B_{ij} \cdot T_{ij}$

Acorde a lo anterior, se parte de las siguientes 90 alternativas:

Alternativa	Lpp	B	D	T	Fn	Cp	Cm	Cb	Δ
<i>Inicial</i>	66,440	13,430	8,710	6,210	0,332	0,495	0,976	0,483	2774,37
1	56,474	12,087	11,386	8,118	0,361	0,446	0,966	0,430	2447,250
2	56,474	12,087	11,386	8,118	0,361	0,456	0,966	0,440	2502,179
3	56,474	12,087	11,386	8,118	0,361	0,466	0,966	0,450	2557,108
4	56,474	12,759	10,786	7,690	0,361	0,446	0,966	0,430	2447,250
5	56,474	12,759	10,786	7,690	0,361	0,456	0,966	0,440	2502,179
6	56,474	12,759	10,786	7,690	0,361	0,466	0,966	0,450	2557,108

7	56,474	13,430	10,247	7,306	0,361	0,446	0,966	0,430	2447,250
8	56,474	13,430	10,247	7,306	0,361	0,456	0,966	0,440	2502,179
9	56,474	13,430	10,247	7,306	0,361	0,466	0,966	0,450	2557,108
10	56,474	14,102	9,759	6,958	0,361	0,446	0,966	0,430	2447,250
11	56,474	14,102	9,759	6,958	0,361	0,456	0,966	0,440	2502,179
12	56,474	14,102	9,759	6,958	0,361	0,466	0,966	0,450	2557,108
13	56,474	14,773	9,316	6,642	0,361	0,446	0,966	0,430	2447,250
14	56,474	14,773	9,316	6,642	0,361	0,456	0,966	0,440	2502,179
15	56,474	14,773	9,316	6,642	0,361	0,466	0,966	0,450	2557,108
16	59,796	12,087	10,753	7,667	0,350	0,467	0,970	0,453	2575,261
17	59,796	12,087	10,753	7,667	0,350	0,477	0,970	0,463	2630,398
18	59,796	12,087	10,753	7,667	0,350	0,487	0,970	0,472	2685,535
19	59,796	12,759	10,187	7,263	0,350	0,467	0,970	0,453	2575,261
20	59,796	12,759	10,187	7,263	0,350	0,477	0,970	0,463	2630,398
21	59,796	12,759	10,187	7,263	0,350	0,487	0,970	0,472	2685,535
22	59,796	13,430	9,678	6,900	0,350	0,467	0,970	0,453	2575,261
23	59,796	13,430	9,678	6,900	0,350	0,477	0,970	0,463	2630,398
24	59,796	13,430	9,678	6,900	0,350	0,487	0,970	0,472	2685,535
25	59,796	14,102	9,217	6,571	0,350	0,467	0,970	0,453	2575,261
26	59,796	14,102	9,217	6,571	0,350	0,477	0,970	0,463	2630,398
27	59,796	14,102	9,217	6,571	0,350	0,487	0,970	0,472	2685,535
28	59,796	14,773	8,798	6,273	0,350	0,467	0,970	0,453	2575,261
29	59,796	14,773	8,798	6,273	0,350	0,477	0,970	0,463	2630,398
30	59,796	14,773	8,798	6,273	0,350	0,487	0,970	0,472	2685,535
31	63,118	12,087	10,187	7,263	0,341	0,487	0,973	0,474	2693,073
32	63,118	12,087	10,187	7,263	0,341	0,497	0,973	0,483	2748,386
33	63,118	12,087	10,187	7,263	0,341	0,507	0,973	0,493	2803,699
34	63,118	12,759	9,651	6,881	0,341	0,487	0,973	0,474	2693,073
35	63,118	12,759	9,651	6,881	0,341	0,497	0,973	0,483	2748,386
36	63,118	12,759	9,651	6,881	0,341	0,507	0,973	0,493	2803,699
37	63,118	13,430	9,168	6,537	0,341	0,487	0,973	0,474	2693,073
38	63,118	13,430	9,168	6,537	0,341	0,497	0,973	0,483	2748,386
39	63,118	13,430	9,168	6,537	0,341	0,507	0,973	0,493	2803,699
40	63,118	14,102	8,732	6,226	0,341	0,487	0,973	0,474	2693,073
41	63,118	14,102	8,732	6,226	0,341	0,497	0,973	0,483	2748,386
42	63,118	14,102	8,732	6,226	0,341	0,507	0,973	0,493	2803,699
43	63,118	14,773	8,335	5,943	0,341	0,487	0,973	0,474	2693,073

44	63,118	14,773	8,335	5,943	0,341	0,497	0,973	0,483	2748,386
45	63,118	14,773	8,335	5,943	0,341	0,507	0,973	0,493	2803,699
46	66,440	12,087	9,678	6,900	0,332	0,505	0,976	0,493	2801,931
47	66,440	12,087	9,678	6,900	0,332	0,515	0,976	0,503	2857,394
48	66,440	12,087	9,678	6,900	0,332	0,525	0,976	0,512	2912,856
49	66,440	12,759	9,168	6,537	0,332	0,505	0,976	0,493	2801,931
50	66,440	12,759	9,168	6,537	0,332	0,515	0,976	0,503	2857,394
51	66,440	12,759	9,168	6,537	0,332	0,525	0,976	0,512	2912,856
52	66,440	13,430	8,710	6,210	0,332	0,505	0,976	0,493	2801,931
53	66,440	13,430	8,710	6,210	0,332	0,515	0,976	0,503	2857,394
54	66,440	13,430	8,710	6,210	0,332	0,525	0,976	0,512	2912,856
55	66,440	14,102	8,295	5,914	0,332	0,505	0,976	0,493	2801,931
56	66,440	14,102	8,295	5,914	0,332	0,515	0,976	0,503	2857,394
57	66,440	14,102	8,295	5,914	0,332	0,525	0,976	0,512	2912,856
58	66,440	14,773	7,918	5,645	0,332	0,505	0,976	0,493	2801,931
59	66,440	14,773	7,918	5,645	0,332	0,515	0,976	0,503	2857,394
60	66,440	14,773	7,918	5,645	0,332	0,525	0,976	0,512	2912,856
61	69,762	12,087	9,217	6,571	0,324	0,522	0,978	0,511	2902,882
62	69,762	12,087	9,217	6,571	0,324	0,532	0,978	0,520	2958,474
63	69,762	12,087	9,217	6,571	0,324	0,542	0,978	0,530	3014,066
64	69,762	12,759	8,732	6,226	0,324	0,522	0,978	0,511	2902,882
65	69,762	12,759	8,732	6,226	0,324	0,532	0,978	0,520	2958,474
66	69,762	12,759	8,732	6,226	0,324	0,542	0,978	0,530	3014,066
67	69,762	13,430	8,295	5,914	0,324	0,522	0,978	0,511	2902,882
68	69,762	13,430	8,295	5,914	0,324	0,532	0,978	0,520	2958,474
69	69,762	13,430	8,295	5,914	0,324	0,542	0,978	0,530	3014,066
70	69,762	14,102	7,900	5,633	0,324	0,522	0,978	0,511	2902,882
71	69,762	14,102	7,900	5,633	0,324	0,532	0,978	0,520	2958,474
72	69,762	14,102	7,900	5,633	0,324	0,542	0,978	0,530	3014,066
73	69,762	14,773	7,541	5,377	0,324	0,522	0,978	0,511	2902,882
74	69,762	14,773	7,541	5,377	0,324	0,532	0,978	0,520	2958,474
75	69,762	14,773	7,541	5,377	0,324	0,542	0,978	0,530	3014,066
76	73,084	12,087	8,798	6,273	0,317	0,538	0,980	0,527	2996,818
77	73,084	12,087	8,798	6,273	0,317	0,548	0,980	0,537	3052,522
78	73,084	12,087	8,798	6,273	0,317	0,558	0,980	0,547	3108,226
79	73,084	12,759	8,335	5,943	0,317	0,538	0,980	0,527	2996,818
80	73,084	12,759	8,335	5,943	0,317	0,548	0,980	0,537	3052,522

81	73,084	12,759	8,335	5,943	0,317	0,558	0,980	0,547	3108,226
82	73,084	13,430	7,918	5,645	0,317	0,538	0,980	0,527	2996,818
83	73,084	13,430	7,918	5,645	0,317	0,548	0,980	0,537	3052,522
84	73,084	13,430	7,918	5,645	0,317	0,558	0,980	0,547	3108,226
85	73,084	14,102	7,541	5,377	0,317	0,538	0,980	0,527	2996,818
86	73,084	14,102	7,541	5,377	0,317	0,548	0,980	0,537	3052,522
87	73,084	14,102	7,541	5,377	0,317	0,558	0,980	0,547	3108,226
88	73,084	14,773	7,198	5,132	0,317	0,538	0,980	0,527	2996,818
89	73,084	14,773	7,198	5,132	0,317	0,548	0,980	0,537	3052,522
90	73,084	14,773	7,198	5,132	0,317	0,558	0,980	0,547	3108,226

Tabla 8. Alternativas.

A partir de las dimensiones anteriores, se creará una tabla con las relaciones L/B, B/D, L/D, y B/T. Para que la combinación obtenga la validez los valores de estas relaciones deberán estar comprendidos entre el valor máximo y el mínimo de la misma relación para los buques de la base de datos:

- $4,89 < L_{pp}/B < 5,60$
- $1,44 < B/D < 2,04$
- $7,34 < L_{pp}/D < 11,21$
- $2,06 < B/T < 2,49$

Alternativa	L/B	B/D	L/D	B/T	Validez
<i>Inicial</i>	4,947	1,542	7,628	2,163	-
1	4,672	1,062	4,960	1,489	No
2	4,672	1,062	4,960	1,489	No
3	4,672	1,062	4,960	1,489	No
4	4,426	1,183	5,236	1,659	No
5	4,426	1,183	5,236	1,659	No
6	4,426	1,183	5,236	1,659	No
7	4,205	1,311	5,511	1,838	No
8	4,205	1,311	5,511	1,838	No
9	4,205	1,311	5,511	1,838	No
10	4,005	1,445	5,787	2,027	No
11	4,005	1,445	5,787	2,027	No
12	4,005	1,445	5,787	2,027	No

13	3,823	1,586	6,062	2,224	No
14	3,823	1,586	6,062	2,224	No
15	3,823	1,586	6,062	2,224	No
16	4,947	1,124	5,561	1,577	No
17	4,947	1,124	5,561	1,577	No
18	4,947	1,124	5,561	1,577	No
19	4,687	1,252	5,870	1,757	No
20	4,687	1,252	5,870	1,757	No
21	4,687	1,252	5,870	1,757	No
22	4,452	1,388	6,179	1,946	No
23	4,452	1,388	6,179	1,946	No
24	4,452	1,388	6,179	1,946	No
25	4,240	1,530	6,488	2,146	No
26	4,240	1,530	6,488	2,146	No
27	4,240	1,530	6,488	2,146	No
28	4,048	1,679	6,797	2,355	No
29	4,048	1,679	6,797	2,355	No
30	4,048	1,679	6,797	2,355	No
31	5,222	1,186	6,196	1,664	No
32	5,222	1,186	6,196	1,664	No
33	5,222	1,186	6,196	1,664	No
34	4,947	1,322	6,540	1,854	No
35	4,947	1,322	6,540	1,854	No
36	4,947	1,322	6,540	1,854	No
37	4,700	1,465	6,884	2,055	No
38	4,700	1,465	6,884	2,055	No
39	4,700	1,465	6,884	2,055	No
40	4,476	1,615	7,228	2,265	No
41	4,476	1,615	7,228	2,265	No
42	4,476	1,615	7,228	2,265	No
43	4,273	1,772	7,573	2,486	No
44	4,273	1,772	7,573	2,486	No
45	4,273	1,772	7,573	2,486	No
46	5,497	1,249	6,865	1,752	No
47	5,497	1,249	6,865	1,752	No
48	5,497	1,249	6,865	1,752	No
49	5,208	1,392	7,247	1,952	No

50	5,208	1,392	7,247	1,952	No
51	5,208	1,392	7,247	1,952	No
52	4,947	1,542	7,628	2,163	Si
53	4,947	1,542	7,628	2,163	Si
54	4,947	1,542	7,628	2,163	Si
55	4,712	1,700	8,009	2,384	No
56	4,712	1,700	8,009	2,384	No
57	4,712	1,700	8,009	2,384	No
58	4,497	1,866	8,391	2,617	No
59	4,497	1,866	8,391	2,617	No
60	4,497	1,866	8,391	2,617	No
61	5,772	1,311	7,569	1,839	No
62	5,772	1,311	7,569	1,839	No
63	5,772	1,311	7,569	1,839	No
64	5,468	1,461	7,989	2,049	No
65	5,468	1,461	7,989	2,049	No
66	5,468	1,461	7,989	2,049	No
67	5,194	1,619	8,410	2,271	Si
68	5,194	1,619	8,410	2,271	Si
69	5,194	1,619	8,410	2,271	Si
70	4,947	1,785	8,830	2,504	No
71	4,947	1,785	8,830	2,504	No
72	4,947	1,785	8,830	2,504	No
73	4,722	1,959	9,251	2,748	No
74	4,722	1,959	9,251	2,748	No
75	4,722	1,959	9,251	2,748	No
76	6,046	1,374	8,307	1,927	No
77	6,046	1,374	8,307	1,927	No
78	6,046	1,374	8,307	1,927	No
79	5,728	1,531	8,768	2,147	No
80	5,728	1,531	8,768	2,147	No
81	5,728	1,531	8,768	2,147	No
82	5,442	1,696	9,230	2,379	Si
83	5,442	1,696	9,230	2,379	Si
84	5,442	1,696	9,230	2,379	Si
85	5,183	1,870	9,691	2,623	No
86	5,183	1,870	9,691	2,623	No

87	5,183	1,870	9,691	2,623	No
88	4,947	2,052	10,153	2,878	No
89	4,947	2,052	10,153	2,878	No
90	4,947	2,052	10,153	2,878	No

Tabla 9. Relaciones L/B, B/D, L/D y B/T.

Las combinaciones número 52, 53, 54, 67, 68, 69, 82, 83 y 84 son las que cumplen los requerimientos antes descritos, por tanto se procederá al cálculo de costes para cada una de ellas con objeto de elegir la alternativa más económica.

Los costes que se evaluarán son los de construcción del buque. Dentro de estos costes se incluirán el coste del casco, el coste de los equipos a montar a bordo, y el coste de la maquinaria propulsora.

Para analizar estos costes se tomará como referencia el coste de la alternativa inicial y se calculará la variación del mismo para cada una de las alternativas. Esto se hará con la siguiente fórmula:

$$D(M)_{ijk} = cs \cdot d(PS)_{ijk} + cq \cdot d(BKW)_{ijk} + cr \cdot d(PER)_{ijk}$$

Dónde:

- cs: coeficiente de coste de la estructura montada
- $d(PS)_{ijk} = PS_{ijk} - PS_0$ es el incremento de peso estructural
- cq: coeficiente de coste de la maquinaria
- $d(BKW)_{ijk} = BKW_{ijk} - BKW_0$ es el incremento de potencia
- cr: coeficiente de coste del equipo restante
- $d(PER)_{ijk} = PER_{ijk} - PER_0$ es el incremento de pesos del resto de equipos

- Coeficiente de coste de la estructura montada (cs):

Se calcula con la expresión:

$$Cs = ccs \cdot cas \cdot cem \cdot ps + chm \cdot csh$$

Dónde:

- ccs: coeficiente de coste ponderado de las chapas y perfiles de las distintas calidades de acero. Se toma un valor de 1,10.
- cas: coeficiente de aprovechamiento de acero. Se toma 1,15
- cem: coeficiente de incremento por otros equipos metálicos. Se toma 1,10.
- ps: precio unitario del acero de referencia (450€/tn).
- chm: coste horario medio del astillero. Se toma 30€/h.
- csh: coeficiente de horas por unidad de peso o productividad del astillero. Se toma 50€/tn.

Con estos valores se obtiene un cs de 2.126€/Tn.

- Coeficiente de coste de la maquinaria (cq):

Coste de la maquinaria propulsora por unidad de potencia. Se toma un valor de 350€/Kw.

- Coeficiente de coste del equipo restante (cr):

Se calcula con la expresión:

$$cr = cpe \cdot cs$$

Dónde:

- cpe: coeficiente de comparación del coste del equipo restante con el coste del acero. Se toma 1,35.
- cs: coeficiente de coste de la estructura de acero montada. Se obtuvo un valor de 2.126€/tn.

Finalmente se obtiene un valor de “cr” igual a 2.870€/tn.

- Incremento de peso estructural (dPS):

Representa el valor del peso de la estructura en toneladas. Se obtiene con la siguiente fórmula:

$$PS = 1000 \cdot \left(\frac{L}{10}\right)^{1.3761} \cdot \left(\frac{B \cdot D}{100}\right)^{0.74495} \cdot (0.054244 - 0.0116919 \cdot Cb)$$

- Incremento de potencia (dBKW):

La potencia de cada alternativa será estimada mediante la fórmula de Almirantazgo. A partir de ese valor se calculará el coste aproximado tomando como referencia 350€ por KW instalado.

$$\text{Pot(KW)} = k \cdot (L \cdot B \cdot T \cdot 1.025)^{\frac{2}{3}} \cdot v^3$$

El valor del coeficiente de Almirantazgo “k” es igual para buques con carenas y velocidades de servicio similares. Por ello se estimará dicho valor a partir de los buques Elai-Alai, Txopituna y Sant Yago Uno, contenidos en la base de datos.

- $K_{\text{Elai-Alai}} = \text{Pot} / (L \cdot B \cdot T \cdot 1.025)^{\frac{2}{3}} \cdot v^3 = 2907 / (68.65 \cdot 13.8 \cdot 6.45 \cdot 1.025)^{\frac{2}{3}} \cdot 15.1^3 = 0.002485$
- $K_{\text{Txopituna}} = \text{Pot} / (L \cdot B \cdot T \cdot 1.025)^{\frac{2}{3}} \cdot v^3 = 3236 / (66.45 \cdot 13.6 \cdot 6.6 \cdot 1.025)^{\frac{2}{3}} \cdot 14.5^3 = 0.003174$
- $K_{\text{Sant Yago Uno}} = \text{Pot} / (L \cdot B \cdot T \cdot 1.025)^{\frac{2}{3}} \cdot v^3 = 3481 / (69.20 \cdot 13.5 \cdot 6.25 \cdot 1.025)^{\frac{2}{3}} \cdot 16.6^3 = 0.002308$

$$K_{\text{media}} = (K_{\text{Elai-Alai}} + K_{\text{Txopituna}} + K_{\text{Sant Yago Uno}}) / 3 = 0,002656$$

Se ha empleará un valor “k” de 0,002656.

Empleando la anterior expresión y el valor “k” obtenido, resulta la siguiente potencia preliminar:

$$\begin{aligned} \text{Pot(KW)} &= k \cdot (L \cdot B \cdot T \cdot 1.025)^{\frac{2}{3}} \cdot v^3 \\ &= 0.0026 \cdot (66,44 \cdot 13,43 \cdot 6,21 \cdot 1,025)^{\frac{2}{3}} \cdot 16,5^3 \\ &= 3811,347 \text{ kW} \end{aligned}$$

- Incremento de peso de los equipos restantes (dPER):

Se estimará el peso de todos los equipos instalados en el buque exceptuando el motor propulsor, con la siguiente fórmula:

$$PER = 0.045 \cdot L^{1.3} \cdot B^{0.8} \cdot D^{0.3}$$

CÁLCULOS COSTES DE LAS ALTERNATIVAS

Primeramente se calcularán los costes para la alternativa inicial y después para el resto de alternativas, con el fin de compararlas y elegir la más favorable. En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos.

Alternativa	PS	dPS	BKW	dBKW	PER	dPER	dM
<i>Inicial</i>	741,960	-	3811,347	-	161,620	-	-
52	737,989	-3,971	3798,161	-13,186	161,004	-0,615	-14824,27
53	736,253	-5,708	3798,161	-13,186	161,004	-0,615	-18515,55
54	734,516	-7,444	3798,161	-13,186	161,004	-0,615	-22206,84
67	757,809	15,849	3798,161	-13,186	169,054	7,435	50417,10
68	756,014	14,054	3798,161	-13,186	169,054	7,435	46601,51
69	754,219	12,259	3798,161	-13,186	169,054	7,435	42785,92
82	777,266	35,306	3798,161	-13,186	177,105	15,485	114886,77
83	775,414	33,454	3798,161	-13,186	177,105	15,485	110949,58
84	773,562	31,602	3798,161	-13,186	177,105	15,485	107012,39

Tabla 10. Variación de costes.

Se ve que la alternativa más económica desde el punto de vista de la construcción del buque es la correspondiente a la número 54.

ELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA

La alternativa definitiva será la número 54. Se hará un redondeo de dimensiones para facilitar el diseño y construcción del buque. Las dimensiones finales serán las siguientes:

L	Lpp	B	Dp	Ds	T
76,15	66,44	13,43	6,55	8.71	6,21

Tabla 11. Dimensiones finales.

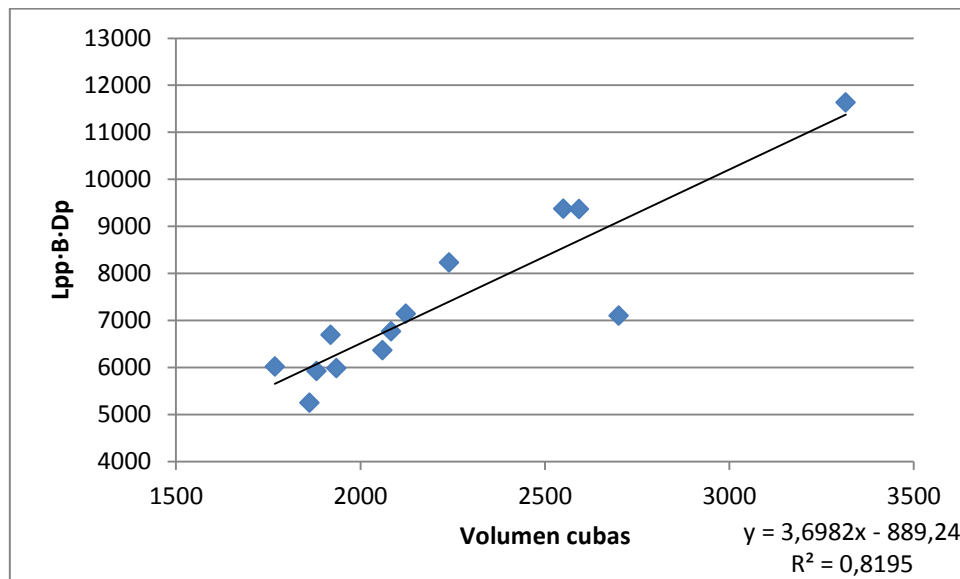
Los coeficientes obtenidos para esta alternativa son los siguientes:

Buque	Fr	Cp	Cm	Cb	Δ
<i>Proyecto</i>	0,332	0,525	0,976	0,512	2912,856

Tabla 12. Coeficientes finales.

Para verificar que esta opción es válida se comprobará el volumen de cubas para garantizar la capacidad de carga. En la siguiente gráfica de

dispersión se hace una regresión entre el volumen de cubas y el producto $L_{pp} \cdot B \cdot D_p$ de todos los buques base.



Utilizando la recta de regresión y el volumen de cubas requerido, obtenemos un valor de $L_{pp} \cdot B \cdot D_p$ mínimo igual a 5490 m^3 . Con las dimensiones finales, el valor obtenido es de $5964,65 \text{ m}^3$, por lo que daremos esta solución como válida.

ESTIMACIÓN DE PESOS

PESO EN ROSCA

El peso en rosca (PR) del buque estará compuesto por el peso del acero, el peso de la maquinaria, y el peso de los equipos restantes.

- Peso del acero

$$PS = 1000 \cdot \left(\frac{L}{10}\right)^{1.3761} \cdot \left(\frac{B \cdot D}{100}\right)^{0.74495} \cdot (0,054244 - 0,0116919 \cdot Cb)$$

$$PS = 734,516 \text{ Tn}$$

- Peso de la maquinaria

El peso de la maquinaria se puede estimar con la siguiente expresión:

$$P_{maquinaria} = \frac{BkW \cdot (895 - 0.0025 \cdot BkW)}{10000}$$

Se toma como valor de potencia al freno el obtenido anteriormente, mediante la fórmula de Almirantazgo. Resulta:

$$P_{maquinaria} = \frac{3811,347 \cdot (895 - 0.0025 \cdot 3811,347)}{10000} = 337,48 \text{ Tn}$$

- Peso de los equipos restantes

$$PER = 0.045 \cdot L^{1.3} \cdot B^{0.8} \cdot D^{0.3} = 161 \text{ Tn}$$

El peso en rosca obtenido es el siguiente:

$PR = PS + P_{maquinaria} + PER \approx 1233 \text{ Tn}$
--

PESO MUERTO

El peso muerto del buque (PM) estará compuesto por el peso de la carga, el peso de tanques para consumo, el peso de la tripulación y el peso de pertrechos.

- Peso de la carga

El buque está dimensionado para dar un volumen de carga útil igual a 1725 m³. Para este volumen, tomando como factor de estiba del atún 0,7 , se tendrá un peso de 1200 Tn.

- Consumos

Para el dimensionado de todos los tanques de consumo se ha partido de autonomía aproximada de 22 días. La condición de carga a tener en cuenta será la más desfavorable (35 % consumos y 80 % tanque estabilizador).

- Combustible

El cálculo de volumen de tanques de combustible se hará a partir

del consumo de un motor semirrápido de aproximadamente 4000 kW. El consumo por kW instalado en un motor de esas características ronda los 170 gr/kW·h. Obtenemos un peso de combustible de 359 Tn, que ocupará un volumen igual a 428,5 m³. El 35% de combustible son 125,65 Tn.

- Aceite

Se tendrá en cuenta el peso del aceite lubricante del motor principal, de los motores auxiliares, de la reductora, y el aceite hidráulico. Para la estimación de estos volúmenes de tanques se ha basado en los de un buque de capacidades y potencia similar, obteniendo los siguientes datos:

	Aceite MP	Aceite MMAA	Aceite reductora	Aceite hidráulico
Volumen[m3]	11.8	10.7	9.2	11.3
Peso [Tn]	10.85	9.84	8.46	10.39

Tabla 12. Capacidades tanques.

El peso final de aceite lubricante será de 39,6 Tn.

- Agua potable

El cálculo del volumen de tanques necesario de agua dulce potable se ha hecho a partir de la norma UNE-EN ISO 15748. Esta norma establece un consumo mínimo diario de 150 litros por persona para pesqueros. Para la autonomía requerida y una tripulación de 26 personas se necesitarán tanques para almacenar 85800 litros de agua dulce. El peso de esta agua es de 85,8 Tn. El 35% de agua potable son 30,03 Tn.

- Tanque estabilizador

Este tanque tendrá una capacidad de 90 m³. El peso del mismo será de 90 Tn al 100% de llenado y 72 Tn al 80%.

- Comida

Se considerará un consumo de 5 kg de comida al día por tripulante, lo que suma un peso total de 2,86 Tn.

$$\text{Peso total consumos} = 125,65 + 39,6 + 30,03 + 72 + 2,86 = 270,14 \text{ Tn}$$

- Peso de la tripulación

Se estimará un peso de 150 kg por tripulante. La tripulación está compuesta por 26 miembros, con lo que el peso de la tripulación asciende a 3,9 Tn.

- Peso de pertrechos

Se considerarán como pertrechos todos aquellos elementos no consumibles, que el Armador añade como necesidades adicionales del buque. Estos elementos son muy variables, por lo que se considerarán los datos de un buque muy similar, resultando:

- Una red de 35 Tn.
- Una panga de 20 Tn.
- Dos speed boats de 600 kg cada uno.
- 20 Tn de sal.

Peso total pertrechos = 35 + 20 + 1,2 + 20 = 76,2 Tn

El peso muerto obtenido es el siguiente:

$$PM = P_{\text{carga}} + P_{\text{consumos}} + P_{\text{tripulación}} + P_{\text{pertrechos}} = 1550,24 \text{ Tn}$$

DESPLAZAMIENTO

El desplazamiento obtenido después de la estimación de pesos será:

$$\Delta = PR + PM = 1233 + 1550,24 = 2783,24 \text{ Tn}$$

Se observa que este desplazamiento es sensiblemente menor al que corresponde con la alternativa elegida, que correspondía con 2912,85 Tn.

Esto conlleva a que el buque dispone de un margen para llevar más carga, o bien se podrá disminuir el calado y aumentar con ello la reserva de flotabilidad.

CÁLCULO PRELIMINAR DE FRANCOBORDO

A partir de los datos obtenidos anteriormente, se hará un cálculo aproximado del francobordo, con el fin de garantizar la reserva de flotabilidad del buque.

A continuación se incluyen los datos de partida a la hora de realizar el cálculo, acorde al Convenio Internacional de Líneas de Carga de 1966.

- Eslora de francobordo:
 - $L_{f85\%} = 70,133 \text{ m.}$
 - $L_1 = 0,96 \cdot L_{f85\%} = 0,96 \cdot 70,133 = 67,327 \text{ m.}$
 - $L_2 = L_{pp85\%} = 66,596 \text{ m.}$

La eslora de francobordo corresponde con la mayor de las anteriores, $L=67,33 \text{ m.}$

- Manga de francobordo: 13,43 m.
- Puntal de trazado: 6,55 m.
- Puntal de francobordo:
 - $D_f = D_{\text{trazado}} + t_{\text{trancanil}} = 6,55 + 0,009 = 6,559 \text{ m.}$
- Puntal de la cubierta resistente: 8,71 m.
- Coeficiente de bloque:
 - $Cb_{85\% Dfb} = \Delta_{85\% Dfb} / (L \cdot B \cdot D_{85\%}) = (2191,8 / (67,327 \cdot 13,43 \cdot 5,575)) = 0,435$
- Altura de la superestructura: 2,56 m.
- Longitud de la superestructura: 67,327 m.

En base a estos datos, el convenio ofrece un francobordo tabular de 670,2 mm. $\approx 670 \text{ mm.}$ Este francobordo sufrirá una serie de correcciones también contempladas en el convenio.

- Corrección por coeficiente de bloque:
 - $0,435 < 0,68$. No hay corrección.
- Corrección por puntal:
 - $L / 15 = 67,327 / 15 = 4,48 \text{ m.} < 6,559 \text{ m}$
 - $R = L / 6,48$ (para $L < 120 \text{ m.}$)
 - $(D - L / 15) \cdot R = (6,559 - 67,327 / 15) = 290,42 \approx 291 \text{ mm.}$ (Aumenta).
- Corrección por altura normal de superestructuras:
 - $A_N = 1,8 \text{ m.} < 2,56 \text{ m.}$ No hay corrección.
- Reducción por superestructuras y troncos:

24 m	350 mm
67,327 m	X
85 m	860 mm

Se obtiene una reducción de 712 mm.

- Corrección por arrufo
 - $Z = 2,16 - 1,8 = 0,76 \text{ m.} = 360 \text{ mm.}$
 - $S = (y \cdot L') / 3L$
 - $S = (360 \cdot 0,5 \cdot 67,327) / (3 \cdot 67,327) = 60 \text{ mm.}$
 - Arrufo normal:

<i>Popa</i>	Ppp	811	1	811
	1/6 L	360,1	3	1080,3
	1/3 L	90,8	3	272,4
	1/2 L	0	1	0
<i>Proa</i>	1/2 L	0	1	0
	1/3 L	181,7	3	545,1
	1/6 L	720,2	3	2160,6
	Ppr	1622,1	1	1622,1

○ Arrufo real:

El arrufo real se hará teniendo en cuenta la Regla 38, apartado 5 del convenio, los buques con superestructura que se extienda sobre toda la longitud de la cubierta de francobordo, el arrufo se medirá en la cubierta de la superestructura.

Popa	Ppp	800	1	800
	1/6 L	159,84	3	479,52
	1/3 L	39,96	3	119,88
	1/2 L	0	1	0
Proa	1/2 L	0	1	0
	1/3 L	39,96	3	119,88
	1/6 L	159,84	3	479,52
	Ppr	860	1	860

○ Diferencia entre arrufo real y normal:

▪ En popa

Arrufo real – Arrufo normal = 1399,4 – 2163,7 = -764,3 mm.

Defecto popa = - 764,3 / 8 = - 95,54 mm.

▪ En proa

Arrufo real – Arrufo normal = 1459,4 – 4327,8 = - 2868,4 mm.

Defecto en proa = - 2868,4 / 8 = - 358,55 mm.

▪ Defecto de arrufo total

(Defecto popa + Defecto proa) / 2 =

= (-95,54 - 358,55) / 2 = -227,05 mm.

○ Corrección por arrufo:

▪ Corrección = Defecto · (0,75 – S / 2L) =

= - 227,05 · (0,75 – 67,327 / (2 · 67,327)) = - 56,76 mm.

Finalmente se obtiene el siguiente francobordo mínimo:

FB tabular	671 mm.
Corrección por puntal	+ 291 mm.
Corrección superestructuras	- 712 mm.
Corrección por arrufo	+ 56,76 mm.
<i>FB final</i>	<i>307 mm.</i>

Se comprobará el cumplimiento de altura mínima en proa, acorde al convenio antes citado:

$$Fb = \left(6075 \cdot \left(\frac{L}{100} \right) - 1875 \cdot \left(\frac{L}{100} \right)^2 + 200 \cdot \left(\frac{L}{100} \right)^3 \right) \cdot \left(2,08 + 0,609 \cdot Cb - 1,603 \cdot Cwf - 0,0129 \cdot \left(\frac{L}{d1} \right) \right)$$

Dónde:

- L = 67,327 m.
- B = 13,43 m.
- d1 = 6,55 m.
- Cb = 0,435
- Cwf = Awf / (L/2 · B) = 266,22 / (67,327/2 · 13,43) = 0,59

$$Fb = \left(6075 \cdot \left(\frac{67,327}{100} \right) - 1875 \cdot \left(\frac{67,327}{100} \right)^2 + 200 \cdot \left(\frac{67,327}{100} \right)^3 \right) \cdot \left(2,08 + 0,609 \cdot 0,435 - 1,603 \cdot 0,59 - 0,0129 \cdot \left(\frac{67,327}{6,55} \right) \right)$$

$$= 4191,74 \text{ mm.}$$

El buque dispone de una altura real aproximada 5 metros, por lo que cumple con la altura requerida.