



ESCOLA POLITÉCNICA SUPERIOR DE FERROL
GRADO EN INGENIERÍA NAVAL EN PROPULSIÓN Y
SERVICIOS

PROYECTO FIN DE GRADO

CUADERNO 1
“Dimensionamiento”

PROY. Nº: 15106P

TÍTULO: **BUQUE TANQUE VOLGA-DON MAX DE PRODUCTOS
PETROLÍFEROS Y QUIMIQUERO TIPO II**

AUTOR: **ÁLVARO LARRAÑAGA DOPICO**
TUTOR: **RÁUL VILLA CARO**

FECHA: **DICIEMBRE 2015**

Fdo.: **Álvaro Larrañaga Dopico**

Fdo.: **Rául Villa Caro**

ÍNDICE

1.1 RPA	4
1.2 BUQUES DE REFERENCIA	5
1.3 DIMENSIONAMIENTO PRELIMINAR	5
1.3.1 DIMENSIONAMIENTO A PARTIR DE LOS BUQUES DE REFERENCIA	6
1.3.1.1 ESTIMACIÓN DE LA ESLORA	6
1.3.1.2 ESTIMACIÓN DE LA MANGA	7
1.3.1.3 ESTIMACIÓN DEL CALADO	7
1.3.1.4 ESTIMACIÓN DEL PUNTAL	10
1.3.1.5 ESTIMACIÓN DEL DESPLAZAMIENTO	10
1.3.2 RESUMEN DE DIMENSIONES OBTENIDAS	12
1.4 GENERACIÓN DE LA ALTERNATIVA MÁS FAVORABLE	12
1.4.1 LÍMITE DE LOS BUQUES ALTERNATIVA	14
1.4.2 GENERACIÓN DE ALTERNATIVAS	14
1.5 CÁLCULOS PREVIOS	19
1.5.1 COEFICIENTE DE BLOQUE (CB)	19
1.5.2 COEFICIENTE DE LA SECCIÓN MEDIA (CM)	20
1.5.3 COEFICIENTE PRISMÁTICO LONGITUDINAL (Cp)	21
1.5.4 COEFICIENTE DE LA FLOTACIÓN (CWP)	21
1.5.5 ESTIMACIÓN DE LA POTENCIA PROPULSORA	21
1.5.6 ESTIMACIÓN DEL PESO EN ROSCA	21
1.5.6.1 PESO DE LA ESTRUCTURA DEL ACERO	22
1.5.6.2 PESO DE MAQUINARIA PROPULSORA Y AUXILIAR	23
1.5.6.3 PESO MUERTO	26
1.6 CIFRA DE MÉRITO	29
1.7 DIMENSIONES FINALES	34
1.8 ESTIMACIÓN DEL FRANCOBORDO	34

1.9 CÁLCULO PRELIMINAR DE POTENCIA	37
BIBLIOGRAFIA	38



DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA NAVAL Y OCEÁNICA

TRABAJO FIN DE GRADO

CURSO 2.014-2015

PROYECTO NÚMERO 15 106P

TIPO DE BUQUE: BUQUE TANQUE VOLGA –DON MAX DE Y PRODUCTOS PETROLIFEROS Y QUIMQUERO TIPO 2

CLASIFICACIÓN, COTA Y REGLAMENTOS DE APLICACIÓN : RMR. SOLAS. MARPOL. VOLGA&DON RIVER RULES AND MEDITERRANEAN TRADES

CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA: Productos de petróleo y productos químicos 32.000 BLS . Tanque LPG 250 m3 en cubierta

VELOCIDAD Y AUTONOMÍA: 11,5 nudos en condiciones de servicio. 90 % MCR+ 15% de margen de mar. 4.500 millas a la velocidad de servicio.

SISTEMAS Y EQUIPOS DE CARGA / DESCARGA: Bombas de carga y descarga de pozo profundo en cada tanque. Calefacción en tanques de carga.

PROPULSIÓN: De acuerdo con proyecto

TRIPULACIÓN Y PASAJE: 15 Personas en camarotes individuales.

OTROS EQUIPOS E INSTALACIONES: Los habituales en este tipo de buques.

Ferrol, 27 DE JUNIO DE 2.015

ALUMNO: D. ALVARO LARAÑAGA DOPICO

1.2. BUQUES DE REFERENCIA

Para la realización de este proyecto preliminar va a ser de gran ayuda el conocimiento de las características de otros buques similares al que se pretende diseñar para poder realizar primeras estimaciones de valores y dimensiones que a lo largo del proyecto se irán afinando. En el *Anexo 1* se adjuntan unas fichas con las características principales de los buques que se han seleccionado para formar la base de datos que en total consta de 10 buques.

A continuación se muestra una tabla con las dimensiones de éstos y algunas relaciones:

nombre	referencia	PM	L	B(m)	D (m)	T	vel (kn)	PM ^{^1/3}	L/B	B/T	T/D	L/D
Proyecto1	Norden shipdesignhouse	3800,00	134,44	16,50	6,00	3,50		15,60	8,15	4,71	0,58	22,41
"Volgo don 125"	Marine traffic	5000,00	138,30	16,70		3,10	7,00	17,10	8,28	5,39		
Proyecto2	Norden shipdesignhouse	5000,00	139,70	16,60	6,00	3,60	11,00	17,10	8,42	4,61	0,60	23,28
"RST22M"	Marine engineering bureau	4706,00	139,95	16,60	6,00	3,60	10,50	16,76	8,43	4,61	0,60	23,33
"Akhmat Kadirov"	Marine engineering bureau	4938,00	138,74	16,50	6,00	3,60		17,03	8,41	4,58	0,60	23,12
"Shofket Alikperova"	Marine engineering bureau	4706,00	139,95	16,60	6,00	3,60	11,50	16,76	8,43	4,61	0,60	23,33
"Vladimir Zakharenko"	Encyclopedia of safety	4520,00	139,95	16,70	6,00	3,60	11,50	16,53	8,38	4,64	0,60	23,33
"Neva-Leader 3 "	Encyclopedia of safety	4520,00	139,95	16,70	6,00	3,60	11,50	16,53	8,38	4,64	0,60	23,33
"Volgo don 213"	Marine traffic	5657,00	138,30	16,70	6,00	3,80	8,50	17,82	8,28	4,39	0,63	23,05
"Project RST27 "	Encyclopedia of safety	5428,00	140,85	16,60	6,00	3,60	10,00	17,57	8,48	4,61	0,60	23,48

Tabla 1 – Base de datos de buques similares

1.3. DIMENSIONAMIENTO PRELIMINAR

Como en las RPA no nos dan las toneladas de peso muerto, sino que nos dan los barriles de crudo que puede transportar, procedemos a calcular los DWT de nuestro buque de forma aproximada. En fases iniciales del proyecto consideramos que L_{pp} es igual a L total.

1 BLS 158,98 L

32000 BLS X X = 5087360 L

483292 KG 4832,992 Ton

Tanque de gas en cubierta

250 m³ 250000 L 145000 KG 145 Ton

LPG densidad 0,58 kg/l

4977,992 5000 DWT

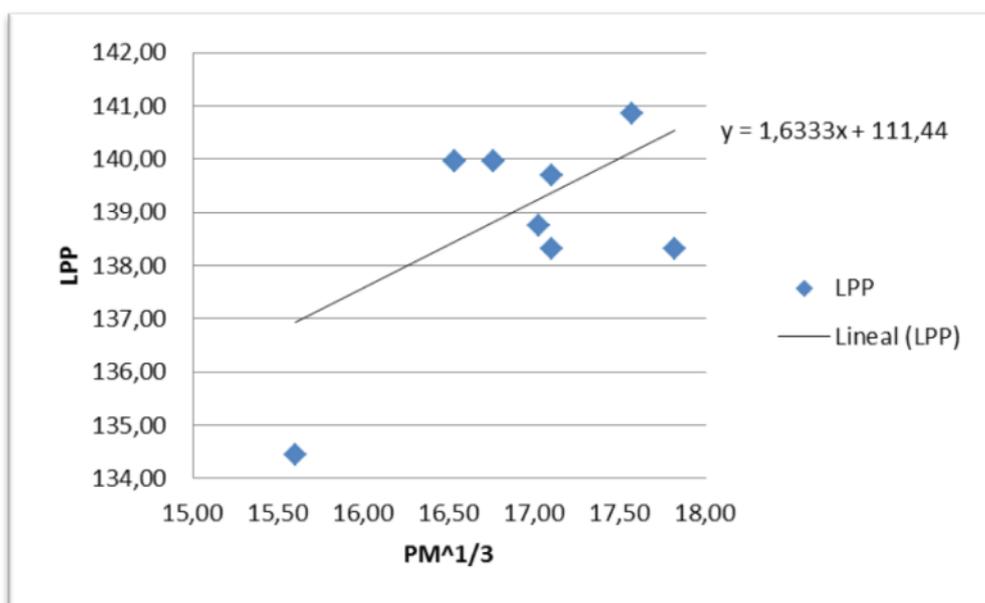
Obtenemos que más o menos las toneladas de peso muerto de nuestro buque rondan las 5000 DWT, es un valor aproximado pero como veremos más adelante es un valor que entra dentro de los límites en la lista de buques de referencia.

1.3.1 DIMENSIONAMIENTO A PARTIR DE LOS BUQUES DE REFERENCIA

1.3.1.1 ESTIMACION DE LA ESLORA

El valor de la eslora se obtiene a partir de una recta de tendencia trazada a partir de los valores de las esloras de los buques de referencia frente a sus respectivos pesos muertos elevados a 1/3.

El gráfico que se obtiene es el siguiente:



Introduciendo el valor del peso muerto del proyecto a desarrollar en la ecuación de la recta de tendencia se obtiene el siguiente valor para la Eslora:

$$PM = 5000 \text{ tn}$$

$$5000/3 = 17,1$$

$$L = 1,6333 \cdot 17,1 + 111,44 = \mathbf{139,37 \text{ m}}$$

1.3.1.2 ESTIMACIÓN DE LA MANGA

De los buques de referencia se observa que, todos ellos tienen en torno a la manga máxima permitida por el canal Volga don y su reglamentación.

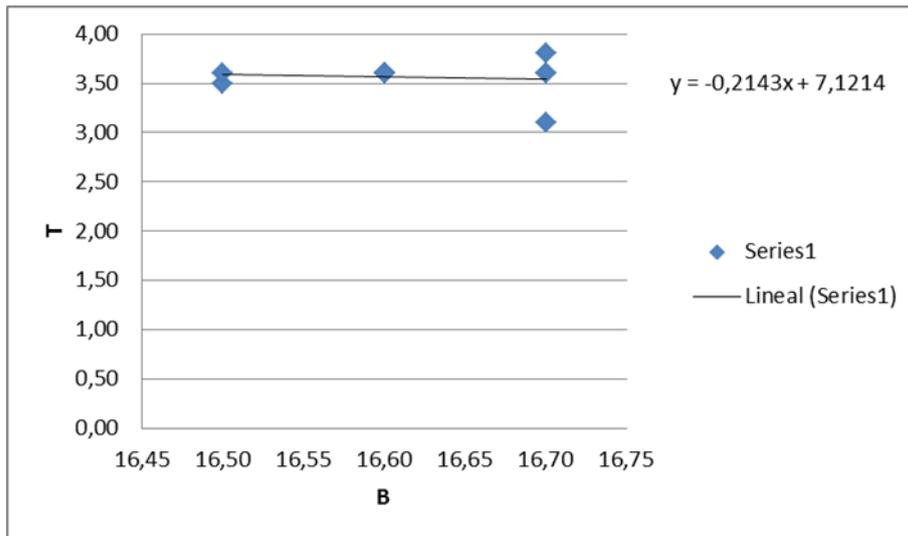
Por lo tanto consideraremos una manga de:

$$B = \mathbf{16,60\text{m}}$$

1.3.1.3 ESTIMACIÓN DEL CALADO

El valor estimado del calado se obtendrá como media aritmética de los calados obtenidos utilizando tres gráficos diferentes.

En primer lugar se representan los calados frente a las mangas:

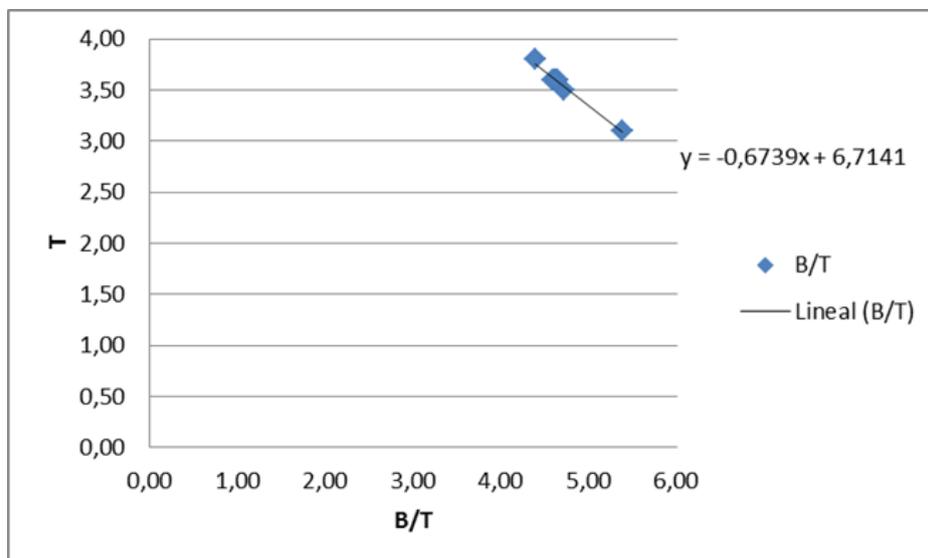


Introduciendo el valor de la manga deducida en el apartado anterior en la ecuación de la recta de tendencia se obtiene el siguiente valor para el calado:

$$B = 16,6m$$

$$T1 = - 0,2143 \cdot 16,6 + 7,1214 = 3,56m$$

Se representan ahora los calados frente a las relaciones B/T:



Con el valor de la manga ya conocido y el calado T1 que se acaba de calcular, se obtiene la relación B/T, que es:

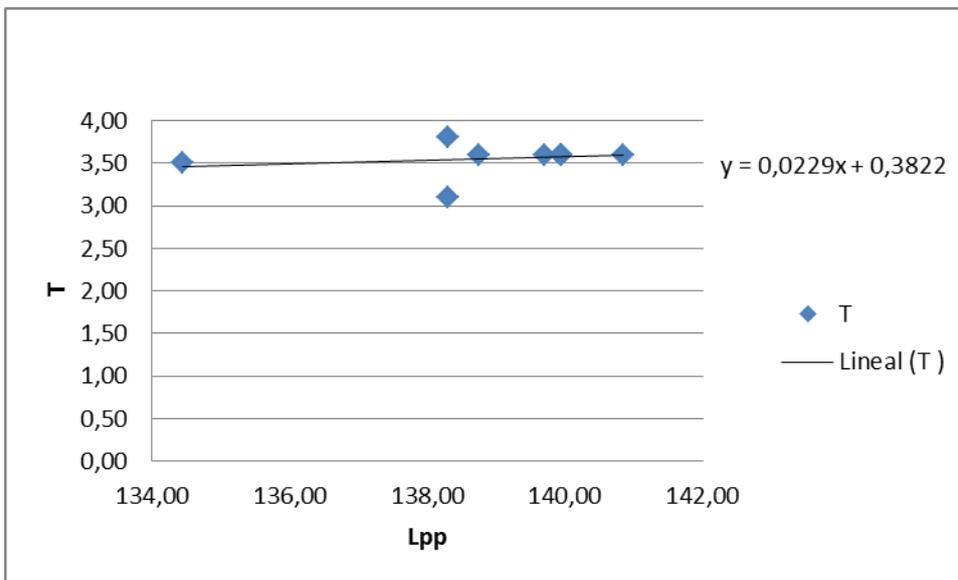
$$B / T = 16,6 / 3,56 = 4,66$$

Se sustituye este valor en la ecuación de la recta de regresión y se obtiene el siguiente valor para el calado T2:

$$T2 = -0,6739 \cdot (B / T) + 6,7141$$

$$T2 = -0,6739 \cdot 4,66 + 6,7141 = \mathbf{3,57m}$$

Por último se representan los calados frente a las esloras:



Introduciendo el valor conocido de la Lpp en la recta de tendencia obtenida en el gráfico y se obtiene el próximo valor para el calado:

$$Lpp = 139,37m$$

$$T3 = 0,0229 \cdot 139,37 + 0,3822 = 3,57 \text{ m}$$

Por tanto, el calado final se obtiene como media aritmética de los calados T1, T2 y T3:

$$T = (T1 + T2 + T3) / 3 = \mathbf{3,60 \text{ m}}$$

1.3.1.4 ESTIMACIÓN DEL PUNTAL

El puntal de nuestro barco consideraremos 6 m ya que todos los buques de referencia volga don max tienen 6 metros de puntal.

$$D = 6 \text{ m}$$

1.3.1.4 ESTIMACIÓN DEL DESPLAZAMIENTO

El cálculo del desplazamiento se puede calcular de la siguiente fórmula:

$$\Delta = \rho \cdot Lpp \cdot B \cdot T \cdot CB$$

Se va a necesitar el coeficiente de bloque que aún no se ha calculado. Se obtendrá aplicando dos fórmulas diferentes y haciendo su media aritmética:

Fórmula de Townsin:

$$CB = 0,7 + 0,125 \cdot \text{atan}(25 \cdot 0,23 - Fn)$$

Se necesita también el valor del número de Froude (Fn), cuya expresión es:

$$Fn = \frac{V}{\sqrt{g \cdot L}}$$

$$Fn = \frac{5,6589}{\sqrt{9,8 \cdot 139,37}} = \mathbf{0,153}$$

$$CB = 0,7 + 0,125 \cdot \text{atan}(25 \cdot 0,23 - Fn)$$

$$CB_1 = 0,7 + 0,125 \cdot \text{atan}(25 \cdot 0,23 - 0,153) = \mathbf{0,837}$$

Fórmula de Katsoulis:

A través de la fórmula expuesta de Katsoulis, con las dimensiones básicas del buque y un factor de corrección f de valor dado por el tipo de buque. En el caso de buques petroleros, su valor es de 0,99.

$$CB = 0,8217 \cdot f \cdot Lpp^{0,42} \cdot B^{-0,3072} \cdot T^{0,1721} \cdot V^{-0,6135}$$

$$CB_2 = 0,8217 \cdot 0,99 \cdot 139,37^{0,42} \cdot 16,6^{-0,3072} \cdot 3,60^{0,1721} \cdot 11,5^{-0,6135} = \mathbf{0,760}$$

Fórmula de Kerlen:

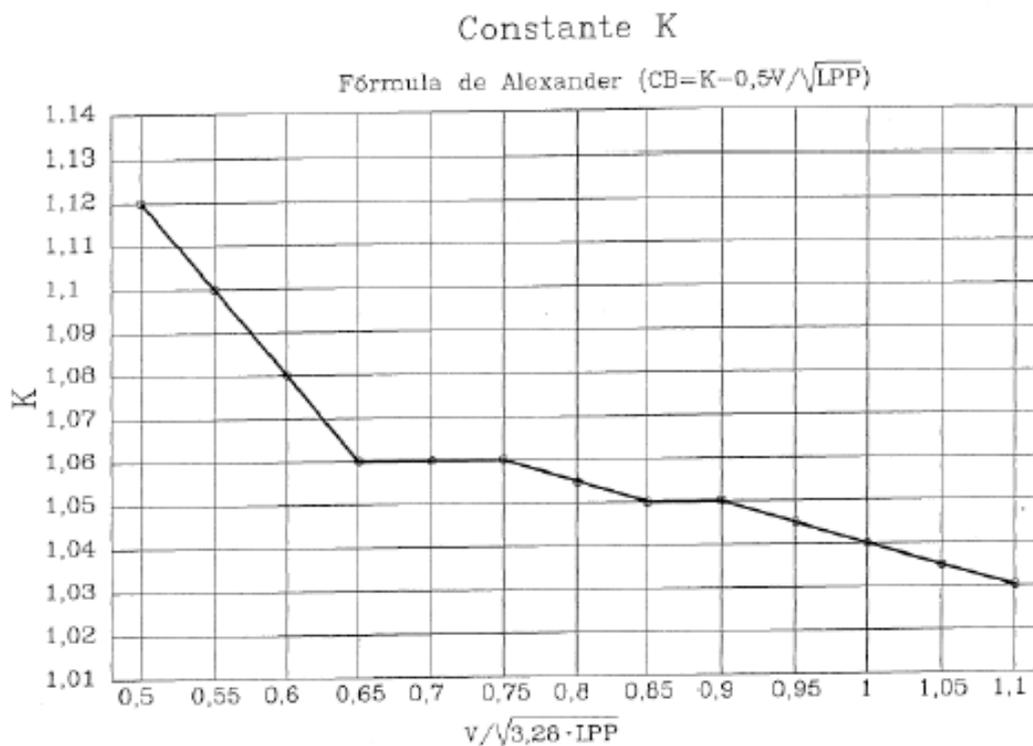
Se dispone de una fórmula para buques llenos de $CB > 0,78$

$$CB = 1,179 - 2,026 \cdot Fn$$

$$CB_3 = 1,179 - 2,026 \cdot 0,153 = 0,808$$

Fórmula de Alexander:

La fórmula de Alexander se basa en la aplicación de una constante K en una fórmula directamente proporcional a la velocidad del buque e inversamente proporcional a su eslora. La constante K cogerá valores de 1,03 para buques rápidos y 1,12 para buques lentos. Para dar mayor precisión a su valor, pueden hacerse mediante la gráfica expuesta a continuación o despejando el valor de la misma de un buque de características similares.



Entrando en la gráfica, el valor de la constante K de nuestro buque es de 1,08

$$K = 1,08$$

$$CB = K - 0,5 \cdot \frac{V}{(3,28 \cdot Lpp)^{0,5}}$$

$$CB_4 = 1,08 - 0,5 \cdot \frac{11,5}{(3,28 \cdot 139,37)^{0,5}} = 0,811$$

Realizando la media de todos los CB calculados obtenemos el valor medio del coeficiente de bloque

$$CB_{media} = \frac{CB_1 + CB_2 + CB_3 + CB_4}{4}$$

$$CB_{media} = \frac{0,837+0,760+0,808+0,811}{4} = 0,804$$

Finalmente calculamos el desplazamiento de nuestro buque:

$$\Delta = \rho \cdot Lpp \cdot B \cdot T \cdot CB$$

$$\Delta = 1,025 \cdot 139,37 \cdot 16,6 \cdot 3,60 \cdot 0,804 = 6863.724 \text{ Ton}$$

1.3.2 RESUMEN DE LAS DIMENSIONES

En la siguiente tabla mostramos los resultados obtenidos hasta el momento:

L	139,37 m
B	16,6 m
D	6 m
T	3,6 m
Δ	6863,724 T
Fn	0,153
V	11,5 knots

Tabla 2 – Dimensiones principales preliminares

1.4 GENERACIÓN DE LA ALTERNATIVA MÁS FAVORABLE

En este apartado trataremos de buscar el buque cuya construcción sea mas económica, entre las diferentes alternativas generadas a partir de una serie de parámetros y características definidas por el armador.

Se estudian una serie de alternativas para conocer cuáles son las dimensiones en función de la cifra de mérito que en este caso es el coste de construcción.

El proceso a seguir consiste en calcular una serie de alternativas de las dimensiones preliminares mediante variación sistemática de sus parámetros fundamentales, como son las dimensiones principales y los coeficientes. A cada una de estas alternativas se le calculara el coste de construcción y se elegirá aquella que cumpliendo todos los criterios técnicos presentes el menor coste de construcción.

Las alternativas se obtienen de las dimensiones preliminares con incremento del 3% de la siguiente manera:

-Eslora:

$$L_i = l_i \cdot L_0$$

L_i : 0,91 – 0,94 – 0,97 – 1,00 – 1,03 – 1,06 – 1,09

-Manga:

$$B_{ij} = b_{ij} \cdot b_0$$

B_{ij} : 0,91 – 0,94 – 0,97 – 1,00 – 1,03 – 1,06 – 1,09

-Puntal:

$$D_{ij} = \frac{L_0 \cdot B_0}{L_i \cdot B_{ij}} \cdot D_0$$

-Calado

$$T_{ij} = \frac{L_0 \cdot B_0}{L_i \cdot B_{ij}} \cdot T_0$$

1.4.1 LÍMITES DE LOS BUQUES ALTERNATIVA

De todas las opciones posibles, se considerarán aquellas que cumplan una serie de criterios que describen a continuación:

	Mín	Máx
L/B	8,148	8,485
B/T	4,395	5,387
T/D	0,517	0,633
L/D	22,407	23,475

Tabla 3 – Limitaciones de la base de datos

Existen tres restricciones más, debido a que el buque pasa por el Canal Volga-Don:

L máx	140,00 m
B máx	16,60 m
T máx	3,60 m

Tabla 4 – Limitaciones Canal Volga-Don

El calado máximo en la esclusa más pequeña es de 3,50 metros pero en nuestra base de datos tenemos las características para 3,60 metros así que suponemos que el calado máximo es 3,60. En la realidad tendríamos que reducir en 10 cm el calado que sería algo muy fácil como reducir el peso de la carga.

Las alternativas obtenidas son las que se muestran a continuación, de las cuales se indican aquellas que cumplen o no con las limitaciones explicadas anteriormente:

1.4.2 GENERACION DE ALTERNATIVAS

	C. Volga-Don	C. Volga-Don			C. Volga-Don	Min	8,148	Min	4,395	Min	0,517	Min	22,407	Min
	140	16,6			3,6	Max	8,485	Max	5,387	Max	0,633	Max	23,475	Max
Alt	Lpp	B	CONDICION B	D	T	CONDICION T	L/B	CONDICION L/B	B/T	CONDICION B/T	T/D	CONDICION T/D	L/D	CONDICION L/D
1	126,8267	15,1060	VÁLIDO	7,2455	4,3473	NO VÁLIDO	8,3958	VÁLIDO	3,4748	NO VÁLIDO	0,6000	VÁLIDO	17,5042	NO VÁLIDO
2	126,8267	15,6040	VÁLIDO	7,0143	4,2086	NO VÁLIDO	8,1278	NO VÁLIDO	3,7077	NO VÁLIDO	0,6000	VÁLIDO	18,0813	NO VÁLIDO
3	126,8267	16,1020	VÁLIDO	6,7973	4,0784	NO VÁLIDO	7,8765	NO VÁLIDO	3,9481	NO VÁLIDO	0,6000	VÁLIDO	18,6583	NO VÁLIDO
4	126,8267	16,6000	VÁLIDO	6,5934	3,9560	NO VÁLIDO	7,6402	NO VÁLIDO	4,1961	NO VÁLIDO	0,6000	VÁLIDO	19,2354	NO VÁLIDO
5	126,8267	17,0980	NO VÁLIDO	6,4014	3,8408	NO VÁLIDO	7,4176	NO VÁLIDO	4,4517	VÁLIDO	0,6000	VÁLIDO	19,8124	NO VÁLIDO
6	126,8267	17,5960	NO VÁLIDO	6,2202	3,7321	NO VÁLIDO	7,2077	NO VÁLIDO	4,7148	VÁLIDO	0,6000	VÁLIDO	20,3895	NO VÁLIDO
7	126,8267	18,0940	NO VÁLIDO	6,0490	3,6294	NO VÁLIDO	7,0093	NO VÁLIDO	4,9854	VÁLIDO	0,6000	VÁLIDO	20,9666	NO VÁLIDO
8	131,0078	15,1060	VÁLIDO	7,0143	4,2086	NO VÁLIDO	8,6726	NO VÁLIDO	3,5894	NO VÁLIDO	0,6000	VÁLIDO	18,6773	NO VÁLIDO
9	131,0078	15,6040	VÁLIDO	6,7904	4,0742	NO VÁLIDO	8,3958	VÁLIDO	3,8299	NO VÁLIDO	0,6000	VÁLIDO	19,2931	NO VÁLIDO
10	131,0078	16,1020	VÁLIDO	6,5804	3,9482	NO VÁLIDO	8,1361	NO VÁLIDO	4,0783	NO VÁLIDO	0,6000	VÁLIDO	19,9088	NO VÁLIDO
11	131,0078	16,6000	VÁLIDO	6,3830	3,8298	NO VÁLIDO	7,8920	NO VÁLIDO	4,3344	NO VÁLIDO	0,6000	VÁLIDO	20,5246	NO VÁLIDO
12	131,0078	17,0980	NO VÁLIDO	6,1971	3,7182	NO VÁLIDO	7,6622	NO VÁLIDO	4,5984	VÁLIDO	0,6000	VÁLIDO	21,1403	NO VÁLIDO
13	131,0078	17,5960	NO VÁLIDO	6,0217	3,6130	NO VÁLIDO	7,4453	NO VÁLIDO	4,8702	VÁLIDO	0,6000	VÁLIDO	21,7560	NO VÁLIDO
14	131,0078	18,0940	NO VÁLIDO	5,8559	3,5136	VÁLIDO	7,2404	NO VÁLIDO	5,1498	VÁLIDO	0,6000	VÁLIDO	22,3718	NO VÁLIDO
15	135,1889	15,1060	VÁLIDO	6,7973	4,0784	NO VÁLIDO	8,9494	NO VÁLIDO	3,7039	NO VÁLIDO	0,6000	VÁLIDO	19,8885	NO VÁLIDO
16	135,1889	15,6040	VÁLIDO	6,5804	3,9482	NO VÁLIDO	8,6637	NO VÁLIDO	3,9521	NO VÁLIDO	0,6000	VÁLIDO	20,5442	NO VÁLIDO
17	135,1889	16,1020	VÁLIDO	6,3769	3,8261	NO VÁLIDO	8,3958	VÁLIDO	4,2084	NO VÁLIDO	0,6000	VÁLIDO	21,1999	NO VÁLIDO
18	135,1889	16,6000	VÁLIDO	6,1856	3,7113	NO VÁLIDO	8,1439	NO VÁLIDO	4,4728	VÁLIDO	0,6000	VÁLIDO	21,8555	NO VÁLIDO
19	135,1889	17,0980	NO VÁLIDO	6,0054	3,6032	NO VÁLIDO	7,9067	NO VÁLIDO	4,7452	VÁLIDO	0,6000	VÁLIDO	22,5112	VÁLIDO
20	135,1889	17,5960	NO VÁLIDO	5,8354	3,5013	VÁLIDO	7,6829	NO VÁLIDO	5,0256	VÁLIDO	0,6000	VÁLIDO	23,1669	VÁLIDO
21	135,1889	18,0940	NO VÁLIDO	5,6748	3,4049	VÁLIDO	7,4715	NO VÁLIDO	5,3141	VÁLIDO	0,6000	VÁLIDO	23,8225	NO VÁLIDO
22	139,3700	15,1060	VÁLIDO	6,5934	3,9560	NO VÁLIDO	9,2261	NO VÁLIDO	3,8185	NO VÁLIDO	0,6000	VÁLIDO	21,1378	NO VÁLIDO
23	139,3700	15,6040	VÁLIDO	6,3830	3,8298	NO VÁLIDO	8,9317	NO VÁLIDO	4,0744	NO VÁLIDO	0,6000	VÁLIDO	21,8346	NO VÁLIDO
24	139,3700	16,1020	VÁLIDO	6,1856	3,7113	NO VÁLIDO	8,6554	NO VÁLIDO	4,3386	NO VÁLIDO	0,6000	VÁLIDO	22,5315	VÁLIDO

25	139,3700	16,6000	VÁLIDO	6,0000	3,6000	VÁLIDO	8,3958	VÁLIDO	4,6111	VÁLIDO	0,6000	VÁLIDO	23,2283	VÁLIDO
26	139,3700	17,0980	NO VÁLIDO	5,8252	3,4951	VÁLIDO	8,1512	VÁLIDO	4,8919	VÁLIDO	0,6000	VÁLIDO	23,9252	NO VÁLIDO
27	139,3700	17,5960	NO VÁLIDO	5,6604	3,3962	VÁLIDO	7,9206	NO VÁLIDO	5,1810	VÁLIDO	0,6000	VÁLIDO	24,6220	NO VÁLIDO
28	139,3700	18,0940	NO VÁLIDO	5,5046	3,3028	VÁLIDO	7,7026	NO VÁLIDO	5,4785	NO VÁLIDO	0,6000	VÁLIDO	25,3189	NO VÁLIDO
29	143,5511	15,1060	VÁLIDO	6,4014	3,8408	NO VÁLIDO	9,5029	NO VÁLIDO	3,9330	NO VÁLIDO	0,6000	VÁLIDO	22,4251	VÁLIDO
30	143,5511	15,6040	VÁLIDO	6,1971	3,7182	NO VÁLIDO	9,1996	NO VÁLIDO	4,1966	NO VÁLIDO	0,6000	VÁLIDO	23,1644	VÁLIDO
31	143,5511	16,1020	VÁLIDO	6,0054	3,6032	NO VÁLIDO	8,9151	NO VÁLIDO	4,4688	VÁLIDO	0,6000	VÁLIDO	23,9037	NO VÁLIDO
32	143,5511	16,6000	VÁLIDO	5,8252	3,4951	VÁLIDO	8,6477	NO VÁLIDO	4,7494	VÁLIDO	0,6000	VÁLIDO	24,6429	NO VÁLIDO
33	143,5511	17,0980	NO VÁLIDO	5,6556	3,3933	VÁLIDO	8,3958	VÁLIDO	5,0387	VÁLIDO	0,6000	VÁLIDO	25,3822	NO VÁLIDO
34	143,5511	17,5960	NO VÁLIDO	5,4955	3,2973	VÁLIDO	8,1582	VÁLIDO	5,3365	VÁLIDO	0,6000	VÁLIDO	26,1215	NO VÁLIDO
35	143,5511	18,0940	NO VÁLIDO	5,3443	3,2066	VÁLIDO	7,9336	NO VÁLIDO	5,6428	NO VÁLIDO	0,6000	VÁLIDO	26,8608	NO VÁLIDO
36	147,7322	15,1060	VÁLIDO	6,2202	3,7321	NO VÁLIDO	9,7797	NO VÁLIDO	4,0476	NO VÁLIDO	0,6000	VÁLIDO	23,7504	NO VÁLIDO
37	147,7322	15,6040	VÁLIDO	6,0217	3,6130	NO VÁLIDO	9,4676	NO VÁLIDO	4,3188	NO VÁLIDO	0,6000	VÁLIDO	24,5334	NO VÁLIDO
38	147,7322	16,1020	VÁLIDO	5,8354	3,5013	VÁLIDO	9,1748	NO VÁLIDO	4,5989	VÁLIDO	0,6000	VÁLIDO	25,3164	NO VÁLIDO
39	147,7322	16,6000	VÁLIDO	5,6604	3,3962	VÁLIDO	8,8995	NO VÁLIDO	4,8878	VÁLIDO	0,6000	VÁLIDO	26,0994	NO VÁLIDO
40	147,7322	17,0980	NO VÁLIDO	5,4955	3,2973	VÁLIDO	8,6403	NO VÁLIDO	5,1854	VÁLIDO	0,6000	VÁLIDO	26,8823	NO VÁLIDO
41	147,7322	17,5960	NO VÁLIDO	5,3400	3,2040	VÁLIDO	8,3958	VÁLIDO	5,4919	NO VÁLIDO	0,6000	VÁLIDO	27,6653	NO VÁLIDO
42	147,7322	18,0940	NO VÁLIDO	5,1930	3,1158	VÁLIDO	8,1647	VÁLIDO	5,8072	NO VÁLIDO	0,6000	VÁLIDO	28,4483	NO VÁLIDO
43	151,9133	15,1060	VÁLIDO	6,0490	3,6294	NO VÁLIDO	10,0565	NO VÁLIDO	4,1621	NO VÁLIDO	0,6000	VÁLIDO	25,1138	NO VÁLIDO
44	151,9133	15,6040	VÁLIDO	5,8559	3,5136	VÁLIDO	9,7355	NO VÁLIDO	4,4411	VÁLIDO	0,6000	VÁLIDO	25,9417	NO VÁLIDO
45	151,9133	16,1020	VÁLIDO	5,6748	3,4049	VÁLIDO	9,4344	NO VÁLIDO	4,7291	VÁLIDO	0,6000	VÁLIDO	26,7697	NO VÁLIDO
46	151,9133	16,6000	VÁLIDO	5,5046	3,3028	VÁLIDO	9,1514	NO VÁLIDO	5,0261	VÁLIDO	0,6000	VÁLIDO	27,5976	NO VÁLIDO
47	151,9133	17,0980	NO VÁLIDO	5,3443	3,2066	VÁLIDO	8,8849	NO VÁLIDO	5,3322	VÁLIDO	0,6000	VÁLIDO	28,4255	NO VÁLIDO
48	151,9133	17,5960	NO VÁLIDO	5,1930	3,1158	VÁLIDO	8,6334	NO VÁLIDO	5,6473	NO VÁLIDO	0,6000	VÁLIDO	29,2534	NO VÁLIDO
49	151,9133	18,0940	NO VÁLIDO	5,0501	3,0300	VÁLIDO	8,3958	VÁLIDO	5,9715	NO VÁLIDO	0,6000	VÁLIDO	30,0814	NO VÁLIDO

Utilizando los intervalos (0,91 – 0,94 – 0,97 – 1 – 1,03 – 1,06 – 1,09) Obtenemos solo un valor válido para las condiciones que requerimos, por lo que hemos apretado los valores cercanos al valor válido obtenido anteriormente utilizando ahora los siguientes intervalos:

(0,91 – 0,94 -0,97 – 0,999 – 1 - 1,001 -1,03 – 1,06 - 1,09)

De la siguiente manera obtenemos más valores válidos para poder más adelante elegir uno con la cifra de mérito.

	C. Volga-Don	C. Volga-Don			C. Volga-Don	Min	8,148	Min	4,395	Min	0,517	Min	22,407	Min
	140	16,6			3,6	Max	8,485	Max	5,387	Max	0,633	Max	23,475	Max
Alt	Lpp	B	CONDICION B	D	T	CONDICION T	L/B	CONDICION L/B	B/T	CONDICION B/T	T/D	CONDICION T/D	L/D	CONDICION L/D
1	139,23063	15,106	VÁLIDO	6,6000	3,9600	NO VÁLIDO	9,2169	NO VÁLIDO	3,8146	NO VÁLIDO	0,6000	VÁLIDO	21,0955	NO VÁLIDO
2	139,23063	15,604	VÁLIDO	6,3894	3,8336	NO VÁLIDO	8,9228	NO VÁLIDO	4,0703	NO VÁLIDO	0,6000	VÁLIDO	21,7910	NO VÁLIDO
3	139,23063	16,102	VÁLIDO	6,1918	3,7151	NO VÁLIDO	8,6468	NO VÁLIDO	4,3343	NO VÁLIDO	0,6000	VÁLIDO	22,4864	VÁLIDO
4	139,23063	16,5834	VÁLIDO	6,0120	3,6072	NO VÁLIDO	8,3958	VÁLIDO	4,5973	VÁLIDO	0,6000	VÁLIDO	23,1587	VÁLIDO
5	139,23063	16,6	VÁLIDO	6,0060	3,6036	NO VÁLIDO	8,3874	VÁLIDO	4,6065	VÁLIDO	0,6000	VÁLIDO	23,1819	VÁLIDO
6	139,23063	16,6166	NO VÁLIDO	6,0000	3,6000	VÁLIDO	8,3790	VÁLIDO	4,6157	VÁLIDO	0,6000	VÁLIDO	23,2051	VÁLIDO
7	139,23063	17,098	NO VÁLIDO	5,8311	3,4986	VÁLIDO	8,1431	NO VÁLIDO	4,8870	VÁLIDO	0,6000	VÁLIDO	23,8774	NO VÁLIDO
8	139,23063	17,596	NO VÁLIDO	5,6660	3,3996	VÁLIDO	7,9126	NO VÁLIDO	5,1759	VÁLIDO	0,6000	VÁLIDO	24,5728	NO VÁLIDO
9	139,23063	18,094	NO VÁLIDO	5,5101	3,3061	VÁLIDO	7,6949	NO VÁLIDO	5,4730	NO VÁLIDO	0,6000	VÁLIDO	25,2683	NO VÁLIDO
10	139,37	15,106	VÁLIDO	6,5934	3,9560	NO VÁLIDO	9,2261	NO VÁLIDO	3,8185	NO VÁLIDO	0,6000	VÁLIDO	21,1378	NO VÁLIDO
11	139,37	15,604	VÁLIDO	6,3830	3,8298	NO VÁLIDO	8,9317	NO VÁLIDO	4,0744	NO VÁLIDO	0,6000	VÁLIDO	21,8346	NO VÁLIDO
12	139,37	16,102	VÁLIDO	6,1856	3,7113	NO VÁLIDO	8,6554	NO VÁLIDO	4,3386	NO VÁLIDO	0,6000	VÁLIDO	22,5315	VÁLIDO
13	139,37	16,5834	VÁLIDO	6,0060	3,6036	NO VÁLIDO	8,4042	VÁLIDO	4,6019	VÁLIDO	0,6000	VÁLIDO	23,2051	VÁLIDO
14	139,37	16,6	VÁLIDO	6,0000	3,6000	VÁLIDO	8,3958	VÁLIDO	4,6111	VÁLIDO	0,6000	VÁLIDO	23,2283	VÁLIDO
15	139,37	16,6166	NO VÁLIDO	5,9940	3,5964	VÁLIDO	8,3874	VÁLIDO	4,6203	VÁLIDO	0,6000	VÁLIDO	23,2516	VÁLIDO
16	139,37	17,098	NO VÁLIDO	5,8252	3,4951	VÁLIDO	8,1512	VÁLIDO	4,8919	VÁLIDO	0,6000	VÁLIDO	23,9252	NO VÁLIDO
17	139,37	17,596	NO VÁLIDO	5,6604	3,3962	VÁLIDO	7,9206	NO VÁLIDO	5,1810	VÁLIDO	0,6000	VÁLIDO	24,6220	NO VÁLIDO
18	139,37	18,094	NO VÁLIDO	5,5046	3,3028	VÁLIDO	7,7026	NO VÁLIDO	5,4785	NO VÁLIDO	0,6000	VÁLIDO	25,3189	NO VÁLIDO
19	139,50937	15,106	VÁLIDO	6,5868	3,9521	NO VÁLIDO	9,2354	NO VÁLIDO	3,8223	NO VÁLIDO	0,6000	VÁLIDO	21,1801	NO VÁLIDO
20	139,50937	15,604	VÁLIDO	6,3766	3,8260	NO VÁLIDO	8,9406	NO VÁLIDO	4,0785	NO VÁLIDO	0,6000	VÁLIDO	21,8783	NO VÁLIDO
21	139,50937	16,102	VÁLIDO	6,1794	3,7076	NO VÁLIDO	8,6641	NO VÁLIDO	4,3429	NO VÁLIDO	0,6000	VÁLIDO	22,5766	VÁLIDO
22	139,50937	16,5834	VÁLIDO	6,0000	3,6000	VÁLIDO	8,4126	VÁLIDO	4,6065	VÁLIDO	0,6000	VÁLIDO	23,2515	VÁLIDO
23	139,50937	16,6	VÁLIDO	5,9940	3,5964	VÁLIDO	8,4042	VÁLIDO	4,6157	VÁLIDO	0,6000	VÁLIDO	23,2748	VÁLIDO
24	139,50937	16,6166	NO VÁLIDO	5,9880	3,5928	VÁLIDO	8,3958	VÁLIDO	4,6250	VÁLIDO	0,6000	VÁLIDO	23,2981	VÁLIDO
25	139,50937	17,098	NO VÁLIDO	5,8194	3,4917	VÁLIDO	8,1594	VÁLIDO	4,8968	VÁLIDO	0,6000	VÁLIDO	23,9731	NO VÁLIDO
26	139,50937	17,596	NO VÁLIDO	5,6547	3,3928	VÁLIDO	7,9285	NO VÁLIDO	5,1862	VÁLIDO	0,6000	VÁLIDO	24,6713	NO VÁLIDO
27	139,50937	18,094	NO VÁLIDO	5,4991	3,2995	VÁLIDO	7,7103	NO VÁLIDO	5,4839	NO VÁLIDO	0,6000	VÁLIDO	25,3695	NO VÁLIDO

Por consiguiente nuestros resultados a estudiar serian estos tres:

	C. Volga-Don	C. Volga-Don			C. Volga-Don	Min	8,148
	140	16,6			3,6	Max	8,485
Alt	Lpp	B	CONDICION B	D	T	CONDICION T	L/B
14	139,3700	16,6000	VÁLIDO	6,0000	3,6000	VÁLIDO	8,3958
22	139,5094	16,5834	VÁLIDO	6,0000	3,6000	VÁLIDO	8,4126
23	139,5094	16,6000	VÁLIDO	5,9940	3,5964	VÁLIDO	8,4042

Min	4,395	Min	0,517	Min	22,407	Min
Max	5,387	Max	0,633	Max	23,475	Max
CONDICION L/B	B/T	CONDICION B/T	T/D	CONDICION T/D	L/D	CONDICION L/D
VÁLIDO	4,6111	VÁLIDO	0,6000	VÁLIDO	23,2283	VÁLIDO
VÁLIDO	4,6065	VÁLIDO	0,6000	VÁLIDO	23,2515	VÁLIDO
VÁLIDO	4,6157	VÁLIDO	0,6000	VÁLIDO	23,2748	VÁLIDO

1.5. CÁLCULOS PREVIOS:

Los coeficientes de carena se obtienen mediante formulación, obtenida “El proyecto Básico del Buque Mercante”, a continuación pasamos a calcular uno por uno:

1.5.1 COEFICIENTE DE BLOQUE (CB)

Este parámetro es fundamental para representar las formas del buque, tiene una incidencia muy grande sobre la resistencia a la marcha y sobre la capacidad de carga, y en menor medida, sobre la estabilidad, maniobrabilidad, etc.

Para la obtención del coeficiente de bloque existen varias fórmulas que definen un valor adecuado del mismo en función de la velocidad, tipo de buque y de algunas dimensiones principales, fundamentalmente la eslora. Dichas fórmulas se utilizarán para la obtención de cada alternativa y se obtienen de “Proyecto Básico del Buque Mercante”

Con los diferentes valores obtenidos se hará la media aritmética y se obtendrá así un valor de “CB” para cada alternativa, como hemos hecho en el apartado 1.3.1.4 en el que tuvimos que calcular el CB para halla el desplazamiento.

1.5.2 COEFICIENTE DE LA SECCION MEDIA (CM)

El coeficiente de la sección media influye sobre la resistencia a la marcha de la carena y además tiene una repercusión directa sobre la extensión de la zona curva del casco en el pantoque. Según las publicaciones de diferentes autores, el coeficiente de la sección media para un buque mercante se puede calcular a través de las fórmulas siguientes:

Fórmula de Kerlen:

$$CM = 1,006 - 0,0056 \cdot CB^{-3,56}$$

$$CM_1 = 1,006 - 0,0056 \cdot 0,804^{-3,56} = \mathbf{0,9938}$$

Fórmula del HSVA:

$$CM = \frac{1}{1 + (1 - CB)^{3,5}}$$

$$CM_2 = \frac{1}{1 + (1 - 0,804)^{3,5}} = \mathbf{0,9967}$$

Realizando la media de los coeficientes calculados, se obtiene el valor medio del coeficiente de la sección media.

$$CM_{\text{media}} = \frac{CM_1 + CM_2}{2}$$

$$CM_{\text{media}} = \frac{0,9938 + 0,9967}{2} = \mathbf{0,9952}$$

1.5.3 COEFICIENTE PRISMÁTICO LONGITUDINAL (C_p)

Se define como coeficiente prismático C_p a la relación entre el volumen de la carena y el volumen de un prisma cuya base tiene igual área que la sección maestra y de longitud su eslora.

$$C_p = \frac{CB}{CM}$$

$$C_p = \frac{0,804}{0,9952} = \mathbf{0,8079}$$

1.5.4 COEFICIENTE DE LA FLOTACIÓN (CWP)

El coeficiente de la flotación tiene cierta influencia sobre la resistencia hidrodinámica, pero sobre todo muy considerable efecto sobre la estabilidad inicial. Puede estimarse por la fórmula siguiente.

Fórmula de Schneekluth para secciones normales

$$CWP = \frac{1 + 2 \cdot CB}{3}$$

$$CWP = \frac{1 + 2 \cdot 0,804}{3} = \mathbf{0,8693}$$

1.5.5 ESTIMACIÓN DE LA POTENCIA PROPULSORA

Al ser las formas muy parecidas a los buques de referencia y ,casi todos ellos, llevan montados a bordo dos motores diésel médium speed de potencia sobre 1200 kW, vamos a estimar una potencia preliminar propulsora de **2400 kW**.

1.5.6 ESTIMACIÓN DEL PESO EN ROSCA

Durante esta etapa, se calculará de forma aproximada el peso en la primera fase de proyecto.

Se puede desglosar el peso en rosca en tres grupos como estructura de acero, equipo y habilitación y maquinaria, definidos todos ellos en el Capítulo 3.7 de "El Proyecto Básico del Buque Mercante".

1.5.6.1 Peso de la estructura de acero

Para realizar una primera aproximación sólo se calculara mediante métodos basados en las características principales del buque. La estimación del peso de la estructura de acero de un buque en su fase de proyecto, puede hacerse con creciente grado de aproximación en etapas sucesivas, en que se va disponiendo de información adicional sobre las características del buque.

A) Método de Sv. Aa. Harvald y J. Juncher

Método general y sencillo para estimar el peso de la estructura de diversos tipos de buques en función de sus características principales, que se resume a continuación.

$$WST = CS \cdot (Lpp \cdot B \cdot D + Sup)$$

Siendo:

- Cs: coeficiente calculado por:

$$CS = 0,0752 + 0,064 \cdot e^{-0.5 \cdot \log\left(\frac{\Delta}{100}\right) - 0,1 \cdot \log\left(\frac{\Delta}{100}\right)^{2,25}}$$

- Con valor de Cso de 0,0752 para petroleros.

$$CS = Cso + 0,064 \cdot e^{-0.5 \cdot \log\left(\frac{6863,724}{100}\right) - 0,1 \cdot \log\left(\frac{6863,724}{100}\right)^{2,25}}$$

CS= 0,0921

- Sup, Estimado por:

$$\text{Sup} = 0,8. B. (1,45. Lpp - 11)$$

$$\text{Sup} = 0,8.16,6. (1,45.139,37 - 11) = \mathbf{2537,6287}$$

Por tanto, el valor del peso de la estructura es:

$$\text{WST} = 0,0921 . (139,37.16,6.6 + 2537,6287) = \mathbf{1512,1789 \text{ Tons}}$$

B) Peso del equipo y habilitación

En la fase inicial del proyecto no se conocen muchos detalles del buque para poder realizar un cálculo detallado del equipo y habilitación, no obstante, se puede estimar por la fórmula:

$$\text{WOA} = Ke. Lpp. B$$

Siendo el coeficiente Ke para petroleros y quimiqueros:

$$Ke = 0,36 - 0,53.10^{-3}. Lpp$$

$$Ke = 0,36 - 0,53.10^{-3}. 139,37 = \mathbf{0,2861}$$

Por lo que el peso del equipo y habilitación será:

$$\text{WOA} = 0,2861.139,37.16,6 = \mathbf{661,9044 \text{ Tons}}$$

1.5.6.2 Peso de maquinaria propulsora y auxiliar

Se estima mediante fórmulas en base a la potencia, revoluciones y tipo de motor propulsor y las dimensiones principales del buque. El peso de este grupo, en instalaciones diésel, se divide en cuatro etapas:

A) Peso del motor

Si no se conoce qué motor se instalará, o no se dispone de información de su peso, se puede estimar por las siguientes fórmulas deducidas de un análisis de motores actuales.

Para un motor de 2 tiempos:

$$WME = 5 + 4 \cdot \left(\frac{MCO}{N}\right)^{0,925}$$

$$WME = 5 + 4 \cdot \left(\frac{3260,8696}{1000}\right)^{0,925} = \mathbf{16,9369 \text{ Tons}}$$

B) Peso del resto de maquinaria propulsora

El peso del resto de la maquinaria propulsora se puede estimar por la formula siguiente:

$$WRP = Km \cdot MCO^{0,7}$$

Sabiendo que Km es igual a 0,59 para este tipo de buques.

$$WRP = 0,59 \cdot 3260,8696^{0,7} = \mathbf{169,8969 \text{ Tons}}$$

C) Peso de la línea de ejes

El peso de la línea de ejes fuera de la cámara de máquinas se puede calcular de la siguiente forma:

$$WQE = Kne \cdot Leje \cdot (5 + 0,0164 \cdot Lpp)$$

Siendo Kne de valor 1 para buques con una sola línea de ejes.

$$Leje = Lpique \text{ de popa} + 2$$

$$L_{\text{pique de popa}} = 0,04 \cdot L_{\text{pp}} = 0,04 \cdot 139,37 = \mathbf{5,575 \text{ m}}$$

$$L_{\text{eje}} = 5,575 + 2 = \mathbf{7,575 \text{ m}}$$

Por lo tanto el peso de la línea de ejes será:

$$W_{\text{QE}} = 1 \cdot 7,575 \cdot (5 + 0,0164 \cdot 139,37) = \mathbf{55,1889 \text{ Tons}}$$

Como hemos visto que algunos de los buques petroleros y quimiqueros volga don max llevan dos motores diésel con dos líneas de ejes y dos hélices calculamos también el peso para sus dos ejes.

$$W_{\text{QE}} = 2 \cdot 7,575 \cdot (5 + 0,0164 \cdot 139,37) = \mathbf{110,3778 \text{ Tons}}$$

D) Peso de la maquinaria propulsora y auxiliar

Se procede a la suma de todos los pesos de toda la maquinaria y elementos auxiliares:

$$W_{\text{Q}} = W_{\text{ME}} + W_{\text{RP}} + W_{\text{QE}} = 16,9369 + 169,8969 + 110,3778 = \mathbf{297,2116 \text{ Tons}}$$

*Usamos el peso para dos líneas de ejes para ponernos en el caso más desfavorable

E) Peso en rosca

$$\text{Rosca} = \text{Estructura (WST)} + \text{Maquinaria (WQ)} + \text{Equipo y habilitación (WOA)}$$

$$\text{Rosca} = \mathbf{2471,2949 \text{ Tons}}$$

1.5.6.3 Peso muerto

El peso muerto de nuestro buque a proyectar comprende:

- Tripulación
- Viveres
- Pertrechos
- Combustible
- Aceite
- Agua dulce
- Carga

Por lo tanto:

$$\text{TPM} = \text{carga}_{\text{útil}} + P_{\text{tripulación}} + P_{\text{viveres}} + P_{\text{combustible}} + P_{\text{aceite}} + P_{\text{agua dulce}} + P_{\text{pertrechos}}$$

A) CONSUMOS

El peso de los consumos se desglosa en:

- Combustible
- Aceite
- Agua dulce
- Viveres

Estos consumos dependen de la autonomía y de la potencia instalada a bordo. El combustible es de dos tipos:

- Fuel oil (0,98 ton/m³) para el motor o motores principales
- Diesel oil (0,85 ton/m³) para los motores auxiliares

- COMBUSTIBLE

El peso del combustible consumido por los motores principales se calcula con la siguiente fórmula:

$$Phfo = \frac{AUT}{Vs} \cdot BHP \cdot Chfo \cdot 10^{-6}$$

Donde:

- *AUT*: Autonomía en millas = 4500 millas a la velocidad de servicio
- *Vs*: Velocidad de servicio = 11,5 nudos a 90% MCR + 15% de margen de mar
- *BHP*: Potencia propulsora = 2400 kW al 90% = 2160 kW
- *Chfo*: Consumo específico de fuel oil = 165 g/kW.h

$$Phfo = \frac{4500}{11,5} \cdot 2160 \cdot 165 \cdot 10^{-6} = \mathbf{139,4609 \text{ Tons}}$$

El peso del combustible de los motores auxiliares se calcula como:

$$Pmdo = BHP \cdot Cmdo \cdot 48h \cdot 10^{-6}$$

Donde:

- *BHP*: Potencia propulsora = 2400 kW al 90% = 2160 kW
- *Cmdo*: Consumo específico de diésel oil = 190 g/kW.h
- *48h*: Capacidad de suministro de MDO, para estos consumidores durante 2 días de travesía, que suponemos que será tiempo suficiente para limpiar el sistema de abastecimiento de HFO.

$$Pmdo = 2160 \cdot 190 \cdot 48h \cdot 10^{-6} = \mathbf{19,6992 \text{ Tons}}$$

- ACEITE

Se puede establecer un peso de un 3-4% del peso del combustible de los motores propulsores. Lo normal es disponer de un tanque de reserva igual o ligeramente superior al del servicio. Por consiguiente:

$$P_{aceite} = 2 \cdot 0,04 \cdot Phfo$$

$$P_{aceite} = 2 \cdot 0,04 \cdot 139,4609 = \mathbf{11,1569 \text{ Tons}}$$

- AGUA DULCE

Se estiman en unos 135 litros/persona.día

$$P_{agua \text{ dulce}} = C_{persona.día} \cdot \frac{AUT}{Vs \cdot 24} \cdot n^{\circ} \text{ de tripulantes} \cdot 10^{-3}$$

$$P_{agua \text{ dulce}} = 135 \cdot \frac{4500}{11,5 \cdot 24} \cdot 15 \cdot 10^{-3} = \mathbf{33,0163 \text{ Tons}}$$

- VÍVERES

Se estiman en 4 kg por tripulante al día, los víveres que consumen la tripulación en el desarrollo de su actividad a bordo del buque.

$$P_{víveres} = 4 \cdot n^{\circ} \text{ de tripulantes} \cdot \text{autonomía(días)}$$

$$P_{víveres} = 4 \cdot 15 \cdot 17 = \mathbf{1,020 \text{ Tons}}$$

B) TRIPULACIÓN

Dentro de la tripulación se considera equipaje y efectos personales. Cada tripulante lleva en torno a 125 kg de media.

$$P_{tripulación} = \frac{125 \cdot n^{\circ} \text{ de tripulantes}}{1000}$$

$$P_{tripulación} = \frac{125 \cdot 15}{1000} = \mathbf{1,875 \text{ Tons}}$$

C) PERTRECHOS

Según las dimensiones base, su propósito, autonomía y buques similares, se estima un peso de 5 toneladas.

D) CARGA ÚTIL

La carga a transportar es 32000 BLS y 250 m³ de LPG

Que como ya calculamos al inicio de este cuaderno son unas **4977,992 Tons**

Por lo tanto el peso muerto final sería:

$$\text{TPM} = 4977,992 + 1,875 + 1,020 + 159,1601 + 11,1569 + 33,0163 + 5 = \mathbf{5189,2203 \text{ Tons}}$$

1.6. CIFRA DE MÉRITO

El termino cifra de mérito en el proyecto de un buque representa un concepto puramente económico, aplicando esto nuestra cifra de mérito será el coste en la construcción.

Elegir el coste de construcción como la cifra de mérito tiene la ventaja de que su evaluación es muy fiable, ya que tiene pocos elementos aleatorios. Por estos motivos, se analizarán aquellas alternativas que cumpliendo los requisitos, tengan el mínimo coste para su construcción.

El coste de la construcción lo podemos desglosar en los siguientes términos:

$$CC = CMg + Ceq + CMo + Cva$$

Donde:

- CC: Coste de construcción
- CMg: Coste de los materiales a granel
- CEq: Coste de los equipos del buque
- CMo: Coste de la mano de obra
- Cva: Costes variables aplicables (Astillero)

1. Coste de materiales a granel

$$CMg = Cmg . PS = ccs . cas . cem . ps . PS$$

Donde:

$$1,05 < ccs < 1,1$$

$$1,08 < cas < 1,15$$

$$1,03 < cem < 1,1$$

$$ps = 450 \text{ €/ton}$$

- *Cmg*: coeficiente de coste de material a granel (básicamente chapas y perfiles de acero)
- *PS*: Peso de aceros del buque
- *ccs*: Coeficiente ponderado de las chapas y perfiles de distinta calidades de acero
- *cas*: Coeficiente de aprovechamiento del acero, en relación con el pedido de materiales
- *cem*: coeficiente de incremento por equipo metálico incluido en la estructura
- *ps*: precio unitario del acero para referencia

2. Coste de la mano de obra

$$CMo = CMm + Cme$$

$$CMm = chm . csh . PS$$

Donde:

$$20/30 < csh < 80/100 \text{ horas/ton}$$

$$21/25 < chm < 30/40 \text{ €/hora}$$

-*CMo*: Coste de la mano de obra

-*CMm*: Coste de la mano de obra de montaje de materiales a granel

-*Cme*: Coste de la mano de obra de montaje de los equipos e instalaciones del buque

-*csh*: coste horario medio del astillero

-*PS*: Peso del acero del buque

3. Costes varios aplicados

$$Cva = cva . CC$$

Donde:

$$0,05 < cva < 0,1$$

- *cva*: coeficiente de los costes varios del astillero, referidos al coste de construcción del buque

4. Costes de los equipos (CEq) y de su montaje (CMe)

$$CEq + CMe = CEc + CEp + CHf + CEr$$

$$CEp = cep . BP$$

$$CHf = chf . nch . NT$$

$$CEr = cer \cdot PEr = ccs \cdot ps \cdot PEr$$

$$PEr = 0,045 \cdot Lpp^{1,3} \cdot B^{0,8} \cdot D^{0,3}$$

Donde:

$$300 < cep < 400 \text{ €/hora}$$

$$0,90 < nch < 1,20$$

$$-chf = 32000/35000 \text{ €/tripulante}$$

-CEq: Coste de los equipos

-CMe: Coste de la mano de obra de montaje de los equipos

-CEc: Coste de los equipos de manipulación de la carga, montaje incluido

-CEp: Coste de los equipos de propulsión, de sus auxiliares y montaje

-CHf: Coste de la habilitación y fonda, incluido su montaje

-CEr: Coste del equipo restante, incluido su montaje

-cep: Coeficiente de coste por unidad de potencia de los equipos de propulsión y sus auxiliares

-BP: Potencia propulsora

-chf: Coeficiente de coste unitario de la habilitación, por tripulante

-nch: Coeficiente de nivel de calidad de la habilitación

-NT: Numero de tripulantes del buque

Todos estos costes se pueden agrupar, obteniendo el desglose final del coste de construcción, de la forma siguiente:

$$CC = (ccs \cdot cas \cdot cem \cdot ps \cdot chm \cdot csh)$$

Con motivo de facilitar los cálculos, asignamos letras a los grupos de productos siguientes:

$$A = (ccs . cas . cem . ps + chm . csh) . PS$$

$$B = cep . BP$$

$$C = chf . nch . NT$$

$$D = ccs . ps . PEr$$

Así, el coste de la construcción puede despejarse de la forma:

$$CC = \frac{(A + B + C + D)}{(1 - cva)}$$

Los resultados obtenidos de aplicar esta serie de fórmulas, para calcular el coste de construcción de las 3 alternativas finales, se reflejan en la siguiente tabla:

Alt	Lpp	B	D	T	desplazamiento	PS
14	139,3700	16,6000	6,0000	3,6000	6863,7239	1512,1789
22	139,5094	16,5834	6,0000	3,6000	6863,7239	1512,1922
23	139,5094	16,6000	5,9940	3,5964	6863,7239	1512,4261

Per	A	B	C	D	CC
446,8528	6995604,2804	1221434,7600	630000,0000	221192,1186	10075812,3989
447,0759	6995665,6346	1221434,7600	630000,0000	221302,5763	10076003,3010
447,2996	6996747,9820	1221434,7600	630000,0000	221413,3107	10077328,9475

Para la realización de los cálculos hemos usado en las tres alternativas los mismos coeficientes, en este caso nos hemos puesto en el mayor coste posible.

EL buque más económico es el correspondiente a la alternativa 14, con un costo de **10,0758 Millones de Euros**

1.7. DIMENSIONES FINALES

Nuestro buque final tendrá las siguientes dimensiones y características:

L	139,37 m
B	16,60 m
D	6,00 m
T	3,60 m
DESPLAZAMIENTO	6863,7239 Tons
CB	0,8040
CM	0,9952
Cp	0,8079
CWP	0,8693
Fn	0,1530
V	11,50 knots
PESO EN ROSCA	2471,2949 Tons
TPM CALCULADO	5189,2203 Tons

Tabla 5 – Dimensiones finales

1.8. ESTIMACIÓN DEL FRANCOBORDO

Es muy útil realizar una primera aproximación del francobordo en las fases preliminares del proyecto del buque.

Siguiendo el libro “El proyecto básico del buque mercante” capítulos 3.2 francobordo, se realiza un cálculo simplificado del francobordo por medio de tablas y fórmulas.

- FRANCOBORDO TABULAR

Para ello supondremos que la eslora de francobordo es igual a la eslora entre perpendiculares obtenida anteriormente.

Con la eslora de francobordo obtendremos el francobordo tabular correspondiente a nuestro buque, el cual siguiendo el “Convenio de Lineas de Carga de 1966” está clasificado como buque Tipo A.

$$LFb = Lpp = 139 \text{ m}$$

El francobordo tabular correspondiente es:

FT= **1787 mm**

- CORRECCIÓN POR COEFICIENTE DE BLOQUE

Si el $C_b > 0,68$, el francobordo tabular se multiplicará por:

$$C_{cb} = \frac{C_{b_{85\%D}} + 0,68}{1,36}$$

Donde:

-Coeficiente de Bloque al 85% del puntal: $C_{b_{85\%D}} = 1,01 \cdot C_b$

- $C_b = 0,8040$

$$C_{b_{85\%D}} = 1,01 \cdot 0,8040 = \mathbf{0,8120}$$

La corrección por coeficiente de bloque será:

$$C_{cb} = \frac{0,8120+0,68}{1,36} = \mathbf{1,0971}$$

- CORRECCION POR SUPERESTRUCTURAS

Si la longitud de la superestructura es igual a la eslora del buque, se aplica al francobordo una corrección sustractiva, D_e , definida como:

- $D_e = 1070$; para buques de eslora $L > 122$ m.

Si la longitud de la superestructura E es menor que la eslora del buque, a la deducción anterior se le aplica un porcentaje según la siguiente tabla:

TABLA 3.2.4
Porcentaje Por

E/L	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
Tipo A	0	7	14	21	31	41	52	63	75,3	87,7	100
Tipo B	0	5	10	15	23,5	32	46	63	75,3	87,7	100

La superestructura que tenemos, la estimamos en unos 10 metros

E= 10 m , Longitud del Castillo.

$$\frac{E}{L} = \frac{10}{139} = 0,072$$

Interpolando nos sale un porcentaje de 5%.

$$C_{sup} = De \cdot \frac{Por}{100} = 1070 \cdot \frac{5}{100} = \mathbf{54}$$

- CORRECCIÓN POR ARRUFO

La corrección por arrufo es la siguiente:

$$C_{Arrufo} = \left(1 - \frac{A}{100}\right) \cdot (4,168 \cdot L + 125) \cdot \left(0,75 - \frac{E}{2L}\right)$$

Donde A es el porcentaje del área de la curva real de arrufo respecto al área de la curva estándar.

En lo buques actuales, es normal que la cubierta no tenga casi arrufo, pues ello simplifica y abarata el proceso constructivo. Por ello, en la práctica, el valor del coeficiente A es normalmente 0.

$$A = 0$$

$$C_{Arrufo} = \left(1 - \frac{0}{100}\right) \cdot (4,168 \cdot 139 + 125) \cdot \left(0,75 - \frac{10}{2 \cdot 139}\right)$$

$$C_{Arrufo} = 503$$

- FRANCOBORDO TOTAL

El francobordo se calcula como:

$$FB = FT \cdot C_{Cb} - C_{sup} + C_{Arrufo}$$

$$FB = 1787 \cdot 1,0971 \cdot 54 + 503 = \mathbf{2410 \text{ mm}}$$

1.9 CÁLCULO PRELIMINAR DE POTENCIA

Para realizar la estimación de la potencia, se utiliza el software NAVCAD2012, partiendo de las características del buque obtenidas en el dimensionamiento.

En el software NAVCAD2012, primero introducimos las características principales, con las cuales nos permite elegir entre varios métodos dependiendo el tipo de buque y sus características.

Las características necesarias para este cálculo son las siguientes:

-Eslora en flotación puede considerarse igual que la eslora total

$$L_{wl} = L_{total} = 139,37 \text{ m}$$

-Manga del buque: $B = 16,60 \text{ m}$

-Calado del buque: $T = 3,60 \text{ m}$

-Desplazamiento: $\Delta = 6864 \text{ Tons}$

-Superficie mojada

$$S_m = L_{pp}(2T + B)C_m^{0,5} \left(0,453 + 0,4425C_b - 0,2862C_m - 0,03467\frac{B}{T} + 0,3696C_{wl} \right) + 2,38\frac{At}{Cb}$$

Donde:

-At: Área transversal del bulbo. Se calcula de la siguiente manera

$$At = Sa_{20} \cdot Sa_{10}$$

-Sa₂₀ = 10,53%

-Sa₁₀ = $B \cdot T \cdot CM = 16,60 \cdot 3,60 \cdot 0,9952 = 59,47$

$$At = \frac{10,53}{100} \cdot 59,47 = 6,2622 \text{ m}^2$$

La superficie mojada será:

$$S_{mojada} = \mathbf{2291,0862 \text{ m}^2}$$

Para un calado de 4,5 metros que es lo que suele tener este tipo de buques cuando no tienen que pasar compuertas, y navegan por mar.

$$S_m = L_{pp}(2T + B)C_m^{0,5} \left(0,453 + 0,4425C_b - 0,2862C_m - 0,03467\frac{B}{T} + 0,3696C_{wl} \right) + 2,38\frac{At}{Cb}$$

-Sa20 = 10,53%

-Sa10 = B . T . CM = 16,60 . 4,5 . 0,9952 = 74,3414

$$At = \frac{10,53}{100} . 74,3414 = 7,8282 \text{ m}^2$$

La superficie mojada será:

$$S_{mojada} = 2576,4121 \text{ m}^2$$

BIBLIOGRAFÍA

1. ALVARIÑO CASTRO, Ricardo., AZPÍROZ AZPÍROZ, Juan José y MEIZOSO FERNANDEZ, Manuel. *El proyecto básico del buque mercante*. Madrid: Fondo editorial de ingeniería Naval, Colegio Oficial de ingenieros Navales. ISBN: 84-921750-2-8.
2. JUNCO OCAMPO, Fernando. *Proyectos de buques y Artefactos. Selección de configuración: Dimensiones y coeficientes*. Ferrol: Escuela Politécnica Superior, Universidad de A Coruña, 2003. ISBN: 84-688-3364-9.
3. RUSSIAN MARITIME REGISTER OF SHIPPING. *Rules for the classification and construction of sea-going ships, Volume 1 and 2.*