



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

**Trabajo Fin de Grado
CURSO 2017/18**

Remolcador de altura y salvamento

Grado en Ingeniería Naval y Oceánica

Cuaderno 9

FRANCOBORDO Y ARQUEO



ALUMNO:

JOSE RÁBANO CARRETERO

TUTOR:

MARCOS MIGUEZ GONZÁLEZ

MARZO 2018

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA NAVAL Y OCEÁNICA

ANTEPROYECTO Y PROYECTO FIN DE CARRERA

CURSO 2017-2018

PROYECTO NÚMERO 18 – 19

TIPO DE BUQUE: REMOLCADOR DE ALTURA Y SALVAMENTO

CLASIFICACIÓN, COTA Y REGLAMENTO DE APLICACIÓN: Solas, Marpol, y reglamentación estándar. Lloyd's Register.

CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA: Buque remolcador de altura con sistema contra incendios y lucha contra la contaminación. 240 ton. De tracción a punto fijo.

VELOCIDAD Y AUTONOMÍA: 16 nudos de velocidad de servicio. Autonomía de 9000 millas náuticas a velocidad de servicio.

SISTEMAS Y EQUIPOS DE CARGA/DESCARGA: Gancho de remolque y chigre hidráulico de remolque.

PROPULSIÓN: Cuatro motores diésel. Cada pareja acciona un propulsor en popa con tobera de paso fijo. Hélice de proa.

TRIPULACIÓN Y PASAJE: 24 miembros de tripulación.

OTROS EQUIPOS E INSTALACIONES: Sistema de lucha contra incendios. Sistema de lucha anti polución. Los correspondientes a este tipo de buques.

ALUMNO: D. Jose Rábano Carretero

Dimensiones principales	
Eslora total	76,2 m
Eslora entre pps	69,3 m
Manga	18 m
Puntal de trazado	8,21 m
Calado de trazado	6,61 m
Desplazamiento máximo	6468 t
Peso muerto	2397 t
Capacidades	
Heavy Fuel Oil (HFO)	1181,5 t
Agua lastre	1145,6 t
Recogida residuos (MUD)	1365,5 t
Espumógeno	43,8 t
Dispersante	30,2 t
Rendimientos	
Bollard pull (TPF)	240 t
Velocidad de servicio	16 kn

Maquinaria principal	
Motores principales	4x4500 kW
	Wärtsilä 9L34DF
Generadores	3x1380 kW
	Wärtsilä 9L20DF
Generador emergencia	1x400 kW
	CAT CG132-8
Propulsores principales	2x4300 mm
	FPP, 3 palas
Propulsión auxiliar	
Trhuster transv proa	1x1050 kW
Trhusters transv popa	2x1050 kW
Trhuster azimutal proa	1x880 kW
Acomodación	
Tripulación	24
Náufragos	29
Posicionamiento dinámico	
Cota	DP II

Índice	Pg
1.- Presentación.....	5
2.- Cálculo del francobordo.....	6
Cálculo de los parámetros iniciales	6
Regla 27. Tipos de buques.....	8
Regla 28. Francobordo tabular	8
Regla 29. Corrección para buques con eslora inferior a 100 metros.....	8
Regla 30. Corrección por coeficiente de bloque	8
Regla 31. Corrección por puntal	8
Regla 32. Corrección por posición de línea de cubierta.....	9
Regla 33. Altura normal de las superestructuras	9
Regla 34. Longitud de las superestructuras.....	9
Regla 35. Longitud efectiva de las superestructuras	9
Regla 36. Troncos	9
Regla 37. Reducción por superestructuras y troncos	10
Regla 38. Arrufo	10
Regla 39. Altura mínima de proa y flotabilidad de reserva.....	11
Resumen y correcciones del francobordo tabular.....	14
Reducción para el francobordo tropical e incremento para francobordo de invierno y de invierno en el Atlántico Norte.....	15
Reducción para agua dulce	15
Conclusiones.....	16
3.- Cálculo del arqueo.....	17
Arqueo bruto	17
Arqueo neto.....	17
4.- Anexo I. Plano acotado del buque proyecto.....	19
5.- Anexo II. Hidrostáticas para el calado D1	21
6.- Anexo III. Áreas flotabilidad de reserva.....	22
7.- Anexo IV. Disposición general del buque.....	24
8.- Anexo V. Hidrostáticas para un calado de 8,23 m	26
9.- Anexo VI. Desglose de los tanques	27

1.- PRESENTACIÓN

En este cuaderno se realizará el cálculo del francobordo tabular del buque proyecto y el cálculo de los arqueos bruto y neto.

El francobordo tabular se obtiene mediante el *Convenio Internacional de Líneas de Carga de 1966* a partir del cual se calculan todas las correcciones aplicables a este buque en función de sus características. Una vez hallado el francobordo tabular se obtienen los diferentes francobordos como por ejemplo el francobordo en aguas tropicales, el francobordo de invierno o el de agua dulce entre otros.

Utilizando este mismo convenio se calcula el arqueo bruto del buque utilizado principalmente para la aplicación de diferentes normativas y también para ciertos procedimientos portuarios.

El arqueo neto se obtiene a partir de este mismo convenio. Este arqueo representa el volumen útil del buque para la utilización de los espacios de carga.

2.- CÁLCULO DEL FRANCOBORDO

El cálculo del francobordo del buque proyecto se realiza aplicando el *Convenio Internacional sobre Líneas de Carga 1966*. Este convenio establece unos principios y reglas estándar para todos los buques que realicen viajes internacionales, con el objetivo de garantizar la seguridad de la vida y los bienes en el mar a través de los límites de inmersión de cada buque.

Todos los países contratantes se comprometen a que todos los buques que realicen un viaje internacional sólo puedan salir al mar tras haber sido inspeccionado, marcado y provisto del Certificado Internacional de francobordo o en su defecto un Certificado Internacional de exención de francobordo.

La aplicación de este convenio se realiza a todos los buques matriculados que actúen o pertenezcan a un país contratante y a los buques no matriculados con bandera de un país contratante. A mayores de aplica a todos los buques que realicen viajes internacionales y a los buques nuevos.

Las excepciones para la aplicación del convenio son aquellos buques nuevos con una eslora inferior a 24 metros, buques existentes con un arqueo inferior a 150 GT, yates de recreo que no realicen labores comerciales y los buques de pesca.

Cálculo de los parámetros iniciales

Para comenzar el cálculo del francobordo se han de utilizar las dimensiones que en el convenio se definen. En la Regla 3 del convenio se definen la eslora entre perpendiculares, la eslora de francobordo, la manga, el puntal de trazado y como calcular el puntal de francobordo, las medidas de las superestructuras, así como la fórmula para el cálculo del coeficiente de bloque.

Las dimensiones necesarias son las siguientes.

- Eslora entre perpendiculares	(Lpp)	69,3	m
- Manga de trazado	(B)	18	m
- Eslora al 85% del puntal	(Lpp en d1)	69,35	m
- Eslora de la superestructura	(L super.)	32,86	m
- Puntal mínimo de trazado	(D)	8,23	m
- 85% del puntal de trazado	(d1)	6,99	m
- Eslora en la flotación	(Lwl)	72,81	m
- Altura de la superestructura	(h super.)	3	m
- Altura real de la proa	(h proa)	15,23	m
- 96% de la eslora total en d1	(0,96Lt en d1)	69,9	m

Las medidas están tomadas en los planos del *Anexo I*.

Para la aplicación de la normativa del convenio se utilizarán las siguientes medidas.

$$D = \text{puntal mínimo de trazado} = 8,230 \text{ metros}$$

$$d1 = 85\% \text{ del puntal mínimo de trazado} = 6,995 \text{ metros}$$

$$L1 = 0,96L_t (d1) = 69,9 \text{ metros}$$

$$L2 = L_{pp} (d1) = 69,35 \text{ metros}$$

$$B = \text{manga de trazado} = 18 \text{ metros}$$

La eslora de francobordo (L) es la eslora mayor entre L1 y L2.

$$L = 69,9 \text{ metros}$$

$$e = \text{espesor de la chapa de trancañil} = 8 \text{ mm}$$

El espesor de la chapa de trancañil se obtiene en el *Cuaderno 8*.

El puntal de francobordo es la suma del puntal mínimo de trazado y el espesor de la chapa de trancañil.

$$D_{Fb} = D + e = 8230 + 8 = 8238 \text{ mm}$$

El coeficiente de bloque para el calado *d1* se obtiene a partir de las hidrostáticas calculadas en *Maxsurf Stability* y mostradas en el *Anexo II*.

$$\nabla = 6247,6 \text{ m}^3$$

$$Cb = \frac{\nabla}{LBd1} = \frac{6247,6}{69,35 * 18 * 6,99} = 0,7098$$

Para conocer la eslora de la superestructura, ésta se dividirá en tres zonas para verificar la corrección de la eslora efectiva debido a la manga. Las superestructuras separadas más de un 4% de la manga del costado no se consideran superestructuras. Podrían considerarse troncos siempre y cuando cumplieren los criterios de los troncos. Para considerar una superestructura como tal, la manga mínima que deben poseer es:

$$0,96B = 0,96 * 18 = 17,28 \text{ metros}$$

La zona de proa de la superestructura abarca la totalidad de la manga por lo que se considera superestructura y además no se aplica la corrección. Esta zona se extiende desde la proa hasta la popa de las gambuzas. La zona que abarca desde las gambuzas hasta la popa del taller es la intermedia. Dicha zona tiene una manga de 13,95 metros por lo que no puede considerarse superestructura, al igual que la zona de popa que se extiende desde la popa del taller hasta la popa de la sala de náufragos, ya que mide 10,35 metros. Estas dos zonas han de estudiarse como troncos y calcular sus propios criterios. Las esloras totales y efectivas de las superestructuras se calculan a continuación.

$$\text{Eslora total zona 1} = S1 = 26,06 \text{ metros}$$

$$\text{Eslora efectiva zona 1} = E1 = 26,06 \text{ metros}$$

Las esloras de las superestructuras serán:

$$S_{total} = 26,06 \text{ metros}$$

$$E_{total} = 26,06 \text{ metros}$$

Los calados necesarios para el cálculo del francobordo son el calado de estabilidad y el calado de escantillonado.

El calado de estabilidad se obtiene en el *Cuaderno 5* en la condición de máxima carga, ya que es el mayor calado al que se le ha evaluado y corroborado la estabilidad. Corresponde a la condición de carga 6 (salida de puerto a máxima carga).

$$T_{estabilidad} = 6,997 \text{ m}$$

El calado de escantillonado se obtiene en el *Cuaderno 8* al realizar el escantillonado del buque.

$$T_{\text{escantillonado}} = 7,200 \text{ m}$$

Regla 27. Tipos de buques

El buque está clasificado como buque tipo "B", ya que su finalidad no es únicamente el transporte de carga líquida a granel.

Regla 28. Francobordo tabular

El francobordo tabular se obtiene a partir de la tabla 28.2 del convenio. Para hallar el valor en función de la eslora de francobordo se realiza una interpolación lineal para los buques de tipo "B".

$$\text{Francobordo tabular} = 720 \text{ mm}$$

Regla 29. Corrección para buques con eslora inferior a 100 metros

Esta corrección no se aplica debido a que la longitud efectiva de la superestructura es mayor que el 35% de la eslora de francobordo.

$$\frac{E}{L} = \frac{26,06}{69,9} * 100 = 37,2\% > 35\%$$

Regla 30. Corrección por coeficiente de bloque

Esta corrección se aplica para buques con un coeficiente de bloque superior a 0,68 como es el caso. El coeficiente de bloque se calcula a partir del volumen sumergido como se muestra en las hidrostáticas del *Anexo I*.

$$Cb = 0,7098$$

La corrección consiste en multiplicar el francobordo tabular por el coeficiente obtenido en la siguiente fórmula.

$$\frac{Cb + 0,68}{1,36} = \frac{0,7098 + 0,68}{1,36} = 1,0219$$

El francobordo tabular tras esta corrección es:

$$Fb \text{ tabular tras la corrección} = 1,0219 * 720 = 736 \text{ mm}$$

Se han añadido 16 mm al francobordo inicial.

Regla 31. Corrección por puntal

$$\frac{L}{15} = \frac{69,9}{15} = 4,66$$

$$D = 8,238 \text{ metros}$$

Como el puntal es mayor que un quinceavo de la eslora de francobordo se aumenta el francobordo:

$$\left(D - \frac{L}{15}\right) * R$$

Siendo R:

$$R = \frac{L}{0,48} = \frac{69,9}{0,48} = 145,625$$

La corrección a añadir es, por tanto:

$$\left(8,238 - \frac{69,9}{15}\right) * \frac{69,9}{0,48} = 522 \text{ mm}$$

Regla 32. Corrección por posición de línea de cubierta

Esta regla no es aplicable al buque proyecto.

Regla 33. Altura normal de las superestructuras

La altura normal de las superestructuras según la tabla de la regla 33 se obtiene mediante interpolación lineal, siendo la altura normal de la superestructura del buque proyecto:

La eslora de francobordo del buque proyecto con valor de 69,9 metros se encuentra entre 30 y 75 metros, por lo que la altura normal de la superestructura tendrá un valor de:

$$\text{Altura normal superestructura} = 1,8 \text{ metros}$$

Regla 34. Longitud de las superestructuras

La longitud total de las superestructuras (S) se calculó anteriormente.

Figura 2.1

$$S_{total} = 26,06 \text{ metros}$$

Regla 35. Longitud efectiva de las superestructuras

Para hallar la longitud efectiva se ha de aplicar la corrección por la manga calculada anteriormente para las zonas con una manga menor del 96% de la manga de trazado y para aquellas superestructuras con una altura inferior a la normal.

$$E_{total} = 26,06 \text{ metros}$$

Altura normal (en metros)

L (metros)	Saltillo	Todas las demás superestructuras
30 ó menos	0,90	1,80
75	1,20	1,80
125 ó más	1,80	2,30

Regla 36. Troncos

Las zonas de la superestructura del buque con una manga inferior al 96% de la manga del buque definidas en los parámetros iniciales del buque proyecto son las zonas desde las gambuzas hasta la popa del taller (zona 2) y la zona desde popa del taller hasta la popa de la sala de náufragos (zona 3). La manga de la zona 2 tiene un valor de 13,95 metros, mientras que la de la zona 3 tiene un valor de 10,35 metros. Debido a que

la altura de ambos troncos es superior a la altura normal ($h = 3$ metros) no se aplicará reducción de la eslora efectiva por altura, tan sólo por la manga.

La reducción de la eslora efectiva de los troncos por la manga será su longitud total reducida en la relación entre su manga y la manga de francobordo.

$$Eslora\ total\ zona\ 2 = S2 = 7,32\ metros$$

La eslora efectiva se calcula de la siguiente manera.

$$E = \frac{bs}{Bs} * S = \frac{13,95}{18} * 7,32 = 5,67\ metros$$

$$Eslora\ efectiva\ zona\ 2 = E2 = 5,67\ metros$$

$$Eslora\ total\ zona\ 3 = S3 = 1,97\ metros$$

$$E = \frac{bs}{Bs} * S = \frac{10,35}{18} * 1,97 = 1,13\ metros$$

$$Eslora\ efectiva\ zona\ 3 = E3 = 1,13\ metros$$

La eslora total de los troncos es:

$$Eslora\ total\ troncos = 5,67 + 1,13 = 6,8\ metros$$

Regla 37. Reducción por superestructuras y troncos

En primer lugar, se ha de calcular el porcentaje de eslora efectiva de superestructuras frente a la eslora de francobordo. Con ayuda de la tabla 37.1 del convenio se halla el porcentaje para multiplicar a la reducción por una superestructura completa.

Esta regla es aplicable y se realiza debido a que la longitud efectiva del castillo de popa es mayor que el 7% de la eslora de francobordo.

$$7\%L = 0,07 * 69,9 = 4,893 < 32,86\ metros$$

La reducción por superestructura completa es de 733 mm.

$$Porcentaje\ cubierto = \frac{32,86}{69,9} * 100 = 47\%$$

Realizando interpolación lineal sobre la tabla 37.1 se deduce que para un 47% de eslora cubierta por superestructura, la reducción es de un 38% de la reducción por superestructura completa.

$$Reducción\ por\ superestructura = 38\% * 733 = 279mm$$

Regla 38. Arrufo

El buque proyecto no cuenta con arrufo, por lo que al tener un defecto de arrufo se ha de aplicar una corrección. En primer lugar, se calcula el exceso de altura del castillo de proa.

Arrufo	h real (mm)	h normal (mm)	Diferencia (y)	(1/3)*y*(S/L)	Resultado (mm)
Proa	3000	1800	1200	1200*35,35/(3*69,9)	202,289

Tabla 2-1

$$sPr = 202 \text{ mm}$$

$$sPp = 0 \text{ mm}$$

Situación	Ordenada	F. Simpson	Producto
p. Popa	0	1	0
1/6L desde p. Pp	0	3	0
2/6L desde p. Pp	0	3	0
Centro del buque	0	1	0

Tabla 2-2

$$\text{Suma} = 0$$

$$+ 16 * sPp = 0$$

$$\text{Suma admisible} = 0$$

Situación	Ordenada	F. Simpson	Producto
Centro del buque	0	1	0
2/6L desde p. Pr	0	3	0
1/6L desde p. Pr	0	3	0
p. Proa	0	1	0

Tabla 2-3

$$\text{Suma} = 0$$

$$+ 16 * sPr = 3232$$

$$\text{Suma admisible} = 3232$$

$$\text{Total} = 3232$$

$$\text{Ordenada del arrufo normal a popa} * \frac{8}{3} = 25 \left(\frac{L}{3} + 10 \right) * \frac{8}{3} = 2220$$

$$\text{Ordenada del arrufo normal a proa} * \frac{8}{3} = 50 \left(\frac{L}{3} + 10 \right) * \frac{8}{3} = 4440$$

$$\text{Total} = 2220 + 4440 = 6660$$

Tanto a proa como a popa existe un defecto del arrufo real respecto al arrufo normal. La corrección se calcula con la siguiente fórmula.

$$\text{Corrección} = \frac{\text{diferencia de arrufos}}{16} * \left(0,75 - \frac{S}{2L} \right)$$

$$\text{Corrección} = \frac{6660 - 3232}{16} * \left(0,75 - \frac{35,35}{2 * 69,9} \right) = 243 \text{ mm}$$

Esta corrección se añadirá positivamente al francobordo tabular.

Regla 39. Altura mínima de proa y flotabilidad de reserva

La altura mínima de proa viene dada por la siguiente expresión.

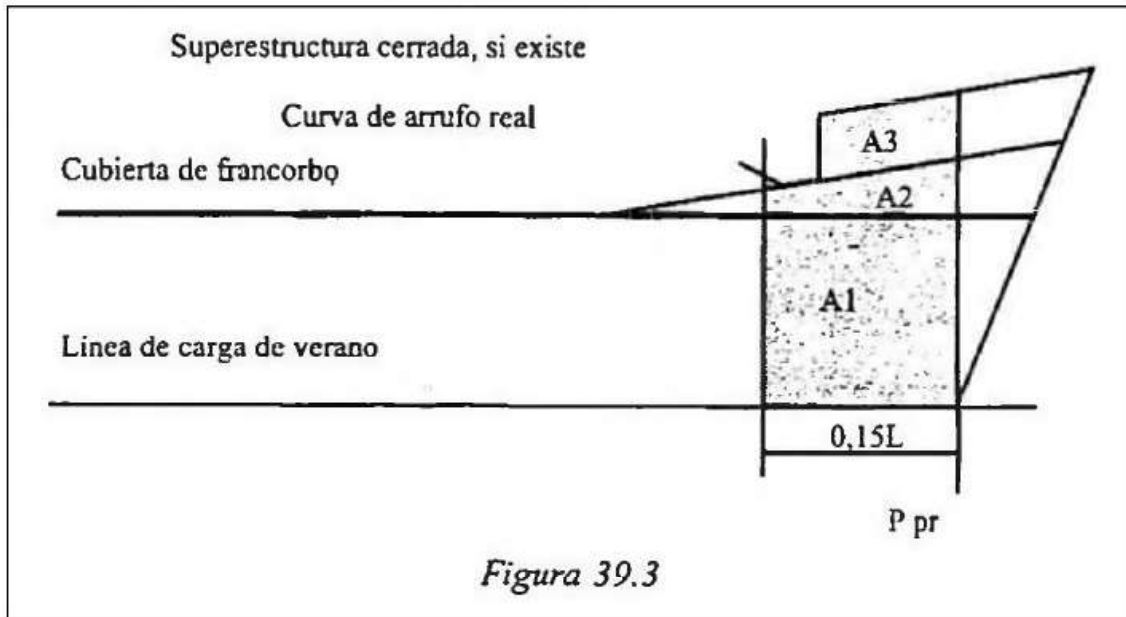


Figura 2.2

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

Fb = Altura mínima de proa en mm.

Cwf = coeficiente del área de flotación a proa de L/2.

Este coeficiente se halla a través del área de flotación (Awf) a proa de L/2 hallado a través del área de flotación de las hidrostáticas del Anexo II al que se le resta el área a popa de L/2, la cual, es un rectángulo de área B*L/2.

$$Awf = \text{waterplane area} - B * \frac{L}{2} = 1157,3 - 18 * \frac{69,9}{2} = 528,2 \text{ m}^2$$

$$Cwf = \frac{Awf}{B * \frac{L}{2}} = \frac{528,2}{18 * \frac{69,9}{2}} = 0,839$$

La altura mínima de proa será, por tanto:

$$Fb = 3527 \text{ mm}$$

La flotabilidad de reserva se aplica a los buques de tipo "B" a excepción de petroleros, quimiqueros y gaseros. Estos buques tendrán que contar con una flotabilidad de reserva adicional en el extremo de proa. La sección 0,15L a popa de la perpendicular de proa deberá contar con un área proyectada entre la flotación en carga de verano y el borde de la cubierta no inferior a:

$$\text{Área}_{min} = \left(0,15F_{min} + 4 \left(\frac{L}{3} + 10 \right) \right) * \frac{L}{1000} [\text{m}^2]$$

$$F_{min} = (F_o * f_1) + f_2$$

Siendo:

F_o = francobordo tabular en mm, obtenido de la regla 28.2 y corregido con las reglas 27.9 y 27.10 según cada caso.

f_1 = corrección por coeficiente de bloque de la regla 30.

f_2 = corrección por puntal en mm de la regla 31.

$$F_o = 720 \text{ mm}$$

$$f_1 = 1,0219$$

$$f_2 = 522 \text{ mm}$$

$$F_{min} = (F_o * f_1) + f_2 = (720 * 1,0219) + 522 = 1258 \text{ mm}$$

$$\text{Área}_{min} = \left(0,15 * 1258 + 4 \left(\frac{69,9}{3} + 10 \right) \right) * \frac{69,9}{1000} = 22,5 \text{ m}^2$$

$$0,15L = 0,15 * 69,9 = 10,485 \text{ m}$$

Utilizando de nuevo el *Autocad* se obtienen los valores de las tres áreas a medir para la reserva de flotabilidad mostradas en el *Anexo III*.

$$A_1 = 13,243 \text{ m}^2$$

$$A_2 = 0 \text{ m}^2$$

$$A_3 = 34,844 \text{ m}^2$$

La suma de las áreas proyectadas es:

$$\text{Suma áreas proyectadas} = 13,243 + 34,844 = 48,087 \text{ m}^2$$

Al ser la suma mayor que el área mínima requerida no se aplica ninguna corrección por reserva de flotabilidad al buque proyecto.

Resumen y correcciones del francobordo tabular

R-27	Buque	Tipo B	
R-28	Francobordo tabular	720	mm
R-29	Eslora menor de 100 m	0	mm
R-30	Coefficiente de bloque	+16	
R-31	Puntal	+522	mm
R-32	Posición línea de cubierta	No aplicable	
R-33	Altura normal de superestructuras	0	
R-36	Troncos	No aplicable	
R-37	Superestructuras	-279	mm
R-38	Arrufo	+243	mm
Francobordo de verano		1222	mm
R-39.1	Altura mínima de proa	0	
R-39.2	Reserva de flotabilidad	0	
Francobordo de verano		1222	mm

Se ha asumido en la tabla directamente que no existe corrección por la altura mínima de proa, por lo que se procede al a verificación. Se muestra un plano de perfil del buque en el *Anexo IV*.

$$\text{Altura real} = \text{Francobordo de verano} + \text{Arrudo en p.Pr} + \text{Altura castillo}$$

$$\text{Altura real} = 1222 + 0 + 3000 = 4222 \text{ mm} > 3527 \text{ mm}$$

Al ser la altura real mayor que la altura mínima no se aplica ninguna corrección por la altura en la proa.

El calado de trazado es el puntal a la cubierta de francobordo menos el francobordo de verano.

$$\text{Calado de francobordo (d)} = \text{Puntal de FB} - \text{FB de verano}$$

$$\text{Calado de francobordo (d)} = 8238 - 1222 = 7016 \text{ mm}$$

Se comprueba ahora los calados de estabilidad y de escantillonado con el calado de trazado calculado para determinar el menor de ellos y establecerlo como el calado definitivo.

$$\text{Calado de estabilidad} = 6997 \text{ mm}$$

$$\text{Calado de escantillonado} = 7200 \text{ mm}$$

$$\text{Calado de francobordo} = 7016 \text{ mm}$$

$$\text{Calado de trazado definitivo} = 6997 \text{ mm}$$

A partir del nuevo calado definitivo del buque se puede hallar el francobordo de verano.

$$FB \text{ verano} = FB \text{ inicial} + \text{calado de trazado inicial} - \text{calado de trazado definitivo}$$

$$\text{Francobordo de verano} = 1222 + 7703 - 6997 = 1241 \text{ mm}$$

Reducción para el francobordo tropical e incremento para francobordo de invierno y de invierno en el Atlántico Norte

- Calado de trazado:

$$d = 6997 \text{ mm}$$

- Reducción para francobordo tropical

$$\text{Reducción tropical} = \frac{6997}{48} = 146 \text{ mm}$$

- Incremento para francobordo de invierno

$$\text{Incremento de invierno} = \frac{6997}{48} = 146 \text{ mm}$$

- Incremento para francobordo de invierno en el Atlántico Norte

$$\text{Incremento de invierno A. N} = \frac{6997}{48} + 50 = 196 \text{ mm}$$

Reducción para agua dulce

Para calcular la reducción del francobordo en agua dulce se necesitan los valores del desplazamiento con la flotación en la carga de verano y las toneladas por centímetro de inmersión para el mismo calado. Estos valores se toman en las hidrostáticas para el calado d1 (d1 = 6,99 m) presentadas en el Anexo II.

$$\Delta(d1) = 6402 \text{ ton}$$

$$TCI = 11,862 \frac{\text{ton}}{\text{cm}}$$

$$\text{Reducción por agua dulce} = \frac{\Delta}{4 \cdot TCI} = \frac{6402}{4 \cdot 11,862} = 135 \text{ mm}$$

	FB (mm)	Situación de la línea
Francobordo tropical	1095	146 mm sobre la de verano
Francobordo agua dulce	1106	135 mm sobre la de verano
Francobordo de verano	1241	Canto alto de la línea que pasa por el centro del anillo
Francobordo de invierno	1387	146 mm bajo la de verano
Francobordo inv. Atlántico Norte	1437	196 mm bajo la de verano

Tabla 2-4

Conclusiones

El francobordo de verano reglamentario de 1222 mm y el calado de trazado inicial de 7016 mm no corresponden a los valores finales obtenidos, ya que para el cálculo final del francobordo de verano se selecciona como el calado de trazado final el calado de estabilidad. Esto es debido a que no existe ninguna condición de carga con un calado mayor que el seleccionado, por lo que se puede suponer éste como el calado de trazado.

3.- CÁLCULO DEL ARQUEO

Arqueo bruto

Para calcular el arqueo bruto del buque proyecto se utiliza la siguiente fórmula.

$$GT = K_1 * V$$

V = volumen total de todos los espacios cerrados del buque (m³)

$$K_1 = 0,2 + 0,02 \log_{10} V$$

Para el cálculo de V se tiene en cuenta el volumen hasta la cubierta principal más el volumen de los espacios cerrados por encima de la cubierta principal. El volumen de los espacios por encima de la cubierta principal se calcula a partir del área de las cubiertas multiplicada por la altura de cada cubierta. Las áreas se hallan con la ayuda de *Autocad* a partir de los planos del *Anexo IV*

El volumen del espacio por debajo de la cubierta principal se halla a partir de las hidrostáticas calculadas en el *Maxsurf Stability* y mostradas en el *Anexo V*.

$$\text{Volumen hasta la cubierta principal} = \frac{7882t}{1,025t/m^3} = 7689,75 m^3$$

El volumen de los espacios cerrados por encima de la cubierta principal es:

- Cubierta principal $497,98 m^2 * 3 m = 1493,93 m^3$
- Cubierta A $475,33 m^2 * 3 m = 1425,99 m^3$
- Cubierta B $190,37 m^2 * 3 m = 571,12 m^3$
- Cubierta C $141,36 m^2 * 3 m = 424,08 m^3$
- Cubierta del puente $109,38 m^2 * 3,8 m = 415,64 m^3$

Suma espacios cerrados sobre cubierta principal = 4330,77 m³

$$V = 7689 + 4330,77 = 12020,53 m^3$$

$$K_1 = 0,2 + 0,02 \log_{10}(12020,53) = 0,2816$$

El arqueo bruto del buque proyecto es, por tanto:

$$GT = K_1 * V = 0,2816 * 12020,53 = 3385 GT$$

Comparando con el resultado del *Cuaderno 1* donde $GT = 2787$ existe una diferencia debido al cálculo de los espacios cerrados del buque no eran del todo correctos ya que eran una aproximación a partir del buque base.

Arqueo neto

El arqueo neto (NT) de los buques se calcula con la fórmula:

$$NT = K_2 V_c \left(\frac{4d}{3D} \right)^2 + K_1 \left(N_1 + \frac{N_2}{10} \right)$$

- $\left(\frac{4d}{3D} \right)^2$ No se toma ningún valor superior a 1.
- $K_2 V_c \left(\frac{4d}{3D} \right)^2$ No se toma ningún valor inferior a 0,25GT
- NT No se toma inferior a 0,30 GT.

- V_c = volumen de los espacios de carga [m^3]
- $K_2 = 0,2 + 0,02 \log_{10} V_c$
- $K_1 = 1,25 (GT + 10000) / 10000$
- D = puntal de trazado en el centro del buque [m]
- d = calado línea de verano en el centro del buque [m]
- N_1 = nº pasajeros en camarotes con menos de 8 literas
- N_2 = nº del resto de pasajeros
- $N_1 + N_2$ = nº total de pasajeros que puede llevar el buque. Si este valor es inferior a 13 estos valores tomarán el valor 0.
- GT = arqueo bruto

V_c = es el volumen de los tanques destinados al transporte de carga, que en este caso serán los tanques MUD de recogida de residuos, los tanques de agua técnica, espumógeno y dispersante. Las especificaciones de los tanques se muestran en el Anexo VI.

$$V_c = 1677,62 m^3$$

$$K_2 = 0,2 + 0,02 \log_{10}(1677,62) = 0,2645$$

Siendo $D = 8,23$ m y $d = 6,997$ m

$$\left(\frac{4d}{3D}\right)^2 = 1,285 > 1 \text{ por lo que se toma el valor } 1$$

Teniendo en cuenta que $GT = 3385$, el valor de K_1 será:

$$K_1 = \frac{1,25(3385 + 10000)}{10000} = 1,673$$

Los valores de N_1 y N_2 se tomarán como 0, ya que el buque no está destinado al transporte de pasajeros y sólo transporta tripulación.

Las limitaciones impuestas por la normativa son las siguientes:

$$K_2 V_c \left(\frac{4d}{3D}\right)^2 = 0,2645 * 1677,62 * 1 = 443,72 < 0,25GT = 846,25$$

Se toma el valor de $0,25GT$ al ser el valor inferior a éste. El valor final del arqueo neto no será inferior a $0,30GT$

$$NT \geq 0,30GT = 1015,49$$

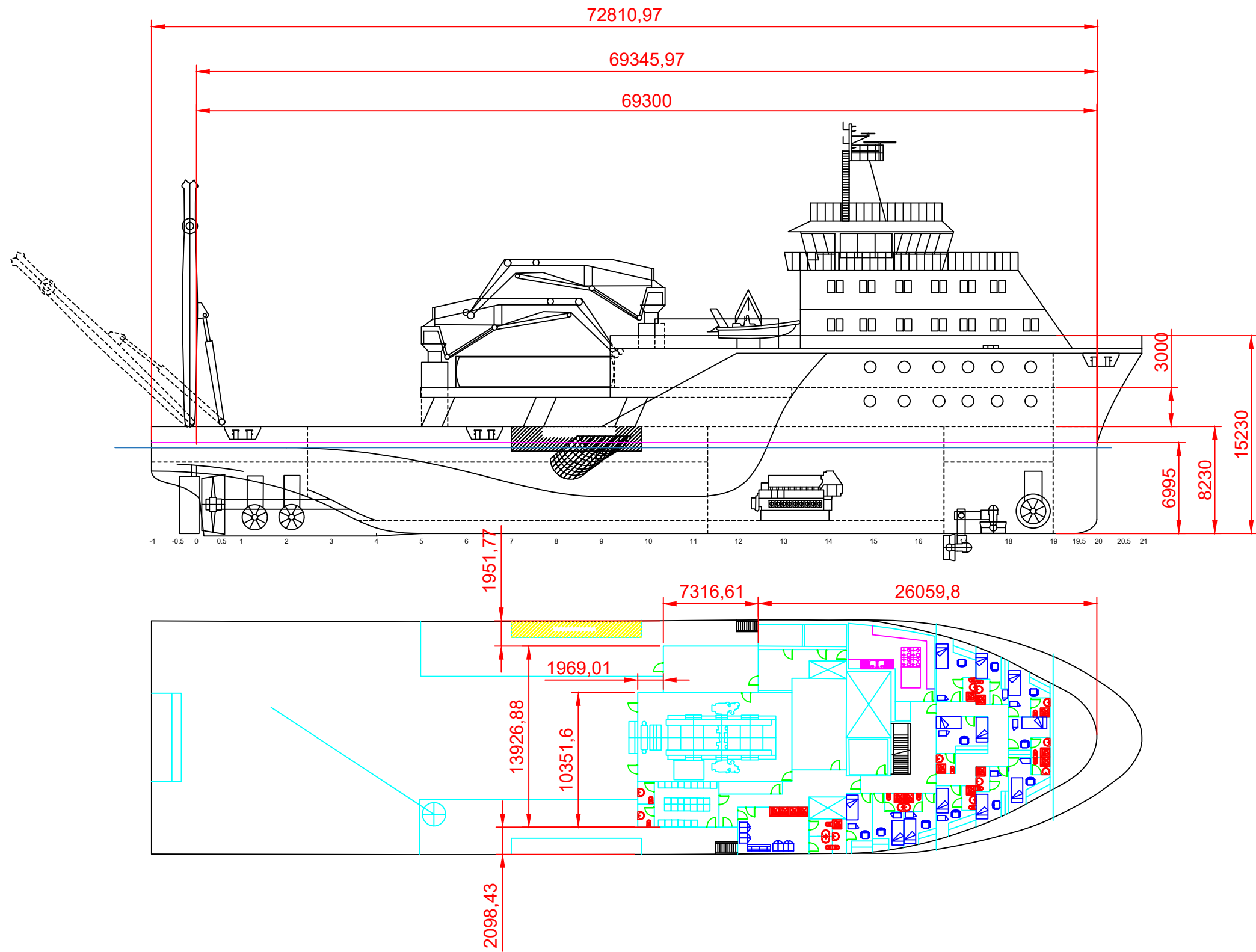
$$NT = 846,25 + 1,673 * \left(0 + \frac{0}{10}\right) = 846,25 < 0,30GT = 1015,49$$

Teniendo en cuenta que el cálculo del arqueo neto da un valor inferior a $0,30GT$ se tomará este valor como el del arqueo neto. Esto es debido a que el buque proyecto no es un barco destinado a pasajeros y tampoco cuenta con una gran proporción de tanques de carga con respecto a su tamaño debido a que es un remolcador polivalente.

Por tanto, el valor del arqueo neto es:

$$\text{Arqueo neto} = NT = 1015$$

4.-ANEXO I. PLANO ACOTADO DEL BUQUE PROYECTO



DIMENSIONES PRINCIPALES

Eslora total.....76,2 m
Eslora entre perpendiculares.....69,3 m
Manga de trazado.....18 m
Puntal de trazado.....8,21 m
Calado de diseño.....6,61 m

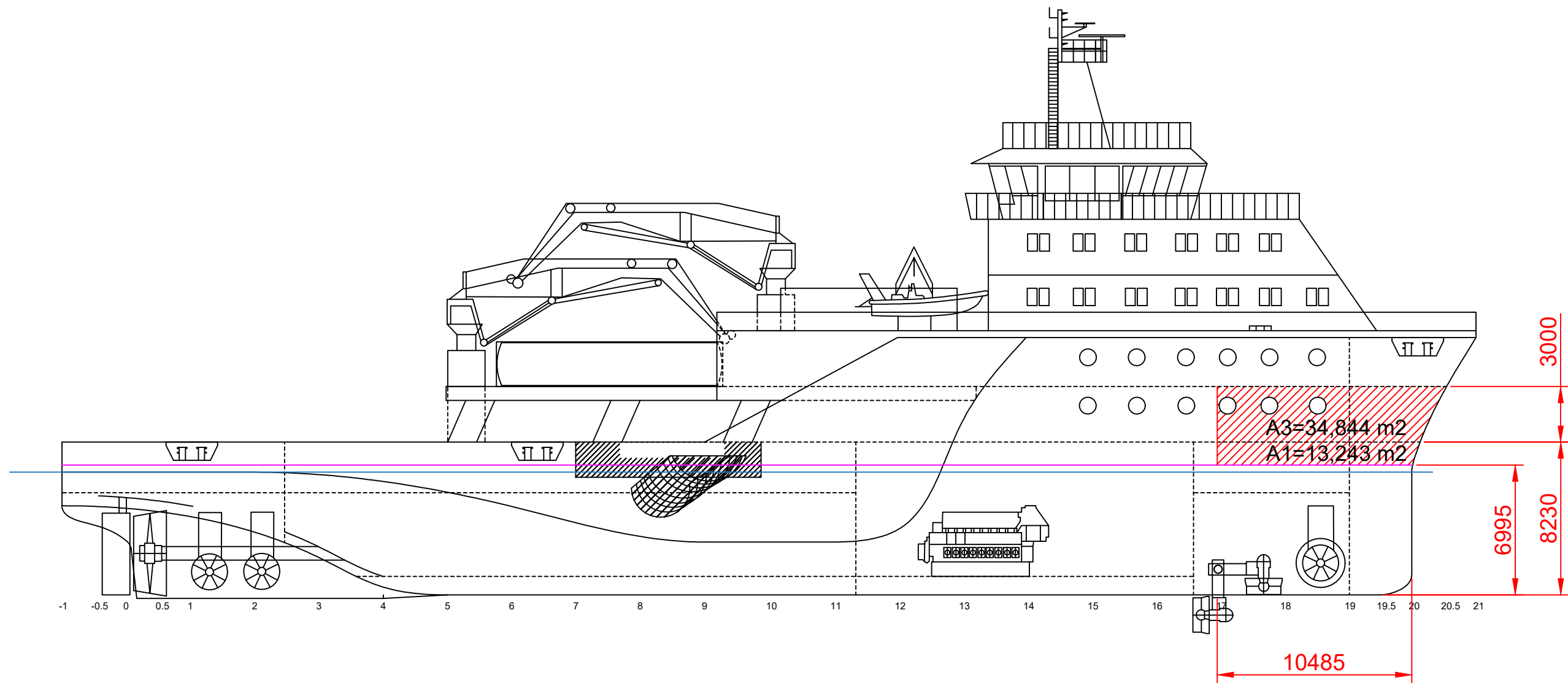
Fecha	Nombre	Firma	Universidade da Coruña
22/3/17	Jose Rábano Carretero		EPS FERROL
Escala	Designación	Tamaño A-3	Número de plano
1:350	PLANO ACOTADO DEL BUQUE		09.BP.01

5.- ANEXO II. HIDROSTÁTICAS PARA EL CALADO D1

Draft Amidships	6,99
Displacement t	6402
Heel deg	0
Draft at FP m	6,99
Draft at AP m	6,99
Draft at LCF m	6,99
Trim (+ve by stern) m	0
WL Length m	72,816
Beam max extents on WL m	17,998
Wetted Area m²	1836,808
Waterpl. Area m²	1157,302
Prismatic coeff. (Cp)	0,69
Block coeff. (Cb)	0,682
Max Sect. area coeff. (Cm)	0,988
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,883
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	32,923
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	29,041
KB m	3,917
KG m	6,61
BMt m	4,536
BML m	67,901
GMt m	1,844
GML m	65,208
KMt m	8,454
KML m	71,818
Immersion (TPc) tonne/cm	11,862
MTc tonne.m	60,244
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	206,001
Max deck inclination deg	0
Trim angle (+ve by stern) deg	0

Tabla 5-1

6.- ANEXO III. ÁREAS FLOTABILIDAD DE RESERVA

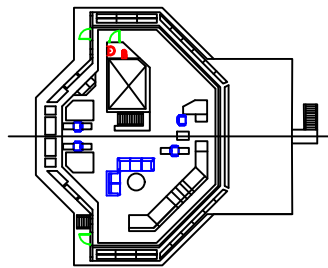
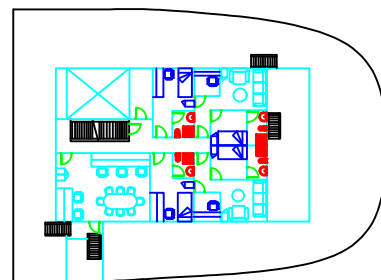
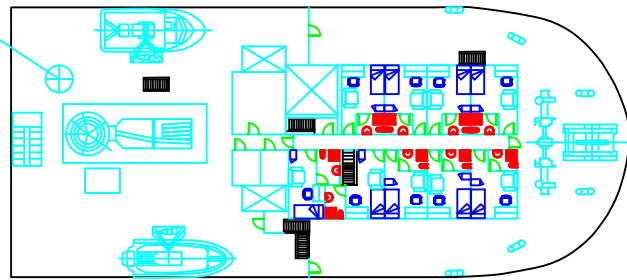
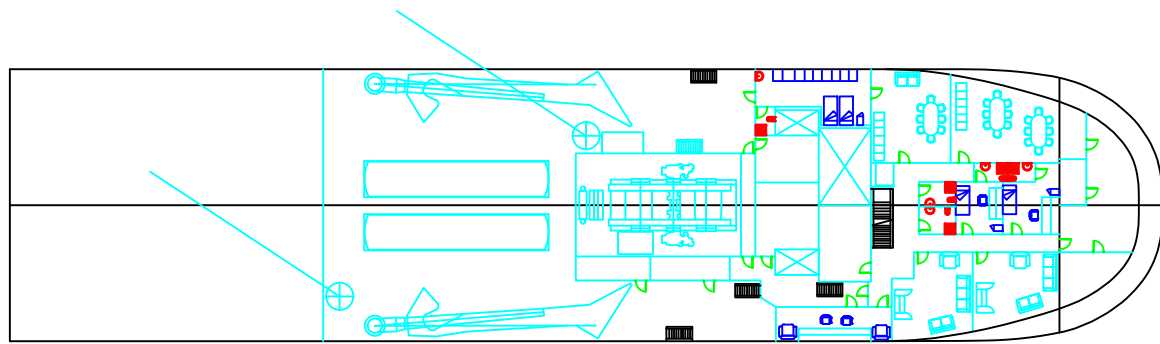
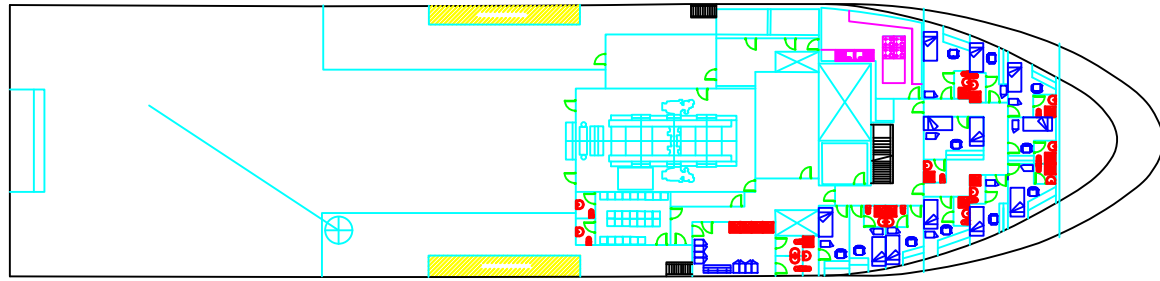
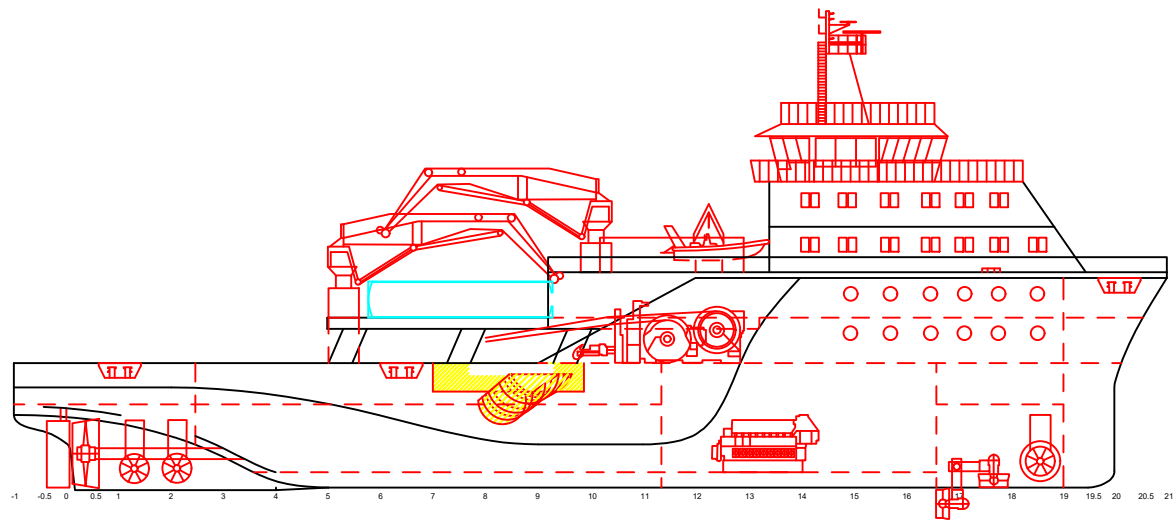


DIMENSIONES PRINCIPALES

Eslora total.....76,2 m
Eslora entre perpendiculares.....69,3 m
Manga de trazado.....18 m
Puntal de trazado.....8,21 m
Calado de diseño.....6,61 m

Fecha	Nombre	Firma	Universidade da Coruña
22/3/17	Jose Rábano Carretero		EPS FERROL
Escala	Designación	Tamaño A-3	Número de plano
1:250	RESERVA DE FLOTABILIDAD		09.BP.02

7.- ANEXO IV. DISPOSICIÓN GENERAL DEL BUQUE



DIMENSIONES PRINCIPALES

Eslora total.....76,2 m
Eslora entre perpendiculares.....69,3 m
Manga de trazado.....18 m
Puntal de trazado.....8,21 m
Calado de diseño.....6,61 m

Fecha	Nombre	Firma	Universidade da Coruña
22/3/17	Jose Rábano Carretero		EPS FERROL
Escala	Designación	Tamaño A-3	Número de plano
1:500	PERFIL LONGITUDINAL COMPLETO		07.BP.06

8.- ANEXO V. HIDROSTÁTICAS PARA UN CALADO DE 8,23 M

Draft Amidships	8,23
Displacement t	7882
Heel deg	0
Draft at FP m	8,23
Draft at AP m	8,23
Draft at LCF m	8,23
Trim (+ve by stern) m	0
WL Length m	73,216
Beam max extents on WL m	17,998
Wetted Area m²	2584,833
Waterpl. Area m²	594,587
Prismatic coeff. (Cp)	0,717
Block coeff. (Cb)	0,709
Max Sect. area coeff. (Cm)	0,989
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,451
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	32,23
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	45,765
KB m	4,611
KG m	6,61
BMt m	1,712
BML m	8,622
GMt m	-0,287
GML m	6,623
KMt m	6,323
KML m	13,233
Immersion (TPc) tonne/cm	6,095
MTc tonne.m	7,533
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	-39,533
Max deck inclination deg	0
Trim angle (+ve by stern) deg	0

Tabla 8-1

9.- ANEXO VI. DESGLOSE DE LOS TANQUES

Nombre del tanque	Peso (ton)	Volumen (m ³)	Eslora (m)	Manga (m)	Puntal (m)
Lastre 1 fondo Er	46,96	45,82	52,20	2,30	0,30
Lastre 1 fondo Br	46,96	45,82	52,20	-2,30	0,30
Lastre 2 fondo Er	66,78	65,15	43,45	3,58	0,28
Lastre 2 fondo Br	66,78	65,15	43,45	-3,58	0,28
Lastre 3 fondo Er	62,42	60,89	35,66	3,99	0,27
Lastre 3 fondo Br	62,42	60,89	35,66	-3,99	0,27
Lastre 4 fondo Er	65,67	64,07	28,12	3,83	0,27
Lastre 4 fondo Br	65,67	64,07	28,12	-3,83	0,27
Lastre 5 fondo Er	32,99	32,18	19,06	2,16	0,35
Lastre 5 fondo Br	32,99	32,18	19,06	-2,16	0,35
Lastre 1 costado Er	12,73	12,42	53,88	6,83	5,86
Lastre 1 costado Br	12,73	12,42	53,88	-6,83	5,86
Lastre 2 costado Er	24,12	23,53	47,28	8,12	4,42
Lastre 2 costado Br	24,12	23,53	47,28	-8,12	4,42
Lastre 3 costado Er	38,36	37,43	41,96	8,44	3,06
Lastre 3 costado Br	38,36	37,43	41,96	-8,44	3,06
Lastre 4 costado Er	60,72	59,24	35,17	8,49	2,86
Lastre 4 costado Br	60,72	59,24	35,17	-8,49	2,86
Lastre 5 costado Er	56,13	54,76	27,17	8,47	3,02
Lastre 5 costado Br	56,13	54,76	27,17	-8,47	3,02
Lastre 6 costado Er	43,42	42,36	19,46	8,44	4,12
Lastre 6 costado Br	43,42	42,36	19,46	-8,44	4,12
Lastre 7 costado Er	24,81	24,20	12,13	8,46	5,33
Lastre 7 costado Br	24,81	24,20	12,13	-8,46	5,33
Lastre popa Er	37,71	36,79	-1,73	6,72	6,18
Lastre popa Br	37,71	36,79	-1,73	-6,72	6,18
Lodos sentina	7,30	8,00	25,00	-1,00	1,50
Agua consumo 1 Er	41,72	41,72	63,30	1,58	6,18
Agua consumo 1 Br	41,72	41,72	63,30	-1,58	6,18
Agua consumo 2 Er	12,74	12,74	62,31	3,81	6,48
Agua consumo 2 Br	12,74	12,74	62,31	-3,81	6,48
HFO UD Er	136,63	144,69	34,17	2,00	1,88
HFO UD Br	136,63	144,69	34,17	-2,00	1,88
HFO SD Er	117,11	124,02	34,17	6,00	3,75
HFO SD Br	117,11	124,02	34,17	-6,00	3,75
HFO 1 Er	144,83	153,37	34,17	2,00	5,43
HFO 1 Br	144,83	153,37	34,17	-2,00	5,43
HFO 2 Er	86,27	91,36	34,17	6,00	6,55
HFO 2 Br	86,27	91,36	34,17	-6,00	6,55
HFO 3 Er	136,17	144,20	26,50	2,00	2,80

HFO 3 Br	75,64	80,10	27,50	-2,00	2,67
MUD 1 Er	336,86	366,16	15,87	1,97	3,05
MUD 1 Br	336,86	366,16	15,87	-1,97	3,05
MUD 2 Er	250,00	271,74	15,59	5,94	4,40
MUD 2 Br	250,00	271,74	15,59	-5,94	4,40
MUD 3 Er	95,86	104,20	26,50	6,00	4,30
MUD 3 Br	95,86	104,20	26,50	-6,00	4,30
Aceite	29,53	32,10	25,25	-2,00	5,80
Aceite hidráulico	11,04	12,00	25,00	-3,25	2,00
Aguas grises	12,00	12,00	25,00	-1,58	2,93
Dispersante	30,20	33,55	59,07	3,31	6,21
Espumógeno	43,80	42,94	59,12	-2,79	6,20
Pique de proa	65,16	65,16	67,15	0,00	3,53
Agua técnica Er	25,90	25,90	2,60	7,92	6,25
Agua técnica Br	25,90	25,90	2,60	-7,92	6,25

Tabla 9-1