



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



*Escola Politécnica Superior*

**TRABAJO FIN DE MÁSTER**

**CURSO 2017/18**

---

*Buque de Apoyo a Plataformas Offshore “PSV”  
(1200 m<sup>3</sup> Oil Recovery Tanks & 400 m<sup>2</sup> Deck cargo)*

---

**Máster en Ingeniería Naval y Oceánica**

**CUADERNO 9**

**FRANCOBORDO Y ARQUEO**

**ALUMNO**

Diego Jesús Bellido Trujillo

**TUTOR**

Marcos Míguez González

**FECHA**

Septiembre 2018





UNIVERSIDADE DA CORUÑA

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA NAVAL Y OCEÁNICA**

**MASTER EN INGENIERÍA NAVAL Y OCEÁNICA**

*CURSO 2.017-2018*

**PROYECTO NÚMERO 18-103**

**TIPO DE BUQUE:** Buque tipo PSV, Buque de Apoyo a Plataformas petrolíferas, "PLATFORM SUPPLY VESSELS" (PSV)

**CLASIFICACIÓN, COTA Y REGLAMENTOS DE APLICACIÓN:** DNV (OILREC, FI-FI I, DYNPOS-AUTR.), SOLAS, MARPOL.

**CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA:** 1200 M3 OIL RECOVERY TANKS. 400 M2 libres de espacio de carga en cubierta.

**VELOCIDAD Y AUTONOMÍA:** 14 nudos en condiciones de servicio al 85% MCR y margen de mar del 15%. 5000 millas de autonomía.

**SISTEMAS Y EQUIPOS DE CARGA / DESCARGA:** Los específicos y normales para este tipo de buque.

**PROPULSIÓN:** Diésel eléctrica con propulsores azimutales. Estudio Específico de Viabilidad de propulsión Dual HFO/LNG

**TRIPULACIÓN Y PASAJE:** Capacidad para 25 personas.

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

Ferrol, Febrero de 2.018

ALUMNO: Dº. Diego Jesús Bellido Trujillo



# ÍNDICE

1 Presentación .....	7
2 Cálculo del Francobordo .....	8
2.1 Parámetros iniciales .....	8
2.1.1 Eslora .....	8
2.1.2 Perpendiculares .....	9
2.1.3 Centro del buque .....	9
2.1.4 Manga .....	10
2.1.5 Puntal de Francobordo .....	10
2.1.6 Coeficiente de bloque .....	10
2.1.7 Cubierta de francobordo .....	11
2.1.8 Superestructuras .....	11
2.2 Regla 27. Tipos de buques .....	12
2.3 Regla 28. Francobordo Tabular .....	12
2.4 Regla 29. Corrección al francobordo para buques de eslora inferior a 100m. ....	12
2.4.1 Regla 33 .....	12
2.5 Regla 30. Corrección por coeficiente de bloque .....	13
2.6 Regla 31. Corrección por puntal .....	14
2.7 Regla 37. Reducción por superestructuras y troncos. ....	15
2.8 Regla 38. Arrufo .....	16
2.9 Regla 39. Altura mínima en proa y flotabilidad de reserva. ....	19
2.9.1 Altura mínima en proa .....	19
2.9.2 Flotabilidad de reserva .....	20
2.10 Francobordo de Verano obtenido .....	21
2.11 Regla 40. Francobordos mínimos. ....	22
2.11.1 Francobordo de verano .....	22
2.11.2 Francobordo tropical .....	22
2.11.3 Francobordo de invierno .....	22
2.11.4 Francobordo de invierno en el Atlántico norte .....	22
2.11.5 Francobordo de agua dulce .....	23

2.12 Resumen de Francobordos mínimos .....	24
3 Arqueo .....	25
3.1 Arqueo Bruto.....	25
3.2 Arqueo Neto.....	27
4 Referencias.....	28
Anexo 1. Plano Medidas Francobordo .....	29
Anexo 2. Plano Área al 85% del Puntal.....	30
Anexo 3. Disposición General .....	31

## ***TABLA DE ILUSTRACIONES***

Ilustración 1. Medidas Eslora de Francobordo. ....	9
Ilustración 2. Área al 85% del Puntal.....	19
Ilustración 3. Resultados obtenidos del programa. ....	23
Ilustración 4. Resultados obtenidos del programa 2. ....	26

## 1 PRESENTACIÓN

En el presente cuaderno vamos a calcular el francobordo reglamentario estableciendo en primer lugar unos valores de Eslora de francobordo necesario para su cálculo.

Una vez calculado el francobordo, siguiendo el convenio correspondiente, realizaremos un apartado a modo de resumen de los resultados obtenidos.

A continuación calcularemos el arqueo del buque, dividiendo el mismo para su cálculo, en Arqueo Bruto y Arqueo Neto.

Se realizarán los cálculos relativos al arqueo y francobordo según el Convenio Internacional Sobre Líneas de Carga de 1966, el Protocolo de Líneas de Carga de 1988 y el Convenio de Arqueo de Buques de 1969.

<i>DIMENSIONES PRINCIPALES</i>	
Eslora total	85,00 m
Eslora entre pps	76,26 m
Manga	19,00 m
Puntal de Trazado	7,90 m
Calado de Trazado	6,15 m
Desplazamiento	6607 t
Peso Muerto	3211 t
Coefficiente de bloque	0,69

<i>MAQUINARIA PRINCIPAL</i>	
Propulsión	Diesel eléctrica, híbrida.
Motores principales	4 x 3840 kW Wärtsila Genset 8L34DF
Gen. Puerto/emergencia	1 x 920 kW Wärtsila Genset 4L 20

## 2 CÁLCULO DEL FRANCOBORDO

El convenio aplicado es el Convenio Internacional sobre Líneas de Carga <sup>1</sup>, como hemos mencionado en la introducción, en el que los Gobiernos contratantes desearon establecer principios y reglas uniformes en lo que respecta a los límites autorizados para la inmersión de los buques que realizan viajes internacionales, en atención a la necesidad de garantizar la seguridad de la vida humana y de los bienes en la mar.

Ningún buque sujeto a las disposiciones de este convenio podrá salir a la mar para realizar un viaje internacional si no ha sido inspeccionado, marcado y provisto de un Certificado internacional de francobordo.

Para la aplicación del Convenio, este define una serie de reglas para determinar las líneas de carga.

Estas reglas suponen que la naturaleza y estiba de la carga, lastre, etc., son adecuadas para asegurar una estabilidad suficiente del buque y evitar esfuerzos estructurales excesivos.

Las reglas suponen también que se han cumplido las prescripciones internacionales relativas a estabilidad y compartimentado que existan.

En primer lugar se calcularán los parámetros a utilizar, como la eslora, manga, puntal de trazado, coeficiente de bloque y se analizará la superestructura.

### 2.1 Parámetros iniciales

#### 2.1.1 Eslora

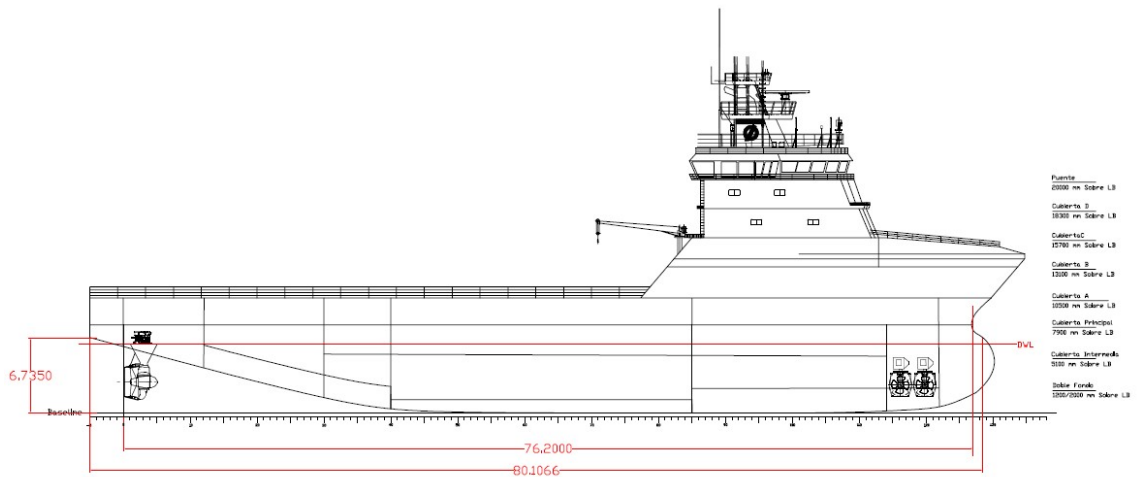
- a) *Se tomará como eslora (L) el 96% de la eslora total medida en una flotación cuya distancia al canto alto de la quilla sea igual al 85% del puntal mínimo de trazado, o la eslora medida en esa flotación desde la cara proel de la roda hasta el eje de la mecha del timón, si esta segunda magnitud es mayor.*
- b) *En los buques sin mecha de timón, se tomará como eslora (L) el 96% de la flotación correspondiente al 85% del puntal mínimo de trazado.*
- c) *Cuando el contorno de la roda sea cóncavo por encima de la flotación correspondiente al 85% del puntal mínimo de trazado, tanto el extremo de proa de la eslora total como la cara proel de la roda se tomarán en la proyección vertical, sobre esa flotación, del punto más a popa del contorno de la roda.* <sup>1</sup>

Para nuestro buque proyecto, al tratarse de un buque sin mecha del timón, realizaremos la comprobación descrita en el punto a, suponiendo que nuestro eje de actuación acimutal es equivalente al eje de mecha de timón.



**Tabla 1. Eslora de Francobordo.**

Eslora de Francobordo		
<i>D</i>	7,91	m
<i>d1</i>	6,7235	m
<i>Lwl (d1)</i>	80,106	m
<i>96% L (d1)</i>	76,9	m
<i>L1</i>	76,9	m
<i>L2</i>	78,56	m
<i>L (max L1,L2)</i>	78,56	m



**Ilustración 1. Medidas Eslora de Francobordo.**  
Fuente: Propia.

### 2.1.2 Perpendiculares

Las perpendiculares de proa y popa deberán tomarse en los extremos de proa y popa de la eslora (*L*). La perpendicular de proa deberá coincidir con la cara de proa de la roda en la flotación en que se mide la eslora.

Sobre la figura anterior podemos ver en rojo tanto la perpendicular de popa como de proa cumpliendo con los requerimientos anteriores.

### 2.1.3 Centro del buque

El centro del buque corresponderá con el punto medio de la eslora de francobordo (*L*):

$$\frac{L}{2} = \frac{78,56}{2} = 39,28 \text{ m}$$

### 2.1.4 Manga

La manga (B) será la manga máxima del buque, medida en el centro del mismo hasta la línea de trazado de la cuaderna, en los buques de forro metálico, o hasta la superficie exterior del casco, en los buques con forro de otros materiales

$$B = 19,00 \text{ m}$$

### 2.1.5 Puntal de Francobordo

El puntal de francobordo (D) será el puntal de trazado en el centro del buque más el espesor de la cubierta de francobordo en el costado (definida en el Cuaderno 8).

$$D = 7910 \text{ m}$$

$$\text{Espesor Cubierta} = 9 \text{ mm}$$

$$D + \text{Espesor Cubierta} = 7919 \text{ mm}$$

### 2.1.6 Coeficiente de bloque

El Coeficiente de bloque vendrá dado por la siguiente fórmula:

$$Cb = \frac{\nabla}{L \cdot B \cdot d1} \quad 1$$

Donde:

$\nabla$ , será el volumen del desplazamiento de trazado del buque, excluidos los apéndices, en un buque con forro metálico, y el volumen de desplazamiento de la superficie exterior del casco en los buques con forro de cualquier otro material, ambos tomados a un calado de trazado,  $d1$ ; siendo

$d1$ , el 85% del puntal mínimo de trazado.

Aplicando esto a nuestro buque, obtendremos lo siguiente:

Emplearemos el valor que nos da Maxsurf:

## Hydrostatics at DWL

	Measurement	Value	Units
1	Displacement	6607	t
2	Volume (displaced)	6445,866	m <sup>3</sup>
3	Draft Amidships	6,159	m
4	Immersed depth	6,175	m
5	WL Length	79,250	m
6	Beam max extents o	18,996	m
7	Wetted Area	2130,919	m <sup>2</sup>
8	Max sect. area	115,374	m <sup>2</sup>
9	Waterpl. Area	1349,033	m <sup>2</sup>
10	Prismatic coeff. (Cp)	0,705	
11	Block coeff. (Cb)	0,693	
12	Max Sect. area coeff	0,986	
13	Waterpl. area coeff.	0,896	

Tabla 2. Coeficiente de Bloque.

Coeficiente de Bloque		
<i>d1</i>	6,7235	m
<i>Volumen</i>	6445,9	m
<i>L</i>	78,56	m
<i>B</i>	19	m
<b><i>Cb</i></b>	<b>0,692</b>	<b>m</b>

### 2.1.7 Cubierta de francobordo

La cubierta de francobordo será normalmente la cubierta completa más alta expuesta a la intemperie y a la mar, dotada de medios permanentes de cierre en todas las aberturas en la parte expuesta de la misma y bajo la cual todas las aberturas en los costados del buque están dotadas de medios permanentes de cierre estanco.

Para nuestro proyecto, la cubierta de francobordo considerada será la cubierta principal situada a 7,90 metros sobre la línea base.

### 2.1.8 Superestructuras

La altura de una superestructura será la altura mínima vertical medida en el costado desde el canto alto de los baos de la cubierta de la superestructura hasta el canto alto de los baos de la cubierta de francobordo.

Contaremos con un castillo de proa como superestructura cerrada, cuya altura a considerar será:

$$hr = 2.600 \text{ m}$$

La longitud del castillo de proa (S) será la longitud media de la parte de superestructura situada dentro de la eslora (L); es decir:

$$S = 12.83 \text{ m}$$

## 2.2 Regla 27. Tipos de buques

Definiremos nuestro buque como tipo "B", ya que puede transportar carga en la cubierta y su único fin no es transportar carga a granel.

## 2.3 Regla 28. Francobordo Tabular

El francobordo tabular se obtendrá por interpolación lineal de la Tabla 28.2, Tabla de francobordo para buques de tipo 'B'.

$$\text{Francobordo tabular} = 859.97 \text{ mm} = \mathbf{860\text{mm}}$$

## 2.4 Regla 29. Corrección al francobordo para buques de eslora inferior a 100m.

*El francobordo tabular para buques de tipo "B", de eslora comprendida entre 24 m y 100 m con superestructuras cerradas de una longitud efectiva de hasta el 35% de la eslora, se incrementará en la siguiente cantidad:*

$$7,5 \cdot (100 - L) \cdot \left[ 0,35 - \frac{E_1}{L} \right] \text{ mm}$$

*Siendo,*

*L = eslora del buque en m; y*

*E<sub>1</sub> = longitud efectiva de las superestructuras en m, según se define en la regla 35, pero excluida la longitud de los troncos.*

Para poder calcular este punto, necesitamos referirnos a las reglas 33, 34 y 35 que se resumen a continuación:

### 2.4.1 Regla 33

Se refiere a la altura normal de las superestructuras.

Como nuestro castillo de proa es una superestructura cerrada de altura mayor a la normal (Regla 33), su longitud efectiva (E) será su longitud real según lo especificado en la regla 35 del convenio de líneas de carga.

**Tabla 3. Altura normal de las Superestructuras.**

Altura normal (m)		
L (m)	Cubierta de Saltillo	Todas las demás superestructuras
30 o menos	0.9	1.8
75	1.2	1.8
125 o más	1.8	2.3
<b>75.997</b>	-	<b>1.81</b>

Con lo cual consideraremos un castillo de proa con una altura superior a la altura normal y con una longitud  $S=E=12.83$  m.

Una vez visto esto ya podemos aplicar la regla 29:

**Tabla 4. Resumen Regla 29.**

Regla 29	Coeficiente de Bloque		
	E	12,83	m
	35%L	27,496	m
	Incremento al francobordo tabular		
	+	30,019 mm	

## 2.5 Regla 30. Corrección por coeficiente de bloque.

*Cuando el coeficiente de bloque ( $C_b$ ) sea superior a 0.68, el francobordo tabular especificado en la regla 28, después de ser modificado, si procede, por las reglas 27 8), 27 10) y 29, se multiplicará por el factor.*

$$\frac{C_b + 0,68}{1,36}$$

Esta regla no nos aplica ya que el coeficiente de bloque calculado anteriormente es de 0.672.

## 2.6 Regla 31. Corrección por puntal.

- 1) Cuando  $D$  exceda de  $L/15$ , el francobordo se aumentará en  $(D-L/15) \cdot R$  mm, siendo  $R = L/0.48$  para esloras inferiores a 120m y 250 para esloras de 120 m o mayores.
- 2) Cuando  $D$  sea mayor que  $L/15$  no se hará reducción alguna, excepto en buques con superestructuras cerradas que cubran al menos una longitud igual a  $0,6L$  en el centro del buque, o bien con un tronco completo, o una combinación de superestructuras cerradas separadas y troncos que se extiendan de manera continua de proa a popa, en cuyo caso el francobordo se reducirá en la proporción prescrita en el párrafo 1).
- 3) Cuando la altura de la superestructura o del tronco sea inferior a la normal que corresponda, la reducción calculada se corregirá con la relación entre la altura real de la superestructura o del tronco y la altura normal aplicable definida en la regla 33.

Para nuestro caso debemos aumentar el francobordo de la siguiente forma:

$$\left(D - \frac{L}{15}\right) \cdot \frac{L}{0,48}$$

**Tabla 5. Resumen Regla 31.**

Regla 31	Corrección por Puntal		
	D	7,91	m
	L/15	5,24	m
	D>L/15	SI	
	+	<b>437,43</b>	<b>mm</b>

## 2.7 Regla 37. Reducción por superestructuras y troncos.

- 1) Cuando la longitud efectiva de superestructuras y troncos sea igual a  $1 L$ , la reducción del francobordo será de 350 mm para 24 m de eslora del buque, 860 mm para 85 m de eslora y 1070 mm para 122 m de eslora y esloras superiores. Las reducciones correspondientes a esloras intermedias se obtendrán por interpolación lineal.
- 2) Cuando la longitud total efectiva de superestructuras y troncos sea inferior a  $1 L$ , la reducción será un porcentaje obtenido de la tabla siguiente:

Porcentaje de Reducción para buques tipo "A" y "B".		
Longitud efectiva total de superestructuras y troncos		% reducción para todos los tipos de
0	$x L$	0
0.1	$x L$	7
0.2	$x L$	14
0.3	$x L$	21
0.4	$x L$	31
0.5	$x L$	41
0.6	$x L$	52
0.7	$x L$	63
0.8	$x L$	75.3
0.9	$x L$	87.7
1	$x L$	100

Los porcentajes correspondientes a longitudes intermedias de superestructuras y troncos se obtendrán por interpolación lineal.

- 3) En los buques de tipo "B" no se permite reducción alguna si la longitud efectiva del castillo de proa es inferior a  $0,07L$ .

**Tabla 6. Resumen Regla 37.**

Regla 37	Reducción por Superestructuras y troncos		
	0,07L	5,4992	m
	E	12,83	m
	$E > 0,07 L$		
	E/L	0,16	
	% red	9	
	L(m)	Reducción	
	24	350	mm
	85	860	mm
	78,56	806,16	mm
	-	<b>72,55</b>	<b>mm</b>

## 2.8 Regla 38. Arrufo

*Cuando una toldilla o un castillo cerrados sean de altura normal, con un arrufo mayor que el de la cubierta de francobordo, o sean de altura superior a la normal, se aumentará el arrufo de la cubierta de francobordo en la forma prevista en el párrafo 12).*

Citando lo que el referido párrafo 12 de esta regla, observamos:

*Cuando se conceda un exceso de arrufo por una toldilla o un castillo, se utilizará la siguiente fórmula:*

$$s = \frac{y \cdot L'}{3 \cdot L}$$

*Siendo:*

*S, el suplemento de arrufo, a deducir del defecto, o añadir al exceso de arrufo;*

*Y, la diferencia entre las alturas real y normal de la superestructura en la perpendicular de popa o de proa.*

*L', la longitud media de la parte cerrada de la toldilla o castillo, hasta un máximo de 0,5L;*

*L, la eslora del buque, según se define en la regla 3.1).*

Con esto, podemos calcular el suplemento de arrufo:

**Tabla 7. Resumen Regla 38.**

Regla 38	Suplemento de arrufo		
	0,5*L	39,28	m
	S	12,83	m
	<b>L'</b>	<b>12,83</b>	<b>m</b>
	hr	2,6	m
	hn	1,81	m
	<b>y</b>	<b>0,79</b>	<b>m</b>
	<b>s</b>	<b>43,000</b>	<b>mm</b>

En el párrafo 8 de dicha regla, se dan las coordenadas de la curva de arrufo normal en función de la eslora de francobordo:



Tabla IV

*Tabla 38.1.*  
**Curva de arrufo normal**  
(L en m)

	Situación	Ordenada (en mm)	Factor
<b>Mitad de popa</b>	Perpendicular de popa	25 (L/3+10)	1
	1/6 L desde la P. de Pp.	11,1(L/3+10)	3
	1/3 L desde la P. de Pp.	2,8 (L/3+10)	3
	Centro del buque	0	1
<b>Mitad de proa</b>	Centro del buque	0	1
	1/3 L desde la P. de Pr.	5,6 (L/3+10)	3
	1/6 L desde la P. de Pr.	22,2(L/3+10)	3
	Perpendicular de proa	50 (L/3+10)	1

Considerando nuestra eslora de francobordo obtenemos lo siguiente:

**Tabla 8. Curva de Arrufo Normal.**

<b>Curva de Arrufo Normal</b>				
	Situación	Ordenada (mm)	Factor	Productos
Mitad Popa	Perpendicular de popa	905	1	905
	1/6 L desde la P. de Pp	402	3	1205
	1/3 L desde la P. de Pp	101	3	304
	Centro buque	0	1	0
Mitad Proa	Centro buque	0	1	0
	1/3 L desde la P. de Pr	203	3	608
	1/6 L desde la P. de Pr	803	3	2410
	Perpendicular de proa	1809	1	1809

Arrufo Normal en Popa (mm)	2414
Arrufo Normal en Proa (mm)	4827

**Tabla 9. Curva de Arrufo Real.**

<b>Curva de Arrufo Real</b>				
	Situación	Ordenada (mm)	Factor	Productos
Mitad Popa	Perpendicular de popa	0	1	0
	1/6 L desde la P. de Pp	0	3	0
	1/3 L desde la P. de Pp	0	3	0
	Centro buque	0	1	0
Mitad Proa	Centro buque	43	1	43
	1/3 L desde la P. de Pr	43	3	129
	1/6 L desde la P. de Pr	43	3	129
	Perpendicular de proa	43	1	43

Arrufo Normal en Popa (mm)	0
Arrufo Normal en Proa (mm)	344

En el párrafo 9 de la regla 38, podemos ver lo siguiente:

*Cuando la curva de arrufo sea diferente de la normal, las cuatro ordenadas de cada una de las curvas en las mitades de proa o de popa se multiplicarán por los factores correspondientes que se dan en la tabla de ordenadas. La diferencia entre la suma de los productos así obtenidos y la de los productos correspondientes al arrufo normal, dividida por ocho, indica el defecto o el exceso de arrufo en las mitades de proa o de popa. La media aritmética de los valores así obtenidos expresa el exceso o defecto de arrufo en cubierta.*

$$\frac{A_{rpp} - A_{npp}}{8} = -301 \text{ mm}$$

$$\frac{A_{rpr} - A_{npr}}{8} = -560 \text{ mm}$$

$$\frac{\frac{A_{rpp} - A_{npp}}{8} + \frac{A_{rpr} - A_{npr}}{8}}{2} = 430,5 \text{ mm}$$

Si vamos al punto 14, para realizar la corrección por la variación respecto de la curva de arrufo normal nos dice:

*La corrección por arrufo deberá ser el defecto o exceso de arrufo multiplicado por:*

$$0,75 - \frac{S_1}{2 \cdot L}$$

*Siendo  $S_1$  la longitud total  $S$  de las superestructuras cerradas definidas en la regla 34, sin los troncos.*

**Tabla 10. Adición por defecto de arrufo.**

Adición por defecto de arrufo		
$S_1$	12,83	m
$L$	78,56	m
$0,75 - S_1/(2L)$	0,67	m
Defecto arrufo	430,50	mm
$0,75 - S_1/(2L)$	* Defecto arrufo	
<b>+</b>	<b>287,72</b>	<b>mm</b>

## 2.9 Regla 39. Altura mínima en proa y flotabilidad de reserva.

### 2.9.1 Altura mínima en proa

La altura de proa ( $F_b$ ), definida como la distancia vertical en la perpendicular de proa entre la línea de flotación correspondiente al francobordo de verano asignado y al asiento proyectado y la parte superior de la cubierta de intemperie en el costado, no será inferior a:

$$F_b = \left( 6075 \cdot \left( \frac{L}{100} \right) - 1875 \cdot \left( \frac{L}{100} \right)^2 + 200 \cdot \left( \frac{L}{100} \right)^3 \right) \cdot \left( 2,08 + 0,609 \cdot C_b - 1,603 \cdot C_{wf} - 0,0129 \cdot \left( \frac{L}{d_1} \right) \right)$$

Siendo:

$F_b$ , la altura mínima de proa calculada, en mm;

$L$ , la eslora definida en la regla 3, en m;

$B$ , la manga de trazado definida en la regla 3, en m;

$d_1$ , el calado en el 85% del puntal  $D$ , en m;

$C_b$ , el coeficiente de bloque definido en la regla 3;

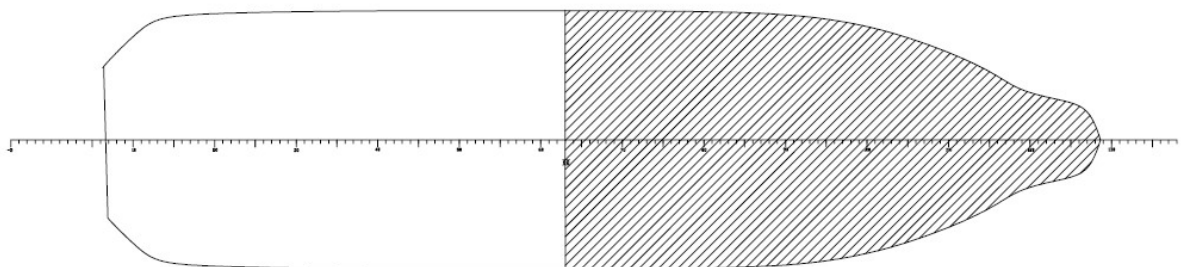
$C_{wf}$ , el coeficiente del área de la flotación a proa de  $L/2$ :

$$C_{wf} = \frac{A_{wf}}{\frac{L}{2} \cdot B}$$

$A_{wf}$ , el área de la flotación a proa de  $L/2$  para el calado  $d_1$ , en  $m^2$ .

Vamos a exportar a Autocad desde el Maxsurf, la línea de agua correspondiente a un calado de  $d_1 = 6.715$  m que corresponde con el calado al 85% del puntal.

$$A = 584.38 \text{ m}^2$$



**Ilustración 2. Área al 85% del Puntal.**  
Fuente: Propia.

También debemos tener en cuenta lo mencionado en el párrafo 2 de esta regla:

*Cuando la altura de proa requerida según el párrafo 1 de la regla 39 se obtenga mediante arrufo, éste se extenderá por lo menos en un 15% de la eslora del buque, medido desde la perpendicular de proa. Cuando se obtenga disponiendo una superestructura, ésta se extenderá desde la roda hasta un punto situado al menos a 0,07L a popa de la perpendicular de proa y estará cerrada según la definición de la regla 3.10.*

En nuestro caso como ya hemos mencionado, contamos con un castillo de proa considerado como una superestructura cerrada que se extiende una longitud de S=12,83 m a popa de la perpendicular de proa. Esta distancia es mayor que la dada por el valor 0.07L por lo que la altura mínima en proa es la siguiente:

**Tabla 11. Altura mínima de Proa.**

Altura mínima en proa		
<i>L</i>	78,56	m
<i>Cb</i>	0,672185924	m
<i>d1</i>	12,83	m
<i>Awf</i>	584,38	m <sup>2</sup>
<i>Cwf</i>	0,78	mm
<b><i>Fb</i></b>	<b>3727,35</b>	<b>mm</b>

## 2.9.2 Flotabilidad de reserva

*Todos los buques a los que se les haya asignado un francobordo de tipo "B", salvo los petroleros, químiqueros y gaseros, tendrán una flotabilidad de reserva adicional en el extremo proel. En la sección limitada por 0,15 L a popa de la perpendicular de proa, la suma del área proyectada entre la flotación en carga de verano y el borde de la cubierta (A1 y A2) y el área proyectada de una superestructura cerrada (A3), si existe, no será inferior a:*

$$\left(0,15 \cdot F_{\min} + 4 \cdot \left(\frac{L}{3} + 10\right)\right) \cdot \frac{L}{1000} \text{ m}^2$$

Siendo:

$$F_{\min} = (F_0 f_1) + f_2;$$

*F<sub>0</sub>, francobordo tabular, en mm, obtenido de la tabla 28.2, corregido con arreglo a las reglas 27 9) o 27 10), según el caso;*

*f<sub>1</sub>, corrección por coeficiente de bloque indicada en la regla 30; y*

*f<sub>2</sub>, corrección por puntal, en mm, indicada en la regla 31.*

**Tabla 12. Flotabilidad de Reserva.**

Flotabilidad de Reserva		
$F_0$	860,00	mm
$f_1$	0	mm
$f_2$	437,43	m
$F_{min}$	437,43	mm
<i>A proyectada requerida</i>	16,53	m <sup>2</sup>

## 2.10 Francobordo de Verano obtenido

**Tabla 13. Resumen de resultados.**

Francobordo de verano			
Regla 28	Francobordo tabular	860	mm
Regla 29	Corrección para buques eslora inferior 100 m	30,019	mm
Regla 30	Corrección por Cb	-	
Regla 31	Corrección por puntal	437,43	mm
Regla 37	Reducción por superestructura	-72,55	mm
Regla 38	Corrección por defecto de arrufo	287,72	mm
		<b>FBv</b>	<b>1692,619 mm</b>

$$T_v = \text{Puntal } F_b - F_{b\text{verano}} = 7,91 - 1,692 = 6,218$$

La línea de carga correspondiente al francobordo de verano, nos marca un calado máximo de carga de verano  $T_v$ , igual a 6,218 m.

Viendo el estudio de estabilidad que realizamos en el cuaderno 5, obtuvimos los siguientes calados para condición de carga:

	CC1	CC2	CC3	CC4	CC5	CC6	CC7	CC8	CC9	CC10
T(m)	6,22	4,68	5,64	4,94	5,42	5,69	5,15	4,40	6,22	5,32

Comprobamos que el calado máximo de carga se corresponde con un valor de 6220 mm (condición de carga 9). Por cuestiones de estabilidad, como ese valor es mayor que  $T_v$  calculado anteriormente, no tenemos que realizar ninguna corrección al francobordo.

Por otra parte, comprobamos también que no tendremos que realizar ninguna corrección al francobordo por motivos de integridad estructural, debido a que se ha diseñado la estructura del buque con un calado de escantillado (6300 mm) superior al calado  $T_v$  (6218 mm).

## **2.11 Regla 40. Francobordos mínimos.**

### **2.11.1 Francobordo de verano**

*El francobordo mínimo de verano será el francobordo obtenido de las tablas de las reglas 28, modificado por las correcciones de las reglas 27, en la medida en que sea aplicable, 29, 30, 31, 32, 37,38 y, si procede, la regla 39.*

*El francobordo en agua salada, calculado de acuerdo al párrafo anterior, pero sin la corrección por línea de cubierta que se indica en la regla 32, no será inferior a 50mm. Para los buques que tengan en emplazamientos de clase 1 escotillas con tapas que no cumplan las prescripciones de la regla 16, párrafos 1 al 5, o la regla 26, el francobordo no será inferior a 150mm.*

Como calculamos anteriormente, nuestro **francobordo de verano es de 1672 mm**

### **2.11.2 Francobordo tropical**

*El francobordo mínimo en la zona tropical será el francobordo obtenido restando del francobordo de verano 1/48 del calado de verano, medido desde el canto alto de la quilla al centro del anillo de la marca de francobordo.*

*El francobordo en agua salada, calculado de acuerdo con el párrafo 3, pero sin la corrección por la línea de cubierta que se indica en la regla 32, no será inferior a 50mm. Para los buques que tengan en emplazamientos de clase 1 escotillas con tapas que no cumplan las prescripciones de la regla 16, párrafos 1 a 5, o la regla 26, el francobordo no será inferior a 150mm.*

**Francobordo tropical obtenido: 1543 mm**

### **2.11.3 Francobordo de invierno**

*El francobordo mínimo de invierno será el francobordo obtenido añadiendo al francobordo de verano 1/48 del calado de verano, medido desde el canto alto de la quilla al centro del anillo de la marca de francobordo.*

**Francobordo de invierno obtenido: 1801 mm**

### **2.11.4 Francobordo de invierno en el Atlántico norte**

*El francobordo mínimo para buques de eslora no superior a 100 m que naveguen por cualquier parte del Atlántico norte, definido en la regla 52 (Anexo II), durante un periodo estacional de invierno, será el francobordo de invierno más 50mm. Para los demás buques el francobordo de invierno en el Atlántico norte, será el francobordo de invierno.*

**Francobordo de invierno en el Atlántico norte obtenido: 1851 mm**

### 2.11.5 Francobordo de agua dulce

*El francobordo mínimo en agua dulce de densidad igual a la unidad se obtendrá restando del francobordo mínimo en agua salada:*

$$\frac{\Delta}{40 \cdot T} \text{ cm}$$

Donde:

$\Delta$  = el desplazamiento en agua salada, en toneladas, en la flotación en carga de verano

T = las toneladas por centímetro de inmersión en agua salada, en la flotación en carga de verano.

Cuando el desplazamiento en la flotación en carga de verano no pueda determinarse con seguridad, la deducción será 1/48 del calado de verano, medido desde el canto alto de la quilla al centro del anillo de la marca de francobordo.

Para calcular tanto el desplazamiento como las toneladas por centímetros de inmersión en la flotación de carga de verano recurrimos a nuestro modelo en Maxsurf.

	Draft Amidships m	6,150
1	Displacement t	6094
2	Heel deg	0,0
3	Draft at FP m	6,150
4	Draft at AP m	6,150
5	Draft at LCF m	6,150
6	Trim (+ve by stern)	0,000
7	WL Length m	78,340
8	Beam max extents	18,995
9	Wetted Area m <sup>2</sup>	1848,1
10	Waterpl. Area m <sup>2</sup>	1243,7
11	Prismatic coeff. (Cp)	0,661
12	Block coeff. (Cb)	0,650
13	Max Sect. area coe	0,985
14	Waterpl. area coeff.	0,836
15	LCB from zero pt. (	40,606
16	LCF from zero pt. (+	36,600
17	KB m	3,445
18	KG m	6,159
19	Bmt m	5,436
20	BML m	80,706
21	Gmt m	2,722
22	GML m	77,992
23	KMt m	8,881
24	KML m	84,151
25	Immersion (TPc) ton	12,748
26	MTc tonne.m	62,322
27	RM at 1deg = GMT.D	289,54
28	Max deck inclination	0,0000
29	Trim angle (+ve by	0,0000

**Ilustración 3. Resultados obtenidos del programa.  
Fuente: Maxsurf.**

$$\text{Reducción} = \frac{6094}{4 * 62.32} = 24.44 \text{ mm}$$

$$1543\text{mm} - 24.44 \text{ mm} = 1518,56 \text{ mm}$$

**Francobordo de agua dulce obtenido: 1518,56 mm**

## 2.12 Resumen de Francobordos mínimos

Regla 40. Francobordos mínimos		
Agua dulce	1518,56	mm
Tropical	1543,00	mm
Verano	1692,00	mm
Invierno	1801,00	mm
Atlántico Norte, Invierno	1851,00	mm



### 3 ARQUEO

Según el Reglamento Nacional de Arqueo para Buques, Embarcaciones y Artefactos Navales, Cap. 1, Art. 3<sup>4</sup>.

El Arqueo es el volumen o espacio cerrado de una embarcación, que se obtiene al efectuar el cálculo correspondiente y cuyo resultado expresa el tamaño de una embarcación y su capacidad utilizable, denominándose Arqueo Bruto y Arqueo Neto respectivamente.

- ARQUEO BRUTO. Es la expresión del tamaño total de una embarcación.
- ARQUEO NETO. Es la expresión de la capacidad utilizable de una embarcación.

Con lo cual, vamos a calcular el Arqueo de nuestro buque en dos partes:

#### 3.1 Arqueo Bruto

$$GT = K_1 \cdot V$$

$$K_1 = 0,2 + 0,02 \cdot \log V$$

Donde:

*V: es el volumen de todos los espacios cerrados del buque; es decir, el volumen hasta cubierta principal (de hidrostáticas) + el volumen superestructuras + Volumen chimeneas + Volumen del puente de gobierno.*

El volumen hasta la cubierta principal, se obtendrá de hidrostáticas para un calado igual a 7,90 metros.

	Draft Amidships m	7,900
1	Displacement t	8421
2	Heel deg	0,0
3	Draft at FP m	7,900
4	Draft at AP m	7,900
5	Draft at LCF m	7,900
6	Trim (+ve by stern)	0,000
7	WL Length m	79,157
8	Beam max extents	18,996
9	Wetted Area m <sup>2</sup>	2202,4
10	Waterpl. Area m <sup>2</sup>	1342,4
11	Prismatic coeff. (Cp)	0,701
12	Block coeff. (Cb)	0,692
13	Max Sect. area coe	0,988
14	Waterpl. area coeff.	0,893
15	LCB from zero pt. (	39,099
16	LCF from zero pt. (+	34,098
17	KB m	4,438
18	KG m	6,159
19	BMT m	4,376
20	BML m	71,781
21	GMT m	2,655
22	GML m	70,059
23	KMT m	8,814
24	KML m	76,218
25	Immersion (TPc) ton	13,760
26	MTc tonne.m	77,361
27	RM at 1deg = GMT.Di	390,22
28	Max deck inclination	0,0000
29	Trim angle (+ve by	0,0000

**Ilustración 4. Resultados obtenidos del programa 2.**  
**Fuente: Maxsurf.**

El volumen de los espacios cerrados está separado de la siguiente forma:

- Cubierta Principal =  $409.58 \text{ m}^2 \times 2.6 \text{ m} = 1064.98 \text{ m}^3$
- Cubierta A =  $354.44 \text{ m}^2 \times 2.6 \text{ m} = 921.54 \text{ m}^3$
- Cubierta B =  $217.29 \text{ m}^2 \times 2.6 \text{ m} = 564.95 \text{ m}^3$
- Cubierta C =  $274.71 \text{ m}^2 \times 2.6 \text{ m} = 714.25 \text{ m}^3$
- Cubierta D =  $164.28 \text{ m}^2 \times 2.6 \text{ m} = 427.13 \text{ m}^3$
- Cubierta puente =  $123.51 \text{ m}^2 \times 1.7 \text{ m} = 209.40 \text{ m}^3$
- Volumen total espacios cerrados =  $3.902,15 \text{ m}^3$

$$V = 8421 \text{ m}^3 + 3902.15 \text{ m}^3 = 12.323,25 \text{ m}^3$$

$$k_1 = 0.2 + 0.02 * \log_{10}(12.323,25) = 0.2818$$

Por lo tanto obtenemos que:

$$GT = k_1 * V = 0.2818 * 12.323,25 = 3.472,7$$

### 3.2 Arqueo Neto

$$NT = K_2 \cdot V_C \cdot \left(\frac{4 \cdot d}{3 \cdot D}\right)^2 \cdot K_3 \cdot \left(\frac{N_1 + N_2}{10}\right)$$

Donde:

$N_1 = N_2 = 0$ ; el buque no lleva pasajeros.

$d$  = Calado de verano en metros.

$D$  = Puntal de trazado en metros.

$K_2 = 0,2 + 0,02 \cdot \log V_C$

$V_C$  = Volumen de espacios de carga.

Los volúmenes de los espacios de carga a considerar son los siguientes:

Oil Recovery	1229,40	m <sup>3</sup>
Drill Cutting	281,25	m <sup>3</sup>
Dry Bulk	427,68	m <sup>3</sup>
Agua dulce/tecnica	121,49	m <sup>3</sup>
Espumógeno	27,54	m <sup>3</sup>
Dispersante	22,41	m <sup>3</sup>
<b>TOTAL</b>	<b>2109,77</b>	<b>m<sup>4</sup></b>

$$k_2 = 0.2 + 0.02 * \log_{10}(2109.77) = 0.2664$$

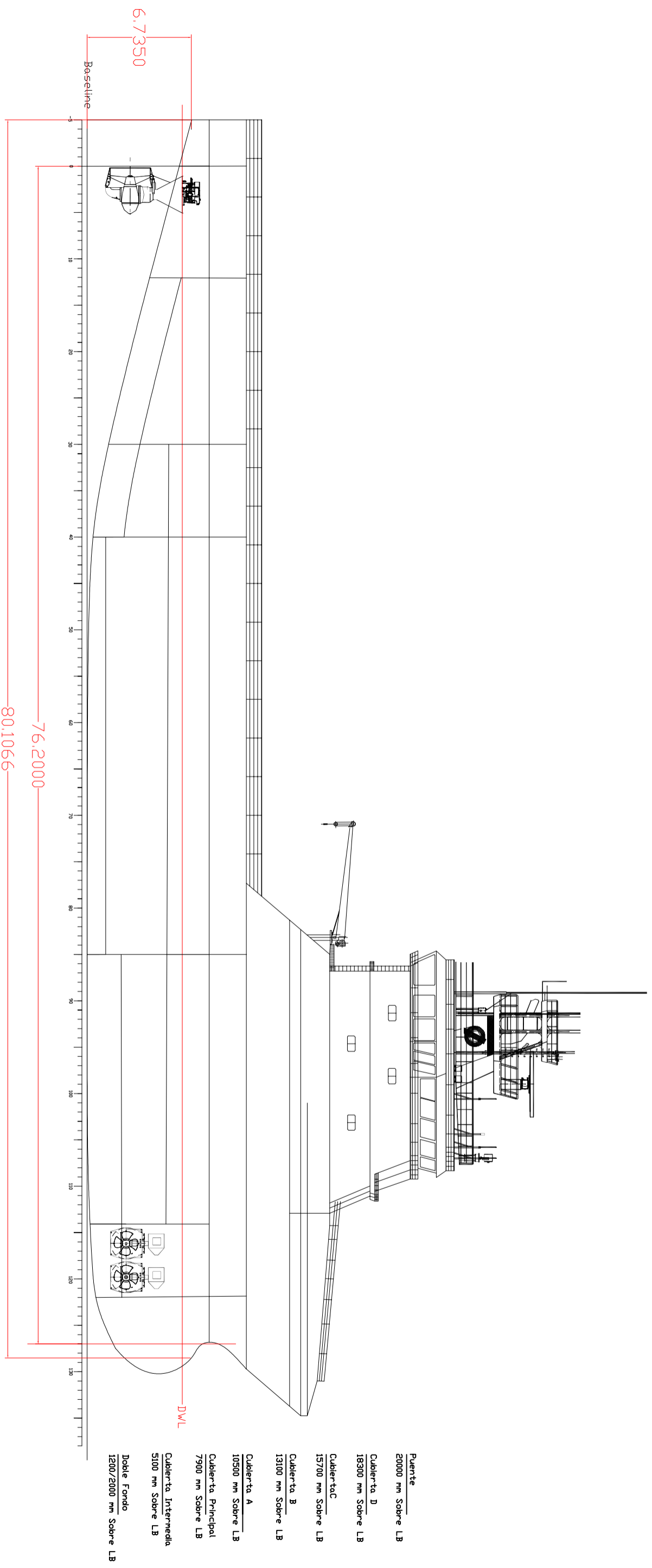
$$NT = 0.2664 * 2109.77 * \left(\frac{4 * 6.15}{3 * 7.90}\right)^2 = 562.55$$

$$\text{Valor mínimo } NT = 0.3 * GT = 0.25 * 3472,7 = 1.041,81$$

## 4 REFERENCIAS

- [1] Convenio Internacional Sobre Líneas de Carga de 1966.
- [2] Protocolo de Líneas de Carga de 1988.
- [3] Convenio de Arqueo de Buques de 1969.
- [4] Reglamento Nacional de Arqueo para Buques , Embarcaciones y Artefactos Navales, Cap. 1, Art. 3

## **ANEXO 1. PLANO MEDIDAS FRANCOBORDO**



- Puente
- 2000 mm Sobre LB
- Cubierta D
- 18300 mm Sobre LB
- CubiertaC
- 15700 mm Sobre LB
- Cubierta B
- 13100 mm Sobre LB
- Cubierta A
- 10500 mm Sobre LB
- Cubierta Principal
- 7900 mm Sobre LB
- Cubierta Intermedia
- 5100 mm Sobre LB
- Doble Fondo
- 1200/2000 mm Sobre LB

DIMENSIONES PRINCIPALES

ESLORA TOTAL	L0A	85.00	M
ESLORA EN LA FLOTACION	LWL	79.25	M
ESLORA ENTRE PERPENDICULARES	LBP	76.26	M
MANGA DE TRAZADO	B	19.00	M
PUNTA DE TRAZADO	D	7.90	M
COEFICIENTE DE BLOQUE	CB	0.69	-
COEFICIENTE DE SECCION MEDIA	CM	0.98	-
CALADO DE PROYECTO	T	6.15	M
COEFICIENTE DE FLOTACION	CWL	0.89	-

UNIVERSIDADE DA CORUÑA

Buque de apoyo y suministros a plataformas offshore - PSV

Realizado por:  
Diego Jesus Bellido Trujillo

Archivo CAD: 16/07/2018  
Fecha: 1/250  
Escala: T. Papel A/3

Master en Ingeniería Naval

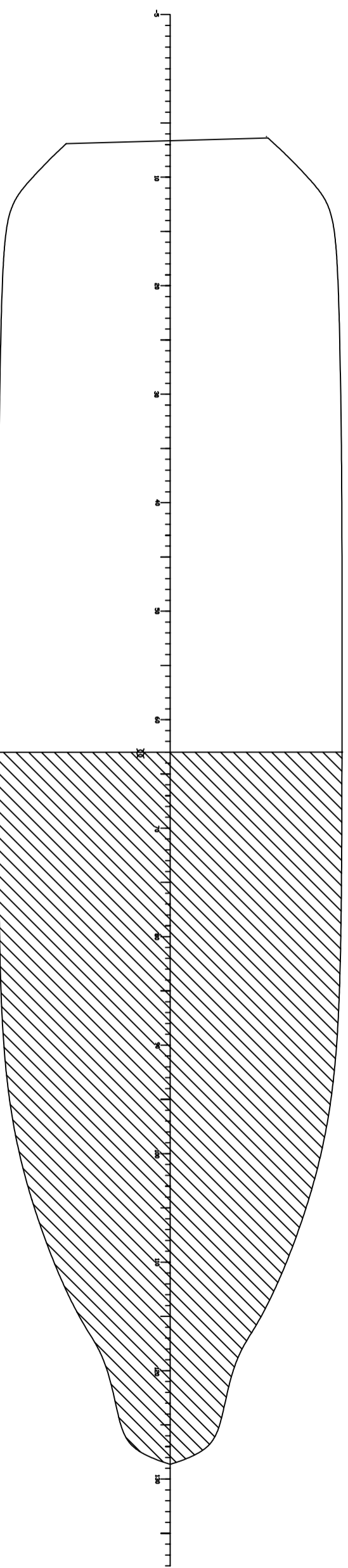
Descripción del plano:  
Medidas Francobordo

y Oceánica

Número de Plano:  
UDC-2018-0091

Edición: 0  
Hoja nº: 1/1

## **ANEXO 2. PLANO ÁREA AL 85% DEL PUNTAL**



DIMENSIONES PRINCIPALES

ESLORA TOTAL	LOA	85.00	M
ESLORA EN LA FLOTACION	LWL	79.25	M
ESLORA ENTRE PERPENDICULARES	LBP	76.26	M
MANGA DE TRAZADO	B	19.00	M
PUNIAL DE TRAZADO	D	7.90	M
COEFICIENTE DE BLOQUE	CB	0.69	-
COEFICIENTE DE SECCION MEDIA	CM	0.98	-
CALADO DE PROYECTO	T	6.15	M
COEFICIENTE DE FLOTACION	CWL	0.89	-

UNIVERSIDADE DA CORUÑA

Buque de apoyo y suministros a plataformas offshore - PSV

Realizado por: Diego Jesus Bellido Trujillo	Archivo CAD: DCDW6	Fecha: 16/07/2018	Escala: 1/250	T. Papel: A3
--	-----------------------	----------------------	------------------	-----------------

Master en Ingeniería Naval

Area al Calado 85% del Puntal

y Oceánica

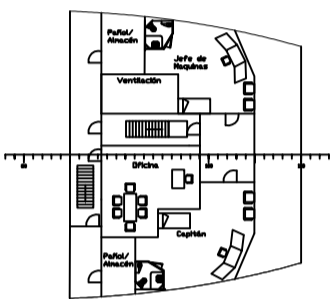
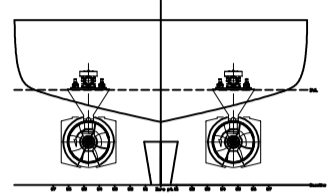
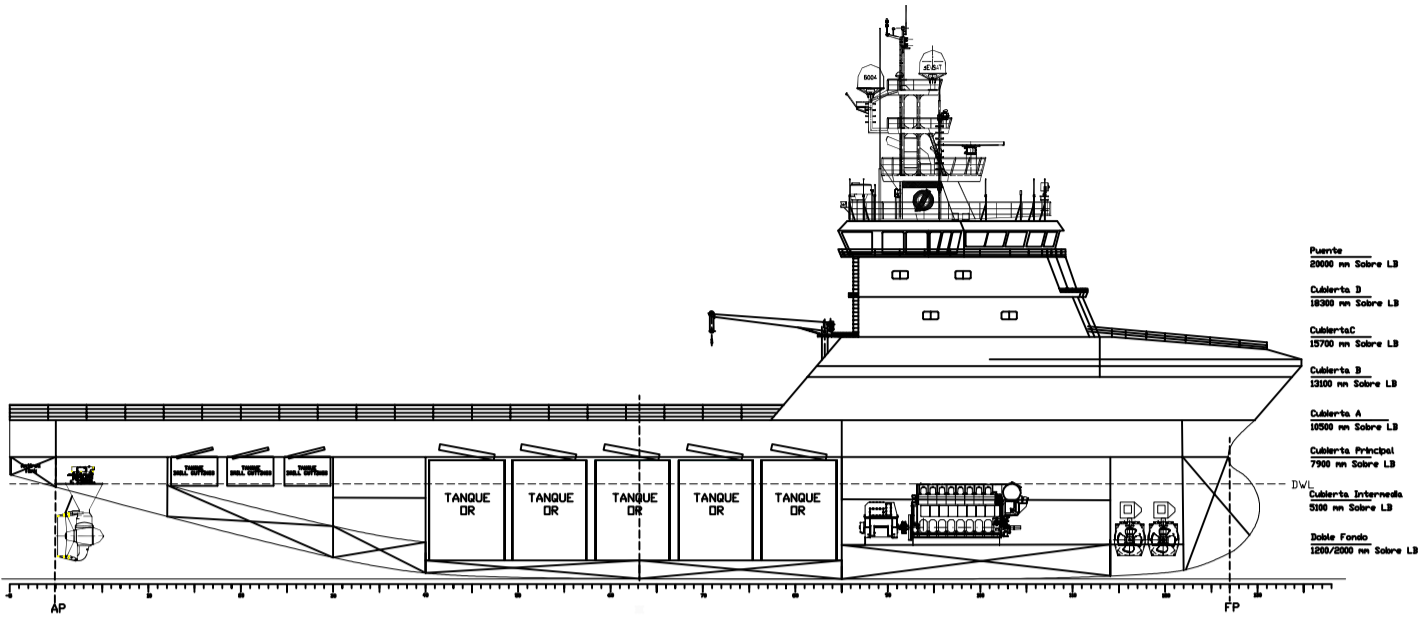
Número de Plano:  
UDC-2018-0092

Edición:  
0

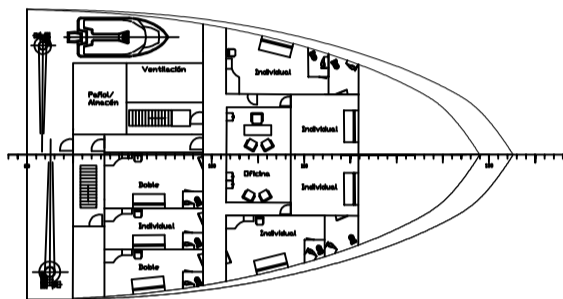
Hoja nº:  
1/1



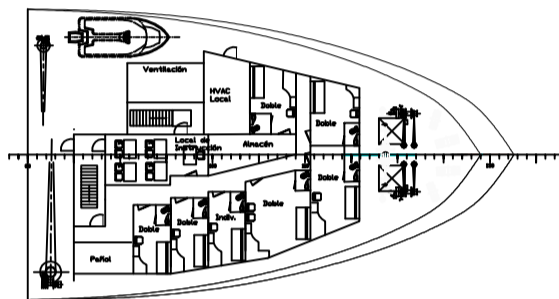
## **ANEXO 3. DISPOSICIÓN GENERAL**



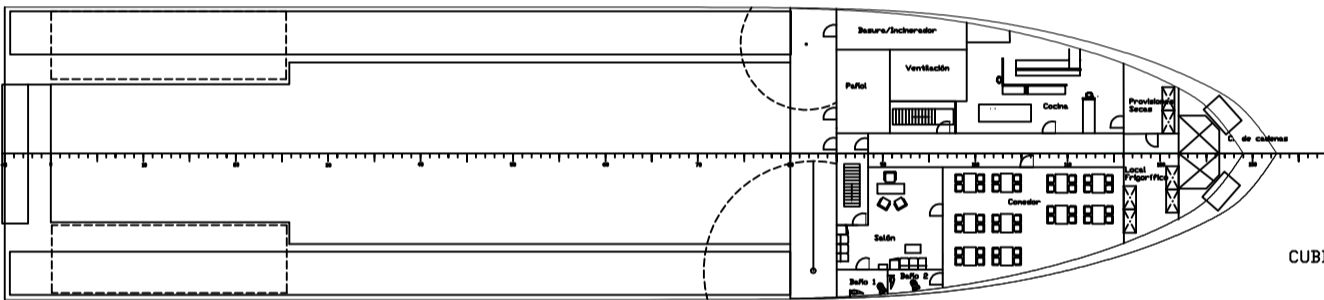
CUBIERTA D



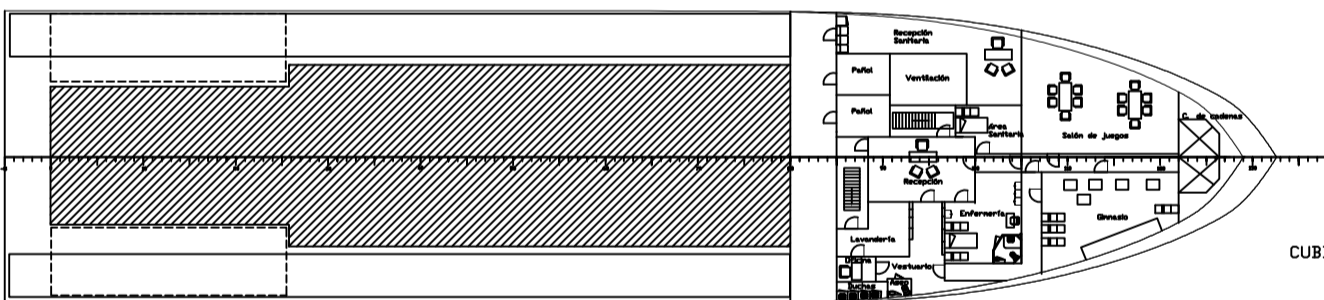
CUBIERTA C



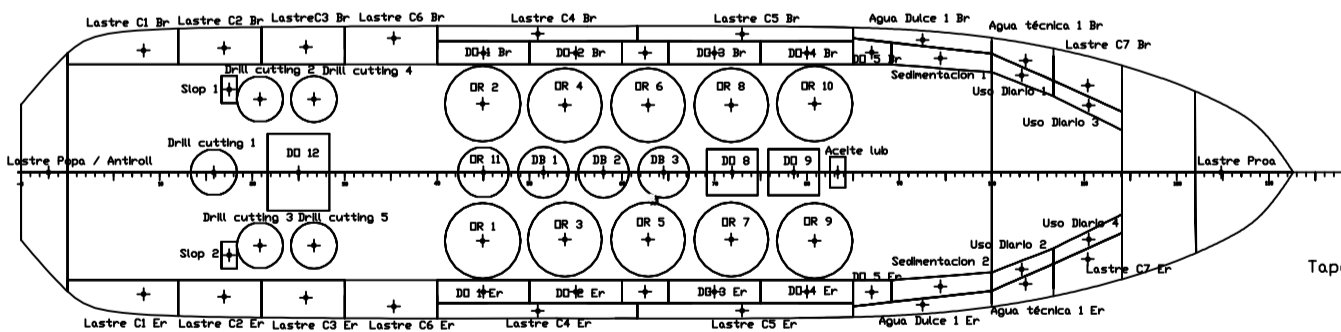
CUBIERTA B



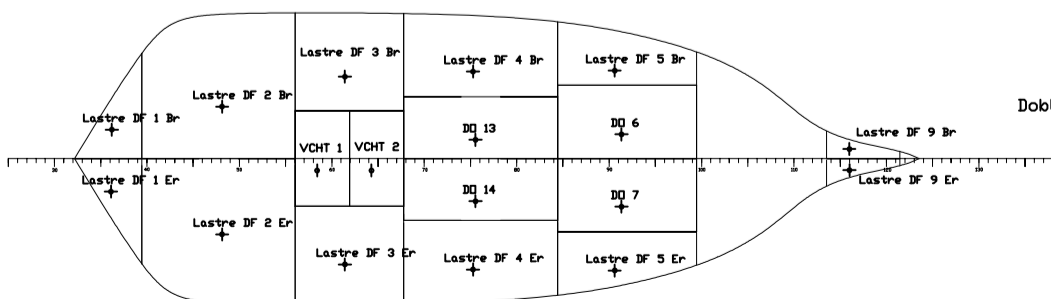
CUBIERTA A



CUBIERTA PRINCIPAL



Tapa de tanques



Doble fondo

DIMENSIONES PRINCIPALES

ESLORA TOTAL	LOA	85.00 M
ESLORA EN LA FLOTACION	LWL	79.25 M
ESLORA ENTRE PERPENDICULARES	LBP	76.26 M
MANGA DE TRAZADO	B	19.00 M
PUNTA DE TRAZADO	D	7.90 M
COEFICIENTE DE BLOQUE	CB	0.69 -
COEFICIENTE DE SECCION MEDIA	CM	0.98 -
CALADO DE PROYECTO	T	6.15 M
COEFICIENTE DE FLOTACION	CWL	0.89 -

UNIVERSIDADE DA CORUÑA					
Buque de apoyo y suministros a plataformas offshore - PSV					
Realizado por:	Archivo CAD:	Fecha:	Escala:	T. Papel:	
Diego Jesús Bellido Trujillo	DGDWG	16/07/2018	1/500	A/3	
Master en Ingeniería Naval y Oceánica		Descripción del plano: Disposición General			
		Número de Plano:	Edición:	Hoja nº:	
		UDC-2018-0079	0	1/1	