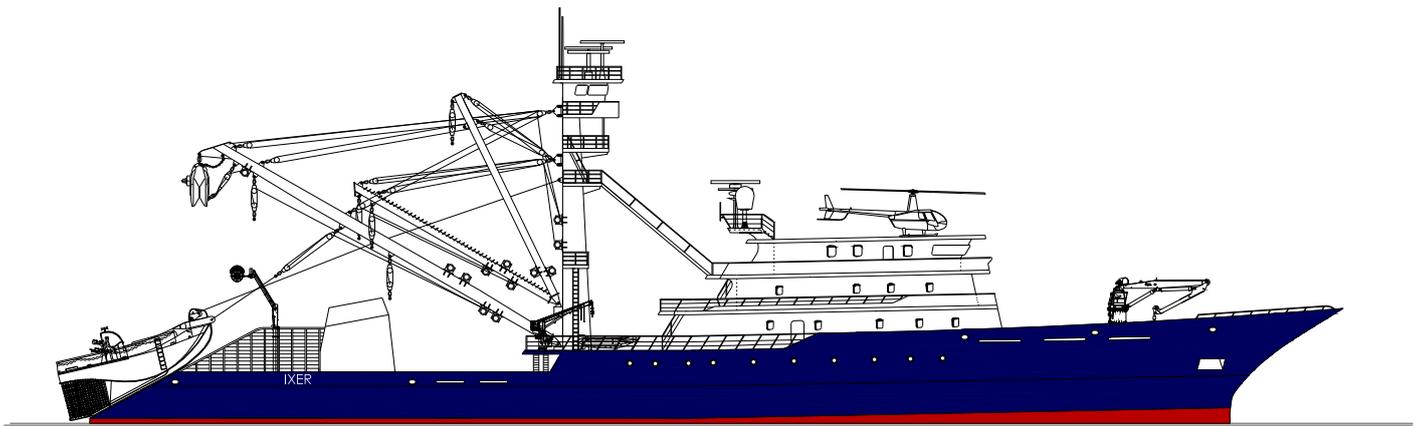


# CUADERNO 9

## FRANCOBORDO Y ARQUEO



PROYECTO FIN DE GRADO nº 15-01

ATUNERO 2000 m3

Tutor: Vicente Diaz Casas

Alumno: Jon Iturbe Ereño  
DNI: 45669459 S

✉ joniturere@gmail.com

☎ +34 609 893 454



## INDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>2</b>
<b>2. CÁLCULO DE FRANCOBORDO .....</b>	<b>3</b>
2.1. DEFINICIONES Y DIMENSIONES PRINCIPALES .....	3
2.2. CÁLCULO DEL FRANCOBORDO .....	7
• REGLA 27: TIPO DE BUQUE .....	7
• REGLA 28: FRANCOBORDO TABULAR.....	7
• REGLA 30: CORRECCION POR COEFICIENTE DE BLOQUE .....	7
• REGLA 31: CORRECCIÓN POR PUNTAL .....	7
• REGLA 37: CORRECCION POR SUPERESTRUCTURA .....	8
• REGLA 38: CORRECCIÓN POR ARRUFO .....	8
2.3. FRANCOBORDO DE VERANO.....	12
2.4. ALTURA MINIMA DE PROA.....	13
2.5. TABLA DE FRANCOBORDOS .....	14
<b>3. ARQUEO .....</b>	<b>15</b>
3.1. CÁLCULO DEL ARQUEO BRUTO (GT) .....	15
3.2. CÁLCULO DEL ARQUEO NETO (NT). .....	16



## 1. INTRODUCCIÓN

En este cuaderno se va a calcular y desarrollar los siguientes puntos:

- Francobordo según el Convenio Internacional de Líneas de Carga de 1966, modificado en su protocolo del 88.
- Calado de verano y de invierno según dicho convenio.
- Arqueo Bruto y Neto siguiendo la Conferencia Internacional sobre Arqueo de buques de 1969.

Las características finales del buque, fijadas en cuadernos anteriores son:

- Lt:..... 90 m
- Lpp: .....75 m
- B: .....14,2 m
- Dcp: .....6,95 m
- Dcs: .....9,2 m
- T: .....6,6 m
- Fn: .....0,298
- Cb: .....0,589
- Cm: .....0,98
- Cp: .....0,597
- Cf: .....0,689
- $\Delta$ : .....4359 Tn

Otro dato de interés para realizar los cálculos es que la cubierta no tiene brusa ni arrufo.



## 2. CÁLCULO DE FRANCOBORDO

El francobordo es un elemento decisivo del proyecto del buque, y debe tener un valor mínimo, función del tipo y características del buque, establecido en el Convenio Internacional de Líneas de Máxima Carga de 1966, actualmente en vigor.

En el Anexo I del Convenio, “Reglas para determinar las líneas de carga”, se encuentran las directrices que se deben seguir para calcular el francobordo del buque de proyecto o “buque real”.

El buque que se define según el Convenio se denomina “buque base”. De este modo, para calcular el francobordo que se deberá asignar al buque, se tendrá que realizar una serie de correcciones al francobordo calculado según Convenio para el buque base. Estas correcciones se realizarán en función de las diferencias que existan entre el buque base y el buque real.

El francobordo del buque base se denomina francobordo tabular, y será el punto de partida para iniciar las correcciones que llevarán al resultado final.

### 2.1. DEFINICIONES Y DIMENSIONES PRINCIPALES

En primer lugar se definirán los conceptos que serán necesarios para la realización de los cálculos:

- **ESLORA:**  
Se toma como eslora (L) la mayor de entre, el 96% de la eslora de flotación situada a una distancia igual al 85% del puntal mínimo de trazado, o la distancia entre la cara de proa de la roda y el eje de la mecha del timón en esta flotación:

$$L = \text{mayor}(L_1, L_2)$$

Como el puntal de trazado es de 6,95 m., la flotación corresponde a un calado de:

$$T = 0,85 \cdot D = 0,85 \cdot 6,95 = 5,8 \text{ m}$$



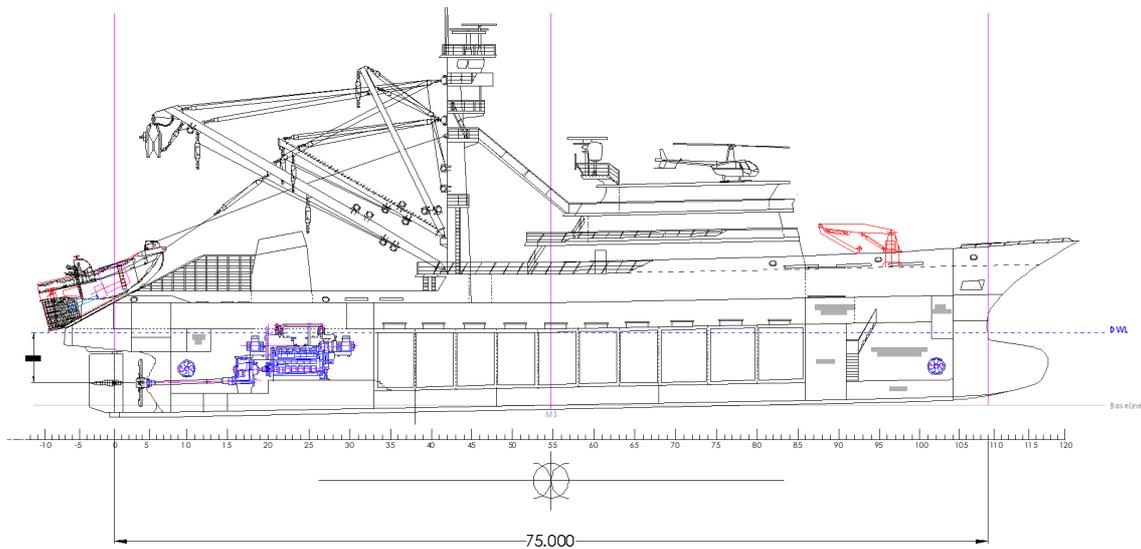
En la flotación de 5,8 m. se obtiene:

$$L_F \text{ al } 85\% \text{ de } D_{CP} = 76,2\text{m}$$

$$L_1 = 0,96 \cdot 76,2 = 73,15 \text{ m}$$

$$L_2 = 75 \text{ m}$$

Entonces, la eslora L utilizada será:  $L = L_{FB} = L_2 = 75 \text{ m}$



- **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.

$$B = 14,2 \text{ m}$$

- **PUNTAL DE TRAZADO (D<sub>TRAZADO</sub>):**

El puntal de trazado es la distancia vertical medida desde el canto alto de la quilla hasta el canto alto del bao de la cubierta de francobordo en el costado.

$$D_{TRAZADO} = 6,95 \text{ m}$$



- **PUNTAL DE FRANCOBORDO (D):**

Según el reglamento se tomará como puntal de francobordo (D) el puntal de trazado en el centro del buque (6,95 m.) más el espesor de la plancha de trancañil de la cubierta de francobordo. En este caso, se toma como espesor de chapa 9 mm. con lo que el puntal de francobordo es de:

$$D_{FB} = 6,959 \text{ m}$$

- **PUNTAL DE LA CUBIERTA RESISTENTE (D<sub>R</sub>):**

Es la distancia vertical, medida en el centro del buque, desde la parte superior de la quilla hasta la cara alta del bao de la cubierta en el costado.

$$D_R = 9,2 \text{ m}$$

- **COEFICIENTE DE BLOQUE (C<sub>B</sub>):**

El coeficiente de bloque se calcula para un desplazamiento al 85% del puntal, obtenido con las hidrostáticas y correspondiente a un desplazamiento de 3.965 Tn.:

$$C_B = 0,57$$

- **CUBIERTA DE FRANCOBORDO:**

Es la cubierta más alta expuesta a la intemperie y a la mar, dotada de medios permanentes de cierre en todas las aberturas en la parte expuesta a la misma y bajo la cual todas las aberturas en los costados están dotadas de medios permanentes de cierre estancos.

De acuerdo con esta definición, la cubierta de francobordo del buque de proyecto coincide, por tanto, con la cubierta principal, situada a un puntal de 6,95 m.

- **SUPERESTRUCTURA:**

Construcción cubierta dispuesta encima de la cubierta de francobordo, que se extiende de banda a banda del buque o cuyo forro lateral no esté separado del forro del costado más de un 4% de la manga (B). Un saltillo se considerará como superestructura.

Los espacios hasta la cubierta superior, desde la cubierta de francobordo, cumplen con los requerimientos de superestructura por lo que se considerará que existe una superestructura de 2,30 m. de altura y que abarca toda la eslora.



- **ALTURA DE SUPERESTRUCTURA:**  
Es 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.
- **LONGITUD DE SUPERESTRUCTURAS (S):**  
Es la longitud media de la parte de superestructura situada dentro de la eslora (L).
- **FRANCOBORDO:**  
Distancia medida verticalmente hacia abajo, en el centro del buque, desde el canto alto de la línea de cubierta (teniendo en cuenta el espesor de chapa y cubierta de madera si la llevase) hasta el canto alto de la línea de carga correspondiente.

Resumen de dimensiones principales del buque para el cálculo de francobordo:

CONCEPTO	DIMENSIONES	UNIDADES
Eslora (L)	75	m
Manga (B)	14,2	m
Puntal de trazado ( $D_{\text{TRAZADO}}$ )	6,95	m
Espesor chapa trancañil	9	mm
Puntal de francobordo ( $D_{\text{FB}}$ )	6,959	m
Puntal a la cubierta resistente ( $D_{\text{R}}$ )	9,2	m
Coefficiente de bloque ( $C_{\text{B}}$ )	0,57	
Cubierta de francobordo	6,95	m
Altura de superestructura	2,3	m
Longitud de superestructura (S)	75	m
$\nabla$	4359	Tn



## 2.2. CALCULO DEL FRANCOBORDO

- **REGLA 27: TIPO DE BUQUE**

- Buques de tipo "A": buques de carga líquida a granel
- Buques de tipo "B": buques de carga no líquida.

Nuestro buque es tipo B, no cumple lo especificado para pertenecer al tipo A.

- **REGLA 28: FRANCOBORDO TABULAR**

Para la obtención del francobordo tabular de una eslora de francobordo de 75 buscamos en las tablas del apartado B. El resultado es: 800 mm.

- **REGLA 30: CORRECCION POR COEFICIENTE DE BLOQUE**

Esta regla no es aplicable ya que nuestro coeficiente de bloque es menor a 0,68.

- **REGLA 31: CORRECCIÓN POR PUNTAL**

Según la Regla 31, cuando D excede de L/15 el francobordo deberá aumentarse en:

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

Donde R = L/0,48 para buques de eslora menor que 120 m.

En este caso:

$$\frac{L}{15} = \frac{75}{15} = 5$$

que es menor que D por lo que la corrección por puntal será de:

$$\left(D - \frac{L}{15}\right) \cdot R = \left(D - \frac{L}{15}\right) \cdot \frac{L}{0,48} = \left(6,95 - \frac{75}{15}\right) \cdot \frac{75}{0,48} = 304,68 \text{ mm}$$



- **REGLA 37: CORRECCION POR SUPERESTRUCTURA**

- **REGLA 33: ALTURA NORMAL DE LA SUPERESTRUCTURA**

En la Regla 33 se indica que la altura normal de superestructura para la eslora del buque es de 1.800 mm., que es menor que la altura real.

- **REGLA 34: LONGITUD DE SUPERESTRUCTURAS**

En la Regla 34 se define la longitud de la superestructura, que corresponde con la eslora de francobordo, 75 m., ya que es corrida de Pp. a Pr.

- **REGLA 35: LONGITUD EFECTIVA DE SUPERESTRUCTURAS:**

La longitud efectiva es la misma que la longitud real ya que no se ve modificada por manga (abarca toda la manga), ni por altura (cumple con la altura normal).

- **REGLA 36: REDUCCIÓN POR SUPERESTRUCTURAS Y TRONCOS:**

Como la longitud efectiva de la superestructura abarca toda la eslora, la reducción por francobordo es de 776,39 mm.

Este dato es obtenido por interpolación lineal entre los valores de reducción de francobordo por superestructuras y troncos de 350 mm. y 860 mm. de buques con eslora de 24 m. y 85 m. respectivamente, dados por el convenio.

- **REGLA 38: CORRECCIÓN POR ARRUFO**

Siguiendo el punto 5 de esta regla (por extenderse la superestructura sobre toda la longitud de la cubierta de francobordo) el arrufo se mide en la cubierta de la superestructura, y al superar la altura normal, la diferencia Z entre la altura real de esta superestructura (2.300 mm.) y la normal (1.800 mm.), tiene un valor mínimo de  $Z = 500$  mm. Esta diferencia se añade a las ordenadas de los extremos y debe añadirse también  $0,444Z$  y  $0,111Z$  en las ordenadas  $1/6L$  y  $1/3$  de cada una de las perpendiculares respectivamente.



Si encima de la superestructura hay un castillo cerrado como en este caso, se permite un exceso de arrufo con respecto al castillo según el punto 12 de esta regla. Atendiendo a este punto, se calcula:

$$s = \frac{y \cdot L'}{3 \cdot L} = \frac{500 \cdot 0,5 \cdot 75}{3 \cdot 75} = 83,33 \text{ mm}$$

siendo,

- s = es el suplemento de arrufo, a deducir del defecto, o añadir al exceso de arrufo
- y = diferencia entre las alturas real y normal de la superestructura en la perpendicular de popa y proa.
- L´=longitud media de la parte cerrada del castillo, hasta un máximo de 0,5L.
- L = eslora del buque según el convenio.

○ **CURVA DE ARRUFO NORMAL Y REAL**

Según la Regla 38 la curva de arrufo normal y real tendrá los siguientes valores, teniendo en cuenta lo comentado:

- **ARRUFO NORMAL:**

ARRUFO NORMAL (POPA)			
Situación	Ordenada	Factor	Producto
Pp de popa	875	1	875
1/6 L desde Ppopa	388,5	3	1165,5
1/3 L desde Ppopa	98	3	294
Centro del buque	0	1	0
			<b>2334,5</b>
			<b>SUMA</b>

ARRUFO NORMAL (PROA)			
Situación	Ordenada	Factor	Producto
Centro del buque	0	1	0
1/3 L desde Pproa	196	3	588
1/6 L desde Pproa	777	3	2331
Pp de proa	1750	1	1750
			<b>4669</b>
			<b>SUMA</b>



- ARRUFOS REAL

ARRUFOS REAL (POPA)						
Situación	Arrufo buque	Adición por superest.	Ordenada	Factor	Producto	
Pp de popa	0	500	500	1	500	
1/6 L desde Ppopa	0	222	222	3	666	
1/3 L desde Ppopa	0	55,5	55,5	3	166,5	
Centro del buque	0	0	0	1	0	
					1332,5	<b>SUMA</b>

ARRUFOS REAL (PROA)						
Situación	Arrufo buque	Adición por superest.+Adición castillo	Ordenada	Factor	Producto	
Centro del buque	0	83,3	83,3	1	83,3	
1/3 L desde Pproa	0	138,8	138,8	3	416,4	
1/6 L desde Pproa	0	305,3	305,3	3	915,9	
Pp de proa	0	583,3	583,3	1	583,3	
					1998,9	<b>SUMA</b>

- POPA:

Arrufo real – Arrufo normal : 1332,5 – 2334,5 = -1002 mm

Como es negativo, hay defecto de arrufo en popa.

Defecto popa:  $-1002/8 = -125,25$  mm

- PROA

Arrufo real – Arrufo normal : 1998,9 – 4669 = -2670 mm

Como es negativo, hay defecto de arrufo en proa.

Defecto en proa:  $-2670 / 8 = -333,87$  mm

Defecto de arrufo total:

$$\text{Defecto arrufo} = \frac{-125,25 - 333,87}{2} = -230 \text{ mm}$$

- **CORRECCIÓN POR ARRUFOS:**

Será el defecto o exceso de arrufo multiplicado por  $0,75 \cdot S/2L$  siendo S la longitud total de superestructuras cerradas.

Como la longitud de superestructuras S es el de la eslora, la corrección por arrufo se calcula del siguiente modo:



$$Correccion = Defecto \cdot \left(0,75 - \frac{S}{2L}\right) = -230 \cdot \left(0,75 - \frac{75}{2 \cdot 75}\right) = -57,5 \text{ mm}$$

Como el arrufo real es menor al normal, el defecto de arrufo se añadirá al francobordo.

- **CORRECCION POR ESTABILIDAD**

El calado máximo que se ha obtenido en la estabilidad es de 6,32 m. con un desplazamiento de 4.085 Tn., en la condición de salida de caladero, por lo que el calado máximo de verano atendiendo a este criterio sería de 6,32 m.

Esta corrección se aplicará una vez determinado el francobordo de verano mínimo.



## 2.3. FRANCOBORDO DE VERANO.

Añadiendo al francobordo tabular todas las correcciones calculadas se obtiene:

TABLA RESÚMEN CORRECCIONES		
Correcciones	Modificación	Valor (mm)
Puntal	Aumento	304
Superestructuras	Reducción	776,3
Arrufo	Aumento	57,5
<b>TOTAL</b>	<b>Reducción</b>	<b>-414,8</b>

Añadiendo al francobordo tabular (800 mm) todas las correcciones calculadas se obtiene el francobordo de verano:

$$Fb \text{ verano} = 800 - 414,8 = 385,2 \text{ mm}$$

Por lo que tenemos que el calado de verano será el puntal de francobordo, que es el puntal de trazado en el centro del buque (6,95 m.) más el espesor de la plancha de trancañil de 9 mm, menos el francobordo de verano:

$$T \text{ verano} = 6,959 - 0,385 = 6,574 \text{ m}$$

- **CORRECCION POR ESTABILIDAD**

El calado de verano sería 6,574 m. según el cálculo del francobordo, pero teniendo en cuenta la corrección por estabilidad, el calado de verano será de 6,36 m, correspondiendo con un francobordo de verano de 0,6 m, ya que teóricamente nunca se cargará el buque más de las 4085 Tn De desplazamiento, con lo que se puede aumentar el francobordo hasta ese calado máximo.



## 2.4. ALTURA MÍNIMA DE PROA

La altura de proa, definida como distancia vertical, en la perpendicular de proa, entre la 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 según la Regla 39, a:

$$F_b = \left(6075 \cdot \frac{L}{100}\right) - \left(1875 \cdot \left(\frac{L}{100}\right)^2\right) + 200 \cdot \left(\frac{L}{100}\right)^3 \cdot \left(2,08 + 0,609C_b - 1,063C_{wf} - 0,0129 \cdot \left(\frac{L}{d_1}\right)\right)$$

Siendo:

- $F_b$  = altura mínima de proa calculada, en mm
- $L$  = eslora de francobordo.  $L = 75$  m
- $B$  = manga de.  $B = 14,2$  m
- $d_1$  = calado en el 85% del puntal  $D$ , en m.  $d_1 = 5,80$  m
- $C_b$  = coeficiente de bloque.  $C_b = 0,57$
- $A_{wf}$  = área de la flotación a proa de  $L/2$  para el calado  $d_1$ .  $A_{wf} = 395$  m<sup>2</sup>
- $C_{wf}$  = coeficiente del área de la flotación a proa de  $L/2$ :

$$C_{WF} = \frac{A_{WF}}{\frac{L}{2} \cdot B} = \frac{395}{\frac{75}{2} \cdot 14,2} = 0,674$$

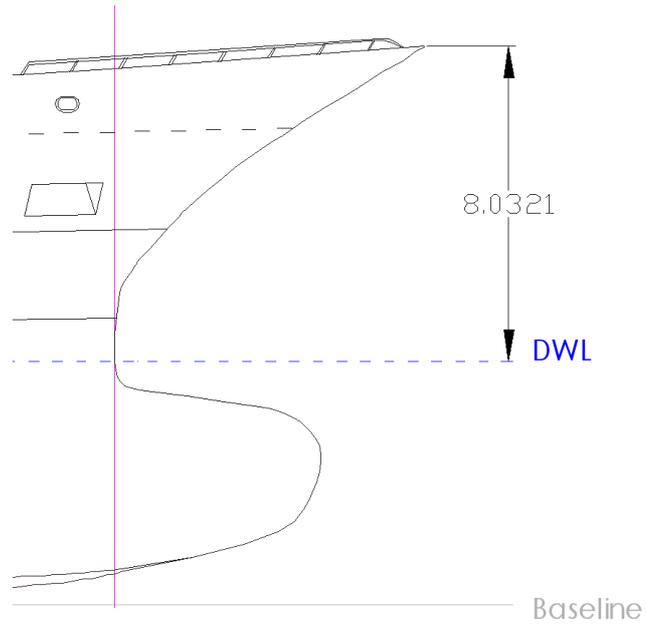
Se calcula la altura mínima de proa según la expresión dada:

$$F_b = \left(6075 \cdot \frac{75}{100}\right) - \left(1875 \cdot \left(\frac{75}{100}\right)^2\right) + 200 \cdot \left(\frac{75}{100}\right)^3 \cdot \left(2,08 + 0,609 \cdot 0,57 - 1,063 \cdot 0,674 - 0,0129 \cdot \left(\frac{75}{5,8}\right)\right)$$

$$F_b = 5515,33 \text{ mm}$$

Por lo tanto, como la altura real es mayor que la requerida, se cumple esta condición.

- Altura real = m.
- Altura requerida =  $F_b = 5515,33$  m.



## 2.5. TABLA DE FRANCOBORDOS

Se van a calcular el resto de francobordos, según las zonas de navegación:

FRANCOBORDOS	
Fb	Valor (mm)
Verano	600
Invierno	733
Tropical	468
Atlántico Norte	785



### 3. ARQUEO

Para el cálculo del arqueo del buque proyecto se seguirá el Convenio Internacional sobre Arqueo de Buques (Convenio 1969).

Se distinguen dos arqueos, el arqueo bruto (GT) y el arqueo neto (NT).

El arqueo bruto, es función del volumen total de todos los espacios cerrados, mientras que el arqueo neto se calcula en función del volumen total de todos los espacios de carga del buque. Por tanto con el arqueo bruto y con el arqueo neto se intenta definir el tamaño total del buque y su tamaño utilizable respectivamente.

#### 3.1. CÁLCULO DEL ARQUEO BRUTO (GT)

Para obtener el arqueo bruto del buque (GT) se aplica la siguiente expresión:

$$GT = K_1 \cdot V$$

donde:

- V es el volumen total de todos los espacios cerrados del buque expresado en m<sup>3</sup>.
- $K_1 = 0,2 + 0,02 \cdot \log_{10} V$

Los volúmenes a considerar son los siguientes:

Espacio	Volumen (m3)
Vol. bajo cub. Arqueo	7.863,00
Castillo sobre cub. Sup	1.820,00
Habilit. Sobre cub. Castillo	573,00
Guardacalor	86,4
Palo autosoportado	89
<b>Volumen total</b>	<b>10.431,40</b>

- Se considera como cubierta de arqueo la cubierta superior.
- Los volúmenes obtenidos, se calcularon en los planos de disposición general en el Cuaderno 7.



Con el volumen total se calcula  $K_1$ :

$$K_1 = 0,2 + 0,02 \cdot \log_{10} V = 0,2 + 0,02 \cdot \log_{10} 10.431,4 = 0,280$$

Con lo que el arqueo bruto que se obtiene es de:

$$GT = K_1 \cdot V = 0,280 \cdot 10.431,4 = 2924,61 \text{ GT}$$

### 3.2. CÁLCULO DEL ARQUEO NETO (NT).

El arqueo neto se calcula como:

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

donde:

- $V_c$  es el volumen de los espacios de carga en m<sup>3</sup>, que corresponde con el volumen de cubas, 2356 m<sup>3</sup>, obtenidos finalmente en el Cuaderno 4.
- $K_2 = 0,2 + 0,02 \times \log_{10} V_c = 0,280$
- $d$  es el calado de trazado que en este caso es de 6,6 m
- $D$  es la distancia vertical medida desde el canto alto de la quilla hasta la cara inferior de la cubierta superior en el costado, que corresponde con 9,2 m.
- $K_3 = 1,25 \cdot \frac{GT+10.00}{10.000} = 1,61$
- $N_1$  es el número de pasajeros en camarotes que no tengan más de 8 literas. En este caso es 0 porque la tripulación no cuenta como pasaje.
- $N_2$  es el resto de pasajeros que también es cero.
- $N_1 + N_2 < 13$ , por lo que se consideran ambos 0, como se han determinado antes



Comprobaciones:

- El factor  $\left(\frac{4d}{3D}\right)^2$  no se puede tomar mayor que 1:

$$\left(\frac{4d}{3D}\right)^2 = 0,914$$

- El término  $K_2 \cdot Vc \cdot \left(\frac{4d}{3D}\right)^2$  no se tomará inferior a 0,25GT:

$$K_2 \cdot Vc \cdot \left(\frac{4d}{3D}\right)^2 = 603,56$$

$$0,25GT = 731tn$$

Se tomará finalmente este último valor.

- NT no se tomará inferior al 30% del GT:  $0,30 \times GT = 877,2$ . Realizando los cálculos:

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

$$NT = 0,280 \cdot 2356 \cdot \left(\frac{4 \cdot 6,6}{3 \cdot 9,2}\right)^2 + 1,61 \cdot \left(0 + \frac{0}{10}\right) = 603,56$$

Por lo tanto, y teniendo en cuenta las comprobaciones, se obtiene un arqueo neto de:

$$\text{Arqueo Neto} = 877,2 \text{ NT}$$