



**UNIVERSIDADE DA CORUÑA**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA NAVAL Y OCEÁNICA**

**PROYECTO FIN DE GRADO**

**LNG TANKER 35000 m<sup>3</sup> PARA PROPÓSITOS DE**

**BUNKERING N° 16-14**

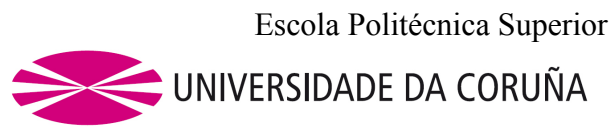
Autor: Juan González Santomé

Tutor del proyecto: Fernando Lago Rodríguez

**CUADERNO 2:**

**CÁLCULO DE PESOS Y CENTRO DE GRAVEDAD DEL PESO  
EN ROSCA**





**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA NAVAL Y OCEÁNICA**

**GRADO EN ARQUITECTURA NAVAL**

*CURSO 2.015-2016*

**PROYECTO NÚMERO 16-14**

**TIPO DE BUQUE :** Gasero LNG

**CLASIFICACIÓN , COTA Y REGLAMENTOS DE APLICACIÓN :** NK NS (LNG tipo 2G)  
SOLAS MARPOL CIG

**CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA:** Carga refrigerada, 35.000 M3

**VELOCIDAD Y AUTONOMÍA :** 18 nudos al 85% MCR y 10 % MM

**SISTEMAS Y EQUIPOS DE CARGA / DESCARGA :** De acuerdo con el proyecto.

**PROPULSIÓN :** Diesel eléctrica dual fuel. Dos líneas de ejes

**TRIPULACIÓN Y PASAJE :** 29 tripulantes

**OTROS EQUIPOS E INSTALACIONES :** Hélice transversal en proa. Además, cualquier otro tipo de sistema necesario para el funcionamiento normal.

Ferrol, Febrero de 2.016

**ALUMNO : D. Juan González Santomé**

## ÍNDICE

1.- Introducción . . . . .	5
2.- Peso de acero estructural . . . . .	6
2.1.-Expresión genérica . . . . .	6
2.2.-Fórmula de A.Osorio . . . . .	6
2.3.-Fórmula de Harval y Juncher . . . . .	7
2.4.-Fórmula de Watson . . . . .	8
2.5.-Centro de gravedad de pesos de acero . . . . .	10
3.- Pesos estructurales . . . . .	12
3.1.-Timón y mecha. . . . .	12
3.1.1.- Peso del timón y la mecha . . . . .	12
3.1.2.-Centro de gravedad del timón y la mecha . . . . .	13
3.2.-Polines . . . . .	14
3.2.1.- Peso de los polines . . . . .	14
3.2.2.- Centro de gravedad de los polines . . . . .	15
3.3.-Escalas y tecles . . . . .	15
3.3.1.- Peso de las escalas y los tecles . . . . .	15
3.3.2.- Centro de gravedad de las escalas y los tecles . . . . .	16
3.4.-Puertas y escotillas . . . . .	17
4.- Maquinaria . . . . .	19
4.1.- Motores propulsores . . . . .	19
4.1.1.- Peso de motores propulsores . . . . .	19
4.1.2.- Centro de gravedad de los motores propulsores . . . . .	20
4.2.-Maquinaria auxiliar de cámara de máquinas . . . . .	20
4.2.1.- Peso de la maquinaria auxiliar de cámara de máquinas . . . . .	20
4.2.2.- Centro de gravedad de maquina auxiliar de cámara de máquinas . . . . .	21
4.3.-Tuberías y válvulas . . . . .	21
4.3.1.- Peso de las tuberías y las válvulas . . . . .	21
4.3.2.- Centro de gravedad de las tuberías y las válvulas . . . . .	22
4.4.-Electricidad y cuadros eléctricos . . . . .	22
4.4.1.- Peso del cableado y cuadros eléctricos . . . . .	22
4.4.2.- Centro de gravedad del cableado y cuadros eléctricos . . . . .	23
4.5.-Propulsor de proa . . . . .	23
4.5.1.- Peso del propulsor de proa . . . . .	23
4.5.2.- Centro de gravedad del propulsor de proa . . . . .	24
4.6.-Línea de ejes fuera de la cámara de máquinas . . . . .	24
4.6.1.- Peso de la línea de ejes . . . . .	24
4.6.2.- Centro de gravedad de la línea de ejes . . . . .	25

5.- Equipo y habilitación . . . . .	26
5.1.-Equipos de carga y descarga . . . . .	26
5.1.1.- Peso de los equipos de carga y descarga . . . . .	26
5.1.2.- Centro de gravedad de los equipos de carga y descarga . . . . .	27
5.2.-Tanques no estructurales . . . . .	27
5.3.-Aislantes de tanques de carga e instalaciones adicionales . . . . .	28
5.3.1.- Peso de los aislantes de tanques de carga e instalaciones adicionales . . . . .	28
5.3.2.- Centro de gravedad de aislantes de tanques e instalaciones . . . . .	28
5.4.-Habilitación . . . . .	29
5.4.1.- Peso de la habilitación . . . . .	29
5.4.2.- Centro de gravedad de la habilitación . . . . .	31
5.5.-Ventilación y aire acondicionado . . . . .	31
5.5.1.- Peso de la ventilación y el aire acondicionado . . . . .	31
5.5.2.- Centro de gravedad de la ventilación y el aire acondicionado . . . . .	32
5.6.-Botes y pescantes de salvamento . . . . .	32
5.6.1.- Peso de botes y pescantes de salvamento . . . . .	32
5.6.2.- Centro de gravedad de botes y pescantes de salvamento . . . . .	33
5.7.-Pintura y protección catódica . . . . .	33
5.7.1.- Peso de la pintura y la protección catódica . . . . .	33
5.7.2.- Centro de gravedad de la pintura y la protección catódica . . . . .	34
5.8.-Navegación y comunicaciones . . . . .	34
5.8.1.- Peso de los aparatos de navegación y comunicaciones . . . . .	34
5.8.2.- Centro de gravedad de los aparatos de navegación y comunicaciones . . . . .	35
5.9.-Hélices . . . . .	35
5.9.1.- Peso de las hélices . . . . .	35
5.9.2.- Centro de gravedad de las hélices . . . . .	35
5.10.- Fondeo y amarre . . . . .	36
5.10.1.- Peso de los sistemas fondeo y amarre . . . . .	36
5.10.2.- Centro de gravedad de los sistemas de fondeo y amarre . . . . .	37
5.11.-Equipo contra incendios . . . . .	37
5.11.1.- Peso del equipo contra incendios . . . . .	37
5.11.2.- Centro de gravedad del equipo contra incendios . . . . .	38
6.- Cuadro de desglose del peso en rosca . . . . .	40
7.- Márgenes . . . . .	41
8.- Cálculo del peso muerto . . . . .	42

## ANEXOS

Anexo 1.- Disposición general con centros de gravedad incluidos . . . . .	44
---	----

## 1.- Introducción

En el cuaderno 1 de este proyecto hemos hecho una aproximación inexacta de los diferentes pesos distribuidos en el buque del proyecto. Este segundo cuaderno tiene como objetivo obtener los pesos de una forma más detallada y desglosada, además de sus centros de gravedad.

Como ya se ha dicho en el cuaderno 1, los pesos están distribuidos entre peso muerto y peso en rosca:

$$\Delta = PM + PR$$

Existirán tres partidas principales a tener en cuenta en el peso en rosca, que se desglosarán a su vez a medida que se analizan más detalladamente. Estas tres partidas son:

- Peso de aceros
- Peso de maquinaria
- Peso de habilitación y equipos

Antes de comenzar a detallar sobre los pesos, se recogerán algunos de los datos más importantes obtenidos en el cuaderno 1 de este buque:

<b>LNG Bunkering</b>	
<b>L</b>	<b>168,42 m</b>
<b>B</b>	<b>30,51 m</b>
<b>D</b>	<b>17,95 m</b>
<b>T</b>	<b>8,8 m</b>
<b>Cb</b>	<b>0,68</b>
<b>v</b>	<b>18 Kn</b>
<b>Fn</b>	<b>0,22</b>
<b>m<sup>3</sup></b>	<b>35000 m<sup>3</sup></b>

Tabla 1: Datos del buque

## 2.- Peso de acero estructural

Igual que como se hizo en el cuaderno 1, utilizaremos diversos métodos empíricos de cálculo del peso de los aceros estructurales para obtener un valor mucho más acercado al valor real.

### 2.1.-Expresión genérica

Utilizaremos la expresión genérica antes utilizada en el cuaderno 1:

$$PS=K \cdot L \cdot B \cdot D \cdot \left(\frac{L}{D}\right)^{0,5}$$

K es un coeficiente de acero (en este caso, 0,03)

$$PS=0,03 \cdot 168,42 \cdot 30,51 \cdot 17,95 \cdot \left(\frac{168,42}{17,95}\right)^{0,5} = 8475,91 \text{ t}$$

El valor obtenido es:

$$\mathbf{PS=8475,91t}$$

### 2.2.-Fórmula de A. Osorio

A. Osorio particulariza un estudio de ajuste de funciones no lineales, mediante la aplicación del algoritmo de Rosenbrock, y deduce la fórmula:

$$PS=L^c (B \cdot D)^d \cdot (a+b \cdot CB)$$

Basándose en una muestra de buques de la entonces División Naval del I.N.I obtiene una fórmula muy parecida a la utilizada en el tercer método del apartado anterior:

$$PS=(L/10)^{1,3760} \cdot (B \cdot D/100)^{0,7449} \cdot (0,0542-0,0017 \cdot CB) \cdot 1000$$

El valor obtenido es el siguiente:

$$PS = (168,42 / 10)^{1,3760} \cdot (30,51 \cdot 17,95 / 100)^{0,7449} \cdot (0,0542 - 0,0017 \cdot 0,68) \cdot 1000 = 7992,09 \text{ t}$$

$$\mathbf{PS=7992,09t}$$

### 2.3.-Fórmula de Harval y Juncher

A continuación vemos otro método para el cálculo de pesos de aceros estructurales. Este método se ha utilizado en el cuaderno 1. La formulación de este método es la siguiente:

$PS = C_s \cdot (L \cdot B \cdot D + \text{Sup})$ , donde:

$$C_s = 0,0644 + 0,064 \cdot e^{(-0,5 \cdot u - 0,1 \cdot u^{2,45})}$$

$$u = \log \frac{A}{100}$$

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

Introduciendo nuestros valores en la fórmula obtenemos:

$$\text{Sup} = 0,8 \cdot 30,51 \cdot (1,45 \cdot 168,42 - 11) = 5692,17$$

$$u = \log \frac{31857}{100} = 2,50$$

$$C_s = 0,0644 + 0,064 \cdot e^{(-0,5 \cdot 2,50 - 0,1 \cdot 2,50^{2,45})} = 0,0715$$

$$PS = 0,0715 \cdot (168,42 \cdot 30,51 \cdot 17,95 + 5698,84) = 7001,86 \text{ t}$$

$$\mathbf{PS=7001,86t}$$

## 2.4.-Método de Watson

El método de Watson calcula el peso de aceros a partir de un buque base:

$$W_{st} = W_{sto} \cdot (1 + 0,5 \cdot (C_{bp} - 0,7))$$

,siendo  $W_{st}$  el valor de pesos de acero de nuestro buque y  $W_{sto}$  el valor de pesos de acero del buque base. El procedimiento del cálculo del buque base se ha calculado con un calado al 80% del puntal y un coeficiente de bloque de 0,7. La fórmula anteriormente expuesta ya ha tenido en cuenta la corrección a aplicar debido al cambio de coeficiente de bloque.

Para el cálculo del  $C_{bp}$ :

$$C_{bp} = C_b + (1 - C_b) \cdot ((0,8 \cdot D - T) / (3 \cdot T))$$

y, para el cálculo del peso de aceros del buque base:

$$W_{sto} = K \cdot E^{1,36}$$

Si aplicamos todas las correcciones a la fórmula, obtenemos el cálculo para averiguar el valor de pesos de acero de nuestro buque:

$$W_{st} = K \cdot E^{1,36} \cdot (0,65 + 0,5 \cdot C_{bp})$$

Para el cálculo de  $C_{bp}$ , simplemente tendremos que aplicar la fórmula anteriormente mencionada, quedando para nuestro buque:

$$C_{bp} = 0,68 + (1 - 0,68) \cdot \left( \frac{0,8 \cdot 17,95 - 8,8}{3 \cdot 8,8} \right) = 0,75$$

La variable "E" se trata del antiguo numeral de equipo calculado con la formulación del Lloyd's, indicada en el libro:

$$E = L \cdot (B + T) + 0,85 \cdot L \cdot (D - T) + 0,85 \cdot (L_s \cdot h_s) + 0,75 \cdot (L_c \cdot h_c)$$

El sumando " $0,85 \cdot (L_s \cdot h_s) + 0,75 \cdot (L_c \cdot h_c)$ " se denomina factor de superestructura. En este caso las dimensiones han sido extraídas del buque base, obteniendo unos valores de:

$$\begin{aligned} L_s &= 14,3 \text{ m} \\ H_s &= 10 \text{ m} \\ L_c &= 12 \text{ m} \\ H_c &= 10 \text{ m} \end{aligned}$$



obtenemos un factor de superestructura de 211,5

Por lo tanto:

$$E = 168,42 \cdot (30,51 + 8,8) + 0,85 \cdot 168,42 \cdot (17,95 - 8,8) + 211,5 = 8142,03$$

K se puede obtener de las tablas adjuntadas al final del capítulo del libro de la asignatura Proyecto de Buques de Fernando Junco. Debido a que no hay tablas para los buques LNG, se ha optado por realizar una extrapolación con el valor E del buque utilizando los datos de otro tipo de buques de volumen. Se ha optado por realizarla a partir de los buques de carga general, ya que los valores son relativamente similares para buques más pequeños.

Para el valor más alto de E de un buque de carga general (7000), obtenemos una K de 0,037. Por lo tanto:

$$K = 8142,03 \cdot 0,037 / 7000 = 0,043$$

De esta manera, ya podemos calcular nuestro peso de aceros:

$$W_{st} = 0,043 \cdot 9791^{1,36} \cdot (0,65 + 0,5 \cdot 0,75) = 9181,33 \text{ t}$$

Obtenemos un total de 9181,33 toneladas. Este valor es mayor al estimado en la primera fase del proyecto, aunque contemplado en los márgenes estimados.

**PS=9181,33t**

Ahora, con todos los valores obtenidos, realizaremos una media para obtener el valor del peso de aceros:

<b>PESO DE ACEROS</b>	
<b>Expresión general</b>	<b>8475,91 t</b>
<b>A. Osorio</b>	<b>7992,09 t</b>
<b>Harval y Juncher</b>	<b>7001,86 t</b>
<b>Watson</b>	<b>9181,33 t</b>
<b>TOTAL</b>	<b>8162,8 t</b>

Tabla 2: Valores de los pesos de acero

## 2.5.- Centro de gravedad de los pesos de acero

Para el cálculo de la coordenada longitudinal del centro de gravedad de los pesos de acero se utilizarán los valores empíricos extraídos del libro de Fernando Junco para graneleros, ya que no hay ninguna fórmula para gaseros. Para los pesos de acero, tendremos un XG de:

$$\begin{aligned} XG &= 0,48245 \cdot L_{pp} + 0,117 \\ XG &= 168,42 \cdot 0,48245 + 0,117 = 81,37 \text{ m} \end{aligned}$$

Se trata de un valor coherente, ya que las formas en proa afinan más que en popa, por lo que el centro de gravedad estará más cercano a popa que a proa.

En caso de la coordenada vertical, se utilizarán tres formulaciones diferentes:

1- Según la fórmula de graneleros del libro de Fernando Junco Ocampo

$$\begin{aligned} KG &= 0,41635 \cdot D + 1,7306 \\ KG &= 17,95 \cdot 0,41635 + 1,7306 = 9,2 \text{ m} \end{aligned}$$

2- Según el método de Mandel

$$\begin{aligned} KG &= 61\% \text{ del puntal del buque} \\ KG &= 17,95 \cdot 0,61 = 10,95 \text{ m} \end{aligned}$$

3- Según la fórmula recomendada en el libro anteriores

$$\begin{aligned} KG &= 0,01 \cdot D \cdot \frac{46,6 + (0,135 \cdot (0,81 - Cb) \cdot L^2)}{D^2} + \frac{L}{B} - 6,5 \cdot 0,008 \cdot D \\ KG &= 0,01 \cdot 17,95 \cdot \frac{46,6 + (0,135 \cdot (0,81 - 0,68) \cdot 168,42^2)}{17,95^2} + \frac{168,42}{30,51} - 6,5 \cdot 0,008 \cdot 17,95 = 8,5 \text{ m} \end{aligned}$$

Este valor se debe a que las formas se vuelven más llenas por la parte alta de la estructura del buque, teniendo además más cubiertas y mamparos que por la parte del doblefondo.

No es necesario el cálculo de la coordenada transversal, ya que el buque es simétrico babor-estribor.

Se ha optado por realizar una media de los tres valores para obtener el valor de nuestro centro de gravedad vertical. De esta manera, obtenemos los pesos de los aceros:

	<b>Peso (t)</b>	<b>XG (m)</b>	<b>KG (m)</b>
<b>Pesos de acero</b>	<b>8162,42</b>	<b>81,37</b>	<b>9,55</b>

### 3.- Pesos estructurales

Además del peso de los aceros de la estructura, hay que tener en cuenta algunos pesos estructurales que no se han visto reflejados en las operaciones de aproximación anteriores. Algunos de los elementos que no se han tenido en cuenta anteriormente y que se incluirán en este apartado son:

- Timón y mecha
- Polines
- Escalas y techos
- Puertas y escotillas

#### 3.1.-Timón y mecha

##### 3.1.1.-Peso del timón y la mecha

El peso de equipo de gobierno se calcula de la siguiente manera:

$$PG = 0,0224 \cdot A \cdot v^{(2/3)} + 2$$

, siendo A el área del timón y v la velocidad de pruebas del buque. Para el cálculo del área del timón:

$$A = L \cdot T \cdot \left(1,1 + 25 \cdot \frac{B^2}{L^2}\right) / 100$$

y para la velocidad en pruebas del buque:

$$V = 1,06 \cdot V_s$$

Con los datos de nuestro buque:

$$V = 1,06 \cdot 18 = 19,08$$

$$A = 168,42 \cdot 8,8 \cdot \left(1,1 + 25 \cdot \frac{30,51^2}{168,42^2}\right) / 100 = 28,46 \text{ m}^2$$

Y el peso de la mecha y el timón:

$$PG = 0,0224 \cdot 28,46 \cdot 19,06^{(2/3)} + 2 = 6,55 \text{ t}$$

Debido a que el buque está sometido a operaciones de riesgo en caso de blackout, se ha de introducir un segundo sistema de redundancia para la segunda hélice

$$\mathbf{PG=13,10t}$$

### 3.1.2.-Centro de gravedad del timón y la mecha

Para el cálculo del centro de gravedad del timón y la mecha, se ha supuesto que se trata de un timón de 8x3,75 m (30m<sup>2</sup>), con una mecha de 1m de diámetro.

Para el timón, se supondrá que se trata de un rectángulo, por lo que su centro de gravedad estará en el centro geométrico del rectángulo (A 4m de LB y a 3,6 a popa de la perpendicular de proa). Además, se tendrá que estimar el centro de gravedad de la mecha, que se encontrará a 6 metros de la LB y en la perpendicular de popa. Ambos son simétricos, por lo que no es necesario calcular YB.

Dado que cada uno tiene sus dimensiones transversales, se considerará que la superficie de ambos es homogénea. Para el KG y el XG:

$$KG = \frac{4 \cdot 29,94 + 6 \cdot 12}{41,94} = 4,57 m$$

$$XG = \frac{-3,6 \cdot 29,94 + 0 \cdot 12}{41,94} = -1,97 m$$

Concepto	Peso (t)	XG (m)	KG (m)
Timón y mecha	13,1	-1,97	4,57

### 3.2.-Polines

#### 3.2.1.-Peso de los polines

Los polines son elementos estructurales situados debajo de cada uno de los motores principales y auxiliares para controlar las vibraciones y servir de apoyo al mismo. Existen 2 motores principales y un motor para alimentar la hélice de proa.

Para el cálculo de peso de los polines de los motores principales, se utilizarán las fórmulas indicadas en el libro de Fernando Junco Ocampo para la asignatura Proyecto de Buques:

$$P_m = (a + b) \cdot \text{MCR (HP)}/1000$$

siendo a y b:

$$a = 0,00381 \cdot (\text{MCR (KW)}/1000) - 0,164 (\text{MCR (KW)}/1000) + 3,26$$

Debido a que nuestro motor trabaja a más de 200 RPM,  $b = -0,5$

Para el buque del proyecto:

$$a = 0,00381 \cdot (8250 \cdot 0,85/1000) - 0,164 \cdot (8250 \cdot 0,85/1000) + 3,26 = 2,14$$

Por lo tanto, los polines:

$$P_m = (2,14 - 0,5) \cdot \frac{8250 \cdot 0,85}{0,7355} / 100 = 15,6 t$$

Para el generador auxiliar y el de la hélice transversal en proa, se utilizarán 2 motores de 2000kw cada uno. Por lo tanto, sus polines son:

$$a = 0,00381 \cdot (2000 \cdot 0,85/1000) - 0,164 \cdot (2000 \cdot 0,85/1000) + 3,26 = 2,99$$

Se considerará que trabajan a más de 200 RPM

$$P_m = (2,99 - 0,5) \cdot \frac{2000 \cdot 0,85}{0,7355} / 100 = 5,75 t$$

Por lo tanto, en el buque habrá 31,2 t de polines para los motores principales y 10,5 t de polines para los motores auxiliares y de hélice en proa

$$\mathbf{PM=41,7t}$$

### 3.2.2.-Centro de gravedad de los polines

Los dos motores principales se encuentran en la cámara de máquinas, a 0,15Lpp de la perpendicular de proa. El motor de la hélice transversal de proa está a 0,85Lpp de la perpendicular de popa.

Se considerará que los KG de los polines estarán un poco por encima de la cubierta, soldados a la misma. Para los polines que se encuentran en la cubierta 1, su altura es de 2m (estipulada por el CIG).

Para el cálculo del centro de gravedad de todos los polines, se puede recurrir a un simple sumatorio de momentos partido de la suma de las masas de los centros de gravedad. Los motores se sitúan en el plano de crujía, por lo que no es necesario calcular YG

$$XG = \frac{5,75 \cdot (168,42 \cdot 0,10) + 15,6 \cdot 2 \cdot (168,42 \cdot 0,15) + 5,75 \cdot (168,42 \cdot 0,85)}{5,75 \cdot 2 + 15,6 \cdot 2} = 40 \text{ m}$$

$$KG = \frac{15,6 \cdot 2 \cdot (4) + 5,75 \cdot (4)}{5,75 \cdot 2 + 15,6 \cdot 2} = 3,46 \text{ m}$$

	<b>Peso (t)</b>	<b>XG (m)</b>	<b>KG (m)</b>
<b>Polines</b>	<b>41,7</b>	<b>40</b>	<b>3,46</b>

### 3.3.-Escalas y tecles

#### 3.3.1.-Peso de las escalas y los tecles

Primero se calcularán los tecles. Los tecles se disponen principalmente en la cámara de máquinas, y su formulación es:

$$P_{tm} = 0,047 \cdot L_m \cdot B \cdot 0,60$$

, donde  $L_m$  es la eslora de la cámara de máquinas. La cámara de máquinas del buque se prolonga un 10% de la  $L_{pp}$ , por lo que tiene una eslora de 16,84 m. Por lo tanto

$$P_{tm} = 0,047 \cdot 16,84 \cdot 30,51 \cdot 0,60 = 14,49 t$$

Debido a que no hay fórmula para el cálculo de escalas, se estimará un peso de 15 toneladas, ya que existen 6 cubiertas comunicadas por 2 escalas de servicio debajo de la cubierta principal, y es un peso que no se ha de desestimar. Para las escaleras exteriores:

$$P_{ex} = 0,8 \cdot N_H + 0,6$$

donde  $N_H$  es el número de cubiertas exteriores. Existen 5 cubiertas exteriores, por lo que

$$P_{ex} = 0,8 \cdot 5 + 0,6 = 4,6 t$$

Obtenemos un peso total de 34,09t

$$\mathbf{PET=34,09t}$$

### 3.3.2.-Centro de gravedad de las escalas y los tecles

Para el cálculo del centro de gravedad de las escalas, se considerará que se encuentran:

- Las de cámaras de máquinas y cubiertas superiores a 0,15  $L_{pp}$  medido desde la perpendicular de popa, a una altura central de las 6 cubiertas. Si cada cubierta tiene 3.21 m en la cámara de máquinas y cubiertas superiores, se encontrarán a 9,65 m de LB
- Las exteriores a 0,19  $L_{pp}$  medido desde la perpendicular de popa. Se encontrarán a una altura central de las 4 cubiertas. Si cada cubierta de la superestructura tiene 2.5 m, estará a una altura de 26.3 sobre LB

Para los tecles, consideraremos que se encuentran en la cubierta más inferior de la cámara de máquinas, a una distancia central de la sala medido desde la perpendicular de popa, y a 4m sobre la línea de base

Al igual que antes, se procederá a un cálculo de centro de masas sencillo:



$$XG = \frac{14,42 \cdot (168,42 \cdot 0,15) + 15 \cdot (168,42 \cdot 0,15) + 4,6 \cdot (168,42 \cdot 0,19)}{11,54 + 15 + 4,6} = 26,17 \text{ m}$$

$$KG = \frac{14,42 \cdot (4) + 15 \cdot (9,65) + 4,6 \cdot (26,3)}{11,54 + 15 + 4,6} = 9,51 \text{ m}$$

	<b>Peso (t)</b>	<b>XG (m)</b>	<b>KG (m)</b>
<b>Escalas y techos</b>	<b>34,09</b>	<b>24,69</b>	<b>9,51</b>

### 3.4.-Puertas y escotillas

El cálculo se dividirá en puertas y escotillas. Para las escotillas, se utilizará la siguiente formulación:

$$0,15 \cdot (2 \cdot NB + 5)$$

, siendo NB el número de bodegas. Inferiores a la cubierta principal, existen 6 bodegas, y hay otras 5 en la superestructura:

$$0,15 \cdot (2 \cdot 11 + 5) = 4,05 \text{ t}$$

Para el cálculo de las puertas:

$$0,56 \cdot (NH + 1)$$

Siendo NH las cubiertas de habitación que existen. Hay 3 cubiertas de habitación en la superestructura, por lo que:

$$0,56 \cdot (3 + 1) = 2,24 \text{ t}$$

$$\mathbf{PPE=6,29t}$$

No se calculará el centro de gravedad detallado de las puertas y escotillas debido a que se encuentran por toda la superestructura del buque, además de e la cámara de máquinas y posiblemente en otras zonas de proa. Además se trata de un peso muy pequeño, por lo que no repercutirá en el cálculo generalizado del centro de gravedad

A continuación se puede observar una tabla con los pesos estructurales anteriormente calculados:

PESOS ESTRUCTURALES	
Timón y Mecha	13,1 t
Polines	41,7 t
Escalas y techos	34,09 t
Puertas y escotillas	6,29 t
<b>TOTAL</b>	<b>95,18 t</b>

Tabla 3: Pesos estructurales

## **4.- Maquinaria**

Al igual que con los pesos estructurales, desglosaremos los pesos de la maquinaria en varias partidas. La descomposición de los pesos será la siguiente:

- Motores propulsores
- Maquinaria auxiliar de cámara de máquinas
- Tuberías y válvulas
- Electricidad y cuadros eléctricos
- Propulsor de proa
- Línea de ejes

### **4.1.-Motores propulsores**

#### **4.1.1.-Peso de los motores propulsores**

En el cuaderno 1 se han definido los motores a introducir en el buque, que darán la potencia necesaria para que el buque pueda propulsarse a la velocidad de servicio con un margen de servicio y un margen de mar definidos. Estos motores, al ser suministrados por una empresa (Wärtsilla), tienen unas dimensiones y pesos ya definidos.

Existen un total de 2 motores principales en el buque, de un peso de 185 toneladas cada uno (con alternador incluido). Por lo tanto, los motores propulsores tendrán un peso en conjunto de 370t

$$\mathbf{PMP=370t}$$

#### **4.1.2.-Centro de gravedad de los motores propulsores**

Si se supusiese que la densidad del motor es homogénea, el XG y el KG estarían definidos, sólo habría que tener en cuenta dónde se posicionan en la cámara de máquinas. Se añadirá un margen de 2 m al KG, ya que las partes más pesadas (cilindros) se encuentran en la parte superior de los motores

Si se sitúan en el centro de la cámara de máquinas:

$$XG = 0,15 \cdot L_{pp} = 25,26 \text{ m}$$

$$KG = 2 + 2 + 4,960/2 = 6,48 \text{ m}$$

Los dos metros que se aumentan al KG en el cálculo son debido a los tanques de doble fondo que se sitúan por debajo de la cámara de máquinas.

	<b>Peso (t)</b>	<b>XG (m)</b>	<b>KG (m)</b>
<b>Motores propulsores</b>	<b>370</b>	<b>25,26</b>	<b>6,48</b>

## 4.2.-Maquinaria auxiliar de cámara de máquinas

### 4.1.1.-Peso de la maquinaria auxiliar de cámara de máquinas

En este apartado se calcularán las máquinas auxiliares y elementos de respeto necesarios para las máquinas a bordo. La formulación será, como en apartados anteriores, extraída del libro anteriormente citado. Por lo tanto, el peso de la maquinaria auxiliar es:

$$P_{\text{vario}} = a \cdot MCR(Kw) + b \cdot MCR(kW)^{0,7}$$

, siendo "a" y "b" dos coeficientes dependientes de la potencia del motor o motores principales. Debido a que nuestros motores exceden los 736 KW, (en este caso, el umbral sería 1472 KW, dos motores), los valores "a" y "b" son, respectivamente, 0,0109 y 0,07525.

La MCR de los motores del buque es 13115 KW. De esta manera:

$$P_{\text{vario}} = 0,0109 \cdot 13115 + 0,07525 \cdot 14780^{0,7} = 205,37 t$$

$$\mathbf{PACM=205,37t}$$

### 4.1.2.-Centro de gravedad de la maquinaria auxiliar de cámara de máquinas

Para el cálculo del centro de gravedad de estos equipos, se considerará que están situados simétricamente en la cámara de máquinas. Además estarán dispuestos a una banda y a otra de la misma por igual, por lo que su centro de gravedad caerá a la mitad de la cámara de máquinas.

Debido a que estas máquinas auxiliares no están dispuestas sólo en una cubierta, se supondrá que estarán dispuestas en 2 cubiertas de la cámara de máquinas. En la cámara de máquinas cada cubierta mide 3.2 m, por lo que el centro de gravedad se situará algo por encima del mismo (ya que el centro de gravedad de todas las máquinas auxiliares no se encuentran en la cubierta, si no algo por encima de la misma). Estas máquinas auxiliares tienen una altura media de 2 m de alto, por lo que se situará el centro de gravedad a 5.2m. De esta maera:

$$XG = \text{Centro de CM} = 25,26 \text{ m}$$

$$KG = 5,2 \text{ m}$$

	<b>Peso (t)</b>	<b>XG (m)</b>	<b>KG (m)</b>
<b>Maquinaria auxiliar CM</b>	<b>205,37</b>	<b>25,26</b>	<b>5,2</b>

### 4.3.-Tuberías y válvulas

#### 4.3.1.-Peso de las tuberías y válvulas

Las tuberías y válvulas se dividirán en tuberías de casco y tuberías de cámara de máquinas. Para las tuberías del casco, se utilizará:

$$P_{tbc} = 0,0047 * L * \sqrt{L} * B$$

$$P_{tbc} = 0,0047 \cdot 168,88 \cdot \sqrt{168,42} \cdot 30,51 = 302,05 \text{ t}$$

Para las tuberías de cámara de máquinas:

$$P_{tbc} = 0,00981 * P_m$$

, donde P<sub>m</sub> es la potencia de los motores principales. De esta manera:

$$P_{tbc} = 0,00981 * 16500 = 161,87 \text{ t}$$

$$\mathbf{PTV=463,92t}$$

### 4.3.2.-Centro de gravedad de las tuberías y válvulas

Las tuberías y válvulas se encuentran por todo el buque, tanto a proa como a popa del mismo. Para el cálculo del centro de gravedad, se tomarán unos valores medios establecidos empíricamente. De forma empírica, el KG se sitúa a un 79% del puntal del buque medido desde la LB. En cuanto al XG, se situará a un 7,8 % a proa de la sección media. Por lo tanto:

$$KG = 17,95 \cdot 0,79 = 14,19 \text{ m}$$

$$XG = 168,42 \cdot 0,578 = 97,35 \text{ m}$$

	<b>Peso (t)</b>	<b>XG (m)</b>	<b>KG (m)</b>
<b>Tuberías y válvulas</b>	<b>463,92</b>	<b>97,35</b>	<b>14,18</b>

## 4.4.-Electricidad y cuadros eléctricos

### 4.4.1.-Peso de cableado y cuadros eléctricos

Para determinar el peso de la instalación eléctrica, sólo habrá que utilizar una formulación estimada de forma empírica:

$$Pie = Ic + Pm/1000$$

, donde "Ic" es la longitud de los cables, una variable dependiente del tipo de buque que se esté analizando. Para este buque, un buque de gas, utilizaremos:

$$Ic = 10,82 + 0,268 \cdot L + 0,000597 \cdot L^2$$

$$Ic = 10,82 + 0,268 \cdot 168,42 + 0,000597 \cdot 168,42^2 = 72,89 \text{ Km}$$

De esta manera:

$$Pie = 72,89 + 16500/1000 = 89,39 \text{ t}$$

$$\mathbf{PECE=89,39t}$$

#### 4.4.2.- Cálculo del centro de gravedad del cableado y los cuadros

Para el cálculo del centro de gravedad, se utilizarán los datos obtenidos empíricamente de otros buques.

Para el KG, se considerará que se encuentra a un 147% del puntal del buque, ya que existe una gran cantidad de cables y aparatación eléctrica en la superestructura. Para el XG, se supondrá que se encuentra a un 4,7% de la LPP a proa de la sección media, debido a que existe una gran cantidad de cableado en la parte de proa. De esta manera:

$$KG = 17,95 \cdot 1,47 = 26,39 \text{ m}$$

$$XG = 168,42 \cdot 0,047 = 92,13 \text{ m}$$

	<b>Peso (t)</b>	<b>XG (m)</b>	<b>KG (m)</b>
<b>Electricidad, Cuadros y C. Electr.</b>	<b>89,39</b>	<b>92,13</b>	<b>26,39</b>

#### 4.5.-Propulsor de proa

##### 4.5.1.-Peso del propulsor de proa

En el buque existe una hélice transversal en proa a la que se le ha de suministrar energía mediante un motor en la parte de proa. Se utilizará el mismo sistema que en los motores de propulsión principal (este motor será eléctrico, suministrando energía eléctrica a la hélice).

El motor utilizado en la hélice es un motor Wäertsilla modelo 34DF . El motor suministra una cantidad de 3000KW, suministrando sólo 2000 a la hélice. Tiene un peso de 35 t

$$\text{PPP}=35\text{t}$$

#### 4.5.2.-Centro de gravedad del propulsor de proa

El propulsor de proa alimenta a la hélice, que se encuentra al 85% de la Lpp a proa de la perpendicular de popa. En cuanto al KG, se encuentra en un espacio a la altura de la cámara de máquinas. Si consideramos que el motor tiene una densidad homogénea, la coordenada del centro de gravedad vertical está a 1,85 m por encima de la cubierta del espacio del motor:

$$XG = 168,42 \cdot 0,85 = 143,16 \text{ m}$$

$$KG = 3,85 \text{ m}$$

	<b>Peso (t)</b>	<b>XG (m)</b>	<b>KG (m)</b>
<b>Propulsores de proa</b>	<b>35</b>	<b>143,16</b>	<b>3,85</b>

#### 4.6.-Línea de ejes

##### 4.6.1.-Peso de la línea de ejes fuera de la cámara de máquinas

Este peso se calculará de la misma manera que en el cuaderno 1. Utilizaremos la siguiente fórmula:

$$P_{\text{Línea de ejes}} = K_{ne} \cdot L_{eje} \cdot (5 + 0,0164 \cdot L), \text{ donde}$$

$L_{eje}$  es la longitud de la línea de eje, que tomaremos como 4,5 m

$K_{ne}$  es el número de las líneas de eje, que en este caso son 2

L es la eslora total del buque

La fórmula queda:

$$P_{\text{Línea de ejes}} = 2 \cdot 4,5 \cdot (5 + 0,0164 \cdot 168,53) = 69,88 \text{ t}$$

$$\mathbf{PLE = 69,88 \text{ t}}$$



#### 4.6.2.-Centro de gravedad de la línea de ejes fuera de la cámara de máquinas

Para el cálculo de XG, supondremos que la línea de ejes comienza a 3 m a proa de la perpendicular de popa. La línea de ejes se trata de una pieza homogénea, por lo que la coordenada X de su centro de gravedad se situará en el centro de la pieza. Para KG, se estimará una altura de 4 metros, ya que este valor tiene que tener en cuenta el alojamiento de la hélice. De esta forma:

$$XG = 5,25 \text{ m}$$

$$KG = 4 \text{ m}$$

	<b>Peso (t)</b>	<b>XG (m)</b>	<b>KG (m)</b>
<b>Línea de ejes</b>	<b>69,88</b>	<b>5,25</b>	<b>4</b>

Se dispondrá una tabla con todos los pesos anteriores calculados

<b>PESOS DE LA MAQUINARIA</b>	
Motores propulsores	370 t
Maquinaria auxiliar de cámara de máquinas	205,37 t
Tuberías y válvulas	463,92 t
Electricidad y cuadros eléctricos	89,39 t
Propulsor de proa	35 t
Línea de ejes fuera de la CM	69,88 t
<b>TOTAL</b>	<b>1233,56 t</b>

Tabla 4:Pesos de la maquinaria

## **5.- Equipo y Habilitación**

Al igual que en los dos apartados anteriores, desglosaremos estos pesos en diferentes partidas para tener una visión de los mismos más clara. Entre ellos podemos citar:

- Equipos de carga y descarga
- Tanques no estructurales
- Aislantes de tanques de carga e instalaciones adicionales
- Habilitación
- Ventilación y aire acondicionado
- Botes y pescantes de salvamento
- Pintura y protección catódica
- Navegación y comunicaciones
- Hélices
- Fondeo y amarre
- Equipo contraincendios

### **5.1.-Equipos de carga y descarga**

#### **5.1.1.-Peso de equipos de carga y descarga**

Los equipos a los que se hacen mención en el título están formados principalmente por bombas de los tanques que llevan la carga refrigerada. Estos equipos no están teniendo en cuenta el sistema de mangueras que tenga el buque para proporcionar combustible a los demás, si no las bombas que envían el combustible al otro barco. Estas bombas son bombas de tanque profundo, y el cálculo de las mismas se realiza a través de la formulación empírica que se encuentra en el libro anteriormente citado:

$$PR = 1,700 + 0,00464 \cdot C$$

, siendo C la capacidad en metros cúbicos por hora de las bombas. El resultado de esta fórmula será de una sola bomba. Habrá 3 bombas de carga y descarga, y éstas serán de tanque profundo, por lo que se encontrarán en cada uno de los tanques.

El buque realizará la operación de bunkering en un total de 6 horas, y disponemos de un total de 35000 m<sup>3</sup> que descargar:

$$PR = 1,700 + 0,00464 \cdot \left(\frac{11667}{6}\right) = 15,34 t$$

Éste será el peso de una bomba. Por lo tanto, los equipos de carga y descarga pesarán un total de 46,02 toneladas.

**PECD = 46,2 t**

### **5.1.2.-Centro de gravedad de equipos de carga y descarga**

Como se indicó anteriormente, las bombas son de pozo profundo, lo cual indica que están sumergidas en el líquido que van a bombear (que en este caso será el gas natural). Sin embargo, una de las partes importantes del peso es el motor, que se encuentra en la cubierta. Si se supone que ambas partes pesan lo mismo, los centros de gravedad se encontrarán en el centro del tanque

Se puede ver muy claramente que el centro de gravedad de las tres bombas caerá al KG de una bomba (las tres tienen el mismo KG) y al XG de la bomba central (ya que la distancia entre ellas es la misma)

La bomba central tiene un XG de 84,3m y un KG de 13,35m. Debido a que no se pueden introducir bombas en los tanques de doblefondo, es necesario dejar un margen para las bombas desde el doblefondo (2m) hasta los tanques de carga, donde se sitúan las bombas. Se ha dejado un total de 1,4 m de altura para situar las bombas

	<b>Peso (t)</b>	<b>XG (m)</b>	<b>KG (m)</b>
<b>Equipos de carga y descarga</b>	<b>46,02</b>	<b>84,3</b>	<b>13,34</b>

## **5.2.-Tanques no estructurales**

### **5.2.1.-Peso de tanques no estructurales**

El buque al que hacemos mención tiene como tanques principales de carga tanques no estructurales. Sin embargo, esta partida está reservada a tanques no estructurales de dimensiones pequeñas. En el buque sólo existe un tanque no estructural, que será el que lleve el gas natural para ser utilizado como combustible. Se supondrá un peso de 5 toneladas para este tanque.

### 5.2.2.-Centro de gravedad de tanques no estructurales

Este tanque será situado justo a proa de la superestructura, donde se encuentra la habitación, para que sea un lugar aireado en el que no produzca problemas de aireado en caso de posibles fugas. De esta manera, se encontrará a:

$$XG = 37,41 \text{ m}$$

$$KG = 22,91 \text{ m}$$

	<b>Peso (t)</b>	<b>XG (m)</b>	<b>KG (m)</b>
<b>Tanques no estructurales</b>	<b>5</b>	<b>37,41</b>	<b>22,91</b>

### 5.3.-Aislantes de tanques de carga e instalaciones adicionales

#### 5.3.1.-Peso del aislante de tanques de carga y de las instalaciones adicionales

No existe formulación concreta para el cálculo de estos elementos (como son las tuberías de criogenización o la membrana), por lo que tendremos que extraerlo de otro buque similar.

De un proyecto de un buque LNG de 135000 m<sup>3</sup> de la empresa IZAR se obtienen un total de 3909 t de peso para estos equipos. En nuestro caso, dado que son 35000 m<sup>3</sup> los que tenemos que transportar, realizaremos una interpolación para obtener un valor estimado de los mismos.

$$\frac{35000}{135000} \cdot 3909 = 990 \text{ t}$$

Además de este peso, tendremos que añadir las tuberías y mangueras utilizadas para el trase de combustible a los buques mercantes. Se añadirán un total de 150 toneladas al conjunto, e irán situadas encima de los tanques de carga.

$$\text{PTCI} = 1140 \text{ t}$$

### 5.3.2.-Centro de gravedad del aislante de tanques de carga y de las instalaciones adicionales

Para este cálculo, se estimará que este centro se encuentra en el centro del tanque central, aumentándole a su KG 2,5 metros debido a la instalación de tuberías. De esta manera:

	<b>Peso (t)</b>	<b>XG (m)</b>	<b>KG (m)</b>
<b>Aislante de tanques de carga e inst.</b>	<b>1140</b>	<b>84,36</b>	<b>16,26</b>

## 5.4.-Habilitación

### 5.4.1.-Peso de la habilitación

Para la habilitación existen diferentes formulaciones en el libro anteriormente mencionado. No se ha de utilizar las funciones que dependan de los pasajeros o tripulación que vaya a residir en el buque, ya que son inexactas. Se utilizará la formulación dependiente de los m<sup>2</sup> del local. Al ser una fase de anteproyecto, donde no está completamente definida la zona de la habilitación, los cálculos utilizados a continuación serán orientativos, siempre considerando un margen respecto a los reales.

El peso de la habilitación se calcula a partir de varios revestimientos y elementos que han de tener los camarotes. De forma general, podremos decir que existen 4 apartamentos (para el jefe de máquinas, el capitán y los oficiales, o, en su defecto, el armador) que tendrán un peso relativamente similar, marcado en el libro anteriormente mencionado:

$$\text{Peso ap} = 0,797 \text{ t}$$

Existirán 25 cabinas sencillas para otros tripulantes (como podría ser contramaestre, ayudante de cámara de máquinas...), cuyo peso es de 0,360 t.

Para cada cabina sencilla y doble, habrá un aseo, por lo que existirán 25 aseos. Cada aseo tendrá un peso de 500kg, por lo que los aseos pesan un total de 12,5 t

El aislamiento pesará un total de 8kg por m<sup>2</sup>. Ha de estar dispuesto por todas las cubiertas de habilitación, además de por los mamparos que haya en las mismas. La superestructura es de 30 metros de eslora en su totalidad, siendo 18 metros efectivos de habilitación. Los 12 metros restantes se reservarán para guardacalores, chimeneas, apareamiento eléctrica, sensores... que estarán separados de la estructura principal. Se supondrá que la superestructura tendrá una semimanga semejante a la del buque (30 m). Aunque esto no sea cierto, sería un margen añadido

en el peso, lo cual no repercute negativamente a los cálculos.

Existirán dos mamparos longitudinales y seis transversales, para delimitar los diferentes espacios en la superestructura. Por lo tanto, la superficie que habrá que cubrir por una cubierta será:

$$S = (18 \cdot 30) \cdot 2 + (2,2 \cdot 30) \cdot 6 + (2,2 \cdot (18 - 2)) \cdot 10 = 1828 \text{ m}^2$$

, siendo el primer factor la cubierta y el techo, el segundo los mamparos longitudinales (por los dos lados) y el tercero los transversales por los dos lados.

El peso será de:

$$P = 1930 \cdot 8 = 15,45 \text{ t}$$

Para el peso de mamparos utilizaremos la misma metodología que anteriormente:

$$S = (2,2 \cdot 30) \cdot 4 + (2,2 \cdot (18 - 2)) \cdot 6 = 475 \text{ m}^2$$
$$P = 475 \cdot 26 = 12,35 \text{ t}$$

Para el techo:

$$S = (18 \cdot 30) = 540 \text{ m}^2$$
$$P = 540 \cdot 17 = 9,18 \text{ t}$$

Para moqueta y pavimento de PVC

$$S = (18 \cdot 30) = 540 \text{ m}^2$$
$$P = 540 \cdot 9 \cdot 0,2 + 540 \cdot 4 \cdot 0,8 = 2,7 \text{ t}$$

Para subpavimento:

$$S = (18 \cdot 30) = 540 \text{ m}^2$$
$$P = 540 \cdot 28 = 15,12 \text{ t}$$

Por último, para el aislamiento acústico:

$$S = (18 \cdot 30) \cdot 2 + (2,2 \cdot 30) \cdot 6 + (2,2 \cdot (18 - 2)) \cdot 10 = 1828 \text{ m}^2$$
$$P = 1828 \cdot 16 = 29,24 \text{ t}$$

Y el peso total de todos estos elementos:

$$Pt = 29,24 + 15,12 + 2,7 + 9,18 + 12,35 + 15,45 = 84,04 t$$

Este peso total es de sólo una cubierta. Debido a que las cubiertas son similares, habrá que multiplicar por tres este valor, obteniendo 252,11 t. Se han sustraído la cubierta principal y la cubierta del puente, ya que no tienen tantos mamparos como los anteriores. Aún así, se han considerado más mamparos en las cubiertas de los que existen, por lo que se obtiene un margen considerable.

Si le añadimos a este valor todos los pesos de las habitaciones y de los baños que existen en el buque, obtenemos un peso total de:

$$PH = 268,7 t$$

### 5.3.2.-Centro de gravedad de la habitación

Para el centro de gravedad, se supondrá que el peso es homogéneo en todas las cubiertas, longitudinal y transversalmente. De esta manera, el centro de gravedad se situará en el centro geométrico de estas tres cubiertas. Estas tres cubiertas serán la segunda, tercera y cuarta contando desde la cubierta principal.

	<b>Peso (t)</b>	<b>XG (m)</b>	<b>KG (m)</b>
<b>Habitación</b>	<b>268,7</b>	<b>23,57</b>	<b>23,37</b>

## 5.5.-Ventilación y aire acondicionado

### 5.5.1.-Peso de la ventilación

Para el aire acondicionado, se utilizará la siguiente fórmula:

$$PAA = 0,020 \cdot Sh$$

, siendo Sh la superficie de la habitación. Como se ha calculado anteriormente, Sh es:

$$S = (18 \cdot 30) \cdot 3 = 1620 \text{ m}^2$$

Y, por lo tanto:

$$PAA = 0,020 \cdot 1620 = 32,4 \text{ t}$$

En cuanto a la ventilación en los espacios de carga, no es necesario una gran cantidad de ventiladores, simplemente a la hora de realizar reparaciones en el interior de los tanques.

$$\text{PV} = 32,4 \text{ t}$$

### 5.5.2.-Centro de gravedad de la ventilación

El centro de gravedad del aire acondicionado ha de ser coherente con el centro de gravedad de la habitación. Debido a que los camarotes son simétricos longitudinalmente, la posición longitudinal del centro de gravedad de la ventilación ha de ser coincidente con la posición del centro de gravedad de la habitación.

En cuanto a la posición vertical, se situará por encima del de la habitación debido a que la instalación de ventilación se encuentra en los techos. Se encontrará a 0,5 m por encima del centro de gravedad de la habitación (si tenemos en cuenta que el centro de gravedad de cada cubierta está a 1.3 m del pavimento y la ventilación está a 2,3 m)

	<b>Peso (t)</b>	<b>XG (m)</b>	<b>KG (m)</b>
<b>Ventilación y aire acondicionado</b>	<b>32,4</b>	<b>23,57</b>	<b>23,87</b>

## 5.6.-Botes y pescantes de salvamento

### 5.6.1.-Peso de los botes y pescantes

Los equipos de salvamento en este buque son los requeridos para un buque de carga a granel líquida, teniendo un bote de caída libre y dos botes cerrados, uno a cada banda, para evitar la obstrucción del estibado de los botes por culpa de la escora. Estos valores de peso son fijos, teniendo 13 toneladas por bote cerrado. Debido a que son 3, serán 39 toneladas. Además, se añadirán 16 toneladas a mayores por los métodos de estibado, como pueden ser los pescantes.

Por lo tanto, el peso de botes y pescantes de salvamento:



$$\text{PBS} = 55 \text{ t}$$

### 5.6.2.-Centro de gravedad de los botes y pescantes

Si se considera que los botes cerrados y el bote de caída libre pesan lo mismo, el centro de gravedad estará mas cerca de los primeros, ya que son 2. Se considerará que el centro de gravedad de los botes cerrados estarán a 0,2 Lpp a proa de la perpendicular de popa, cerca de la habilitación para facilitar la evacuación. El centro de gravedad del bote de caída libre se encontrará a un 2% de la Ppp.

El centro de gravedad de los botes cerrados se encontrará a la altura de la segunda cubierta, mientras que el bote de caída libre se encontrará a la altura de la tercera cubierta:

Bote de caída libre:

$$XG = 168,42 \cdot 0,02 = 3,37\text{m}$$

$$KG = 25,38 \text{ m}$$

Botes cerrados

$$XG = 168,42 \cdot 0,2 = 33,68 \text{ m}$$

$$KG = 22,91 \text{ m}$$

Para calcular el centro de gravedad en conjunto:

$$XG = \frac{(13 \cdot 3,37) + (26 \cdot 33,68)}{39} = 23,58 \text{ m}$$

$$KG = \frac{(13 \cdot 25,38) + (26 \cdot 22,91)}{39} = 23,73 \text{ m}$$

	<b>Peso (t)</b>	<b>XG (m)</b>	<b>KG (m)</b>
<b>Botes y pescantes de salvamento</b>	<b>55</b>	<b>23,58</b>	<b>23,73</b>

## 5.7.-Pintura y protección catódica

### 5.7.1.-Peso de pintura y protección catódica

Para la pintura, utilizaremos la formulación que depende del peso de acero calculado mediante los diversos métodos al principio del cuaderno:

$$P_i = 0,006 \cdot PS$$

$$P_i = 0,006 \cdot 8162,8 = 48,98 t$$

Para la protección catódica:

$$P_{cc} = 0,0008 \cdot Sm$$

Sm es la superficie mojada, que se puede calcular con:

$$Sm = L \cdot T \cdot (1,7 + Cb/T)$$

$$Sm = 168,42 \cdot 8,8 \cdot (1,7 + 0,68/8,8) = 2640 m^2$$

$$P_{cc} = 0,0008 \cdot 2640 = 2,11 t$$

$$\mathbf{PPPC = 51,09 t}$$

### 5.7.2.-Centro de gravedad de pintura y protección catódica

Para el cálculo del centro de gravedad, se considerarán los datos empíricos extraídos de fuentes externas. El KG es un 115% del puntal, y el XG se define a un 4,68% por detrás del centro de gravedad de la habilitación:

$$KG = 17,95 \cdot 1,15 = 20,64 m$$

$$XG = 23,57 - 168,42 \cdot 0,0468 = 15,69 m$$

	Peso (t)	XG (m)	KG (m)
<b>Pintura y protección catódica</b>	<b>51,09</b>	<b>20,64</b>	<b>15,69</b>

## 5.8.-Navegación y comunicaciones

### 5.8.1.-Peso de los aparatos de navegación y comunicaciones

El peso de equipo de navegación es muy reducido, y tiene un valor constante, de 2 t.

$$\mathbf{PNC = 2 t}$$

### 5.8.1.-Centro de gravedad de los aparatos de navegación y comunicaciones

El centro de gravedad de estos equipos se encontrará en el puente, en la mitad de proa de la superestructura. De esta manera, el centro de gravedad se sitúa a 0,2 Lpp medido desde la perpendicular de popa. La posición vertical se situará a la mitad de la 5ª cubierta de la superestructura:

$$XG : 0,2 \cdot 168,42 = 33,68 \text{ m}$$

$$KG : 28,34 \text{ m}$$

	<b>Peso (t)</b>	<b>XG (m)</b>	<b>KG (m)</b>
<b>Navegación y comunicaciones</b>	<b>2</b>	<b>33,68</b>	<b>28,34</b>

## 5.9.- Hélices

### 5.9.1.-Peso de las hélices

Con los datos del NavCad 2012 calculados en el cuaderno 1 hemos estimado el diámetro de nuestras hélices para obtener el tiro necesario para mover el buque. Con una simple fórmula empírica dependiente del diámetro podremos estimar el peso de las dos hélices. La fórmula:

$$PH=0,080 \cdot D^3$$

$$PH=0,080 \cdot 4,038^3 = 5,27 \text{ t}$$

$$\text{PNC} = 10,54 \text{ t}$$

### 5.9.2.-Centro de gravedad de las hélices

Las hélices estará situadas muy cerca de la perpendicular de popa, estimando 4 metros desde la perpendicular de popa. En caso del KG, será el mismo que el del eje de cola (las hélices son simétricas y su centro de gravedad coincide con el eje de cola)

	<b>Peso (t)</b>	<b>XG (m)</b>	<b>KG (m)</b>
<b>Hélices</b>	<b>10,54</b>	<b>4</b>	<b>4</b>

## 5.10.- Fondeo y amarre

### 5.10.1.-Peso de los sistemas de fondeo y amarre

Para el cálculo del peso de fondeo y amarre primero tendremos que calcular el numeral de equipo de nuestro buque. Siguiendo como guía el libro de Proyecto de Buques de Fernando Junco, el numeral de equipo se puede calcular de la siguiente forma:

$$NE = \Delta^{2/3} + 2 \cdot B \cdot H + Ap/10$$

, donde  $\Delta$  es el desplazamiento, B es la manga, H es la altura total desde el calado de verano, y Ap es el área lateral del buque en perfil.

Para el cálculo del área de perfil, como primera aproximación, bastará con multiplicar la eslora por el francobordo para el cálculo de la obra viva y la eslora de la superestructura por la altura de la misma para esta superficie bélica. De esta manera:

$$168,42 \cdot (17,95 - 8,8) + 0,2 \cdot 168,42 \cdot (30 - 17,95) = 1946,94$$

H se ha utilizado antes, siendo:

$$30 - 17,95 = 13,05 \text{ m}$$

El desplazamiento se ha calculado en apartados anteriores, siendo 31668

$$NE = 31857^{2/3} + 2 \cdot 30,51 \cdot 13,05 + 1946,94/10 = 1991,96$$

Ahora, introduciéndose en la tabla obtenida del libro anteriormente citado, obtendremos el valor del peso del amarre y fondeo. Según la tabla, tendremos un peso de 174 toneladas

$$\mathbf{PAF = 174 \text{ t}}$$

### 5.10.2.-Centro de gravedad de los sistemas de fondeo y amarre

Los pesos se situarán de forma asimétrica en el buque. En proa tendremos el 80% del peso de los equipos y en popa el 20% restante. Se considerará que se encuentran a 0,5 metros por

encima de la cubierta principal. Se considerará que el centro de gravedad de los equipos en proa se encuentra a 0,9 Lpp de la perpendicular de popa, mientras que los elementos de popa se situarán a 0,05 Lpp de la misma perpendicular. De esta manera:

	Peso (t)	XG (m)	KG (m)
PROA		139,2	151,58
POPA		34,8	8,42
			18,45

Tabla 5 : Elementos de amarre y fondeo

El KG, al ser el mismo en ambas partidas, será el mismo en el conjunto. Realizando un simple cálculo de momentos podemos obtener el centro de gravedad de la coordenada X:

$$XG = \frac{151,58 \cdot 139,2 + 8,42 \cdot 34,8}{174} = 122,95 \text{ m}$$

De forma resumida, los equipos de amarre y fondeo tienen las siguientes características

	Peso (t)	XG (m)	KG (m)
<b>Amarre y fondeo</b>	<b>174</b>	<b>122,95</b>	<b>18,45</b>

## 5.11.- Equipo contraincendios

### 5.11.1.- Peso del equipo contraincendios

El equipo contraincendios se puede calcular con una fórmula empírica dependiente del volumen de la cámara de máquinas. La fórmula es la siguiente:

$$PI = 0,0025 \cdot VE + 1$$

,donde VE es el volumen de la cámara de máquinas.

Debido a que no tenemos un valor exacto del volumen de cámara de máquinas, utilizaremos una formulación propuesta en el libro anteriormente citado, que es la siguiente:

$$VE = 0,5 \cdot LM \cdot B \cdot D$$

,siendo LM la eslora de la cámara de máquinas. Se ha estimado una eslora de 0,1 Lpp, siendo esta 16,84 m. Por lo tanto:

$$VE = 0,5 \cdot 16,84 \cdot 30,51 \cdot 17,95 = 4611,8 \text{ m}^3$$

De esta manera, el peso:

$$PI = 0,0025 \cdot 4611,8 + 1 = 12,53 \text{ t}$$

$$PI = 12,53 \text{ t}$$

### 5.11.2.-Centro de gravedad del equipo contraincendios

En este caso, se estimará que el equipo contraincendios está a una altura y longitud respecto a la perpendicular de popa igual a la de las maquinas auxiliares de cámara de máquinas. Esto supondrá que los pesos son homogéneos en toda la cámara de máquinas longitudinalmente y se encontrarán en las cubiertas inferiores. Por lo tanto, el equipo contraincendios:

	<b>Peso (t)</b>	<b>XG (m)</b>	<b>KG (m)</b>
<b>Equipo contraincendios</b>	<b>12,53</b>	<b>25,26</b>	<b>5,2</b>

Al igual que se hizo anteriormente, se dispondrán todos los pesos de las partidas del equipo y la habilitación:

<b>PESOS DE EQUIPO Y HABILITACIÓN</b>	
Equipos de carga y descarga	46,2 t
Tanques no estructurales	5 t
Aislantes de tanques de carga e instalaciones adicionales	1140 t
Habilitación	268,7 t
Ventilación y aire acondicionado	32,4 t
Botes y pescantes de salvamento	55 t
Pintura y protección catódica	51,09 t
Navegación y comunicaciones	2 t
Hélices	5,27 t
Fondeo y amarre	174 t
Equipo contra incendios	12,53 t
<b>TOTAL</b>	<b>1792,19 t</b>

Tabla 6: Pesos de equipo y habilitación

**6.- Cuadro de desglose del peso en rosca**

A continuación se disponen todos los pesos anteriormente calculados:

<b>PARTIDA</b>	<b>PESO (t)</b>	<b>XG (m)</b>	<b>KG (m)</b>
<b>PESO DE ACEROS</b>	8162,8	81,37	9,55
<b>PESOS ESTRUCTURALES</b>			
Timón y Mecha	13,1	-1,97	4,57
Polines	41,7	37,74	3,46
Escalas y tecles	34,09	24,69	9,51
Puertas y escotillas	6,29	28,72	22,79
<b>PESOS DE LA MAQUINARIA</b>			
Motores propulsores	370	25,26	6,48
Maquinaria auxiliar de cámara de máquinas	205,37	25,26	5,2
Tuberías y válvulas	463,92	97,35	14,18
Electricidad y cuadros eléctricos	89,39	92,13	26,39
Propulsor de proa	35	143,16	3,85
Línea de ejes fuera de la CM	69,88	5,25	4
<b>PESOS DEL EQUIPO Y LA HABILITACIÓN</b>			
Equipos de carga y descarga	46,2	84,3	13,34
Tanques no estructurales	5	37,41	22,91
Aislantes de tanques de carga e instalaciones adicionales	1140	84,36	16,26
Habilitación	268,7	23,57	26,67
Ventilación y aire acondicionado	32,4	23,57	27,16
Botes y pescantes de salvamento	55	23,58	23,73
Pintura y protección catódica	51,09	20,64	15,69
Navegación y comunicaciones	2	33,68	28,34
Hélices	10,54	4	4
Fondeo y amarre	174	122,95	18,45
Equipo contra incendios	12,53	25,26	5,2
<b>TOTAL</b>	<b>11283,73</b>	<b>77,28</b>	<b>11,02</b>

Podemos observar las coordenadas del centro de gravedad del buque y el peso total en la celda de los totales. Debido a ser simétrico, la YG del buque será 0.



## **7.- Margen**

Debido a las aproximaciones que hemos estado realizando a la hora de calcular centros de gravedad y pesos, es necesario añadir una pequeña cantidad en márgenes para asegurarnos. Se añadirá un margen del 6% a los pesos, mientras que a las coordenadas 1 y 0,5 en el XG y el KG, respectivamente:

<b>PARTIDA</b>	<b>PESO (t)</b>	<b>XG (m)</b>	<b>KG (m)</b>
<b>Cálculo sin márgenes</b>	<b>11283,73</b>	<b>77,28</b>	<b>11,02</b>
<b>Cálculo con márgenes</b>	<b>11960,75</b>	<b>78,28</b>	<b>11,52</b>

Tabla 7 : Márgenes de pesos y centro de gravedad

## **8.- Cálculo del peso muerto**

Ahora que ya se dispone de una aproximación de peso en rosca más detallada, volveremos a calcular el peso muerto de la misma manera que se hizo en el cuaderno 1.

$$\begin{aligned}\Delta &= PR + PM \\ 31857,81 &= 11971,64 + PM\end{aligned}$$

$$\mathbf{PM = 199898t}$$

Los pesos más importantes introducidos en este peso muerto son los consumos y la carga útil. Para el cálculo de la carga útil solo es necesario el volumen transportado y la densidad de la carga. Se ha considerado el GNL con una densidad de 0,46 m<sup>3</sup>/t, por lo tanto

$$Cu = 35000 \cdot 0,46 = 16100 \text{ t}$$

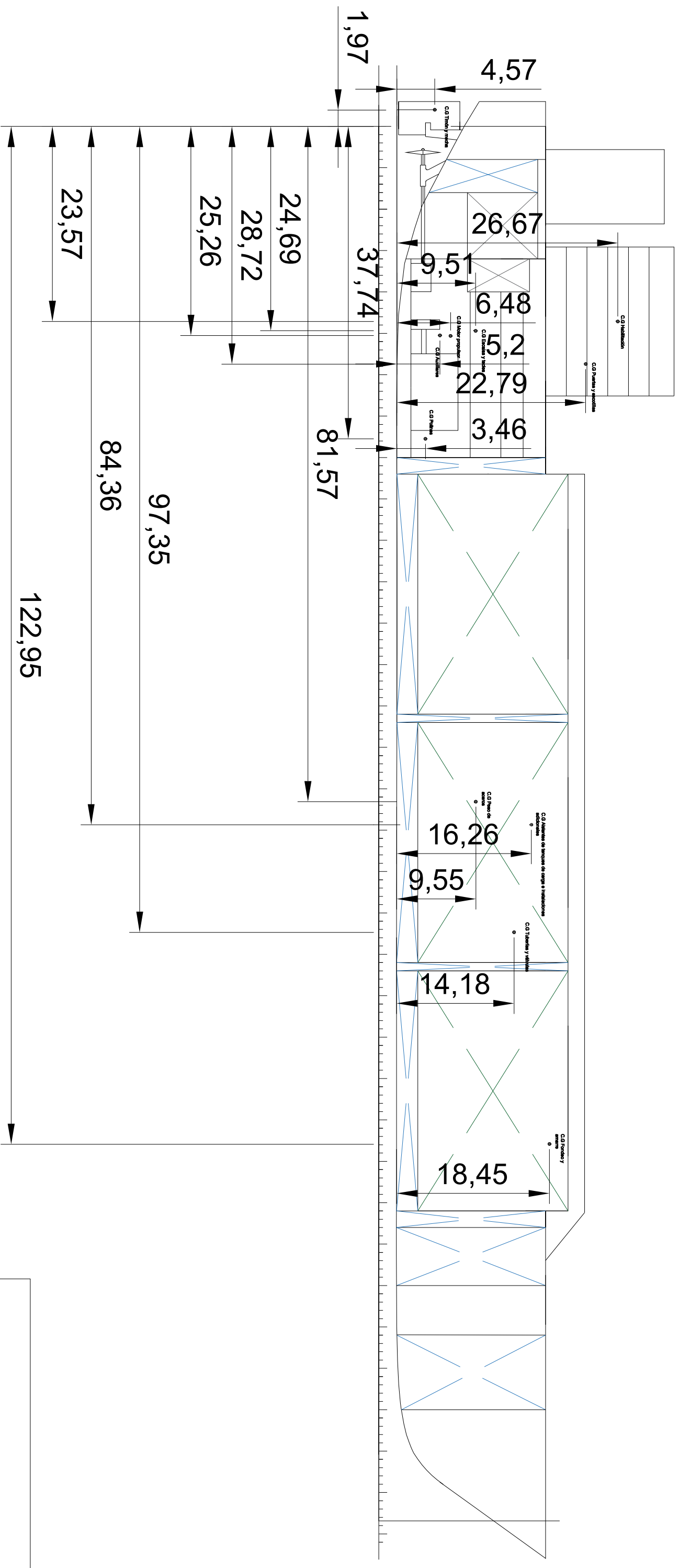
Por lo tanto, existen 3788 t de peso de consumos.

Esta afirmación sólo es cierta en el momento en el que el buque se encuentra en la situación de plena carga.

Así como se realizó un desglose detallado de los pesos que incurrían en el peso en rosca, realizaremos un desglose con los pesos que se introducen en el peso muerto. Este desglose lo podremos encontrar en el cuaderno 5.

# ANEXOS

**Anexo 1.- Disposición general con centros de gravedad incluidos  
(mayores de 100 toneladas y adicionales)**



**Características principales**

Eslora entre perpendiculares..... 168,42 m  
 Eslora total ..... 175,48 m  
 Manga de trazado..... 30,51 m  
 Puntal de trazado..... 17,95 m  
 Calado de diseño..... 8,8 m

LNG para propósitos de bunkering 35000 m3

Escala 1:500

Juan González Santomé