



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

Trabajo Fin de Grado
CURSO 2020/2021

PETROLERO (TANQUE CRUDOS) 250000 TPM

GENO-2020-02

Grado en Ingeniería Naval y Oceánica

ALUMNA/O

Minerva Rivas Cabanas

TUTORAS/ES

Raúl Villa Caro

FECHA

JUNIO 2021

1 TÍTULO Y RESUMEN

1.1 Castellano

El buque que se proyectará en este trabajo es uno para el transporte de un gran volumen de crudo, un petrolero de crudo VLCC, cuya característica principal es su capacidad de carga máxima de 275000 toneladas de peso muerto, según la RPA. En estos cuadernos se recoge el proceso completo de diseño, construcción y evaluación económica desarrollado para la obtención de dicho buque.

1.2 Galego

O buque que se proxecta neste traballo é un para o transporte dun gran volume de crudo, un petroleiro de crudo VLCC, cuxa característica principal é a súa capacidade de carga máxima, dada pola RPA, 275000 toneladas de peso morto. Nestes cadernos recóllese o proceso completo de deseño, construción e avaliación económica desenrolado para a obtención de dito buque.

1.3 English

The ship that will be projected in this work is one for the transport of a large volume of crude, a very large crude oil tanker (VLCC), whose main characteristic is its maximum load capacity of 275,000 deadweight tons, according to the PAR. These notebooks collect the complete process of design, construction and economic evaluation developed to obtain the mentioned ship.



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

**TRABAJO FIN DE GRADO
CURSO 2020/2021**

PETROLERO (TANQUE CRUDOS) 250000 TPM

Grado en Ingeniería Naval y Oceánica

Cuaderno 2:

**CÁLCULO DE PESOS Y CENTROS DE GRAVEDAD DEL PESO EN
ROSCA Y DE SUS PARTIDAS CORRESPONDIENTES**



**SIMULTANEIDAD DE GRADO EN INGENIERÍA NAVAL Y OCEÁNICA E
INGENIERÍA MECÁNICA**

TRABAJO FIN DE GRADO

CURSO 2020-2021

PROYECTO NÚMERO

TIPO DE BUQUE: Petrolero (tanque de crudos)

CLASIFICACIÓN, COTA Y REGLAMENTOS DE APLICACIÓN: DNV, SOLAS, MARPOL

CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA: 275000 toneladas de peso muerto

VELOCIDAD Y AUTONOMÍA: 15.5 nudos en condiciones de servicio. 20000 millas a velocidad de servicio.

SISTEMAS Y EQUIPOS DE CARGA / DESCARGA: Bombas para carga y descarga de tanques.

PROPULSIÓN: Motor diésel acoplado a una hélice de paso fijo.

TRIPULACIÓN Y PASAJE: 36 personas distribuidas en camarotes individuales y dobles.

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

Ferrol, 04 de Octubre de 2020

ALUMNO/A: **D^a Minerva Rivas Cabanas**

CONTENIDO

1 Título y Resumen.....	
1.1 Castellano.....	
1.2 Galego.....	
1.3 English.....	
2 Introducción.....	1
3 Cálculo de pesos y centro de gravedad.....	2
3.1 Primera aproximación del peso en rosca y centros de gravedad.....	3
4 Peso estructural (PS).....	5
4.1 Peso del acero.....	5
4.1.1 Método de Watson y Gilfillam.....	5
4.1.2 Método Harvald y Juncher.....	6
4.2 Posición del centro de gravedad del acero.....	7
4.3 Representación gráfica del centro de gravedad de los aceros.....	7
5 Peso de la maquinaria.....	8
5.1 Peso del motor.....	8
5.2 Peso de la maquinaria propulsora restante.....	8
5.3 Peso de la maquinaria restante.....	8
5.3.1 Otra expresión para obtener el peso de la maquinaria restante.....	9
5.4 Posición del centro de gravedad de la maquinaria.....	11
5.5 Representación gráfica del centro de gravedad de maquinaria.....	12
6 Peso de equipos y habilitación.....	13
6.1 Peso de la protección anticorrosiva.....	13
6.1.1 Peso de la pintura del buque (Pi).....	13
6.1.2 Peso de la protección catódica del casco (incluido timón y hélice) por ánodos de sacrificio (Pcc).....	13
6.1.3 Peso de la protección catódica de los tanques de lastre de petroleros (Pt).....	14
6.2 Peso del equipo de amarre y fondeo.....	14
6.3 Peso del equipo de navegación.....	16
6.4 Peso del equipo de gobierno.....	16
6.5 Peso del equipo de salvamento y contraincendios.....	17
6.5.1 Peso del equipo de salvamento, PL.....	17
6.5.2 Peso del equipo contraincendios, PI.....	17
6.6 Pesos de los equipos de manipulación de la carga.....	17
6.6.1 Peso cámara de bombas.....	17
6.7 Chimenea y guarda calor.....	18

6.8 Sistema contraincendios por espuma en tanques de carga	18
6.9 Peso de la habilitación	18
6.10 Peso instalación eléctrica.....	19
6.11 Puertas, portillos y ventanas	20
6.11.1 Peso de las puertas de acero	20
6.11.2 Peso de portillos y ventanas	20
6.12 Peso tecles cámara de máquinas	21
6.13 Peso de tuberías y bombas de casco	21
6.14 Peso de escotillas, plataformas, escaleras y pasarela	21
6.14.1 Peso escotillas.....	21
6.14.2 Peso plataformas y escaleras.....	22
6.14.3 Peso pasarela.....	22
6.15 Peso de la amurada.....	22
6.16 Peso de grupo de emergencia	23
6.17 Peso del generador de cola	¡Error! Marcador no definido.
6.18 Peso de una instalación de aguas residuales	23
6.19 Peso del generador de agua dulce	23
6.20 Posición del centro de gravedad de peso de equipos y habilitación.....	24
6.21 Representación gráfica del centro de gravedad de equipos.....	25
7 Peso en rosca y centro de gravedad total	26
7.1 Representación gráfica del centro de gravedad de peso en rosca.....	26
8 Comprobación del peso muerto	27
9 Bibliografía.....	28

2 INTRODUCCIÓN

En este cuaderno se calculará el peso en rosca del buque a proyectar, así como la posición de su centro de gravedad.

El cálculo del peso en rosca es una misión de gran relevancia en el diseño de un buque, ya que un exceso de peso en rosca supondría que no se cubriesen las toneladas de peso muerto especificadas en la RPA para un desplazamiento dado.

El peso o desplazamiento del buque (Δ) está compuesto por el peso en rosca (PR) y el peso muerto (PM).

$$\Delta = WR + PM$$

El peso en rosca es la suma de todos los pesos del buque listo para navegar, excluyendo la carga, pasaje, tripulación, pertrechos y consumos, pero incluyendo fluidos en aparatos y tuberías. El resto es peso muerto.

El peso en rosca se compone por las siguientes partidas:

- Peso del acero.
- Peso del equipo y habilitación.
- Peso de la maquinaria.

Partiendo de las dimensiones y características extraídas del cuaderno 1, se podrá calcular el valor de los distintos componentes del peso en rosca del buque a tratar.

<i>Lpp (m)</i>	302.9
<i>B (m)</i>	56.5
<i>D(m)</i>	29.40
<i>T(m)</i>	21.97
<i>Cb</i>	0.865
<i>Cm</i>	0.989
<i>Cp</i>	0.875
<i>Fn</i>	0.14
Δ (t)	339242
<i>BHP (kW)</i>	37680
<i>TPM</i>	275000

En este cuaderno, la gran parte de los pesos se calcularán mediante formulaciones obtenidas, en su gran mayoría, del Libro de Fernando Junco Ocampo "Proyectos del buque y artefactos marinos. Cálculo del desplazamiento"

3 CÁLCULO DE PESOS Y CENTRO DE GRAVEDAD

El peso en rosca del buque, como ya se ha mencionado con anterioridad, está dividido en tres partidas que son: peso estructural (PS), peso de la maquinaria (PQ) y peso del equipo y habilitación (PE).

Dada a la confusión con que son tratados algunos de los elementos del buque que, pueden ser incluidos en distintas partidas de las que constituyen el peso en rosca, y para delimitarlo exactamente, se establece la siguiente clasificación.

- Elementos de la estructura:
 - Fondos y doble fondos (incluyendo pozo de sentinas).
 - Mamparos transversales y longitudinales.
 - Tanques estructurales.
 - Cubiertas intermedias.
 - Bloque de popa y proa (incluyendo codaste y arbotantes y caja de cadenas).
 - Forro exterior (incluyendo quillas de balance).
 - Cubierta superior.
 - Toldilla.
 - Ciudadela.
 - Castillo.
 - Plataformas.
 - Brazolas de escotilla de bodegas de carga.
 - Troncos de acceso.
 - Cajas de tomas de mar.
 - Amuradas,
 - Cubiertas de habilitación.
 - Mamparos exteriores de habilitación.
 - Mamparos interiores de acero.
 - Casetas de chigres, etc.

- Elementos de maquinaria
 - Maquinaria propulsora.
 - Línea de ejes reductores, chumaceras y bocinas.
 - Hélices.
 - Sistema de combustible.
 - Sistema de aceite.
 - Sistema de aire comprimido de arranque y de control.
 - Sistema de refrigeración (incluye generador de agua dulce).
 - Sistema de generación de vapor principal.
 - Sistema de generación de vapor auxiliar.
 - Sistema de generación de agua caliente.
 - Grupos electrógenos principales.
 - Grupos electrógenos de socorro, de puerto y de emergencia.
 - Sistema de lastre.
 - Sistema de sentinas.
 - Sistema de baldeo y contraincendios.
 - Sistema sanitario de alimentación y descargas (no incluye aparatos sanitarios en alojamientos).
 - Sistemas de telemando en cámara de máquinas.
 - Exhaustación en cámara de máquinas.
 - Pisos y tecles en cámara de máquinas.
 - Ventilación mecánica en cámara de máquinas.
 - Pañoles y talleres en cámara de máquinas.
 - Cuadros eléctricos principales y secundarios.

- Generadores acoplados a líneas de ejes.
- Transformadores.
- Baterías.
- Grupos convertidores.
- Aparatos de alumbrado (excepto habilitación).

- Elementos del equipo y de la habilitación
 - Elementos de madero del casco.
 - Protección anticorrosiva y cementados.
 - Equipo de amarre y fondeo.
 - Equipo de navegación.
 - Equipo de gobierno.
 - Equipo de salvamento y contraincendios.
 - Equipo de carga y manipulación.
 - Acondicionamiento de bodegas y tanques de carga.
 - Cierres diversos y accesos.
 - Habilitación.

3.1 Primera aproximación del peso en rosca y centros de gravedad

Como primera instancia, se realiza una aproximación del peso en rosca según el libro de Fernando Junco Ocampo "Proyectos del buque y artefactos marinos. Cálculo del desplazamiento", podemos definir este peso con la siguiente expresión dada para petroleros con doble fondo y doble casco¹:

$$WR = 0.0595 * L^{1.65} * B^{0.875} + 0.349 * BHP^{0.893} + 25.07 * (TPM)^{0.381}$$

Donde,

- WR es el peso en rosca
- L_{pp} es la eslora entre perpendiculares que en el caso a tratar es de 308.9 m.
- B es la manga, que en el buque a tratar es de 56.5 m.
- TPM es el desplazamiento que en este caso viene dado por la RPA de 275000 t.
- BHP es la potencia propulsora 38729.06 kW.

Entonces se obtiene que,

$$WR = 0.0595 * 302.9^{1.65} * 56.5^{0.875} + 0.349 * 37680^{0.893} + 25.07 * (275000)^{0.381}$$

$$WR = 32438.11.34 t$$

Para buques petroleros, no es dada una expresión para una primera aproximación del centro de gravedad del buque, por lo que se usa en este caso, la aproximación propia de graneleros, por ser estos similares al buque a tratar. Entonces:

$$Z_R = 1.02815 * D^{0.87945}$$

$$X_R = 0.42962 * L$$

Sustituyendo los valores de,

- $D=29.4$ m
- $L=302.9$ m

Se obtiene que:

$$Z_R = 20.11 m$$

$$X_R = 130.13 m$$

¹ Bibliografía: [3]

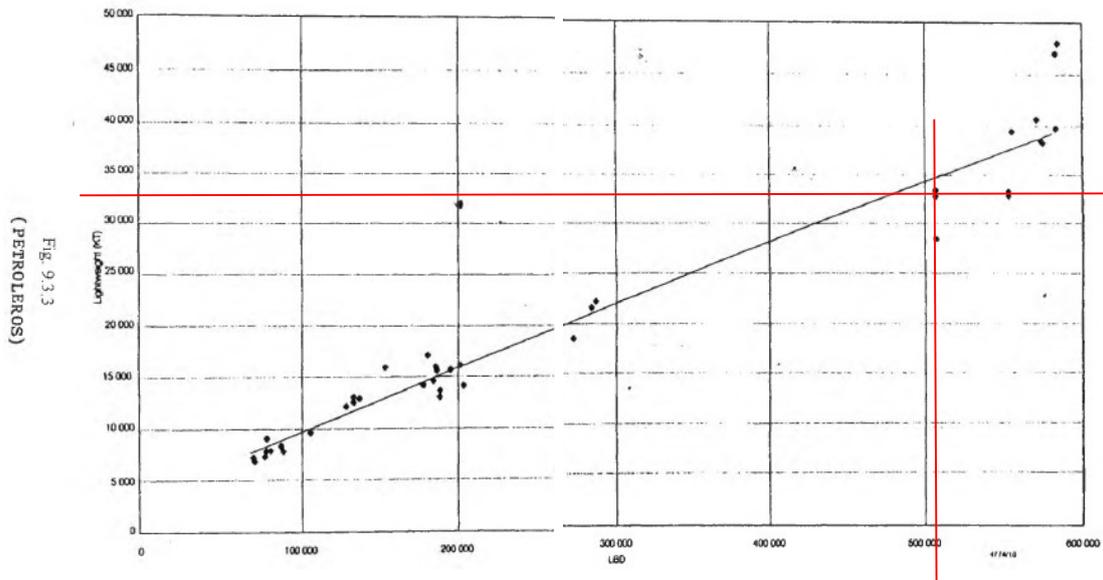
Mediante la siguiente gráfica sacada del libro de Junco, se comprueba que el valor obtenido en la primera aproximación del peso en rosca es cercano a los buques petroleros con características similares a las del buque a tratar.

Para poder entrar al gráfico, se debe considerar:

$$WR = 32817.04 t$$

$$LBD = 513113.79 m^3$$

Entonces,



Se puede observar, que en una primera aproximación, los resultados obtenidos son bastante ajustados.

4 PESO ESTRUCTURAL (PS)

4.1 Peso del acero

En este apartado se considera el peso de toda la estructura del casco del buque, una gran parte de las expresiones utilizadas para el cálculo del peso de acero, vienen dadas por una expresión genérica de la forma:

$$P = L^a * B^b * D^c * C_B^d * e$$

Donde a, b, c, d y e suelen ser valores constantes estimados por cada uno de los autores de las fórmulas.

Siguiendo el libro de “El proyecto básico del buque mercante” de Alvariño, Azpíroz y Meizoso, se puede definir el peso total del acero de los petroleros de doble fondo y doble casco, incluyendo superestructuras y casetas, como:²

$$WST = 0.0658 * L^{1.7} * B^{0.102} * D^{0.886}$$

Donde,

- L es la eslora entre perpendiculares del buque a proyectar, L=302.9 m.
- B es la manga del buque tratado, B=56.5 m.
- D es el puntal del buque diseñado, D=29.4 m.

Entonces se obtiene que:

$$WST = 32817.04 t$$

4.1.1 Método de Watson y Gilfillam

Este método presenta una expresión tal que:

$$WST = K * E^{1.36} * (1 + 0.5 * (Cb_{80D} - 0.7))$$

En donde,

$$E = L * (B + T) + 0.85 * (D - T) * L + 0.85 * \Sigma(l_1 * h_1) + 0.75 * \Sigma(l_2 * h_2)$$

- $l_1 h_1$ eslora y altura de las superestructuras.
- $l_2 h_2$ eslora y altura de las casetas.

Como se conocen las dimensiones de las superestructuras ni de las casetas, según el libro mencionado antes de Fernando Junco Ocampo “Proyectos de buques y artefactos”³, podemos realizar las siguientes aproximaciones:

$$0.85 * \Sigma(l_1 * h_1) + 0.75 * \Sigma(l_2 * h_2) = FS$$

Para un buque de 160 m de L, FS=220

Para un buque de 350 m L, FS=250

Entonces, debemos interpolar los valores para obtener FS con nuestra eslora. Para una eslora de 302.9 m FS es 243.51.

Por tanto, el valor que tomará E en el caso a tratar es de:

² Bibliografía: [1]

³ Bibliografía: [3]

$$E = 26433.75$$

De la fórmula de WR,

- K= varía entre 0.029 y 0.035 para petroleros de casco sencillo. En el caso a tratar se coge el valor más alto de K=0.035 por ser este de doble casco.

Tipo	K	E
Granelero	0,029-0,032	3000 - 15000
Granelero abierto	0,033-0,040	6000 - 13000
Petrolero casco sencillo	0,029-0,035	1500-40000
Quimiquero	0,036-0,037	1900 - 2500
Carga general	0,029-0,037	2000 - 7000
Cestero	0,027-0,032	1000 - 2000
Frigorífico	0,032-0,035	5000
Portacontenedor	0,033-0,040	6000 - 13000
Ro-Ro	0,038	4300 - 8800
Remolcador	0,044	350 - 450

- Cb_{80D} ,

$$Cb_{80} = Cb + (1 - Cb) * (0.8 * D - T)/(3 * T)$$

Donde,

- $Cb=0.865$
- $D=29.4$ m
- $T=21.97$ m

Recordando,

$$WST = K * E^{1.36} * (1 + 0.5 * (Cb_{80D} - 0.7))$$

Sustituyendo los valores obtenidos,

$$WST = 38172.35 t$$

4.1.2 Método Harvald y Juncher

Este método dice que se puede calcular el peso de los aceros mediante la siguiente expresión:

$$WST = C_s * (L * B * D + Sup)$$

Donde,

- C_s es un coeficiente calculado mediante,

$$C_s = C_{so} + 0.064 * e^{-0.5*u-0.10*u^{2.45}}$$

$$u = \log\left(\frac{TPM}{100}\right) = 3.44$$

C_{so} es un coeficiente que depende del tipo de buque. Para petroleros VLCC como el buque a tratar es de 0.0645.

$$C_s = 0.066$$

- Sup es el volumen de superestructuras y casetas que si no se conoce puede ser estimado por la fórmula:

$$Sup = 0.8 * B * (1.45 * L_{pp} - 11)$$

Entonces,

$$Sup = 19354.866$$

Entonces obtenemos un peso de aceros de:

$$WST = 34463.04 t$$

Según el método que usemos, obtenemos un valor distinto. Para tener un único valor y dado que todos los resultados obtenidos por los distintos métodos son aproximados, haremos la media de los tres valores. Entonces,

$$WST = 35150.82 t$$

4.2 Posición del centro de gravedad del acero

En este apartado se calcula la posición del centro de gravedad de partida de los aceros suponiendo que la distribución de los pesos respecto al plano de crujía es simétrica, por lo tanto, YG va a ser 0.

Para calcular la altura del centro de gravedad de la partida del peso de acero se emplea la siguiente fórmula propuesto por Kuppras:

$$KG = 0.01 * D * \left(46.6 + 0.135 * (0.81 - Cb) * \left(\frac{L}{D} \right)^2 \right) + 0.008 * D * \left(\frac{L}{B} - 6.5 \right) - 0.002 * D$$

Por tanto,

$$KG = 13.14 m$$

Para calcular la ordenada del centro de gravedad del acero no disponemos de ninguna fórmula específica para petroleros y por lo tanto utilizaremos la fórmula propuesta para graneleros de J.L. García Garcés ya que petroleros y graneleros presentan una estructura muy similar.

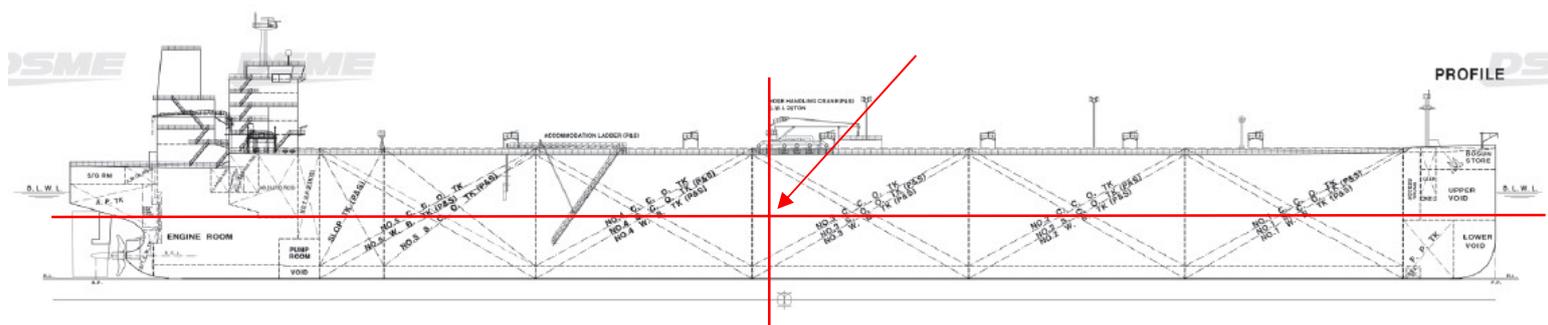
$$XG = 0.48245 * Lpp + 0.117$$

Con la eslora del buque a proyectar calculada en el cuaderno I, tenemos que:

$$XG = 146.25 m$$

CÁLCULO PESOS DE ACERO				
Fuente	PESO ACEROS	XG	ZG	YG
libro Alvariño	32817,03458			0
Watson	38172,368			0
Harvald	34463,04131			0
PROMEDIO	35150,81463	146,251105	13,14201022	0

4.3 Representación gráfica del centro de gravedad de los aceros



5 PESO DE LA MAQUINARIA

De forma genérica, el peso de la maquinaria (PQ) incluye:

- Peso del motor principal.
- Peso de la maquinaria auxiliar.
- Peso del propulsor (hélice).
- Peso del eje de cola, intermedio, etc.
- Respetos reglamentarios.

El Lloyd's Register ha publicado un procedimiento con coeficientes e índices de regresión para así obtener el peso de la maquinaria propulsora en motores lentos y semirápidos.

Para las expresiones dadas, se deben conocer los valores de los coeficientes que, para petroleros con motores lentos según el libro de Junco, se corresponden:

- $a=9.38$
- $b=0.84$
- $c=0.59$
- $d=0.70$
- $e=0.00015$
- $f=0.667$
- $g=3.00$

5.1 Peso del motor

$$PQP = a * \left(\frac{BHP}{rpm}\right)^b$$

Donde, del cuaderno I se sabe que:

- BHP= 37680 kW
- Rpm= 72 rpm

Entonces,

$$PQP = 2306.87 t$$

En el cuaderno 1 se ha escogido un motor MAN G80ME-C10.5 TIER II, por lo que el peso del mismo se obtendrá a partir de los catálogos del fabricante, en este caso entonces:

$$PQP = 1115 t$$

5.2 Peso de la maquinaria propulsora restante

$$PR = c * (BHP)^d$$

Se obtiene que,

$$PR = 1157 t$$

5.3 Peso de la maquinaria restante

Este parámetro viene designado por el Lloyd's Register como:

$$PQR = k * VE^l + h * EJ * (j * L + 5)$$

Donde,

- k, l, h y j vienen dados por:

Coefficientes / índices	Kship= 1 petrolero	Kship= 2 carguero	Kship= 3 portacon.	Kship= 4 granlero	Kship= 5 obo
diesel lentos					
a	9.38	9.38	9.38	9.38	9.38
b	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84
c	0.59	0.56	0.63	0.56	0.62
d	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70
e	0.00015	0.00019	0.00012	0.00015	0.00015
f	0.667	0.667	0.667	0.667	0.667
g	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
diesel semirrapidos					
a	9.38	9.38	9.38	9.38	9.38
b	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84
c	0.59	0.59	0.59	0.56	0.56
d	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70
e	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
f	0.667	0.667	0.667	0.667	0.667
g	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
resto					
k	0.0395	0.0217	0.0295	0.0295	0.0295
l	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
una helice					
-	0.67	0.71	0.67	0.67	0.67
h	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
j	0.0164	0.0164	0.0164	0.0164	0.0164
dos hélices					
-	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
h	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
j	0.0164	0.0115	0.0164	0.0164	0.0164

Así,
K=0.0395
L=1
H=1
J=0.0164

- Ve es el volumen de la cámara de máquinas que en este caso se coge una aproximación del buque de referencia. $Ve= 30444.44 \text{ m}^3$.
- EJ es la longitud de la línea de ejes fuera de máquinas, también se coge una aproximación del buque de referencia. $EJ=5.92 \text{ m}$.

Por tanto, se obtiene que,

$$PQR = 1250.64 t$$

El peso de la maquinaria vendrá dado por,

$$PQ = PQP + PR + PQR$$

Entonces,

$$PQ = 3522.64 t$$

5.3.1 Otra expresión para obtener el peso de la maquinaria restante

Para obtener el peso de la maquinaria restante se puede obtener con la siguiente expresión:

$$PQR = 0.72 * (MCR)^{0.78}$$

Donde,

- MCR es la potencia del Diésel dada en kW, en el caso a tratar es de 37680 kW.

Entonces,

$$PQR = 2671.15 t$$

5.3.1.1 Peso de los polines de los motores propulsores

Mediante la ecuación sacada de la bibliografía mencionada anteriormente, se obtiene la siguiente expresión:

$$P_{MMPP} = (a + b) * MCR (CV)/1000$$

Donde,

- MCR es el valor del Diésel generador en CV.
- a , es un coeficiente dado por la siguiente expresión para,

$$a = 0.00135 * \left(\frac{MCR(kW)}{1000}\right)^{0.5} - 0.0071 * \left(\frac{MCR(kW)}{1000}\right) + 2.07$$

Donde,

- $MCR(kW)$ es la potencia del Diésel generador en kW.

Entonces,

$$a = 1.80$$

- b es un coeficiente que vale 0.5.

Entonces,

$$P_{MMPP} = 116.76 t$$

La posición del centro de gravedad de estos será en la parte baja de la cámara de máquinas, por lo tanto:

$$YG = 0 m$$

$$XG = 21.47 m$$

$$KG = 3.75 m$$

5.3.1.2 Peso hélice

Esta partida viene dada por la siguiente expresión, para hélices de paso fijo:

$$P_h = 0.080 * D^3$$

Donde,

- D es el diámetro de la hélice, en el caso a tratar, según el cuaderno 1, es de 10.13 m.

Se obtiene,

$$P_h = 83.16 t$$

5.3.1.3 Peso de la línea de ejes

Viene dado por la siguiente expresión:

$$P_{lej} = L_{lej} * 0.081 * \left(n * \frac{\frac{MCR(kW)}{rpm}}{n'}\right)^{\frac{2}{3}}$$

Donde,

- L_{lej} es la longitud de la línea de ejes en este caso de 5 m.
- n es el número de motores de propulsión, en este caso es 1.
- rpm son las revoluciones del propulsor en este caso de 65 rpm.
- n' es el número de propulsores, en el caso a tratar 1.

Entonces,

$$P_{lej} = 28.30 t$$

5.3.1.4 Peso piezas de respecto, cargos de cámara de máquinas y líquidos en circuitos incluidos en el peso en rosca

$$P_{\text{varios}} = a * MCR(kW) + b * MCR(kW)^{0.7}$$

Donde para una potencia mayor de 736 kW,

- $a = 0.0109$
- $b = 0.07525$

Entonces,

$$P_{\text{varios}} = 530.88 t$$

5.4 Posición del centro de gravedad de la maquinaria

Al igual que con el peso de los aceros, se supone que la distribución de peso es simétrica respecto al plano de crujía teniendo, por tanto:

$$YG = 0 m$$

La posición vertical del centro de gravedad del peso de la maquinaria viene dada por la ecuación mostrada a continuación, obtenida del libro de "Proyectos del buque y artefactos marinos. Cálculo del desplazamiento":

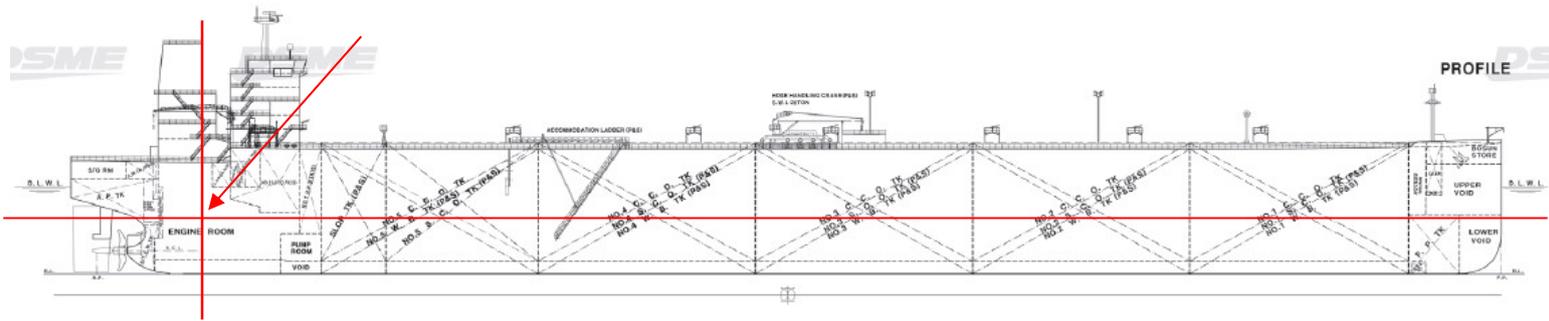
$$KG = 0.17 * T + 0.36 * D = 14.32 m$$

La posición longitudinal del centro de gravedad puede ser definida como el centro geométrico de la cámara de máquinas, en el caso a tratar se hace una aproximación utilizando el buque de referencia:

$$XG = 21.47 m$$

CÁLCULO PESOS MAQUINARIA (PQ)				
Columna1	PESO	XG	ZG	YG
MOTOR	1115			
MAQ. PR	1157,003672			
PQR1	1250,6378			
PQR2	2671,15441			
a	1,810758845			
b	0,5			
Pmmp	116,7619596	13,2	6	0
Phelice	83,16073576			
P línea ejes	26,30110257			
Pvarios	530,8786987			
TOTAL	4279,74	21,47	14,307	0

5.5 Representación gráfica del centro de gravedad de maquinaria



6 PESO DE EQUIPOS Y HABILITACIÓN

Para el desarrollo de este apartado es necesario ir desarrollando los pesos por partida, no se conocen todavía muchas características del buque para poder realizar un estudio detallado del mismo, por lo que, los cálculos serán abordados con el uso de expresiones proporcionadas por el libro de Fernando Junco, ya mencionado con anterioridad.⁴

Los pesos serán divididos en:

- Protección anticorrosiva y cementados.
- Equipo de amarre y fondeo.
- Equipo de navegación.
- Equipo del equipo de gobierno.
- Equipo de salvamento y contra incendios.
- Equipo de carga y manipulación.
- Habilitación.
- Instalación eléctrica.
- Tecles en cámara de máquinas.

6.1 Peso de la protección anticorrosiva

Este peso se encuentra dividido en varias partidas:

6.1.1 Peso de la pintura del buque (P_i)

Para buques mayores de 12000 Tm de peso de aceros (PS):

$$P_i = 0.006 * PS$$

Entonces se obtiene que,

$$P_i = 210.90 t$$

6.1.2 Peso de la protección catódica del casco (incluido timón y hélice) por ánodos de sacrificio (P_{cc})

$$P_{cc} = 0.0004 * S_m * a * y$$

Donde,

- S_m es la superficie mojada del casco. Del cuaderno I se sabe que es de 27623.15 m².
- a es de 3.5/12 para ánodos de aluminio de alto rendimiento.
- y es el número de años de protección.

En el caso a tratar se desconoce el tipo de ánodos a usar o el número de años de protección, por recomendación de la bibliografía anteriormente mencionada, se usarán:

- $a = 1$ (zinc)
- $y = 2$ años

Entonces se obtiene que,

$$P_{cc} = 22.1 t$$

⁴ Bibliografía:[3]

6.1.3 *Peso de la protección catódica de los tanques de lastre de petroleros (Pt)*

$$Pt = 0.001 * At * a * y$$

Donde,

- *At* es el área de los tanques de lastre. Se puede calcular como:

$$At = 1.2 * Vt$$

Siendo *Vt* el volumen de los tanques a proteger. En este caso se desconoce la magnitud exacta, pero, tomando como referencia los tanques de lastre del buque base, se considera $Vt = 22164.22 \text{ m}^3$.

$$At = 26597.064 \text{ m}^2$$

Entonces,

$$Pt = 53.19 \text{ t}$$

Así, se halla el peso total de la protección anticorrosiva:

$$P_{\text{PROTECCIÓN}} = 286.19 \text{ t}$$

Y su centro de gravedad coincide con el del acero:

$$YG = 0 \text{ m}$$

$$XG = 146.25 \text{ m}$$

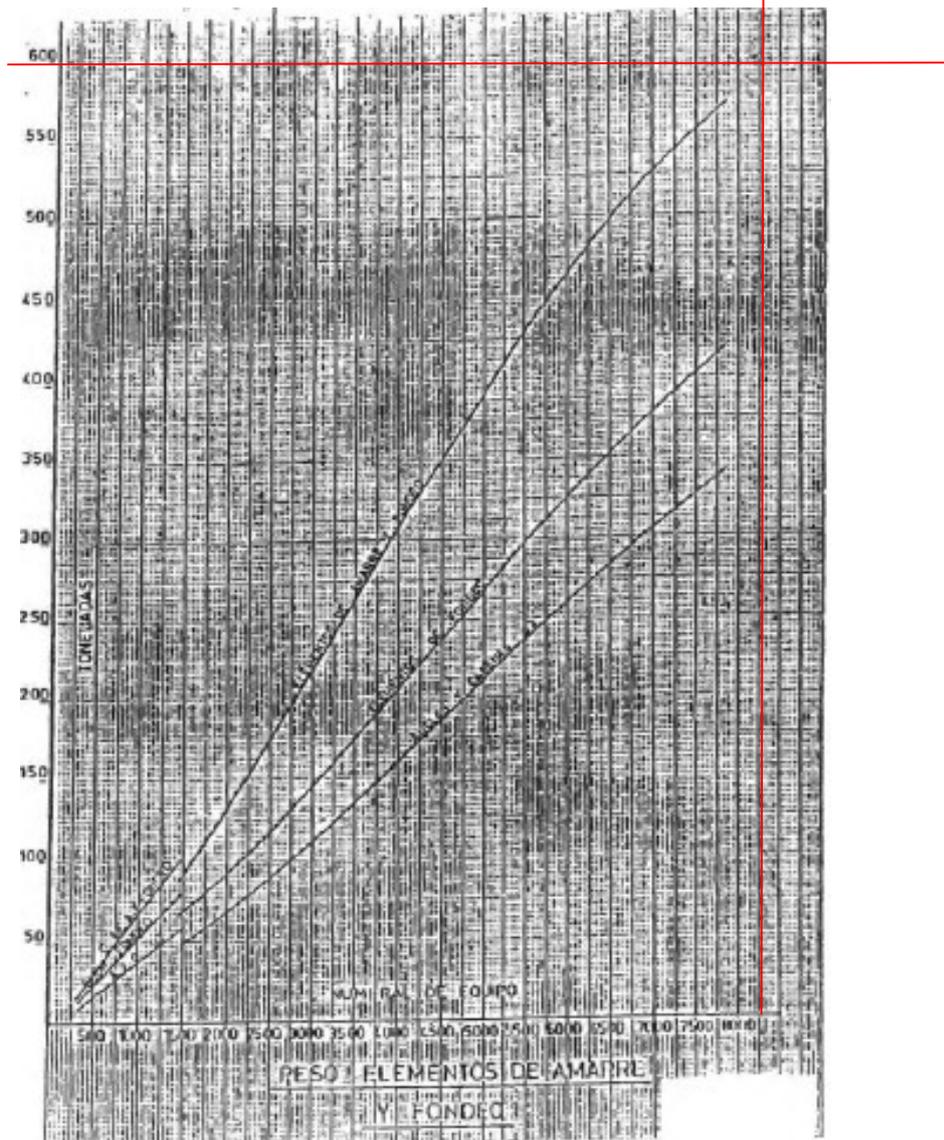
$$KG = 13 \text{ m}$$

6.2 **Peso del equipo de amarre y fondeo**

El Numeral de equipo (NE) es conocido debido al desarrollo del cuaderno XII para la asignatura de Sistemas Auxiliares II,

$$NE = 7916$$

Con este valor, entramos en la siguiente gráfica dada por el libro de Fernando Junco y obtenemos un valor aproximado del peso del equipo de amarre y fondeo:



$$P_{\text{amarre y fondeo}} = 580 \text{ t}$$

Ahora, al igual que en los casos anteriores, se deben obtener las coordenadas del centro de gravedad. Suponemos:

$$YG = 0 \text{ m}$$

El KG es de suponer que estará en la cubierta principal, ya que es ahí donde se encuentran dispuestos los dispositivos a tratar. Además, como estos mecanismos tienen un volumen, se supone que el dentro de gravedad vertical estará 1 m sobre dicha cubierta:

$$KG = 30.4 \text{ m}$$

La posición longitudinal del centro de gravedad del equipo de fondeo y amarre, se supone, que alrededor del 80% está distribuido en proa a $0.035 L$ de la perpendicular de proa.

$$XG_{\text{proa}} = L_{pp} - (0.035 * L_{pp}) = 292.30 \text{ m}$$

El 20% del peso restante estará distribuido a popa, sobre la perpendicular de popa,

$$XG_{\text{popa}} = 0 \text{ m}$$

Entonces se tiene que,

CÁLCULO PESOS EQUIPOS Y HABILITACIÓN				
Columna1	PESO	XG	ZG	YG
P amarre y fond	580		30,4	0
Proa	464	292,2985	30,4	0
Popa	116	0	30,4	0
P amarre y fond	580	233,8388	30,4	0

6.3 Peso del equipo de navegación

La bibliografía recomienda tomar el peso del equipo de navegación como,

$$PN = 2 t$$

Para la definición del centro de gravedad, se toma el centro geométrico del puente de gobierno aproximadamente. Usando como referencia el buque base, se obtiene:

$$YG = 0 m$$

$$XG = 36.69 m$$

$$KG = 44.8 m$$

6.4 Peso del equipo de gobierno

Para el cálculo del peso del equipo de gobierno (PG) es necesario resolver la siguiente expresión:

$$PG = 0.0224 * A * v^{\frac{2}{3}} + 2$$

Donde,

- A es el área del timón en m². Viene dada por la siguiente expresión:

$$A = L * T * (1.1 + 25 * \frac{B^2}{L^2}) / 100$$

Entonces,

$$A = 130.67 m^2$$

- v es la velocidad en pruebas en nudos, dada por la expresión:

$$v = Vs * 1.06$$

Entonces,

$$v = 16.43 nudos$$

Por tanto, el resultado de PG es,

$$PG = 20.92 t$$

En lo que se refiere al centro de gravedad del equipo de gobierno, se toma el centro geométrico del local del servo:

$$YG = 0 m$$

$$XG = 0 m$$

$$KG = 21 m$$

6.5 Peso del equipo de salvamento y contraincendios

6.5.1 Peso del equipo de salvamento, PL

$$PL = 9.5 + (n - 35) * 0.1$$

Donde,

- n es el número de personas a bordo, en este caso 36.

La bibliografía dice que, si los botes son de tipo cerrado, como en el caso a tratar, el peso debe de incrementarse 3.5 t.

Por tanto,

$$PL = 13.1 t$$

El equipo de salvamento (botes y balsas) se encuentra sobre la cubierta a la altura de la habilitación. Tomando las medidas en el plano:

$$YG = 0 m$$

$$XG = 35.5 m$$

$$KG = 31 m$$

6.5.2 Peso del equipo contraincendios, PI .

$$PI = 0.0025 * VE + 1$$

Siendo Ve el volumen de la cámara de bombas, 30400 m³.

Entonces,

$$PI = 77 t$$

El centro de gravedad se puede suponer igual al centro geométrico de la cámara de bombas,

$$YG = 0 m$$

$$XG = 21.47 m$$

$$KG = 12 m$$

6.6 Pesos de los equipos de manipulación de la carga

Este apartado se suele dividir en el peso de las grúas de cubierta y el peso de la cámara de bombas. En el caso a tratar no se instalarán grúas en la cubierta, por lo tanto,

6.6.1 Peso cámara de bombas

El equipo de carga de los petroleros en cámara de bombas se deduce mediante la siguiente expresión,

$$Pb = 0.7 * TPM^{0.5}$$

Con $TPM = 275000 t$

$$Pb = 367.08 t$$

La situación del centro de gravedad será el de la cámara de bombas, tomada del buque de referencia y extrapolando al buque a tratar,

$$YG = 0 \text{ m}$$

$$XG = 44.38 \text{ m}$$

$$KG = 4.73 \text{ m}$$

6.7 Chimenea y guarda calor

$$P_{chimenea_{guardacolor}} = 0.0034 * Lpp * B$$

Donde,

- Lpp es la eslora entre perpendiculares, en este caso 302.9 m.
- B es la manga del buque a proyectar, en este caso 56.5 m.

Entonces,

$$P_{chimenea_{guardacolor}} = 59.34 \text{ t}$$

El centro de gravedad estará situado en el centro de la estructura que forman la chimenea y el guardacolor:

$$YG = 0 \text{ m}$$

$$XG = 16.05 \text{ m}$$

$$KG = 38.8 \text{ m}$$

6.8 Sistema contraincendios por espuma en tanques de carga

Con el uso de la siguiente formulación, propia de buques tanques, se puede obtener el peso del equipo contraincendios en tanques de carga:

$$P_{sist \text{ espuma}_{CI}} = (4 * Lpp * B + 1400) * 1/1000$$

Donde,

- Lpp es la eslora entre perpendiculares del buque a proyectar, en este caso 302.9 m.
- B es la manga del buque a proyectar, en este caso de 56.5 m.

Entonces,

$$P_{sist \text{ espuma}_{CI}} = 69.85 \text{ t}$$

El sistema contraincendios está uniformemente distribuido por toda la cubierta del buque en la zona de carga, con lo cual, su centro de gravedad se situará en el centro de gravedad de la cubierta principal en la zona de carga a 1.5 m sobre esta:

$$YG = 0 \text{ m}$$

$$XG = 154.45 \text{ m}$$

$$KG = 30.90 \text{ m}$$

6.9 Peso de la habilitación

Para una etapa inicial, se puede aproximar el peso de la habilitación como:

$$PA = pa * n$$

Donde,

- n es el número de tripulantes, en el caso a tratar de 36.
- pa es un factor relacionado con el estándar de alojamientos, que su vez está ligado con el tamaño y el grado de automatización del buque. Varía entre 3 y 6. Para el caso a proyectar se toma como $pa=6$

Entonces,

$$PA = 216 t$$

Tomando como referencia el buque base, se podría hacer una estimación más exacta con respecto a este peso. Se debe considerar en las 5 cubiertas el número de camarotes y distintos locales, además de la superficie en m^2 de cada uno de ellos. Para la obtención del peso de la habilitación, se debe multiplicar la superficie de los distintos locales por un factor aproximado de peso por unidad de área dado por el libro de "Cálculo del Desplazamiento" del profesor Fernando Junco.

PESO DE HABILITACIÓN		
LOCAL	DENSIDAD (t/m ²)	Superficie (m ²)
Camarotes oficiales	0,135	78,56
Camarotes tripulación	0,16	341,09
Comedor y salón	0,12	199,2
Gimnasio	0,2	44,22
Pasillos	0,08	49,7
Aseos individuales	0,25	78,8
Aseos públicos	0,2	80
Cocina	0,2	33,2
Oficios	0,215	18,6
Gambuza y pañoles	0,06	137,11
Gambuza frigorífica	0,19	19,1
Salas de control	0,2	18,54
Puente	0,14	200,68
Oficinas/despachos	0,14	100,66
Alerones puente	0,09	64,16
Phabili. (t)		211,7686

Las dimensiones necesarias de los distintos locales no serán obtenidas hasta que se desarrolle el cuaderno 7, por lo que, en un principio se ha de tomar la aproximación de peso de habilitación obtenida en el primer caso.

El centro de gravedad de la habilitación será:

$$YG = 0 m$$

$$XG = 26.04 m$$

$$KG = 38.5 m$$

6.10 Peso instalación eléctrica

Por ser tener el buque a proyectar más de 60 m de eslora, se puede estimar el peso de la instalación eléctrica mediante la siguiente formulación:

$$P_{IE} = lc + Pm/1000$$

Donde,

- l_c es la longitud de los cables. En buques tanques se estima como,
$$l_c = 1.82 + 0.268 * L + 0.000597 * L^2$$

Entonces,

$$l_c = 137.77 \text{ m}$$

- PM es la potencia de los motores eléctricos en kW= 322340.48 kW

Se obtiene que,

$$P_{IE} = 175.45 \text{ t}$$

Como centro de gravedad se supondrá en mismo que el de habilitación.

$$YG = 0 \text{ m}$$

$$XG = 26.04 \text{ m}$$

$$KG = 38.5 \text{ m}$$

6.11 Puertas, portillos y ventanas

6.11.1 Peso de las puertas de acero

El peso de las puertas de acero es calculado mediante:

$$P_{puertas_acero} = 0.56 * (NH + 1)$$

Donde,

- NH es el número de cubiertas alojamientos 5.

Entonces se tiene obtiene que,

$$P_{puertas_acero} = 3.36 \text{ t}$$

Como centro de gravedad se supondrá en mismo que el de habilitación.

$$YG = 0 \text{ m}$$

$$XG = 26.04 \text{ m}$$

$$KG = 38.5 \text{ m}$$

6.11.2 Peso de portillos y ventanas

El peso de los portillos y ventanas es calculado mediante:

$$P_{portillos_ventanas} = 0.12 * N$$

Donde,

- NH es el número de tripulantes en este caso 36.

Entonces se tiene obtiene que,

$$P_{portillos_ventanas} = 4.32 \text{ t}$$

Como centro de gravedad se supondrá en mismo que el de habilitación.

$$YG = 0 \text{ m}$$

$$XG = 26.04 \text{ m}$$

$$KG = 38.5 \text{ m}$$

6.12 Peso tecles cámara de máquinas

El peso de los tecles de la cámara de máquinas es obtenido mediante la siguiente expresión,

$$P_{TM} = 0.047 * lm * B * 0.60$$

Donde,

- lm es la longitud de la cámara de máquinas, si se basa este planteamiento en el buque base, se obtiene para el buque a proyectar un valor de 21.7 m.

Se resuelve la expresión de peso de los tecles de la cámara de máquinas,

$$P_{TM} = 34.57 t$$

El centro de gravedad de estos se puede hacer coincidir con el propio de la sala de máquinas,

$$YG = 0 m$$

$$XG = 21.47 m$$

$$KG = 12 m$$

6.13 Peso de tuberías y bombas de casco

El peso de las tuberías de casco y de las bombas restantes que no están en la cámara de bombas, puede ser estimado como:

$$P_{TBC} = 0.0047 * L * \sqrt{L} * B$$

Sustituyendo en la expresión anterior los valores de la eslora y manga del buque a proyectar, se obtiene que:

$$P_{TBC} = 1399.89 t$$

El centro de gravedad puede ser definido sobre la cuaderna maestra y a una altura sobre cubierta de 0.75 m. De ahí deducimos,

$$YG = 0 m$$

$$XG = 151.45 m$$

$$KG = 30.15 m$$

6.14 Peso de escotillas, plataformas, escaleras y pasarela

6.14.1 Peso escotillas

Este puede ser aproximado mediante la siguiente expresión,

$$Pe = 0.417 * Nt$$

Donde,

- Nt es el número de tanques en el buque a proyectar, del buque de referencia deducimos que el buque diseñado tendrá un número de 15 tanques.

Entonces,

$$Pe = 6.255 t$$

6.14.2 Peso plataformas y escaleras

Dado por la siguiente fórmula,

$$P_{\text{plataformas y escaleras}} = 148 + 1.08 * 32.5 * (D - hd + b) * \left(\frac{Nt}{1000}\right)$$

Donde,

- hd es la altura del doble fondo en metros, 2.5 m.
- b es la brusca en cubierta, que en el caso a tratar es inexistente.

Entonces,

$$P_{\text{plataformas y escaleras}} = 162.16 t$$

6.14.3 Peso pasarela

En buques tanque que disponen de pasarela, es necesario averiguar el valor del peso de esta. Para ello se usa la siguiente expresión,

$$P_p = (87.5 * l_p + 19.2 * l_p * h_p + 1594 * N_p + 288 * N_l + 626 * N_h) * 1/1000$$

Donde,

- l_p es la longitud de la pasarela que, extrapolando esta medida del buque de referencia, en este caso será de 235 m.
- h_p es la altura de la pasarela, se consideran unos 2 m.
- N_p es el número de plataformas es de 2, igual al buque base.
- N_l es el número de escaleras, 15.
- N_h es el número de casetas de protección, en este caso 4.

Entonces,

$$P_p = 39.6 t$$

El peso total de este apartado vendrá dado por la suma de las tres partidas:

$$P_{EPEP} = P_e + P_{\text{plataformas y escaleras}} + P_p = 208.01 t$$

El centro de gravedad de estas se colocará en la zona central de las bodegas,

$$YG = 0 m$$

$$XG = 151.45 m$$

$$KG = 29 m$$

6.15 Peso de la amurada

El peso de la amurada viene dado por la siguiente expresión:

$$P_b = [6 - 0.0021875 * L^2 + 1.125 * L] * l_b / 1000$$

Donde,

- L es la eslora entre perpendiculares del buque a proyectar= 302.9 m
- l_b es la longitud de la amurada. Tomando:

$$l_b \approx 2 * L = 605.8 m$$

Entonces se obtiene que,

$$P_b = 88.48 t$$

El centro de gravedad de esta se supondrá un metro sobre la cubierta principal y, longitudinalmente igual al centro de gravedad de los aceros,

$$YG = 0 m$$

$$XG = 146.25 m$$

$$KG = 30.40 m$$

6.16 Peso de grupo de emergencia

La siguiente expresión del libro de D. Fernando Junco resuelve el peso de grupos generadores y grupo de emergencia,

$$P_{Grupo\ emergencia} = \frac{7.45 * (KVA - 30) + 765}{1000}$$

Donde,

- KVA se evaluará con un valor entre 130 y 3000. Se coge 1181.25 KVA.

Se obtiene,

$$P_{Grupo\ emergencia} = 9.34 t$$

Los centros de gravedad,

$$YG = 0 m$$

$$XG = 154.45 m$$

$$KG = 30.90 m$$

6.17 Peso de una instalación de aguas residuales

$$P_{IR} = 1.1519 * C + 0.2725$$

Donde,

- C es la capacidad (t/día). Para ello se coge la capacidad de tratamiento de aguas residuales del buque de referencia, que en este caso, son 2 unidades de 3000 m³/h. Es decir 6 t/día.

Entonces,

$$P_{IR} = 7.18 t$$

Los centros de gravedad:

$$YG = 0 m$$

$$XG = 21.47 m$$

$$KG = 12.35 m$$

6.18 Peso del generador de agua dulce

$$P_{GA} = 1.45 * (44.85 * c + 600.6) * 1/1000$$

Donde,

- C es la capacidad (t/día). Para ello se coge la capacidad del generador escogido en el cuaderno 12, en este caso de 25 t/día.

Entonces,

$$P_{GA} = 2.50 t$$

Los centros de gravedad:

$$YG = 0 m$$

$$XG = 21.47 m$$

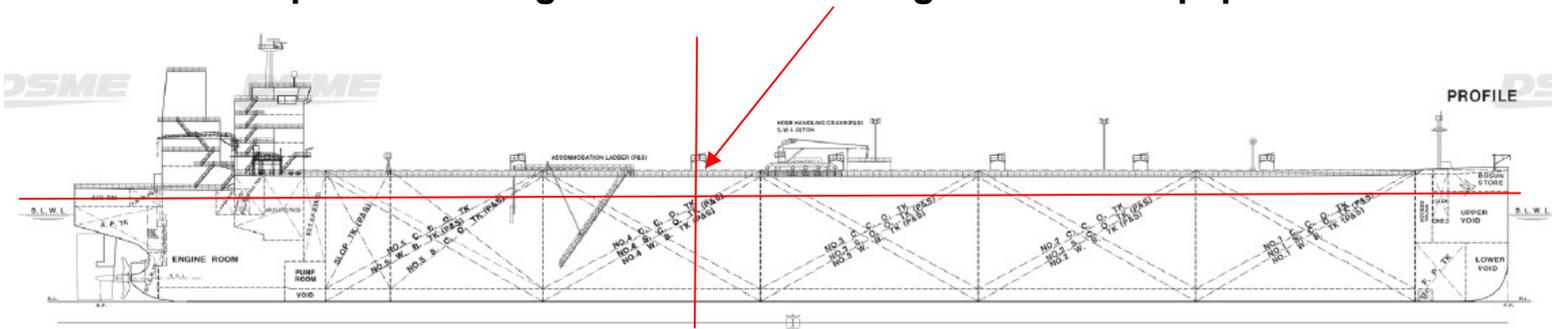
$$KG = 12.35 m$$

6.19 Posición del centro de gravedad de peso de equipos y habilitación

CÁLCULO PESOS EQUIPOS Y HABILITACIÓN				
Columna1	PESO	XG	ZG	YG
Pi (pintura)	210,9048878			
Pcc	22,09852			
Pt	53,1936			
P anticorrosiva	286,19	146,251105	13	0
P amarre y fond	580		30,4	0
Proa	464	292,2985	30,4	0
Popa	116	0	30,4	0
P amarre y fond	580	233,8388	30,4	0
PN	2	26,65	44,8	0
PG	20,91676861	0	13	0
PL	13,1	35,5	31	0
PI	77	21,47	12	0
Pb	367,0830969	44,38	4,73	0
Pchim.guarda	58,18709	16,05	38,8	0
PA	216	26,04	38,5	0
Pie	175,45	26,04	38,5	0
P s.Cl espuma	69,8554	154,45	30,9	0
Ppuertas acer	3,36	26,04	38,5	0
Pportill_ventana	4,32	26,04	38,5	0

Ptm	34,57461	21,47	12	0
Ptbc	1399,894205	151,45	30,15	0
Pe	6,255			
Pplat. Y esca	162,16285			
Pp	39,5985			
Pepep	208,01635	151,45	29	0
Pb (amurada)	88,48487642	146,251105	30,4	0
P grupo emer	9,3418125	151,45	29	0
P aguas residuales	7,1839	0	1,5	0
P agua dulce	2,4966825	0	23	0
TOTAL	3623,45	131,5534667	26,56206629	0

6.20 Representación gráfica del centro de gravedad de equipos



7 PESO EN ROSCA Y CENTRO DE GRAVEDAD TOTAL

La suma de los pesos obtenidos de los tres apartados anteriores da como resultado el peso en rosca del buque a proyectar. La composición de dichos pesos con sus centros de gravedad proporciona el centro de gravedad del buque diseñado.

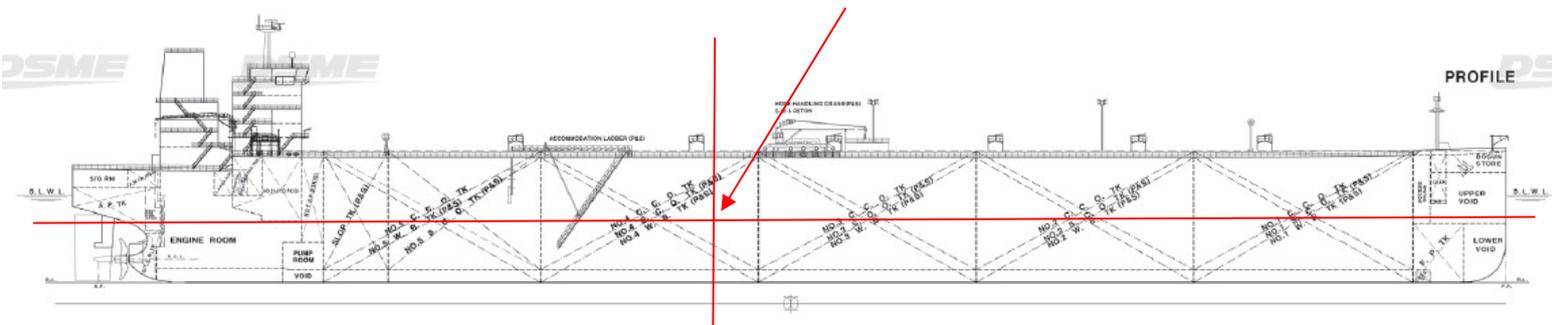
Los resultados son:

CÁLCULO PESO EN ROSCA (PR)				
Columna1	PESO ROSCA	XG	KG	YG
TOTAL	43066,06463	132,6156724	14,39134542	0

Al resultado obtenido, se le debe aplicar un margen entre un 5 o 10% según el libro de Fernando Junco para evitar variarlo en futuras modificaciones de los pesos del buque. En el caso a tratar se le aplicará uno del 10%, que con su correspondiente centro de gravedad el cual se situará 1 m más a proa y 1 m más alto, queda como:

CÁLCULO PESO EN ROSCA (PR)				
Columna1	PESO ROSCA	XG	KG	YG
TOTAL	43066,06463	132,6156724	14,39134542	0
CON MARGEN	49525,97432	133,6156724	15,39134542	0
REDONDEADO	49526	134	16	0

7.1 Representación gráfica del centro de gravedad de peso en rosca



8 COMPROBACIÓN DEL PESO MUERTO

Debe ser comprobado que los pesos obtenidos durante el desarrollo de este cuaderno cumplen con la especificación de la RPA, 275000 TPM.

Siendo el desplazamiento de 339242 t y sabiendo que,

$$\Delta = TPM + PR$$

Entonces se obtiene que,

$$TPM = \Delta - PR = 339242 - 49526 = 289716 t$$

Como es mayor de 275000 TPM cumple con las especificaciones.

9 BIBLIOGRAFÍA

- [1] R. Alvariño, J. J. Azpiroz y M. Meizoso, El proyecto básico del buque mercante, Madrid: Fondo editorial de ingeniería naval, 1998.
- [2] V. D. Casás y B. P. Varela, Asignatura: "Proyectos de buques y artefactos marinos I", Ferrol: Escuela Politécnica Superior, UDC, 2020/2021.
- [3] F. J. Ocampo, Cálculo de desplazamiento, Proyectos de buques y artefactos, Universidad de A Coruña.