



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

Trabajo Fin de Grado

CURSO 2019/20

*BARCAZA BUNKERING MULTIPRODUCTO Y COLD
IRONING*

Grado en Ingeniería Naval y Oceánica

ALUMNO

Julio Elías Sánchez

TUTOR

Raúl Villa Caro

FECHA

JULIO 2020

GRADO EN INGENIERÍA NAVAL Y OCEÁNICA

TRABAJO FIN DE GRADO

CURSO 2.018-2019

PROYECTO NÚMERO 19-99

TIPO DE BUQUE: TOWED BUNKERING BARGE (BARCAZA DE BUNKERING SIN PROPULSIÓN PARA SER REMOLCADA)

CLASIFICACIÓN, COTA Y REGLAMENTOS DE APLICACIÓN:

DNV GL Non self-propelled unit ICE CLASS C. Class notation: Barge SHELTERED WATERS. INTERNATIONAL VOYAGES. Código IMO para la construcción y el equipo de buques que transporten gases licuados a granel; Convenio Internacional para prevenir la contaminación por los buques, 1973, modificado por el protocolo de 1978 y por el Protocolo de 1997 (Convenio MARPOL). Convenio Internacional sobre líneas de carga, 1966 Y ENMIENDAS. Convenio sobre el Reglamento Internacional para prevenir los abordajes, 1972 (Convenio COLREG). SOLAS ÚLTIMA EDICIÓN APLICABLE.

CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA: Capacidad de transporte y transferencia de LNG, así como operaciones de suministro eléctrico “cold ironing”. MULTIPRODUCTO DE COMBUSTIBLES FÓSILES COMO HFO LSFO MDO 2500 TPM. 450 m³ de LNG.

VELOCIDAD Y AUTONOMÍA: 10 nudos siendo remolcada o empujada. Calcular la capacidad de las embarcaciones auxiliares para ello.

SISTEMAS Y EQUIPOS DE CARGA / DESCARGA: Tanque/s para LNG de tipo C y su correspondiente brazo de transferencia. Dos grupos electrógenos a gas y uno DF y una grúa de transferencia de cables situada en un costado.

PROPULSIÓN: No autopropulsada. Posibilidad de duplicar la capacidad del diseño mediante un tren de barcasas. 2 o 4 unidades máximo.

TRIPULACIÓN Y PASAJE: 10 personas en camarotes individuales.

OTROS EQUIPOS E INSTALACIONES: DISPOSITIVO DE REMOLQUE POR PROA O DE SER EMPUJADA POR POPA.

Ferrol, 18 Marzo 2019

ALUMNO/A: **D^a Julio Elías Sánchez**

2 RESUMEN

2.1 Castellano

En estos Cuadernos se pretende reflejar el proceso completo del proyecto de diseño, construcción y evaluación económica de una barcaza de *bunkering* multiproducto, con capacidad de transporte tanto de combustibles navales tradicionales (HFO, MDO, LSFO) como de Gas Natural Licuado (LNG). Asimismo, el buque proyectado también será destinado a labores de suministro eléctrico entre buques (*Cold Ironing*).

2.2 Gallego

Nestes Cuadernos preténdese amosar o proceso completo do proxecto de diseño, construción e avaliación económica dunha barcaza de *bunkering* multiproducto, con capacidade de transporte tanto de combustibles navais tradicionais (HFO, MDO, LSFO) como de Gas Natural Licuado (LNG). Asemade, o buque proxectado tamén será destinado a labores de suministro eléctrico entre buques (*Cold Ironing*).

2.3 Inglés

In these Booklets the whole process of design, construction and economic evaluation of a multiproduct bunker barge, with capacity of transportation of traditional marine fuels (HFO, MDO, LSFO) and Liquefied Natural Gas (LNG). Likewise, the projected ship will also be destined to ship to ship electricity supply activities (Cold Ironing).



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

**TRABAJO FIN DE GRADO
CURSO 2019/20**

*BARCAZA BUNKERING MULTIPRODUCTO Y COLD
IRONING*

Grado en Ingeniería Naval

Cuaderno 2:

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

ÍNDICE

1 RPA	2
2 Resumen	3
2.1 Castellano.....	3
2.2 Gallego	3
2.3 Inglés.....	3
3 Introducción	7
4 Determinación de los pesos	10
4.1 Peso del Acero (PS)	10
4.1.1 Estructura	10
4.1.2 Polines.....	12
4.1.3 Escalas y tecles	13
4.1.4 Puertas y escotillas.....	14
4.1.5 Amurada.....	14
4.1.6 Peso total del acero y C.G.	15
4.2 Peso de la maquinaria (PQ).....	15
4.2.1 Grupos generadores.....	16
4.2.2 Tuberías y válvulas	16
4.2.3 Cuadros e instalación eléctrica	17
4.2.4 Chimeneas	17
4.2.5 Peso total de la maquinaria y C.G.....	18
4.3 Peso del equipo y la habilitación (PE).....	18
4.3.1 Equipo de carga y descarga de combustible.....	19
4.3.2 Grúas sobre cubierta	19
4.3.3 Tanques no estructurales	20
4.3.4 Aislamiento de los tanques de carga e instalaciones adicionales	20
4.3.5 Habilitación	21
4.3.6 Ventilación y aire acondicionado.....	22
4.3.7 Botes y pescantes de salvamento	22
4.3.8 Pintura y protección catódica.....	23
4.3.9 Navegación y comunicaciones.....	24
4.3.10 FONDEO y amarre	24
4.3.11 Equipo Contraincendios.....	25
4.3.12 Instalación de aguas residuales	25
4.3.13 Peso total de los equipos y habilitación y C.G.....	26
5 Cálculo del peso en rosca final	27

- 6 Cálculo del Peso Muerto29
 - 6.1 Tripulación y pasaje29
 - 6.2 Pertrechos29
 - 6.3 Consumos30
 - 6.3.1 Combustible.....30
 - 6.3.2 Aceite34
 - 6.3.3 Agua dulce.....34
 - 6.3.4 Víveres34
 - 6.3.5 Total34
 - 6.4 Carga útil34
- 7 Bibliografía35

3 INTRODUCCIÓN

En este segundo cuaderno se procederá una determinación de los pesos del buque de nuestro proyecto. En esta primera fase del diseño, esto puede resultar complejo, al no estar todavía definidos todos los parámetros del buque.

Lo ideal sería contar como en el caso de las dimensiones principales del buque de una amplia base de datos con abundante información sobre los pesos de los buques referencia y su distribución a lo largo de sus respectivas esloras, pero, como esto no sucede, habrá que emplear una serie de fórmulas y metodologías empíricas, a partir de las cuales se podrá realizar una estimación preliminar de los pesos y su distribución.

A medida que se vaya avanzando en el proyecto y, por lo tanto, se vayan completando etapas de la denominada espiral de diseño, se irán conociendo el valor de los pesos de los elementos estructurales, de los equipos y de la carga de una manera más exacta, por lo que se podrá mejorar la estimación realizada en este cuaderno.

El objetivo último de este cuaderno es la obtención del peso en rosca, su distribución a lo largo del plano longitudinal y el desplazamiento final del buque.

Como ya se realizó para el anterior cuaderno y siguiendo el común proceder dentro de la industria naval, se desglosará el peso en rosca en las siguientes partidas:

- PS= Peso del acero.
- PQ=Peso de la maquinaria.
- PE=Peso de los equipos y la habilitación.

Las dimensiones principales del buque al que le calcularemos estas partidas de pesos serán las obtenidas en el proceso de dimensionamiento del Cuaderno 1:

ATB Bukering Barge		
Lpp	61.7	m
B	14.2	m
D	7.6	m
T	5.7	m
Δ	4267	ton
Sw	1609.098	m ²
Cb	0.834	
Cm	0.98	
Cp	0.851	
Cwl	0.913	

Todos los métodos empleados en este cuaderno son los descritos por el profesor Fernando Junco Ocampo en su libro "Proyectos de Buques y Artefactos: Cálculo del Desplazamiento" [1].

Dada la común ambigüedad con la que suele ser tratados algunos de los elementos del buque por parte de la literatura técnica naval tradicional, estos podrían ser incluidos en distintas partidas de las que constituyen el peso en rosca, corriendo pues el riesgo de que haya errores y duplicidades. Para delimitar las partidas claramente se establecerá, de acuerdo con lo estipulado en el libro del profesor Junco, la siguiente clasificación, haciendo hincapié que en cada servicio o sistema se incluyen sus tuberías, polines y aparamenta eléctrica. Asimismo,

también conviene recordar que no todos los elementos que van a ser citados estarán presentes en nuestro buque, sino que este es un desglose generalizado para un buque mercante tipo:

Elementos de acero

Fondos y dobles fondos (incluyendo pozos de sentinas).

Mamparos transversales y longitudinales.

Tanques estructurales.

Cubiertas intermedias.

Bloque de popa (incluyendo codaste y arbotantes).

Bloque de proa (incluyendo 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.

Caja de tomas de mar.

Amuradas.

Cubiertas de habilitación.

Guardacalor.

Mamparos interiores de acero.

Chimenea

Casetas de chigres, frigorígenos, etc.

Elementos de la maquinaria

Maquinaria propulsora.

Línea de ejes, reductoras, chumaceras y bocinas.

Hélices.

Sistema de combustible.

Sistema de aceite.

Sistema de aire comprimido de arranque y de control.

Sistemas 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, puerto y emergencia.

Sistema de lastre.

Sistema de sentinas.

Sistema de baldeo y contraincendios.

Sistema sanitario de alimentación y descargas (no incluyendo aparatos sanitarios en alojamientos).

Sistema de telemando en cámara de máquinas.

Exhaustación en cámara de máquinas.

Pisos y techos 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 línea de ejes.

Transformadores.

Baterías.

Grupos convertidores.

Aparatos de alumbrado (excepto habilitación).

Elementos del equipo y de la habilitación

Elementos de madera 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.

4 DETERMINACIÓN DE LOS PESOS

4.1 Peso del Acero (PS)

La principal partida dentro del peso del acero es el peso de la estructura del casco del buque, así como de las cubiertas, mamparos, superestructuras y casetas instalados en o sobre él. Pero, también se debe tener en cuenta una serie de pesos estructurales no reflejados en las fórmulas de estimación del peso de la estructura, siendo los siguientes generalmente los más significativos:

- Timón y mecha.
- Polines.
- Escalas y teclas.
- Puertas y escotillas.
- Amurada.

Se ha de recordar que la barcaza a diseñar en este proyecto carece de medios de propulsión y de mando y gobierno propios por requisitos de anteproyecto, de tal forma que debe ser propulsado y dirigido por una embarcación auxiliar adecuada para ello (un remolcador pusher en este caso).

4.1.1 Estructura

Teniendo en cuenta el tipo de buque, emplearemos las siguientes metodologías:

Método de Sv. Aa. Harvard y J. Juncher

Esta metodología ya fue usada en el Cuaderno 1 para el dimensionamiento inicial del buque.

El peso de la estructura de acero del buque se puede estimar a través de la siguiente fórmula:

$$PS = C_s \cdot (L \cdot B \cdot D + Sup) \quad [ton]$$

Siendo:

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

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

El valor de C_{so} viene tabulado. Emplearemos el correspondiente a los petroleros de productos, a pesar de que nuestro buque es más complejo, ya que también transporta GNL:

Tipo	Cso
Granelero	0,0700
Petrolero VLCC	0,0645
Petrolero	0,0752
P. Productos	0,0664
Carga general de 1 Cta.	0,0700
id 2 Ctas.	0,0760
id 3 Ctas.	0,0820
Frigoríficos	0,0609
Remolcadores	0,0892
Buques de suministro	0,0974

Por otro lado, el coeficiente u es equivalente al logaritmo del desplazamiento dividido entre la centena:

$$u = \log\left(\frac{\Delta}{100}\right) = \log\left(\frac{4249,121}{100}\right) = 1,62829$$

Sustituyendo en las fórmulas:

$$C_s = 0,0664 + 0,064 \cdot \exp(-0,5 \cdot 1,62829 - 0,1 \cdot 1,62829^{2,45}) = 0,087$$

$$Sup = 0,8 \cdot 14,17 \cdot (1,45 \cdot 61,71 - 11) = 889,420$$

$$PS = 0,087 \cdot (61,71 \cdot 14,17 \cdot 7,56 + 889,420) = 650,880 \text{ ton}$$

$$PS1 = 650,880 \text{ ton}$$

Método de D.G.M Watson

Esta metodología se basa en el cálculo de del peso estructural del buque en cuestión (W_{st}) relacionándolo con el de un buque estándar (W_{sto}) a través del antiguo numeral de equipo del Lloyd's Register, cuya expresión es:

$$E = L \cdot (B + T) + 0,85 \cdot L \cdot (D - T) + 0,5 \cdot (l_s \cdot h_s) + 0,7 \cdot (l_c \cdot h_c)$$

El peso de la estructura de acero del buque corresponde a la siguiente fórmula:

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

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

$$W_{sto} = K \cdot E^{1,36} \text{ [ton]}$$

El sumando $0,85 \cdot L \cdot (D - T) + 0,5 \cdot (l_s \cdot h_s) + 0,7 \cdot (l_c \cdot h_c)$ se denomina factor de superestructura (F_s) y su fin es el de considerar todas aquellas superestructuras y casetas que se encuentren por encima de la cubierta a al que se mide el puntal del buque. Para una primera aproximación, el valor del factor F_s es:

- $F_s=210$ para $L=100$ m
- $F_s=220$ para $L=160$ m
- $F_s=250$ para $L=350$ m

Se considera que una superestructura llega al costado cuando su dimensión en manga es igual o superior al 75% de la manga del buque. Sino, se le considerará una caseta.

En el caso de nuestro buque, sólo tendremos superestructuras (toldilla y castillo de proa), sin contar los tanques de gas tipo C instalados sobre la cubierta principal. Los datos de su longitud y altura serán los mismos usados para la corrección del francobordo tabular en el Cuaderno 1.

Así pues, para nuestro buque tendremos los siguientes resultados:

$$E = 61,71 \cdot (14,17 + 5,67) + 0,85 \cdot 61,71 \cdot (7,56 - 5,67) + 0,5 \cdot (24,58 \cdot 10,51) + 0,7 \cdot (0 \cdot 0) = 1453$$

$$C_{bp} = 0,84 + (1 - 0,84) \cdot \left(\frac{0,8 \cdot 7,56 - 5,67}{3 \cdot 5,67} \right) = 0,954$$

Para petroleros con números de equipo entre 1500 y 40000 el coeficiente de peso estructural oscila entre 0,029 y 0,035. Como el número de nuestro buque queda por muy poco fuera de este intervalo y tras comprobar mediante interpolación lineal que no supone una variación significativa, hemos decidido asumir el valor de K como 0,029.

Por lo tanto, ya tenemos todos los datos para calcular los pesos de acero primero del buque estándar y después de nuestro buque:

$$W_{sto} = 0,029 \cdot 1453^{1,36} = 579,334 \text{ ton}$$

$$W_{st} = 579,334 \cdot (1 + 0,5 \cdot (0,954 - 0,7)) = 653 \text{ ton}$$

Un factor de notable importancia en el valor final del peso en acero de un buque y que merece una especial mención es su reforzado para hielos (en el que caso de que lo lleve). La estimación de este valor se da en función de un % del valor del peso de acero del buque (sin reforzado obviamente).

Las RPA del proyecto fijan el reforzado de nuestro buque como ICE CLASS C, equivalente a la clase 3 del Lloyd's, fijada en un aumento del 0,9%.

De esta manera, el valor final de nuestro peso de acero estructural será el siguiente:

$$Wst = 1,09 \cdot 653 = 658,876 \text{ ton}$$

$$PS2 = 658,876 \text{ ton}$$

Método de J. L. Garcés

Este método, al contrario que los anteriores, permite calcular tanto el peso de la estructura en acero del buque como su centro de gravedad, dato necesario para calcular el centro de gravedad del buque proyecto y evaluar, por tanto, su estabilidad y resistencia estructural.

En este caso, el peso del acero será obtenido mediante la siguiente fórmula:

$$Wst = 0,02934 \cdot Lpp^{1,5} \cdot B \cdot D^{0,5} \quad [ton]$$

$$Wst = 0,02934 \cdot 61,71^{1,5} \cdot 14,17 \cdot 7,56^{0,5} = 554,156 \text{ ton}$$

$$PS3 = 554,156 \text{ ton}$$

Podemos observar que este peso es significativamente menor que el obtenido a través de los 2 anteriores métodos. Esto es debido a que este último está pensado para buques de carga general, no para un tipo de buque en concreto (petrolero, granelero, portacontenedores, etc.). Es por ello, que no se tendrá en cuenta el valor del peso del acero obtenido a la hora de estimar el peso en rosca del buque, pero sí el centro de gravedad, cuyas componentes longitudinal y vertical obtendremos a continuación:

$$XG = 0,44653 \cdot Lpp + 0,614 = 0,44653 \cdot 61,71 + 0,614 = 28,17 \text{ m}$$

$$KG = 1,019 \cdot D^{0,818} = 1,019 \cdot 7,56^{0,818} = 5,331 \text{ m}$$

Peso final de la estructura

El peso final de la estructura de acero del buque proyecto se estimará como la media aritmética de los pesos de acero obtenidos a través de los diferentes métodos, a excepción, como ya dijimos, del de J.L. Garcés, al diferir bastante de los otros 2 resultados.

Los valores del centro de gravedad de la estructura serán los obtenidos a partir del método de J. L. Garcés, al ser el único que contempla su cálculo.

$$PS = \frac{650,880 + 658,876}{2} = 654,878 \text{ ton}$$

El centro de gravedad de la estructura del buque tendrá las siguientes componentes:

$$XG = 28,17 \text{ m}$$

$$KG = 5,33 \text{ m}$$

4.1.2 Polines

Los polines son elementos estructurales situados debajo de cada uno de los motores del buque (tanto los principales como los auxiliares) con el fin de controlar y absorber las vibraciones que provocan y servir de apoyo de los mismos. Recordemos que nuestro buque carece de motores propulsores, por lo que sólo habrá que calcular los que sustentan a los grupos generadores.

Para el cálculo del peso de los polines emplearemos la formulación indicada en el libro "Proyecto de Buques y Artefactos" del profesor Fernando Junco Ocampo:

$$Pm = (a + b) \cdot \frac{MCR (HP)}{1000} \quad [ton]$$

Dónde:

$$a = 0,00381 \cdot \left(\frac{MCR(KW)}{1000}\right)^{0,5} - 0,164 \cdot \frac{MCR(KW)}{1000} + 3,26$$

$$b = -0,5 \text{ (el motor trabaja a más de 200 RPM)}$$

Para el buque proyecto se han seleccionado para la maquinaria principal 2 grupos electrógenos a gas natural de la firma MTU, con unas potencias eléctricas nominales de 135 kW y 1169 kW para una velocidad de giro de 1500 rpm, suponiendo un $\cos\varphi=1$. Consideraremos un MCR del 80%.

$$a = 0,00381 \cdot \left(\frac{0,8 \cdot (135 + 1169)}{1000}\right)^{0,5} - 0,164 \cdot \frac{0,8 \cdot (135 + 1169)}{1000} + 3,26 = 3,0928$$

$$Pm = (3,0928 - 0,5) \cdot \frac{1,34 \cdot 0,80 \cdot (135 + 1169)}{1000} = 10,873 \text{ ton}$$

Para la estimación del centro de gravedad sabemos que los motores generadores estarán situados en la cámara de máquinas, suponiendo que ésta se halla situada en la toldilla de la barcaza respecto de la perpendicular de popa una distancia equivalente al 15% de la eslora entre perpendiculares.

Se considerará que los polines están situados ligeramente por encima de la cubierta de la cámara de máquinas, que, como se ha visto en posteriores cuadernos, coincidirá con la cubierta principal.

$$XG = 9,26 \text{ m}$$

$$KG = 7,60 \text{ m}$$

4.1.3 Escalas y tecles

Primero calcularemos los tecles, que están mayormente situados en la cámara de máquinas y pueden estimarse mediante la siguiente fórmula:

$$Pte = 0,047 \cdot Lm \cdot B \cdot 0,60 \text{ [ton]}$$

Siendo Lm la eslora de la cámara de máquinas del buque. En una primera aproximación, supondremos que la cámara de máquinas se extiende una distancia equivalente al 10% de la eslora entre perpendiculares del buque.

Para la estimación del centro de gravedad de los tecles los supondremos situados en la cámara de máquinas (15%Lpp a proa de la Ppp). En cuanto a la altura, se supondrán que están situados a media altura de la altura total de la misma.

$$XG = 9,26 \text{ m}$$

$$KG = 5,67 \text{ m}$$

Para la estimación del peso de las escalas primero realizaremos la subdivisión en registros y escalas verticales y en escalas exteriores. Para el cálculo del primero, tenemos:

$$Pev = 0,1 \cdot (NC + 1) + 0,23 \cdot (2 \cdot NB + NT + 2) \text{ [ton]}$$

Siendo NC el número de casetas de chigres o frigoríferos, NB el número de bodegas y NT el número de tanques. Sólo tendremos en cuenta la presencia de 8 tanques en el interior del buque, siguiendo el plano de la disposición general del buque referencia OIZMENDI.

$$Pev = 0,1 \cdot (0 + 1) + 0,23 \cdot (2 \cdot 0 + 8 + 2) = 2,4 \text{ ton}$$

Para la estimación del centro de gravedad de los registros y de las escalas verticales, debido a la diferente posición longitudinal de los mismos, los situaremos en esta primera aproximación a mitad de la eslora entre perpendiculares. En cuanto a la componente vertical de su C.G. los supondremos a media altura del puntal de trazado.

$$XG = 30,86 \text{ m}$$

$$KG = 3,78 \text{ m}$$

Para la estimación del peso de las escalas exteriores usaremos la siguiente fórmula:

$$P_{ext} = 0,8 \cdot NH + 0,6 \text{ [ton]}$$

Siendo NH el número de cubiertas de alojamientos.

$$P_{ext} = 0,8 \cdot 2 + 0,6 = 2,2 \text{ ton}$$

Para la estimación del centro de gravedad de las escalas exteriores las supondremos donde estará situada la superestructura con la zona de habilitación y de puente. Esto será aproximadamente a un 20% de Lpp respecto a la Ppp. En cuanto a la coordenada vertical, la supondremos a la mitad de altura del puntal de la superestructura (hs) más el puntal de trazado.

$$XG = 10,34 \text{ m}$$

$$KG = 10,82 \text{ m}$$

4.1.4 Puertas y escotillas

Al igual que en el caso de los techos y las escalas, dividiremos el cálculo en puertas y escotillas.

Para las escotillas emplearemos la siguiente formulación:

$$P_{em} = 0,15 \cdot (2 \cdot NB + 5) \text{ [ton]}$$

Siendo NB el número de bodegas. Al tratarse de un buque tanquero de productos, el número de bodegas será ninguna.

$$P_{em} = 0,15 \cdot (2 \cdot 0 + 5) = 0,75 \text{ ton}$$

Para el cálculo de las puertas tenemos la siguiente fórmula:

$$P_{pm} = 0,56 \cdot (NH + 1) \text{ [ton]}$$

Siendo NH el número de cubiertas de habilitación existentes, que como ya dijimos son 2.

$$P_{pm} = 0,56 \cdot (2 + 1) = 1,68 \text{ ton}$$

Como las puertas y escotillas se hallan repartidas por todo el buque, pero especialmente en la zona de cámara de máquinas y en la superestructura supondremos su centro de gravedad situado al 35 % Lpp de la Ppp. Su posición vertical se supondrá equivalente al puntal del buque.

$$XG = 21,60 \text{ m}$$

$$KG = 7,56 \text{ m}$$

4.1.5 Amurada

La amurada es la parte interior del costado del buque que sobresale por encima de la cubierta de intemperie y su función es evitar la entrada de agua de mar en la misma, lo que podría suponer riesgos para la tripulación y para el equipo de cubierta.

Para la estimación del peso de la amurada usaremos la formulación de Lindenau-Hollenbach:

$$P_b = (6 - 0,0021875 \cdot L^2 + 1,125 \cdot L) \cdot \frac{lb}{1000} \text{ [ton]}$$

Siendo L la eslora entre perpendiculares y lb la eslora de la amurada. Para nuestro buque tenemos:

$$Pb = (6 - 0,0021875 \cdot 61,71^2 + 1,125 \cdot 61,71) \cdot \frac{37,130}{1000} = 2,491 \text{ ton}$$

El centro de gravedad de la amurada los supondremos situado a la mitad de la eslora entre perpendiculares una vez restadas las superestructuras que llegan hasta el costado. Su componente vertical será el puntal hasta la cubierta principal más medio metro.

$$XG = 32,23 \text{ m}$$

$$KG = 8,06 \text{ m}$$

4.1.6 Peso total del acero y C.G.

El peso final del acero será la suma de todas las componentes recién estimadas. Como resulta obvio viendo los valores obtenidos, un gran porcentaje del mismo será el peso de la estructura del buque, pero conviene tener en cuenta los otros pesos en acero, al tratarse de un buque de relativas pequeñas dimensiones.

$$PS = 654,878 + 8,706 + 7,066 + 2,430 + 2,491 = 675,571 \text{ ton}$$

Las componentes longitudinal y vertical del centro de gravedad del peso total del acero se obtendrán mediante un sencillo cálculo de masas:

$$XG = \frac{654,878 \cdot 28,17 + 8,706 \cdot 9,26 + 7,066 \cdot 17,55 + 2,430 \cdot 21,60 + 2,491 \cdot 32,23}{675,571} = 27,806 \text{ m}$$

$$KG = \frac{654,878 \cdot 5,33 + 8,706 \cdot 4,28 + 7,066 \cdot 7,25 + 2,430 \cdot 7,56 + 2,491 \cdot 8,06}{675,571} = 5,356 \text{ m}$$

PESO ACERO	Peso (ton)	XG (m)	KG (m)	MOMX (ton*m)	MOMZ (ton*m)
Estructura	654.725	28.17	5.33	18443.176	3490.307
Polines	10.873	9.26	7.60	100.649	82.638
Escalas y tecles	7.066	17.55	7.25	124.030	51.247
Puertas y escotillas	2.430	21.60	7.56	52.484	18.371
Amurada	2.491	32.23	8.06	80.278	20.079
Total	677.585	27.747	5.405	18800.618	3662.641

4.2 Peso de la maquinaria (PQ)

En un buque convencional, el concepto de la maquinaria engloba los siguientes equipos del buque, normalmente situados en la cámara de máquinas del buque:

- Motores propulsores principales.
- Maquinaria auxiliar.
- Propulsor.
- Eje de cola e intermedios.

Estas diferentes componentes de la maquinaria del buque se muestran también en la formulación técnica naval, dividiendo el peso de la maquinaria en el peso de la maquinaria propulsora y el peso de la maquinaria restante:

$$PQ = PQp + PQr \text{ [ton]}$$

En el peso de la maquinaria propulsora estarán incluidos el peso de los motores principales, el propulsor(es) y los ejes, mientras que en el peso de la maquinaria restante estará incluida toda la maquinaria auxiliar, así como los márgenes de seguridad.

Como ya se ha repetido en varias ocasiones a lo largo de este cuaderno, nuestro buque carece de maquinaria propulsora, por lo que esta significativa partida no estará presente en el peso de la maquinaria aquí estimado. No obstante, el peso de la maquinaria auxiliar sí que será significativamente superior que el necesario para la correcta operación del buque, ya que gran parte de la electricidad generada por los grupos electrógenos será destinada al abastecimiento de los buques mientras están fondeados.

4.2.1 Grupos generadores

La mayor parte de los métodos de estimación del peso de la maquinaria auxiliar mostrados en el libro del profesor Junco son a través de fórmulas dependientes de la potencia de la maquinaria propulsora (dato del que se carece al no poseer propulsión propia). En una primera aproximación se podría emplear la fórmula recomendada para el caso de propulsión eléctrica, ya que en este caso sí que aparece la potencia eléctrica de los grupos generadores, aunque esta fórmula también tiene en cuenta el peso del propulsor y de los ejes. Pero, tras evaluar estas opciones, se ha decidido escoger ya un modelo de maquinaria y emplear el peso mostrado por el fabricante.

Como ya se ha dicho, se han seleccionado para la maquinaria principal 2 grupos electrógenos a gas natural de la firma MTU, el 6R400 GS-E3066 D4 y el 12V4000 GS-L32 con unas potencias eléctricas nominales de 135 kW y 1169 kW para una velocidad de giro de 1500 rpm. De acuerdo con los catálogos aportados por el fabricante, el grupo de menor potencia tendrá un peso 2165 kg y el de mayor tamaño de 10000 kg.

Por lo tanto, el peso total de la maquinaria generadora eléctrica será el siguiente:

$$P_{maq} = 2,165 + 10 = 12,17 \text{ ton}$$

Inicialmente se había considerado instalar una cámara de máquinas entre el pique de popa y la zona de carga, pero tras un análisis de cómo esta decisión afectaría a la estabilidad transversal y, sobre todo, longitudinal, se ha decidido localizar la maquinaria en un compartimento estanco en la toldilla, sobre la cubierta principal.

Para el cálculo del centro de gravedad de los grupos generadores, se considerará que están situados simétricamente en la cámara de máquinas. La componente transversal será despreciada, ya que estarán dispuestos a ambas bandas y a crujía, por lo que su centro de gravedad recaerá en el centro de la cámara de máquinas.

En cuanto a la componente vertical, estas máquinas estarán situadas sobre polines situados en la cubierta principal y supondremos los generadores de masa homogénea, asumiendo la altura del generador de mayores dimensiones (DF).

$$XG = 0,15 \cdot L_{pp} = 9,26 \text{ m}$$

$$KG = KG_{\text{polines}} + D = 7,78 \text{ m}$$

4.2.2 Tuberías y válvulas

En este grupo tendremos en cuenta aquellas situadas en la cámara de máquinas y necesarias para el funcionamiento de la maquinaria, ya que el resto del sistema de tuberías del buque será incluido en la partida de equipos y habilitación. Para su estimación emplearemos la siguiente fórmula:

$$P_{tbm} = 0,0193 \cdot P_{maq} = 0,235 \text{ ton}$$

Al tratarse del sistema de tuberías asociado a la maquinaria, el centro de gravedad estará situado en la cámara de máquinas. En una primera aproximación consideraremos que sus componentes longitudinal y vertical son las mismas que las de la maquinaria.

$$XG = 12,34 \text{ m}$$

$$KG = 7,78 \text{ m}$$

4.2.3 Cuadros e instalación eléctrica

Aunque este buque se trata de un tanquero multiproducto, destinado tanto al transporte de combustibles navales tradicionales derivados del petróleo (HFO, MDO,...) como al de GNL, para la estimación del peso de la instalación eléctrica emplearemos la formulación del libro correspondiente a gaseros. A pesar de que esto puede conllevar un sobredimensionamiento, debemos tener en cuenta que si empleásemos las de los petroleros caeríamos en el error contrario. Por otro lado, en esta etapa del diseño del buque carecemos de la suficiente información como para dimensionar la instalación eléctrica destinada al suministro a otros buques, por lo que la utilización de la formulación para gaseros servirá también como margen.

De esta manera, el peso del cableado, la aparamenta y los cuadros eléctricos será el siguiente:

$$Pie = lc + \frac{Pot \text{ maq}}{1000} \text{ [ton]}$$

$$lc = 10,82 + 0,268 \cdot L + 0,000597 \cdot L^2 \text{ [km]}$$

Siendo lc la longitud del cableado y L la eslora entre perpendiculares. Sustituyendo los valores de nuestro buque tenemos:

$$lc = 10,82 + 0,268 \cdot 61,71 + 0,000597 \cdot 61,71^2 = 29,632 \text{ km}$$

$$Pie = 29,632 + \frac{(135 + 1169)}{1000} = 33,544 \text{ ton}$$

En cuanto al centro de gravedad, habrá que tener en cuenta la presencia de una gran cantidad de cableado en la superestructura y principalmente en la zona de popa (cámara de máquinas, baterías de emergencia, estaciones de control de las operaciones de *bunkering* y *cold ironing*). Por lo tanto, situaremos la componente longitudinal a un 35 % de L_{pp} a proa de la P_{pp} y la componente vertical a un tercio de la altura de superestructuras.

$$XG = 21,60 \text{ m}$$

$$KG = 11,06 \text{ m}$$

4.2.4 Chimeneas

Para la estimación del peso de las chimeneas para los gases de combustión producidos por los grupos electrógenos, emplearemos la fórmula del libro del profesor Junco, a pesar de que dará un resultado muy aproximado, al no tener en cuenta ni el tipo de maquinaria ni el combustible a quemar, sino sólo las dimensiones del buque:

$$Pch = 0,0034 \cdot L_{pp} \cdot B \text{ [ton]}$$

Sustituyendo por las dimensiones de nuestro barco obtenemos un peso para nuestras chimeneas de:

$$Pch = 2,973 \text{ ton}$$

En cuanto al centro de gravedad de las mismas, las supondremos instaladas simétricamente a los costados de popa de la superestructura, de tal forma que su centro de gravedad se hallará a crujía del buque, en la vertical de los generadores y a la misma altura que las tomas del sistema de ventilación:

$$XG = 12,34 \text{ m}$$

$$KG = 9,76 \text{ m}$$

4.2.5 Peso total de la maquinaria y C.G.

El peso final de la maquinaria será la suma de todos los pesos anteriormente citados:

$$PQ = 12,17 + 0,235 + 33,544 + 2,973 = 48,922 \text{ ton}$$

Las componentes longitudinal y vertical del centro de gravedad del peso total del acero se obtendrán mediante un sencillo cálculo de masas:

$$XG = \frac{12,17 \cdot 12,34 + 0,235 \cdot 12,34 + 33,544 \cdot 21,60 + 2,973 \cdot 12,34}{48,922} = 17,72 \text{ m}$$

$$KG = \frac{12,17 \cdot 5,78 + 0,235 \cdot 5,78 + 33,544 \cdot 11,06 + 2,973 \cdot 9,76}{48,922} = 9,98 \text{ m}$$

PESO MAQUINARIA	Peso (ton)	XG (m)	KG (m)	MOMX (ton*m)	MOMZ (ton*m)
Motores propulsores	0	0	0	0	0
Grupos Generadores	12.170	9.26	7.78	112.652	94.6826
Tuberías y válvulas	0.235	9.26	7.78	2.174	1.827
Instalación y cuadros eléctricos	33.544	21.60	11.06	724.494	371.105
Chimeneas	2.973	9.26	7	27.520	20.811
Total	48.922	17.72	9.98	866.840	488.427

4.3 Peso del equipo y la habilitación (PE)

Para la estimación del peso de los equipos y de la habilitación se emplearán las fórmulas del libro "Proyecto de Buques y Artefactos" del profesor Dr. Fernando Junco Ocampo.

Al igual que en los apartados anteriores, desglosaremos esta partida en una serie de subpartidas, con el objetivo de realizar un cálculo más detallado y eficiente. Entre los integrantes de esta tercera partida del peso en rosca podemos destacar los siguientes:

- Equipos de carga y descarga de combustible.
- Grúas de cubierta.
- Tanques no estructurales.
- Aislamiento de los tanques de carga e instalaciones adicionales.
- Habilitación.
- Ventilación y aire acondicionado.
- Botes y pescantes de salvamento.
- Pintura y protección catódica.
- Navegación y comunicaciones.
- Fondeo y amarre.
- Equipos contra incendios.
- Equipos de generación y tratamiento de aguas.

4.3.1 Equipo de carga y descarga de combustible

Los equipos a los que esta subpartida hace mención son básicamente las bombas de los tanques, tanto los de fueloil como los de GNL. Dentro de estos equipos no se incluye el sistema de mangueras que posee el buque para las labores de *bunkering*, sino las bombas que impulsan el combustible a través de ellas hasta el otro buque. Se trata de bombas de tanque profundo y su peso será estimado a través de la siguiente fórmula:

$$PR = 1,700 + 0,00464 \cdot C \text{ [ton]}$$

Siendo C el caudal de las bombas (en m³/h).

Para el cálculo del peso de las bombas de fueloil, debemos tener en cuenta el volumen de carga útil de esta sustancia y el número de tanques en el que lo dividiremos. En el cuaderno 1 hemos realizado la estimación del volumen de fuel transportado, eligiendo el caso más desfavorable de 2645,35 m³ de MDO (aunque generalmente el barco transportará distintos tipos de fueles). Siguiendo el ejemplo del buque de referencia OIZMENDI, hemos compartimentado el área del casco del buque destinada al almacenamiento de la carga en 8 tanques. De la ficha técnica de este buque también escogeremos el número y tamaño de bombas a instalar, siendo 3 de ellas de 250 m³/h y 2 de ellas de 100 m³/h.

$$PR_{fuel} = 3 \cdot (1,700 + 0,00464 \cdot 250) + 2 \cdot (1,700 + 0,00464 \cdot 100) = 12,908 \text{ ton}$$

Para el cálculo del peso de las bombas de GNL, dispondremos de 2 bombas externas a los tanques, cada una de ellas conectada a uno de los tanques tipo C, especificándose un caudal de 125 m³/h a una presión de 9 bares:

$$PR_{gnl} = 2 \cdot (1,700 + 0,00464 \cdot 125) = 4,560 \text{ ton}$$

El peso total de las bombas de carga y descarga del combustible será de 17,468 ton.

La cámara de bombas estará situada bajo el compartimento de los grupos generadores, entre el pique de popa y los tanques de slop que marcan el inicio de la zona de carga. Sus coordenadas aproximadas son las siguientes:

$$XG = 6,5 \text{ m}$$

$$KG = 4,78 \text{ m}$$

4.3.2 Grúas sobre cubierta

Como establece la especificación preliminar del buque recogida en el cuaderno 1, irán instaladas 2 grúas sobre la cubierta, una que ejerce de brazo de transferencia de las mangueras de combustible y otra que se encarga de soportar los cables para el suministro eléctrico *cold ironing*.

Consultando con los buques de nuestra base de datos y las opciones disponibles en la bibliografía usada para el presente proyecto, en primera instancia asumimos que ambas tendrán una capacidad de elevación de 3 ton y un alcance máximo de 12 m. Dividiremos el peso total de las grúas en el peso de la grúa en sí y en el del polín sobre el que se sustenta:

El peso de las grúas vendrá dado en las tablas del libro del profesor Junco (Fig. 9.5.3.), siendo, si las consideramos hidráulicas, de 10 ton cada una.

Por otro lado el peso de los polines se puede estimar con la siguiente fórmula:

$$Pp = \frac{8 \cdot Q \cdot E \cdot P}{1000} \text{ [ton]}$$

Siendo:

- Q=Capacidad de elevación (ton).
- E=Alcance de la grúa (m)
- P=Diámetro del polín (m)

Todos estos datos están en las tablas anteriormente consultadas, por lo que el peso del polín de cada grúa será:

$$Pp = \frac{8 \cdot 3 \cdot 10 \cdot 0,8}{1000} = 0,23 \text{ ton}$$

De esta forma, el peso total de ambas grúas y sus polines será de 20,46 ton.

Las grúas estarán situadas simétricamente cada una en un costado del buque, estando su centro de gravedad a una eslora del 45%Lpp respecto a la Ppp y a una altura de la línea de base equivalente al puntal a la cubierta principal más los 3 metros de envergadura cuando las grúas están recogidas.

$$XG = 0,45 \cdot Lpp = 0,45 \cdot 61,71 = 27,77 \text{ m}$$

$$KG = D + 3 = 7,56 + 3 = 10,56 \text{ m}$$

4.3.3 Tanques no estructurales

El buque cuyo diseño constituye el objetivo de este proyecto consta de 2 tanques independientes de GNL tipo C, situados sobre la cubierta principal del buque y con una capacidad total de 450 m³.

Si suponemos la densidad de GNL de valor 0,5 ton/m³, tenemos que el peso de LNG transportado por el buque será 225 ton. El peso del tanque en sí, es decir, de la estructura metálica que lo conforma, lo estimaremos en un 5% del peso total de gas natural que contiene. Por lo tanto, el peso del tanque estructural es el siguiente:

$$PT = 11,25 \text{ ton}$$

Los tanques irán situados entre el castillo de proa y la superestructura de popa del buque, por lo que, en primera instancia, supondremos su centro de masas en el centro del buque (Lpp/2). El KG se estimará 5 m por encima de la cubierta principal.

$$XG = 30,86 \text{ m}$$

$$KG = 12,56 \text{ m}$$

4.3.4 Aislamiento de los tanques de carga e instalaciones adicionales

Carecemos de formulación concreta para el cálculo de estos elementos, como pueden ser las tuberías de criogenización, las mangueras o los contadores másicos, por lo que nos hemos visto obligados a basarnos en algún buque ya construido con características similares al nuestro (opción tampoco sencilla debido a la singularidad de nuestro buque y a la dificultad de encontrar proyectos comerciales completos).

Finalmente, encontramos un proyecto de IZAR (actual Navantia) de un buque gasero con tanques tipo C de capacidad total de carga de unos 135000 m³, que contabiliza estos pesos en unas 3909 ton. Realizamos una sencilla interpolación lineal para obtener el valor estimado para nuestro buque:

$$Paisl = \frac{450}{135000} \cdot 3909 = 13,03 \text{ ton}$$

Para el cálculo del centro de gravedad lo supondremos coincidente con el de los tanques tipo C:

$$XG = 30,86 \text{ m}$$

$$KG = 12,56 \text{ m}$$

4.3.5 Habilitación

Para la estimación del peso de la habilitación existen diversas formulaciones en el libro de "Proyectos de Buques y Artefactos" del profesor Junco. Algunas de ellas lo muestran como función del número de tripulantes y/o pasajeros. Pero, este tipo de metodologías de cálculo destacan por su inexactitud, por lo que emplearemos la dependiente del número de m² del local, subdividiendo la partida del peso en rosca correspondiente a la habilitación en los pesos de una serie de elementos tales como:

- Subpavimento. Psp=28 kg/m²
- Aislamiento acústico. Paa=16 kg/m²
- Pavimento PVC. Ppvc=4 kg/m² (80% de la habilitación)
- Moqueta. Pmq=9 kg/m² (20% de la habilitación)
- Techos. Ptch=17 kg/m²
- Mamparos. Pmd=26 kg/m²
- Aislamiento. Pah=8 kg/m²
- Aseo (unidad). Pas=500 kg
- Apartamento (cabina+despacho+aseo). Paprt=0,797 ton
- Cabina sencilla. Pcabs=0,360 ton
- Cabina doble. Pcabd=0,410 ton
- Otros pesos de habilitación (ventanas, mobiliario de cocina o fuera de cabinas, etc.):

$$P_o = \frac{10,5 \cdot Shab + 400 \cdot NR + 200 \cdot NA + NCI + 2 \cdot NCI}{1000} \text{ [ton]}$$

Siendo:

- Shab=Sup. De habilitación (m²).
- NR=Num. de otros espacios.
- NA=Num. de apartamentos.
- NCI=Num. de cabinas individuales.

Inicialmente se había considerado instalar la habilitación en la toldilla de popa, distribuidas a lo largo de 2 o 3 cubiertas. No obstante, una vez más, las particularidades de nuestra embarcación imposibilitan esta solución. No se puede instalar más de un altura de cubierta ya que el remolcador auxiliar debe tener plena visibilidad.

Para solucionar este problema, se ha decidido instalar la zona de habilitación a proa de la zona de carga, inmediatamente anterior a la zona del pique de proa. La mitad de la misma irá situada en el castillo sobre la cubierta principal, mientras que la restante irá situada bajo la cubierta principal.

La zona que hemos dedicado a la habilitación presenta una manga de 14 m aprox. y ocupa unas 12 cuadernas, separadas 700 mm entre sí. Por lo tanto, la superficie de habilitación queda como sigue:

Sup. Base	168	m ²
Sup. Techo	168	m ²
Sup. Mamp. Long.	105.6	m ²
Sup. Mamp. Transv.	158.4	m ²

Por lo que sustituyendo este valor en las ecuaciones antes mostradas tenemos:

Subpavimento	16800	kg
--------------	-------	----

Aislamiento acústico	9600	kg
Pavimento PVC	1920	kg
Moqueta	1080	kg
Techos	10200	kg
Mamparos	15600	kg
Aislamiento	4800	kg
Aseo (unidad)	500	kg
Apartamento	0.797	ton
Cabina sencilla	0.360	ton
Cabina doble	0.410	ton
Po	7.126	ton
Phab	73.6	ton

El peso total de habilitación será entonces de 73,6 ton.

El centro de gravedad de la habilitación estará situado en la parte media del castillo de proa y un metro por debajo de la cubierta principal.

$$XG = 51,45m$$

$$KG = 6,56 m$$

4.3.6 Ventilación y aire acondicionado

Para la estimación del peso del sistema de aire acondicionado (incluyendo en él conductos, salidas, refrigerantes, etc) emplearemos la siguiente fórmula:

$$Paa = 0,020 \cdot Sh \text{ [ton]}$$

Siendo Sh la superficie total de habilitación, en m2.

Para el caso de nuestro buque, tendremos el siguiente sistema de aire acondicionado:

$$Paa = 0,020 \cdot 600 = 12 \text{ ton}$$

No será necesario disponer de ventiladores en zonas de carga (al ser tanques). Únicamente cuando se estén realizando reparaciones en los mismos, siendo los utilizados en estos casos portátiles.

El centro de gravedad de los ventiladores se supondrá el mismo que el de la ventilación, siendo ligeramente superior la componente vertical, debido a que estará instalado en los techos.

$$XG = 51,45m$$

$$KG = 7 m$$

4.3.7 Botes y pescantes de salvamento

Los equipos de salvamento de este buque serán los que el convenio SOLAS requiere para un buque de carga líquida a granel, esto es, un bote de caída libre y 1 bote cerrado, capaz de ser izado por ambas bandas, para evitar la obstrucción del estibado de los buques por culpa de la eslora. Asimismo, también dispondrá de 2 pescantes a cada banda, aros y chalecos salvavidas, balsas auto hinchables y otros aparatos genéricos de salvamento marítimo.

Para la estimación del peso total del equipo de salvamento emplearemos la siguiente fórmula:

$$PL = 9,5 + (n - 35) \cdot 0,1 \text{ [ton]}$$

Siendo n el número de personas a bordo o 35, el que sea mayor. Al disponer de botes cerrados aumentaremos esta cifra en 3,5 ton.

$$PL = 9,5 + (35 - 35) \cdot 0,1 + 3,5 = 13 \text{ ton}$$

El bote de caída libre y el cerrado de costado estarán situados en diferentes localizaciones del buque, para facilitar así la evacuación de la tripulación, que puede estar en los camarotes de proa o en la zona de maquinaria y control en popa.

El bote de caída libre estará situado lo más a popa posible, sobre el techo de la superestructura, aproximadamente a un 2%Lpp. Por el contrario, el bote cerrado irá situado en crujía sobre la mitad de la habilitación (en torno a un 80% de Lpp). En cuanto a la altura, el bote de caída libre irá situado en la parte superior anterior de la toldilla (en torno a 11 m), mientras que el bote cerrado lo estará sobre el de la superestructura de habilitación en proa (12 m).

De esta manera, las componentes longitudinal y vertical del centro de gravedad del equipo de salvamento serán las siguientes:

$$XG = \frac{9,5 \cdot 0,02 \cdot 61,71 + 3,5 \cdot 0,8 \cdot 61,71}{13} = 14,19 \text{ m}$$
$$KG = \frac{9,5 \cdot 11 + 3,5 \cdot 12}{13} = 11,27 \text{ m}$$

4.3.8 Pintura y protección catódica

Para el cálculo del peso de la pintura aplicada sobre el acero del buque con fines anticorrosivos, usaremos la fórmula para buques de peso en rosca menor de 2000 ton., que lo estima de la siguiente forma:

$$Pi = 0,008 \cdot PS \text{ [ton]}$$

Siendo PS el peso de acero del buque, estimado anteriormente como 675,571 ton. De esta forma, sustituyendo este valor en la fórmula superior, obtenemos un peso en pintura de 5,405 ton.

Por otro lado, el peso de la protección catódica responde a la siguiente ecuación:

$$Pcc = 0,0004 \cdot Sm \cdot a \cdot y \text{ [ton]}$$

Como desconocemos el material de los ánodos (a) y el número de años de protección (y), consideraremos que usamos ánodos de zinc (a=1; y=2). En cuanto al cálculo de la superficie mojada (Sm), podemos emplear la fórmula de Denny:

$$Sm = L \cdot T \cdot \left(1,7 + \frac{Cb}{T}\right) = 646,659 \text{ m}^2$$

Por lo tanto, una vez conocemos todos los valores de los que depende, el peso de la protección catódica será de 5,173 ton y, sumado al de la pintura estimada anteriormente, obtenemos un peso total de protección anticorrosiva de 10,578 ton.

Para la estimación del centro de gravedad, como carecemos de fórmulas o datos empíricos que nos guíen, emplearemos en primera instancia los valores del peso de los aceros:

$$XG = 27,81 \text{ m}$$

$$KG = 5,36 \text{ m}$$

4.3.9 Navegación y comunicaciones

El peso del equipo de navegación y comunicaciones tiene un valor muy reducido y fijo, de 2 ton.

El centro de gravedad de estos equipos se hallará situado en la zona del puente, en la mitad de proa de la superestructura. De esta manera, la componente longitudinal se situará a un 20%Lpp y la vertical a unos 15 m.

$$P_{nav} = 2 \text{ ton}$$

$$XG = 0,2 \cdot 61,71 = 12,34 \text{ m}$$

$$KG = 11 \text{ m}$$

4.3.10 Fondeo y amarre

Para el cálculo del peso del equipo de amarre y fondeo primero debemos calcular el número de equipo de nuestro buque. En el libro del profesor Junco podemos hallar la siguiente fórmula para su estimación:

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

Siendo:

- Δ =Desplazamiento al calado máx. (ton)
- B =Manga (m)
- H =Altura total, incluidas las casetas de manga mayor de $B/4$ desde el calado de verano hasta la cubierta más alta.
- Ap =Área lateral del buque (en perfil) por encima de la línea de francobordo de verano (m²).

Para el cálculo del área de perfil, debido a la ausencia de un diseño de las formas y superestructura del buque consolidado, 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 tenemos:

$$Ap = 61,71 \cdot (7,56 - 5,67) + 24,58 \cdot 10,50 = 374,968 \text{ m}^2$$

Siendo por lo tanto $H=10,5$ m. Así pues, si sustituimos los valores del desplazamiento y la manga en la ecuación del numeral de equipo, obtenemos que éste tiene un valor de:

$$NE = 4249,121^{2/3} + 2 \cdot 14,17 \cdot 10,5 + \frac{374,968}{10} = 597,69$$

En el libro podemos hallar una serie de gráficas en las que se establece la correlación entre el numeral de equipo y el peso de los equipos de amarre y fondeo. De la que corresponde a buques con $NE < 1600$ sacaremos los siguientes valores aproximados del peso del ancla y las cadenas (Pac), de los elementos de fondeo (Pf) y de los elementos de amarre y fondeo ($Peaf$):

- $NE=500$; $Peaf=27,5$ ton; $Pac=16$ ton; $Pf=24$ ton
- $NE=600$; $Peaf=35$ ton; $Pac=20$ ton; $Pf=25$ ton

Por lo tanto, interpolando entre estos 2 valores tabulados y nuestro numeral de equipo podremos sacar el peso del sistema de amarre y fondeo de nuestro buque:

$$Peaf = \left(\frac{597,69 - 500}{600 - 500} \right) \cdot (35 - 27,5) + 27,5 = 34,827 \text{ ton}$$

$$Pac = \left(\frac{597,69 - 500}{600 - 500} \right) \cdot (20 - 16) + 16 = 19,908 \text{ ton}$$

$$Pf = \left(\frac{597,69 - 500}{600 - 500} \right) \cdot (25 - 24) + 24 = 24,977 \text{ ton}$$

$$Paf = Peaf + Pac + Pf = 34,827 + 19,908 + 24,977 = 79,711 \text{ ton}$$

Los pesos del equipo de amarre y fondeo se distribuirán de forma asimétrica en la eslora el buque. De esta manera, supondremos que en proa tenemos el 80% de ellos y el 20% restante en popa. La componente longitudinal del centro de gravedad de los elementos de proa se situará a 0,9Lpp de la perpendicular de popa, mientras que el de los elementos de popa estará a 0,05Lpp. Para calcular el XG de todo el sistema, haremos un simple cálculo de masas:

$$XG = \frac{(0,8 \cdot 0,9 + 0,2 \cdot 0,05) \cdot 61,71 \cdot 79,711}{79,711} = 43,81 \text{ m}$$

El KG del equipo de amarre y fondeo estará situado en la cubierta principal (7,56 m).

4.3.11 Equipo Contraincendios

El peso de todos los elementos que conforman el equipo contraincendios del buque será estimado mediante la siguiente fórmula:

$$PI = 0,0025 \cdot VE + 1 \text{ [ton]}$$

Siendo VE el volumen de la cámara de máquinas, que puede ser estimado de la siguiente manera:

$$VE = 0,5 \cdot Lm \cdot B \cdot D \text{ (m}^3\text{)}$$

Siendo Lm la eslora de máquinas, que será estimada en un valor de un 20%Lpp.

De esta manera, sustituyendo en las ecuaciones anteriores los valores correspondientes a nuestro buque:

$$VE = 0,20 \cdot 61,71 \cdot 14,17 \cdot 7,56 = 661,07 \text{ m}^3$$

$$PI = 0,0025 \cdot 661,07 + 1 = 2.653 \text{ ton}$$

Estimaremos que el equipo contraincendios estará situado en la cámara de máquinas a una altura y longitud equivalente a la de los grupos generadores. Esto significa que:

$$XG = 12,34 \text{ m}$$

$$KG = 5,78 \text{ m}$$

4.3.12 Instalación de aguas residuales

Todo buque que quiera cumplir con el convenio MARPOL debe llevar instalada a bordo una planta de tratamiento de aguas residuales, tanto negras como grises, donde se filtran para su posterior descarga al mar.

Para la estimación de su peso emplearemos la siguiente formulación:

$$Pir = 1,1519 \cdot Cir + 0,2725 \text{ [kg]}$$

Siendo Cir la capacidad en toneladas por día de aguas residuales que puede tratar la planta. Partiendo de una estimación de 135 litros por día. Partiendo de una tripulación de 10 individuos y estimando una densidad de aguas residuales igual a la del agua dulce, tendremos el siguiente flujo másico a través de la TAR:

$$Cir = 1 \cdot 10 \cdot 135 = 1350 \text{ ton}$$

$$Pir = (1,1519 \cdot 1350 + 0,2725) \cdot 0,001 = 1,555 \text{ ton}$$

La planta de tratamiento de aguas residuales estará situada en la cámara de máquinas. En primera instancia, al supondremos situada en el centro de la misma y sobre su cubierta:

$$XG = 18,51 \text{ m}$$

$$KG = 5,78 \text{ m}$$

4.3.13 Peso total de los equipos y habilitación y C.G.

El peso final de los equipos y la habilitación del buque será la suma de todos los pesos estimados de los elementos que conforman esta partida del rosca:

$$PE = 10,578 + 11,250 + 13,030 + 73,6 + 2 + 79,711 + 13 + 12 + 17,468 + 2,653 + 1,555 + 87,52 = 324,365 \text{ ton}$$

En cuanto a las componentes longitudinal y vertical del centro de gravedad se pueden calcular fácilmente de manera análoga a las del acero y la maquinaria a través de un cálculo de masas:

$$XG = \frac{\sum PE_i \cdot XG_i}{PE} = 24,82 \text{ m}$$

PESO EQUIPO RESTANTE	Peso (ton)	XG (m)	KG (m)	MOMX (ton*m)	MOMZ (ton*m)
Pintura y protección catódica	10.594	27.75	5.41	293.945	57.265
Tanques no estructurales	11.250	30.86	12.56	347.119	141.300
Aislamiento y otras instalaciones	13.030	30.86	12.56	402.041	163.657
Habilitación	33.268	51.45	6.56	1711.613	218.235
Navegación y comunicaciones	2	12.34	11	24.684	22
Amarre y Fondeo	79.813	43.81	7.56	3496.928	603.385
Salvamento	13	14.19	11.27	184.513	146.500
HVAC (Aire acondicionado)	4.7	51.45	7	241.815	32.900
Carga y descarga	17.468	6.50	4.78	113.542	83.497
Contra incendios (CI)	2.653	9.26	7.78	24.554	20.638
Tratamiento aguas residuales	1.555	18.51	7.78	28.794	12.101
Grúas sobre cubierta	20.4608	27.77	10.56	568.186	216.066
Total	209.791	35.45	8.19	7437.734	1717.543

5 CÁLCULO DEL PESO EN ROSCA FINAL

Una vez calculados todas las partidas que conforman el peso en rosca del buque y sus correspondientes centros de gravedad, debemos aplicarles un margen de error. Siguiendo las recomendaciones dadas en la asignatura de Proyectos, hemos decidido aplicar un margen del 10% para los peso en rosca y de 1 m y 0,5 m para el XG y el KG finales respectivamente.

De esta forma, el desglose del peso en rosca de nuestro buque sería el siguiente:

PESO ACERO	Peso (ton)	XG (m)	KG (m)	MOMX (ton*m)	MOMZ (ton*m)
Estructura	654.725	28.17	5.33	18443.176	3490.307
Polines	10.873	9.26	7.60	100.649	82.638
Escalas y tecles	7.066	17.55	7.25	124.030	51.247
Puertas y escotillas	2.430	21.60	7.56	52.484	18.371
Amurada	2.491	32.23	8.06	80.278	20.079
Total	677.585	27.747	5.405	18800.618	3662.641
PESO MAQUINARIA	Peso (ton)	XG (m)	KG (m)	MOMX (ton*m)	MOMZ (ton*m)
Motores propulsores	0	0	0	0	0
Grupos Generadores	12.170	9.26	7.78	112.652	94.6826
Tuberías y válvulas	0.235	9.26	7.78	2.174	1.827
Instalación y cuadros eléctricos	33.544	21.60	11.06	724.494	371.105
Chimeneas	2.973	9.26	7	27.520	20.811
Total	48.922	17.72	9.98	866.840	488.427
PESO EQUIPO RESTANTE	Peso (ton)	XG (m)	KG (m)	MOMX (ton*m)	MOMZ (ton*m)
Pintura y protección catódica	10.594	27.75	5.41	293.945	57.265
Tanques no estructurales	11.250	30.86	12.56	347.119	141.300
Aislamiento y otras instalaciones	13.030	30.86	12.56	402.041	163.657
Habilitación	33.268	51.45	6.56	1711.613	218.235
Navegación y comunicaciones	2	12.34	11	24.684	22
Amarre y Fondeo	79.813	43.81	7.56	3496.928	603.385
Salvamento	13	14.19	11.27	184.513	146.500
HVAC (Aire acondicionado)	4.7	51.45	7	241.815	32.900
Carga y descarga	17.468	6.50	4.78	113.542	83.497

Cuaderno 2: Cálculo de Pesos y Centro de Gravedad del Peso en Rosca
 Julio Elías Sánchez. Barcaza Bunkering Multiproducto y Cold Ironing. Proyecto 19-99.

Contraincendios (CI)	2.653	9.26	7.78	24.554	20.638
Tratamiento aguas residuales	1.555	18.51	7.78	28.794	12.101
Grúas sobre cubierta	20.4608	27.77	10.56	568.186	216.066
Total	209.791	35.45	8.19	7437.734	1717.543
PESO ROSCA	936.298	28.95	6.27	27105.192	5868.611
Margen	0.15	1	0.5		
PESO ROSCA DEF.	1076.742	29.95	6.77	32247.714	7287.274

6 CÁLCULO DEL PESO MUERTO

Ahora que poseemos un nuevo valor para el peso en rosca del buque, en teoría más preciso que el estimado en el cuaderno 1, volveremos a calcular el peso muerto de manera análoga a la realizada en éste:

$$\Delta = \rho \cdot \nabla = \rho \cdot Lpp \cdot B \cdot T \cdot Cb = 1,025 \cdot 61,71 \cdot 14,17 \cdot 5,67 \cdot 0,84 = 4268,857 \text{ ton}$$

$$PM = \Delta - PR = 4268,857 - 1076,742 = 3192,115 \text{ ton}$$

En las RPA del proyecto aparece fijado que debemos transportar una carga útil de 2500 ton de combustibles, incluyendo en esta partida del peso muerto no el volumen de gas natural transportado en los tanques tipo C sobre la cubierta principal sino el volumen total de combustible marino tradicional (HFO, MDO, LSFO) transportado en los tanques estructurales del casco.

Como es bien sabido, el término peso muerto engloba toda carga o peso que el buque debe transportar en un viaje comercial a una condición de carga del calado de diseño, es decir, combustible, aceites, agua dulce, provisiones, tripulación y, por supuesto, la carga útil. En la industria naval se utiliza esta cifra como una manera sencilla de evaluar la capacidad de carga de un buque, siendo con frecuencia establecida como requisito previo en los contratos de construcción.

Como ya se conoce la carga útil mínima de nuestro buque, lo que hará en este capítulo será la estimación de las otras partidas que componen el peso muerto. De esta forma, se podrá comprobar si con las dimensiones actuales se cumple el requisito mínimo de carga útil establecido en las RPA y si todavía se tiene un margen para transportar más carga, eso es algo siempre bienvenido en un buque mercante.

En el libro “Proyecto de Buques y Artefactos Marinos” del profesor Fernando Junco Ocampo podemos encontrar formulación empírica a través de la que estimar las diferentes partidas que componen el peso muerto. Por otro lado, a través de catálogos de motores y maquinaria auxiliar naval, podemos establecer, en el caso de conocer perfectamente el equipo a instalar, los pesos de los mismos de una manera más precisa.

El peso muerto del buque puede sintetizarse en las siguientes componentes:

- Carga útil.
- Tripulación y pasaje.
- Pertrechos.
- Consumos.

6.1 Tripulación y pasaje

En nuestro caso, al no tratarse de un buque de pasaje, no dispondremos de pasajeros, sino sólo de tripulación, que las RPA del proyecto fijan en 10 tripulantes. A efectos de pesos se considerará que cada miembro de la tripulación tendrá un peso asociado de 125 kg, por lo que, el peso total de la tripulación será de:

$$P_{trip} = 10 \cdot 125 = 1250 \text{ kg} = 1,25 \text{ ton}$$

6.2 Pertrechos

Se consideran como pertrechos todos aquellos elementos no consumibles, que el armador añada como repuestos o necesidades adicionales del buque. Incluyen pinturas, estachas y cabos adicionales, algunos cargos de carpintero, contra maestre, etc.

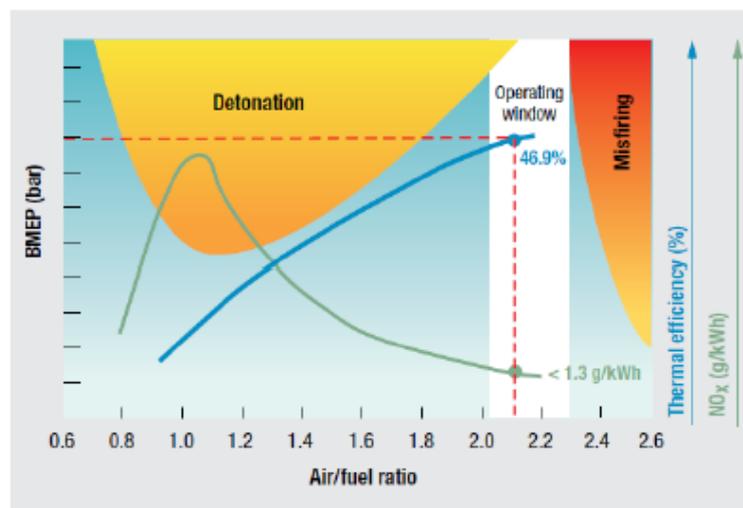
La cifra es muy variable. En nuestro caso, al tratarse de un buque de pequeñas dimensiones, estimaremos su peso en 20 ton.

6.3 Consumos

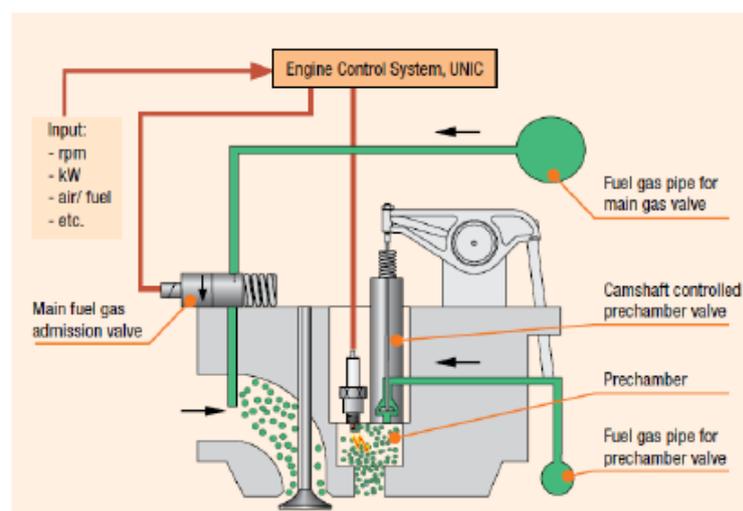
Los consumos son cargas variables durante la navegación y dependen de la autonomía del buque. En el caso de nuestro proyecto, el buque tendrá una autonomía de 1000 millas náuticas.

6.3.1 Combustible

Las máquinas primarias de los grupos electrógenos de la cámara de máquinas están basadas en el ciclo Otto, que, a diferencia del Diésel y su encendido por compresión, necesita de una fuente de calor externa para iniciar la combustión (en forma de chispa). Por otro lado, serán de 4 tiempos, frente a los 2 tiempos típicos de los grandes motores propulsores. Durante la carrera de admisión, el aire premezclado y el combustible (gas natural en este caso) se introducen en el cilindro cuando el pistón se mueve hacia abajo a la posición de “punto muerto inferior”. Durante la carrera de compresión, la mezcla de aire-gas natural es comprimida por el pistón y encendida por una chispa, estando el autoencendido prevenido al estar la máquina térmica diseñada con unos límites claros y adecuados en la relación de compresión.



Para obtener una mejor eficiencia y unas emisiones más bajas, cada cilindro se controla individualmente para asegurar la relación aire-gas natural adecuada y la sincronización correcta de la ignición, optimizando el nivel de eficiencia y las emisiones de cada cilindro en todas las condiciones de operación. Además una combustión estable y bien controlada también contribuye a una menor carga mecánica y térmica de los componentes del motor.



6.3.1.1 Consumo de gas natural

Para estimar el consumo de gas natural se seleccionará la configuración de máximo consumo, es decir, con los 2 grupos generadores que constituyen la planta eléctrica principal. La potencia de estos equipos ha sido calculada en el cuaderno 11, a partir de los datos aportados por el fabricante. En cuanto a la autonomía, se ha decidido que el buque tenga capacidad para tener operativos ambos generadores durante las operaciones de cold ironing (con una duración máxima de 24 h) y sólo de la unidad de menor potencia durante cualquiera de las 2 condiciones de navegación (24 h).

Antes de realizar los cálculos necesarios para obtener los consumos de gas natural de la planta generadora principal, se deben conocer las potencias nominales y consumos específicos de las unidades que la integran. Como ya se dijo antes, las fichas informativas que aporta la firma MTU sobre los modelos a instalar a bordo no son tan detalladas como se precisa para el desarrollo de este cuaderno. Lo que sí establece es que los consumos específicos de sus máquinas de gas natural estarán comprendidos en el intervalo de 800-1100kJ/kWh.

Teniendo este rango de consumos presente, se estimarán los de los grupos generadores a instalar a bordo a partir de la siguiente tabla de la reconocida empresa de venta de maquinaria eléctrica GeneratorSource:



Approximate Natural Gas Fuel Consumption Chart

This chart approximates the natural gas fuel consumption* of an industrial or commercial generator based on the size of the generator and the load at which the generator is operating. Please note that this table is intended to be used as an estimate of how much fuel a generator uses during operation and is not an exact representation due to various factors that can increase or decrease the amount of fuel consumed.

Generator Size (kW)	1/4 Load (ft ³ /hr)	1/2 Load (ft ³ /hr)	3/4 Load (ft ³ /hr)	Full Load (ft ³ /hr)
20	157	188	247	289
30	202	260	348	416
40	246	333	449	543
60	334	479	652	798
75	400	588	803	990
100	510	771	1056	1308
125	621	953	1308	1627
135	665	1026	1409	1754
150	731	1135	1561	1946
175	841	1317	1813	2264
200	952	1500	2066	2583
230	1084	1718	2369	2965
250	1172	1864	2571	3220
300	1393	2229	3076	3857
350	1614	2593	3581	4495
400	1834	2958	4086	5132
500	2276	3687	5096	6407
600	2717	4416	6107	7681
750	3379	5509	7622	9593
1000	4482	7332	10147	12780

*Fuel consumption is based on 1015 Btu/standard ft³ natural gas

De acuerdo con los valores recogidos en la tabla y suponiendo un 75% de carga, los consumos específicos de gas natural de los grupos que constituyen la planta eléctrica principal serán los siguientes:

$$C_e 12V4000 = 10147 \frac{ft^3}{h} \cdot \frac{1 m^3}{35,31 ft^3} \cdot \frac{3700 kJ}{1 m^3} \cdot \frac{1}{1169} = 909,55 \frac{kJ}{kWh}$$

$$C_e 6R400 = 1409 \frac{ft^3}{h} \cdot \frac{1 m^3}{35,31 ft^3} \cdot \frac{3700 kJ}{1 m^3} \cdot \frac{1}{135} = 1093,66 \frac{kJ}{kWh}$$

Como se puede observar, ambos valores están dentro del rango de consumos específicos aportado por la firma MTU, por lo que, para el diseño conceptual de la cámara de máquinas que constituye el objeto de este cuaderno, se ha decidido emplear los consumos obtenidos.

Consumo durante las operaciones de cold ironing

El consumo de gas natural de los grupos generadores durante las operaciones de aprovisionamiento eléctrico a flota a otros buques tendrá el siguiente valor:

$$\text{Consumo GNL } 12V4000 = 1169 kW \cdot 909,55 \frac{kJ}{kWh} \cdot 12 h \cdot \frac{1 m^3}{37000 kJ} = 293,12 m^3$$

$$\text{Consumo GNL } 6R400 = 135 kW \cdot 1093,66 \frac{kJ}{kWh} \cdot 12 h \cdot \frac{1 m^3}{37000 kJ} = 40,70 m^3$$

Consumo durante la navegación

El consumo de gas natural del grupo generador MTU 6R400 GS-E3066 D4 durante la navegación de la barcaza, tanto en condiciones de plena carga y de lastre, tendrá el siguiente valor:

$$\text{Consumo GNL } 6R400 = 135 kW \cdot 1093,66 \frac{kJ}{kWh} \cdot 24 h \cdot \frac{1 m^3}{3700 kJ} = 81,40 m^3$$

Por lo tanto, la capacidad total de gas natural que deberá poseer la barcaza para consumo propio de sus generadores (ya que contará también con gas natural para labores de bunkering) tendrá un valor de 415,22 m³. Serán almacenados en tanques tipo C sobre la cubierta principal del buque en la zona de carga, que recordemos que tendrán una capacidad total de 450 m³, de acuerdo con los requisitos del anteproyecto.

Consumo de diésel

Como ya se ha dicho antes, aunque los generadores eléctricos instalados en la cámara de máquinas trabajarán con gas natural como combustible, será necesario contar con un pequeño volumen de diésel para crear la chispa necesaria para iniciar la combustión (la conocida como llama piloto).

Una vez más, MTU no aporta datos concretos sobre los consumos de diésel para la llama piloto de sus máquinas térmicas a gas. Se ha decidido emplear los datos de consumo del motor Wartsila 8L20DF, con una potencia nominal de 1168 kW a 1000 rpm. Se realizará una interpolación lineal para ajustar los valores de la tabla a los generadores instalados en la barcaza:

Wärtsilä 8L20DF		AE/DE		AE/DE		ME	
		Gas mode	Diesel mode	Gas mode	Diesel mode	Gas mode	Diesel mode
Cylinder output	kW	160		185		185	
Engine speed	rpm	1000		1200		1200	
Speed mode		Constant		Constant		Variable	
Engine output	kW	1280		1480		1480	
Mean effective pressure	MPa	2.18		2.1		2.1	
IMO compliance		Tier 3	Tier 2	Tier 3	Tier 2	Tier 3	Tier 2

Fuel consumption (Note 4)							
Total energy consumption at 100% load	kJ/kWh	8180	-	8330	-	8370	-
Total energy consumption at 85% load	kJ/kWh	8390	-	8510	-	8460	-
Total energy consumption at 75% load	kJ/kWh	8520	-	8720	-	8550	-
Total energy consumption at 50% load	kJ/kWh	9130	-	9500	-	9090	-
Fuel gas consumption at 100% load	kJ/kWh	8048	-	8189	-	8222	-
Fuel gas consumption at 85% load	kJ/kWh	8219	-	8314	-	8286	-
Fuel gas consumption at 75% load	kJ/kWh	8326	-	8493	-	8359	-
Fuel gas consumption at 50% load	kJ/kWh	8862	-	9211	-	8859	-
Fuel oil consumption at 100% load	g/kWh	3.2	194.6	3.5	197.2	3.6	196.3
Fuel oil consumption at 85% load	g/kWh	4.2	194.4	4.9	196.3	4.2	195.3
Fuel oil consumption at 75% load	g/kWh	4.7	195.3	5.5	197.2	4.6	195.3
Fuel oil consumption 50% load	g/kWh	6.7	206.1	7.0	208.0	5.6	197.5

El que interesa para los cálculos de este cuaderno serán los valores correspondientes al modo gas con una carga del 75%. Por lo tanto, se tiene los siguientes consumos de diésel para la llama piloto:

$$Ce\ diésel\ 12V4000 = \frac{909,55\ kJ/kWh}{8326\ kJ/kWh} \cdot 4,7 \frac{g}{kWh} = 0,513 \frac{g}{kWh}$$

$$Ce\ diésel\ 6R400 = \frac{1093,66\ kJ/kWh}{8326\ kJ/kWh} \cdot 4,7 \frac{g}{kWh} = 0,617 \frac{g}{kWh}$$

Consumo durante las operaciones de cold ironing

El consumo de diésel para la llama piloto del grupo generadores durante las operaciones de aprovisionamiento eléctrico a flota a otros buques tendrá el siguiente valor:

$$Consumo\ diésel\ 12V4000 = 1169\ kW \cdot 0,513 \frac{g}{kWh} \cdot 14\ h \cdot \frac{1\ ton}{10^6\ g} \cdot \frac{1\ m3}{0,86\ ton} = 0,01\ m3$$

$$Consumo\ diésel\ 6R400 = 135\ kW \cdot 0,617 \frac{g}{kWh} \cdot 14\ h \cdot \frac{1\ ton}{10^6\ g} \cdot \frac{1\ m3}{0,86\ ton} = 0,0014\ m3$$

Consumo durante la navegación

El consumo de diésel para la llama piloto del grupo generador MTU 6R400 GS-E3066 D4 durante la navegación de la barcaza, tanto en condiciones de plena carga y de lastre, tendrá el siguiente valor:

$$\text{Consumo diésel 6R400} = 135 \text{ kW} \cdot 0,617 \frac{\text{g}}{\text{kWh}} \cdot 24 \text{ h} \cdot \frac{1 \text{ ton}}{10^6 \text{ g}} \cdot \frac{1 \text{ m}^3}{0,86 \text{ ton}} = 0,0023 \text{ m}^3$$

Por lo tanto, la capacidad total de diésel que deberá poseer la barcaza para consumo propio de sus generadores (ya que contará también con este combustible para labores de bunkering) tendrá un valor de 0,013 m³, es decir, de 13 litros. Serán almacenados en un pequeño tanque independiente situado en la cámara de máquinas.

6.3.2 Aceite

Para la estimación del consumo de aceite a bordo se suele usar el 3% del total de combustible empleado a bordo:

$$\text{Consumo aceite} = 0,03 \cdot (\text{Consumo Diésel} + \text{Consumo GNL}) \text{ [ton]}$$

$$\text{Consumo aceite} = 0,03 \cdot (10,15 + 0,12) = 0,3 \text{ ton}$$

6.3.3 Agua dulce

El total de agua dulce consumida por la tripulación se estimará mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Consumo agua dulce} = 100 \text{ litros/día} \cdot \text{Tripulación} \cdot \frac{\text{Autonomía}}{V_{\text{servicio}}} \text{ [ton]}$$

$$\text{Consumo agua dulce} = 100 \frac{\text{litros}}{\text{día}} \cdot 10 \text{ tripulantes} \cdot \frac{1000 \text{ millas}}{10 \text{ kt}} \cdot \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ h}} = 4167 \text{ litro} \approx 4,2 \text{ ton}$$

6.3.4 Víveres

En su libro el profesor Fernando Junco estima la relación víveres por tripulante y día en 5 kg para buques mercantes:

$$\text{Consumo víveres} = 5 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \cdot \text{Tripulación} \cdot \frac{\text{Autonomía}}{V_{\text{servicio}}} \text{ [ton]}$$

$$\text{Consumo víveres} = 5 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \cdot 10 \text{ tripulantes} \cdot \frac{1000 \text{ millas}}{10 \text{ kt}} \cdot \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ h}} = 208 \text{ kg} = 0,208 \text{ ton}$$

6.3.5 Total

La suma total de todos los consumos tendrá el siguiente peso:

$$\text{Consumos} = \text{Combustible} + \text{Aceite} + \text{Agua dulce} + \text{Viveres} = 218,112 \text{ ton}$$

6.4 Carga útil

Ahora que ya conocemos todas las demás partidas que ingresan el peso muerto, podemos conocer con exactitud cuál será la carga útil que nuestro buque podrá transportar, debiendo ser como mínimo equivalente a las 2500 ton fijadas en las RPA del proyecto.

$$\text{Carga útil} = \text{Peso Muerto} - (\text{Tripulación} + \text{Pertrechos} + \text{Consumos}) \text{ [ton]}$$

$$\text{Carga útil} = 3057,626 - (1,25 + 20 + 218,112) = 2952,753 \approx 2953 \text{ ton}$$

Como podemos observar, no sólo cumplimos con el requisito de carga útil mínima sino que lo superamos, de tal forma que todavía tenemos un margen de algo más de 450 ton para poder transportar más combustible con fines de *bunkering*.

7 BIBLIOGRAFÍA

- [1] F. Junco Ocampo, «Cálculo del Desplazamiento,» de *Proyectos de Buques y Artefactos*, Ferrol, Ingeniería Naval y Oceánica. Escuela Politécnica Superior. Universidade da Coruña..