



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

Trabajo Fin de Grado
CURSO 2017/18

BULKCARRIER NEOPANAMAX 120.000 TPM

Grado en Ingeniería Naval y Oceánica

ALUMNA/O

Diego Carral Amenedo

TUTORAS/ES

Marcos Míguez González

FECHA

JULIO 2018

GRADO EN INGENIERÍA NAVAL Y OCEÁNICA
TRABAJO FIN DE GRADO

PROYECTO NÚMERO: 18-12

TIPO DE BUQUE: Bulkcarrier tipo “NEOPANAMAX” de 120.000 TPM adaptado a la operación en terminales graneleras del golfo de México y Asia.

CLASIFICACIÓN, COTA Y REGLAMENTOS DE APLICACIÓN: AMERICAN BUREAU OF SHIPPING, SOLAS, MARPOL y EXIGENCIAS DE LA ACP (Autoridad del Canal de Panamá).

CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA: 120.000 T.P.M. grano, mineral, carbón

VELOCIDAD Y AUTONOMÍA: 14 nudos en condiciones de servicio, 85% de MCR + 15% de margen de mar. 12.000 millas a la velocidad de servicio.

SISTEMAS Y EQUIPOS DE CARGA / DESCARGA: Escotillas de accionamiento hidráulico.

PROPULSIÓN: Un motor diesel acoplado a una hélice de paso fijo, motores auxiliares de tipo dual (FUEL-GNL).

TRIPULACIÓN Y PASAJE: 30 tripulantes en camarotes individuales.

OTROS EQUIPOS E INSTALACIONES: Los habituales en este tipo de buques y posibilidad de interconexión del cuadro eléctrico del buque con la corriente de tierra.

Ferrol, 30 Octubre 2017

ALUMNO/A: **D. DIEGO CARRAL AMENEDO**



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

**TRABAJO FIN DE GRADO/MÁSTER
CURSO 2017/18**

BULKCARRIER NEOPANAMAX 120.000 TPM

Grado en Ingeniería Naval y Oceánica

Cuaderno 2

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

Indice

1 RPA	2
2 Introducción	5
3 Determinación de pesos	8
3.1 Peso de la Estructura (PS).....	8
3.1.1 Métodos por características principales	8
3.2 Otros componentes del peso en Rosca	9
3.2.1 Diversos componentes del peso en rosca por conceptos individuales	9
3.3 Peso de la Maquinaria (PQ).....	15
3.4 Centro de Gravedad del peso en Rosca	17
3.4.1 Centro de gravedad de la estructura.....	17
3.4.2 Centro de gravedad de la maquinaria.....	18
3.4.3 Ordenada del centro de gravedad del equipo	18
3.5 Presentación de Datos.....	19
3.5.1 Estructura	19
3.5.2 Equipo y habilitación	19
3.5.3 Maquinaria.....	20
3.5.4 Peso en Rosca y Centro de gravedad	20
4 Comprobación del Peso Muerto.....	21
5 Carga útil	23
5.1 Peso muerto	23
5.1.1 Consumos	23
5.1.2 Tripulación	24
5.1.3 Pertrechos	25
5.1.4 Carga útil	25
6 Anexo 1_ Información Motores	26
7 Anexo 2_ Plano CDG.....	28

2 INTRODUCCIÓN

En este segundo cuaderno realizaremos una determinación de pesos que, en esta primera fase, resulta complejo ya que muchos parámetros del buque aún no están definidos. Sería ideal contar con una amplia base de datos con información respecto a la distribución de pesos, pero como no es así emplearemos una serie de fórmulas y diferentes métodos empíricos a partir de los cuales obtendremos una estimación preliminar de los pesos. A medida que vayamos determinando diferentes aspectos técnicos los iremos incorporando a la ya conocida espiral del diseño. El objetivo final es la obtención del peso en rosca, su distribución a lo largo de la eslora y el desplazamiento (Δ).

En este análisis preliminar descompondremos el peso en rosca en tres partidas principales:

- PS = Peso estructural
- PE = Peso del equipo y habilitación
- PQ = Peso de la maquinaria

Y las dimensiones principales del buques extraídas del Cuaderno 1 a partir de las que calcularemos esas partidas son:

Lpp	B	D	T(Δ)	Cb	Δ (Tn)	Fn	BHP (kW)
245,1	42,4	21,55	14,86	0,894	142.167	0,147	17707

A lo largo de todo el proceso debemos tener en cuenta que se cumpla con la RPA referente al peso muerto fijada en 120.000 TPM.

Los diferentes métodos que emplearemos son los descritos en el libro “Proyectos de Buques y Artefactos: Cálculo del Desplazamiento” del Dr. Ingeniero Naval Fernando Junco Ocampo.

En este cuaderno la mayoría de los pesos se calcularán por formulación y entre la distinta formulación existente habrá que diferenciar claramente cuales de los elementos que constituyen el buque se incluye en cada fórmula, de esta forma podemos evitar que el peso de un elemento de los que forman el barco se duplique.

Con el objetivo de evitar la duplicidad citada a continuación se enumeran los conceptos que forman parte de cada una de las tres grandes partidas:

1. Peso de acero:

- Fondos y doble fondo (incluyendo los pozos de sentina).
- Mamparos transversales.
- Mamparos longitudinales.
- Tanques estructurales.
- Cubiertas intermedias.
- Bloque de popa (codaste y arbotantes).
- Bloque de proa (incluye la caja de cadenas).

- Forro exterior.
- Cubierta superior.
- Toldilla.
- Castillo.
- Plataformas.
- Troncos de acceso.
- Cajas de tomas de mar.
- Amuradas.
- Cubiertas de habilitación.
- Mamparos exteriores de habilitación.
- Guardacalor.
- Chimenea.
- Casetas de chigres, de frigoríficos, etc.
- Mamparos interiores de acero.

2. Elementos de maquinaria.

- Maquinaria propulsora.
- Línea de ejes, reductores, chumaceras y bocinas.
- Hélices.
- Sistemas de combustible.
- Sistemas de aceite.
- Sistemas de aire comprimido de arranque y de control.
- Sistemas de refrigeración (incluye el generador de agua dulce).
- 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 contra incendios.
- Sistema sanitario de alimentación y descargas (no incluye aparatos sanitarios en alojamientos).
- Sistema de telemando de cámara de máquinas.
- Exhaustación de la cámara de máquinas.
- Pisos y techos de la cámara de máquinas.
- Ventilación mecánica de la cámara de máquinas.
- Paños y talleres de la cámara de máquinas.

- Aparatos de desmontaje de la cámara de maquinas.
- Cuadros eléctricos principales y secundarios.
- Generadores acoplados a líneas de ejes.
- Transformadores.
- Baterías.
- Grupos convertidores.
- Alumbrado (excepto en la habilitación).

3. Elementos del equipo y habilitación.

- Protección anticorrosiva y cementos.
- Equipo de amarre y fondeo.
- Equipo de navegación.
- Equipo de gobierno(timón)
- Equipo de salvamento y contraincendios.
- Equipo de carga y manipulación (en este barco no se incluyen).
- Acondicionamiento de bodegas.
- Cierres diversos y accesos.
- Habilitación.

3 DETERMINACIÓN DE PESOS

3.1 Peso de la Estructura (PS)

3.1.1 Métodos por características principales

Esta forma de obtención del valor del peso de aceros es típica de las primeras etapas del proyecto. Para bulkcarriers tenemos:

Fórmula de Murray

$$P = 0,0328 * L^{1,65} * \left(B + D + \frac{T}{2} \right) * (0,5 * Cb + 0,4)$$

$$P = 0,0328 * 245,05^{1,65} * \left(42,4 + 21,55 + \frac{14,86}{2} \right) * (0,5 * 0,89 + 0,4) = 17305 \text{ Tn}$$

Para estimar el peso de la estructura y la posición de su centro de gravedad podemos emplear las Fórmulas de J.L. García Garcés para buques varios.

Fórmulas de J.L. García Garcés:

$$P = 0,0243 * L^{1,5} * B * D^{0,5} = 18241 \text{ Tn}$$

$$Z_G = 0,416 * D + 1,73 = 10,69 \text{ m}$$

$$X_G = 0,482 * L + 0,12 = 118,23 \text{ m}$$

Método de Watson:

Watson propone un método para calcular el peso de acero del buque basándose en el antiguo número de equipo del Lloyd's:

$$Wst = K * E^{1,36} * (0,65 + 0,5 * Cbp)$$

$$Cbp = Cb + (1 - Cb) * \left(\frac{0,8 * D - T}{3 * T} \right) = 0,896$$

$$E = L * (B + T) + 0,85 * L * (D - T) + 0,85 * (ls * hs) + 0,75 * (lc * hc)$$

$$E = 245,05 * (42,4 + 17,24) + 0,85 * 245,05 * (21,55 - 17,24) + 0,85 * (0 * 0) + 0,75 * 1350 = 16521$$

El valor de K lo obtenemos de la figura 9.4.32 del libro Proyectos de Buques y Artefactos.

$$K = 0,032$$

$$Wst = 0,032 * 16563^{1,36} * (0,65 + 0,5 * 0,896) = 19101 \text{ Tn}$$

Ahora calculamos la media de los 3 métodos y obtenemos:

$$P(\text{media}) = 17305 + 18241 + 19101 = 18\ 215 \text{ Tn}$$

Con su centro de gravedad en:

$$Z_G = 10,69 \text{ m}$$

$$X_G = 118,23 \text{ m}$$

3.2 Otros componentes del peso en Rosca

Existe formulación que estima el peso de equipo y habilitación para graneleros que vamos a desarrollar a continuación, por ejemplo:

$$PE = K_e * Lpp * B$$

Siendo K_e un coeficiente que se puede estimar para graneleros:

$$K_e = 0,39 - 0,001 * Lpp = 0,39 - 0,001 * 245 = 0,145$$

Entonces:

$$PE = 0,145 * 245 * 42,4 = 1506 Tn$$

Otra forma de aproximación al peso de equipo y habilitación para graneleros es mediante la expresión:

$$PE = 0,045 * Lpp^{1,3} * B^{0,8} * D^{0,3} = 2891 Tn$$

Como podemos observar los resultados obtenidos son muy dispares, de manera que en los siguientes apartados calcularemos los pesos de las partidas principales de equipo y habilitación.

3.2.1 Diversos componentes del peso en rosca por conceptos individuales

3.2.1.1 Peso de la Pintura

$$P_{pintura} = k * PS$$

donde: PS = peso de la estructura determinado anteriormente = 17834 Tn

El valor de K se obtiene interpolando para los siguientes valores:

$$PS = 2000 Tn \quad k = 0,008$$

$$PS = 20000 Tn \quad k = 0,0055$$

Entonces: $PS = 17834 Tn \quad k = 0,0058$

$$P_{pintura} = 0,0058 * 17834 = 103 Tn$$

Situaremos su centro de gravedad prácticamente en la sección media, y a media altura del puntal.

3.2.1.2 Peso de la Protección Catódica del Casco

$$P_{protcat} = 0,0004 * S_m * a * y$$

donde: S_m = Superficie mojada del casco. Sacada del estudio preliminar de potencia (Navcad) = 15873 m²

a = coef. En función del tipo de ánodo. Zinc = 1.

y = número de años para los que se diseña la protección = 2

$$P_{protcat} = 0,0004 * 15873 * 1 * 2 = 12 Tn$$

La situaremos en la sección media, pero un par de metros por debajo de la mitad del puntal.

3.2.1.3 Peso del Equipo de Amarre y Fondeo

El peso y dimensionamiento del mismo vienen determinados por el número de equipo, el cual se define según lo especificado en la Parte 3, Capítulo 5, Sección 1 del Reglamento del ABS.

El número de equipo se obtiene entrando en una tabla presente en el reglamento con el NE calculado mediante:

$$NE = k * \Delta^{\frac{2}{3}} + m * B * h + n * Ap$$

donde: $k = 1$

$m = 2$

$n = 1/10$

$\Delta = 142167$

$B = 42,4 \text{ m}$

$h = a + \sum hi$

$\sum hi =$ suma de la altura de superestructuras con manga superior a $B/4$
 $= 3,6+2,9+2,9+2,9+2,9+2,9+3,6 = 21,7$

$a =$ francobordo $= 5,9$

$Ap =$ Area proyectada $= 1753$

* Datos medidos sobre el perfil presentado en el Cuaderno 1, calculados mediante la siguiente tabla de Excel:

Áreas proyectadas			
	Proyección Lateral (m)	Altura (m)	Area (m ²)
Casco	249,28	5,9	1471
Caseta 1	21,64	3,6	78
Caseta 2	21,64	2,9	63
Caseta 3	6,8	2,9	20
Caseta 4	6,8	2,9	20
Caseta 5	6,8	2,9	20
Puente	6,8	2,9	20
Castillo	17,31	3,6	62
Ap TOTAL			1753

$$NE = 1 * 142167^{\frac{2}{3}} + 2 * 42,4 * (5,9 + 21,7) + 0,1 * 1753 = 5197$$

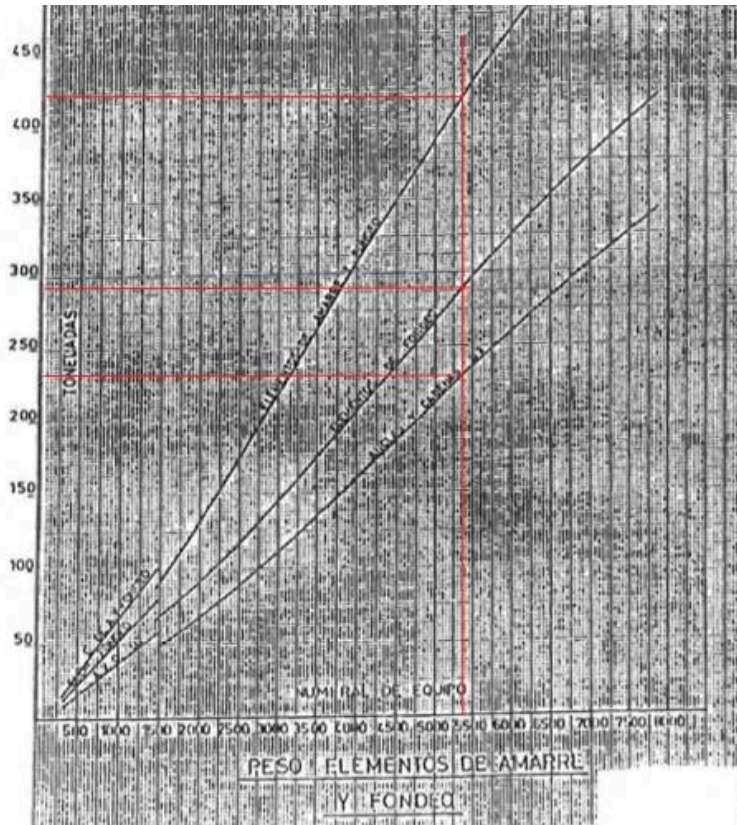
Con este valor del número de equipo entramos en la Tabla 1 de la sección del ABS citada anteriormente y obtenemos:

Número de anclas: 2 + 1 respeto

Peso por ancla: 15.4 Tn

Entrando con el valor del Numero de Equipo en la Fig. 9.5.6 del libro “Proyectos de Buques y Artefactos” obtenemos un peso aproximado del equipo de amarre y fondeo de 420 Tn, por lo que el peso total de la partida será de 464 Tn.

$$P = 420 + 15.4 * 3 = 464 \text{ Tn}$$



Situaremos su centro de gravedad en la proa del buque y a la altura del castillo de proa, aproximadamente 25 metros.

3.2.1.4 Peso del Equipo de Navegación

Estimaremos esta partida en 2 Tn fijándonos en proyectos de buques similares.

Lo situaremos sobre la habilitación a la altura de las antenas de comunicaciones.

3.2.1.5 Peso del Equipo de Gobierno

$$P_{\text{gobierno}} = 0,00224 * A * v^{\frac{2}{3}} + 2$$

Donde: A = Área del timón. La podemos aproximar mediante:

$$A = L * T * \frac{1,1 + 25 * \frac{B^2}{L^2}}{100} = 67,3 \text{ m}^2$$

V = Velocidad en pruebas. La estimaremos mediante:

$$v = 1,06 * v_s = 1,06 * 14 = 14,84 \text{ Kn}$$

$$P_{\text{gobierno}} = 0,0224 * 67,3 * 14,84^{\frac{2}{3}} + 2 = 11,10 \text{ Tn}$$

Lo situaremos sobre la mecha del timón a la altura de la limera.

3.2.1.6 Peso de los Equipos de Salvamento y Contraincendios

Lo descomponemos en las dos siguientes partidas:

1. Peso de equipo de salvamento:

$$P1 = 9,5 + (n - 30) * 0,1 + b$$

donde: $n = \max(\text{personas a bordo}; 30) = 30$

$b = 3,5$ para el caso de botes cerrados

sustituyendo: $P1 = 9,5 + (30 - 30) * 0,1 + 3,5 = 13 \text{ Tn}$

Siendo conservadores situaremos el centro de gravedad del equipo de salvamento a la altura de la primera cubierta de la zona de habilitación.

2. Peso del equipo contraincendios

$$P2 = 0,0025 * V_{CM} + 1$$

donde: $V_{CM} = 0,5 * LM * B * D = 0,5 * 25,95 * 42,4 * 21,55 = 11855 \text{ m}^3$

$$P2 = 0,0025 * 11855 + 1 = 29 \text{ Tn}$$

Este lo situaremos en la cámara de máquinas, casi a la altura de la plataforma superior (15 metros), por situarse en esta la parte mas importante del mismo.

Y sumando estas dos partidas:

$$P_{salvCont} = P1 + P2 = 13 + 29 = 42 \text{ Tn}$$

3.2.1.7 Peso de la Instalación Eléctrica

Para buques cuya eslora es mayor de 60m, como es nuestro caso, se estimará el valor del peso de esta partida mediante la expresión:

$$P_{IE} = \frac{L * Ic / 60 + Pm}{1000}$$

$Pm =$ Potencia de la planta auxiliar = 2850 kW

$L =$ Eslora entre perpendiculares = 245,05 m

$Ic =$ longitud de cables = $1,82 + 0,268 * L + 0,000597 * L^2 = 103,34$

$$P_{IE} = \frac{245,05 * 103,34 / 60 + 2850}{1000} = 2,85 \text{ Tn}$$

La situaremos en la sección media a la altura del puntal.

3.2.1.8 Peso de Tuberías y Bombas del Casco

Se estima mediante la siguiente expresión, con L y B expresadas en metros:

$$P_{tb} = 0,0047 * L * \sqrt{L * B} = 117,4 \text{ Tn}$$

Situaremos su centro de gravedad también en la sección media a la altura del puntal.

3.2.1.9 Peso de la Habilitación

La habilitación de nuestro buque estará dimensionada para el número total de 30 tripulantes, que se distribuirán de la siguiente forma:

Los 9 oficiales contarán con un apartamento cada uno (dormitorio, despacho y aseo). Los 3 cadetes y los 4 suboficiales tendrán una cabina sencilla cada uno, con 1 baño compartido entre los 3 cadetes y 2 baños a compartir entre los 4 suboficiales.

Los 14 tripulantes restantes se repartirán en cabinas dobles y tendrán 4 baños a compartir.

La superficie total de habilitación, situada toda ella en la construcción de popa, la hemos aproximado a partir del perfil presentado en el Cuaderno 1, obteniendo:

$$S_h = 1375 \text{ m}^2$$

Los datos extraídos del libro “Proyectos de Buques y Artefactos” son los siguientes:

- Subpavimento = 28 kg/m²
- Aislamiento acústico = 16 kg/m²
- Pavimento PVC = 4 kg/m²
- Moqueta = 9 kg/m²
- Techos = 17 kg/m²
- Aislamiento = 8 kg/m²

$$Ph_1 = (28 + 16 + 4 + 9 + 17 + 8) * S_H = 112 \text{ Tn}$$

- | | |
|-----------------------------|---|
| - Aseo (unidad) = 0,5 Tn | $P_{aseos} = 7 * 0,5 = 3,5 \text{ Tn}$ |
| - Apartamento = 0,797 Tn | $P_{apartamentos} = 9 * 0,797 = 7,17 \text{ Tn}$ |
| - Cabina Sencilla = 0,36 Tn | $P_{cabinaSencilla} = 7 * 0,36 = 2,52 \text{ Tn}$ |
| - Cabina Doble = 0,41 Tn | $P_{cabinaDoble} = 7 * 0,41 = 2,87 \text{ Tn}$ |

El peso del aire acondicionado se estima mediante la siguiente expresión:

$$P_{AA} = 0,020 * S_h = 0,02 * 1375 = 27,5 \text{ Tn}$$

Por último el peso restante de habilitación se calcula mediante la expresión:

$$P_{restante} = (10,5 * S_h + 400 * N_R + 200 * (N_A + N_{CI} + N_{CD}))/1000$$

Siendo:

Sh = Superficie de Habilitación (1375 m²)

NR = número de otros espacios (lo estimaremos en 10)

NA = número de apartamentos (9)

NCI = número cabinas individuales (7)

NCD = número cabinas dobles (7)

$$P_{restante} = \left(10,5 * 1375 + 400 * 10 + 200 * \frac{9 + 7 + 7}{1000} \right) = 20,63 \text{ Tn}$$

Finalmente, el peso total de la habilitación será:

$$P_{HABILITACIÓN} = 112 + 3,5 + 7,17 + 2,52 + 2,87 + 27,5 + 20,63 = 176 \text{ Tn}$$

Este lo situaremos en la zona de la habilitación a la altura del tercer nivel de la misma.

3.2.1.10 Peso de Cierres y Diversos Accesos

1. Peso de Escotillas

$$P = 0,15 * (2 * N + 5) = 2,85 \text{ Tn}$$

Donde: N = Número de Bodegas = 7

Situaremos su centro de gravedad algo a proa de la sección media y a una altura de 23,8 metros sobre la línea de base, lo que equivale a 2,3 metros por encima del puntal.

2. Peso de Registros y Escalas Verticales

$$P = 0,1 * (N_c + 1) + 0,23 * (2 * N + N_T + 2) = 14,36 \text{ Tn}$$

Donde: N_c = número de casetas de chigres = 0

N_t = número de tanques = 46

Situaremos su centro de gravedad en la sección media y a media altura del puntal.

3. Peso de Puertas de Acero

$$P = 0,56 * (N_H + 1) + 0,28 * N_c = 4,48 \text{ Tn}$$

Donde: N_H = número de cubiertas de alojamiento = 6

Situaremos su centro de gravedad en el mismo punto que la habilitación, a la altura del tercer nivel de esta.

4. Peso de Portillos y Ventanas

$$P = 0,12 * n = 3,6 \text{ Tn}$$

Donde: n = número de tripulantes = 30

Misma situación que la partida anterior.

5. Peso de Escaleras Exteriores

$$P = 0,8 * N_H + 0,6 = 5,4 \text{ Tn}$$

Situaremos su centro de gravedad en la zona de popa de la habilitación a la misma altura que las partidas anteriores, en torno al tercer nivel de la habilitación.

6. Peso del Barandillado

$$P = 0,245 * (N_H + 2) + 0,03 * L = 9,04 \text{ Tn}$$

Situaremos su centro de gravedad en la sección media a la altura del puntal.

7. Peso de la Escala Real

$$P = 0,15 * E_s = 2,25 \text{ Tn}$$

Donde: E_s = Longitud de la Escala Real = 15m

Situaremos su centro de gravedad algo a popa de la sección media y a la altura del puntal.

8. Peso de las Tapas de Escotilla

Estimaremos su peso mediante el método desarrollado por el Lloyd's Register of Shipping, según el cual:

$$w_{47} = a_{47} * A^{b_{47}}$$

Donde:

w_{47} = Peso en toneladas de las tapas de escotilla

a_{47} = Coeficiente de regresión obtenido de los criterios de Lloyd's para bulkcarriers = 0,247

b_{47} = Índice de regresión obtenido de los criterios e Lloyd's para bulkcarriers = 1

A = Área de las tapas de escotilla 1 en m² = 297 m²

A = Área de las tapas de escotilla 2,3,4,5,6 y 7 en m² = 409 m²

$$w_{47}(\text{escotilla1}) = 0,247 * 297^1 = 73 \text{ Tn}$$

$$w_{47}(\text{escotilla2,3,4,5,6,7}) = 0,247 * 409^1 = 101 \text{ Tn}$$

Peso total para las 7 escotillas: $P = 679 \text{ Tn}$

Situaremos el centro de gravedad de cada tapa de escotilla en su posición real en el buque y a una altura 3 metros superior al puntal.

3.3 Peso de la Maquinaria (PQ)

El peso de la planta propulsora lo podemos estimar, para motores diesel lentos, mediante la fórmula:

$$PQ = \frac{21600 * (895 - 0,0025 * 21600)}{10000} = 1816 \text{ Tn}$$

El peso total de la planta propulsora se suele dividir en las siguientes partidas:

- a) Peso del motor propulsor
- b) Peso restante de la maquinaria propulsora
- c) Peso restante

a) El peso del motor principal lo podemos estimar mediante el método publicado por la Lloyd's:

$$P = a * \left(\frac{BHP}{rpm} \right)^b = 973 \text{ Tn (ESTIMACION)}$$

Donde: $a = 9,38$ $b = 0,84$

$BHP = 21600 \text{ kW}$ $rpm = 86$

También podemos obtener el peso del motor real consultando las características técnicas del mismo en la información proporcionada por el fabricante.

En nuestro caso, que ya hemos decidido el motor que se montará en nuestro barco, y tras consultar en el catálogo de la empresa WinGD, obtenemos que el peso de nuestro motor será de 561 Tn. Se puede consultar en el catálogo del motor aportado en el Cuaderno 1, o en el Anexo 1 de este Cuaderno. Usaremos este valor:

$$P = 561 \text{ Tn (REAL)}$$

Situaremos su centro de gravedad aproximadamente en mitad de la cámara de máquinas, a 26 metros de la perpendicular de popa, y a una altura de casi 7 metros sobre la línea de base, guiándonos por la información de altura proporcionada por el fabricante.

- b) El peso restante de la maquinaria propulsora lo estimamos mediante la fórmula dada por el método de la Lloyd's:

$$Pr = c * BHP^d = 574 \text{ Tn}$$

Donde: $c = 0,56$ $d = 0,7$

Esta partida la situaremos en la misma posición que el motor principal.

- c) El peso restante referido a la cámara de máquinas lo estimamos mediante la fórmula proporcionada por el Lloyd's:

$$P = k * VE * I + h * Ef * (j * L + 5) = 395 \text{ Tn}$$

Donde: $k = 0,0295$ $h = 1$

$I = 1$ $j = 0,0164$

$VE = \text{Vol. De la cámara de maquinas} = 11855 \text{ m}^3$

$Ef = \text{longitud línea de ejes fuera de la cámara de máquinas} = 5,1 \text{ m}$

$L = \text{Eslora entre perpendiculares} = 245,05 \text{ m}$

Y por último esta otra partida también tendrá la misma situación que las dos anteriores.

Finalmente, el peso total de esta partida siguiendo el método del Lloyd's, pero teniendo en cuenta el peso real del motor en lugar de la estimación del mismo, es:

$$P = 561 + 574 + 395 = 1530 \text{ Tn}$$

Como podemos observar la diferencia entre la estimación inicial y el peso final es similar a la diferencia entre el peso real del motor empleado y la estimación del peso del mismo por el método de Lloyd's, de modo que tomaremos como correcto este valor.

Además, en esta partida debemos incorporar el valor del peso de los grupos generadores auxiliares y del generador de emergencia de los que irá provisto nuestro buque.

Generador de cola

El peso del generador de cola (P_{GE}) se calcula mediante la expresión:

$$P_{GE} = \frac{4,485 * (KVA) + 0,000455 * KVA^2}{1000}$$

$$P_{GE} = \frac{4,485 * \left(\frac{750}{0,8}\right) + 0,000455 * \left(\frac{750}{0,8}\right)^2}{1000} = 4,6 \text{ Tn}$$

Esta partida tendrá la misma situación que las anteriores.

Generadores auxiliares y generador de emergencia

Tras el estudio realizado se decidió emplear tres motores auxiliares duales de la marca **MAN**, modelo **L28/32S-DF-5L** que desarrolla 950 kW de potencia trabajando a 720-750 rpm. Su peso en seco será de 32,6 Tn. Adjunto su información como Anexo 1.

Su situación será la misma que las partidas anteriores.

Como generador de emergencia emplearemos un motor de la marca **MAN**, concretamente el modelo **L16/24-5L**, que entregará 475 kW de potencia. Su peso en seco es de 3,15 Tn, y tiene las características que se adjuntan en la hoja de información del mismo en el Anexo 1.

La situación del generador de emergencia será en la misma posición longitudinal que las demás partidas, pero a la altura del puntal por situarse este por encima de la cubierta principal.

Al peso de ambos motores hay que añadirle el peso del polín, que podemos estimar mediante la fórmula:

$$P_{AUXILIAR} = Pot * \frac{4,5}{rpm} = 950 * \frac{4,5}{750} = 5,7 Tn$$

$$P_{EMERGENCIA} = Pot * \frac{4,5}{rpm} = 200 * \frac{4,5}{1500} = 0,6 Tn$$

Por lo que el peso de la instalación eléctrica correspondiente a los 3 motores auxiliares será:

$$P = 3 * (32,6 + 5,7) = 114,9 Tn$$

y para el generador de emergencia:

$$P = 1 * (3,15 * +0,6) = 3,75 Tn$$

La última partida considerada en este apartado es el peso de la línea de ejes fuera de la cámara de máquinas, que lo podemos calcular mediante la siguiente fórmula:

$$WQE = kne * l_{eje} * (5 + 0,0164 * Lpp) = 45,99 Tn$$

Donde: $kne = 1$ $l_{eje} \approx 5,1$

Su situación será más a popa que las partidas anteriores y un par de metros por debajo también, en torno a los 4 metros, altura desde la línea de base que tendrá, aproximadamente, el eje de la hélice.

3.4 Centro de Gravedad del peso en Rosca

Ahora presentamos diferentes fórmulas para la estimación de la posición vertical de las distintas partidas del peso en rosca, pero en la tabla resumen del final será calculado por la distribución de pesos realizada.

3.4.1 Centro de gravedad de la estructura

$$ZS = (0,725 - 0,000728 * L) * D = 11,78 m \quad (\text{Expresión de Taggart})$$

$$ZS = \left[0,44 + 0,00155 * (0,85 - Cbd) * \left(\frac{L}{D}\right)^2 \right] * D = 9,28 m \quad (\text{Expresión de Scheekluth})$$

Donde: $Cbd = \text{coeficiente de bloque al puntal} = 0,896$

Con el promedio de estos dos valores y el valor calculado en el apartado 3.1.1 mediante las Fórmulas de J.L. García Garcés.

$$ZS = \frac{10,69 + 11,78 + 9,28}{3} = 10,58 \text{ m}$$

3.4.2 Centro de gravedad de la maquinaria

$$ZQ = 0,17 * T + 0,36 * D = 10,28 \text{ m}$$

3.4.3 Ordenada del centro de gravedad del equipo

Para buques con esloras comprendidas entre 125 y 250 m el centro de gravedad se puede estimar mediante la expresión:

$$ZQ = D + 1,25 + 0,01 * (L - 125) = 24 \text{ m}$$

3.5 Presentación de Datos

En las siguientes tablas extraídas de un Excel mostraré los resultados obtenidos a lo largo del presente estudio:

3.5.1 Estructura

ESTRUCTURA						
	DESCRIPCION	PESO (Tn)	LONGITUDINAL		VERTICAL	
			Dist desde P.P. (m)	MOMENTOS (Tn x m)	Dist desde L.B. (m)	MOMENTOS (Tn x m)
1	CASCO	18215	118,23	2153559	10,69	194718
	TOTAL	18215	118,23	2153559	10,69	194718

3.5.2 Equipo y habilitación

HABILITACIÓN Y EQUIPOS						
	DESCRIPCION EQUIPOS	PESO (Tn)	LONGITUDINAL		VERTICAL	
			Dist desde P.P. (m)	MOMENTOS (Tn x m)	Dist desde L.B. (m)	MOMENTOS (Tn x m)
2	PINTURA	103	122,53	12620	10,78	1110
3	PROTECCIÓN CATÓDICA	12	122,53	1470	7,74	93
4	EQUIPO AMARRE Y FONDEO	464	234,67	108885	25,48	11822
5	EQUIPO DE NAVEGACIÓN	2	28,04	56	42,88	86
6	EQUIPO GOBIERNO	11,1	0,52	6	12,96	144
7	EQUIPO DE SALVAMENTO	13	31,48	409	27,59	359
8	CONTRAINCENDIOS	29	23,26	675	14,14	410
9	INSTALACIÓN ELÉCTRICA	2,85	122,53	349	21,55	61
10	TUBERÍAS Y BOMBAS DE CASCO	117,4	122,53	14384	21,55	2530
11	HABILITACIÓN	176	31,15	5482	33,01	5810
12	ESCOTILLAS	2,85	132,70	378	23,79	68
13	REGISTROS Y ESCALERAS VERTICALES	14,36	122,53	1759	10,78	155
14	PUERTAS DE ACERO	4,48	32,19	144	33,01	148
15	PORTILLOS Y VENTANAS	3,6	32,19	116	33,01	119
16	ESCALERAS EXTERIORES	5,4	25,96	140	33,01	178
17	BARANDILLADO	9,04	122,53	1108	21,89	198
18	ESCALA REAL	2,25	118,37	266	21,55	48
	ESCOTILLAS DE CARGA:					
19	ESCOTILLA BODEGA Nº1	73	216,50	15804	24,36	1778
20	ESCOTILLA BODEGA Nº2	101	192,09	19402	24,36	2460
21	ESCOTILLA BODEGA Nº3	101	165,10	16675	24,36	2460
22	ESCOTILLA BODEGA Nº4	101	136,54	13791	24,36	2460
23	ESCOTILLA BODEGA Nº5	101	109,03	11012	24,36	2460
24	ESCOTILLA BODEGA Nº6	101	80,99	8180	24,36	2460
25	ESCOTILLA BODEGA Nº7	101	52,96	5349	24,36	2460
	TOTAL	1651,33	144,41	238461	24,15	39876

3.5.3 Maquinaria

MAQUINARIA						
	DESCRIPCION EQUIPOS	PESO (Tn)	LONGITUDINAL		VERTICAL	
			Dist desde P.P. (m)	MOMENTOS (Tn x m)	Dist desde L.B. (m)	MOMENTOS (Tn x m)
26	MOTOR PROPULSOR	561	25,96	14563	6,73	3778
27	GENERADORES DUAL	114,9	25,96	2983	6,73	774
28	GENERADOR DIESEL DE EMERGENCIA	3,75	25,96	97	21,55	81
29	GENERADOR DE COLA	4,6	25,96	119	6,73	31
30	RESTO DE LA MAQUINARIA PROPULSORA	574	25,96	14900	6,73	3866
31	OTROS ELEMENTOS DE MAQUINARIA	395	25,96	10254	6,73	2660
32	LINEA DE EJES FUERA DE C.MÁQUINAS	46	9,35	430	4,15	191
TOTAL		1699,25	25,51	43346	6,70	11380

3.5.4 Peso en Rosca y Centro de gravedad

PESO EN ROSCA Y CENTRO DE GRAVEDAD

DESCRIPCION EQUIPOS	PESO (Tn)	LONGITUDINAL		VERTICAL	
		Dist desde P.P. (m)	MOMENTOS (Tn x m)	Dist desde L.B. (m)	MOMENTOS (Tn x m)
CASCO	18215	118	2153559	11	194718
EQUIPOS	1651	144	238461	24	39876
MAQUINARIA	1699	26	43346	7	11380
MARGEN (+5%)	1078	1	0	1	0
PESO ROSCA CONSIDERADO	22644	108,55	2435366	11,36	245974

Como podemos observar se ha añadido un margen del 5% del peso en rosca para compensar la posible inexactitud en la estimación de alguna partida, así como la omisión de alguna otra. Asimismo, para intentar aproximarlos más a la realidad se suma 1 metro a la posición longitudinal del centro de gravedad, y medio metro a la posición vertical del mismo.

Finalmente obtenemos:

$$PR = 22644 \text{ Tn}$$

Con su centro de gravedad en:

$$X_G = 108,55 \text{ m}$$

$$Z_G = 11,36 \text{ m}$$

4 COMPROBACIÓN DEL PESO MUERTO

El desplazamiento de nuestro buque es:

$$\Delta = 1,03 * 0,894 * 245,05 * 42,4 * 14,86 = 142172 \text{ Tn}$$

Como el valor de nuestro peso muerto está fijado por las RPA en 120000 TPM, a este valor le sumaremos el Peso en Rosca para comprobar que cumple con el desplazamiento.

$$PM = \Delta - PR = 142172 - 22644 = 119528 \text{ TPM}$$

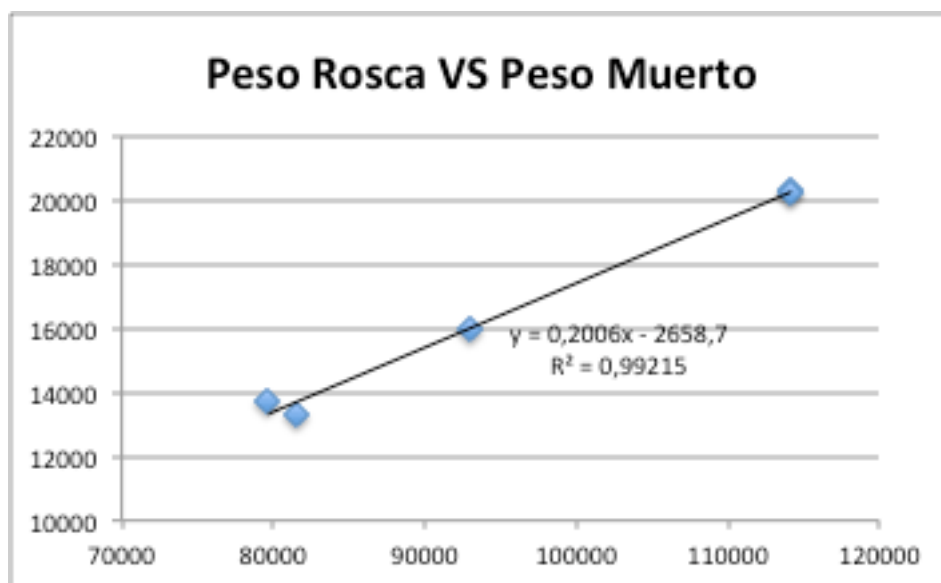
Como podemos observar nuestro peso en rosca, tras el margen del 5%, es 472 Tn superior al máximo para cumplir la RPA con nuestro desplazamiento. Estas 472 Tn en el desplazamiento de nuestro barco representa un 0,33 %.

Tras realizar diversas comprobaciones decido dar por válido el Peso en Rosca obtenido en nuestro cálculo de 22652 Tn, pese a faltar 472 Tn para cumplir el desplazamiento calculado, por la siguiente razón:

Realizando una regresión de los roscas de buques en mi base de datos hemos obtenido los siguientes resultados:

		DESPLAZ	PESO ROSCA	PESO MUERTO
1	Giewont	93377	13728	79649
2	Prime Rose	94867	13272	81595
8	Ocean Garnet	109000	16000	93000
12	Anangel Dawn	129366	20285	114091
13	Nord Delphinus	134376	20208	114168

Que representando el Peso en Rosca frente al Peso muerto obtenemos la siguiente recta de regresión:



$$PR = 0,2006 * PM - 2658,7$$

Calculando el Peso en Rosca para nuestro buque según esta regresión lineal, sabiendo que el Peso Muerto fijado en las RPA es de 120.00 TPM nos da como resultado:

$$PR= 21413,30$$

Este rosca es muy próximo al que hemos calculado nosotros mediante el desglose de pesos, y además cumpliría con el desplazamiento de nuestro buque. **Lo cual nos lleva a aceptar el valor calculado del Peso en Rosca de 22644 Tn como válido**, considerando posibles ajustes mínimos en las formas del buque en el Cuaderno 3 para cumplir la RPA del peso muerto fijada en 120.000 TPM.

Posibles Soluciones

Para obtener un desplazamiento de 142644 Tn y así cumplir exactamente con el requerimiento de:

$$\Delta = PM + PR$$

Bastaría con aumentar nuestro calado hasta 14,90 m, lo cual se llevará a cabo en la obtención de las formas finales de nuestro buque de proyecto a lo largo del Cuaderno 3.

5 CARGA ÚTIL

Realizaremos la misma estimación de los pesos de nuestro buque que ya hemos hecho en el Cuaderno 1, pero ahora ya conociendo los valores exactos de consumo de nuestros motores. Igual que en el Cuaderno 1 seguiremos íntegramente el libro Proyectos de Buques y Artefactos del Profesor Fernando Junco Ocampo.

5.1 Peso muerto

Nuestro peso muerto viene fijado en las RPA en la cifra de 120.000 TPM, de modo que a partir de este dato debemos valorar el resto de partidas del buque que se dividen en:

- Carga útil
- Consumos
- Tripulación
- Pertrechos

5.1.1 Consumos

Serán calculados para una autonomía de 12.000 millas para la velocidad de servicio fijada en 14 nudos.

5.1.1.1 Combustibles

Utilizaremos principalmente diésel, pero también habrá un consumo de Gas Natural Liquado en los motores auxiliares ya que emplearemos motores auxiliares duales (Fuel-GNL).

El consumo específico de diésel de nuestro motor, extraído del catálogo de WinGD será de 163,2 g/kW*h al 85% de su capacidad y a las revoluciones necesarias para impulsar el barco a una velocidad de 14 nudos. Para nuestros cálculos del Cuaderno 1 habíamos estimado un consumo de 165 g/kW*h, por lo que se ajustaba mucho a la realidad, pero la potencia del real será mayor que la obtenida en la estimación de las alternativas: 17707 kW frente a 21660 kW del real. El consumo de diesel para los generadores auxiliares durante la navegación se seguirá estimando en 182 g/kW*h puesto que la marca MAN no facilita el dato exacto del generador escogido, sino simplemente un estimación del mismo.

$$\text{Consumo Diesel} = \frac{\text{Autonomía}}{V_{\text{servicio}}} * \text{Consumo} \left(\frac{g}{kW} * h \right) * \text{Potencia} * \text{Régimen}$$

$$\text{Consumo Diesel PRINCIPAL} = \frac{12000}{14} * 163,2 * 21660 * \frac{1}{10^6} * 0,85 = 2575,43 t$$

$$\text{Consumo Diesel AUX NAVEGACION} = \frac{12000}{14} * 182 * 1900 * \frac{1}{10^6} * 0,85 = 251,92 t$$

$$\text{Consumo Diesel TOTAL} = 2575,43 + 251,92 = 2827,35 t$$

El consumo de GNL en principio se limitará a las estancias en puerto, pese a poder emplearse también en navegación al entrar en alguna zona con limitación de emisiones contaminantes, pero como esto resulta difícil de predecir, y además la calificación de estas zonas variará con el tiempo, supondremos que se usará solo en puerto.

Y en este caso mantendremos la estimación del Cuaderno 1 puesto que MAN no facilita el consumo exacto de los Generadores Duales, más allá de una estimación de consumo de GNL de 182 g/kW*h.

Teniendo en cuenta que para descargar el barco empleará normalmente 4 días, y 3 para cargar con 1 día de margen por posibles malas situaciones de la mar o similares, la estancia media en puerto será de 8 días. Y supondremos que el buque podrá repostar GNL en 1 de cada 3 puertos entre los que opere.

La potencia de la planta de generación auxiliar empleada en puerto será de 1900 kW porque emplearemos 2 de los 3 generadores duales auxiliares y cada uno tendrá una potencia de 950 kW.

$$\text{Consumo GNL} = \text{horas funcionamiento} * \text{Consumo} \left(\frac{g}{kW} * h \right) * \text{Potencia} * \text{Régimen}$$

$$\text{Consumo GNL} = 3 * 8 * 24 * 182 * 1900 * \frac{1}{10^6} * 0,85 = 169,30 \text{ Tn}$$

5.1.1.2 Aceite

Para la estimación de consumo de aceite emplearemos el 3% del total de los combustibles empleados:

$$\text{Consumo aceite} = 0,03 * (\text{diesel} + \text{GNL})$$

$$\text{Consumo aceite} = 0,03 * (2827,35 + 169,3) = 89,9 \text{ Tn}$$

5.1.1.3 Agua dulce

El agua dulce que consumirá la tripulación se estimará mediante la relación:

$$\text{Consumo agua dulce} = 90 \text{ litros} * \text{tripulación} * \frac{\text{autonomía}}{\text{velocidad} * \text{horas}}$$

$$\text{Consumo agua dulce} = 90 * 30 * \frac{12000}{14 * 24} = 96428 \text{ litros} = 96,42 \approx 97 \text{ Tn}$$

5.1.1.4 Víveres

La recomendación de víveres por persona y día en un buque mercante del libro Proyectos del Buque estima 5kg para buques mercantes.

$$\text{Consumo víveres} = 5 * \text{tripulación} * \frac{\text{autonomía}}{\text{velocidad} * \text{horas}}$$

$$\text{Consumo víveres} = 5 * 30 * \frac{12000}{14 * 24} = 5,358 \text{ Tn} \approx 5,4 \text{ Tn}$$

La suma de todos los consumos será:

$$\text{Consumos} = 3188,95 \text{ Tn} \approx 3189 \text{ Tn}$$

5.1.2 Tripulación

Para calcular el peso de la tripulación consideraremos 125 kg por cada tripulante:

$$\text{Peso tripulación} = 125 * 30 = 3,75 \text{ Tn}$$

5.1.3 Pertrechos

Según el libro de la asignatura proyectos esta partida variará entre 10 y 100 Tn según el tamaño del buque. Para nuestro buque, relativamente grande, tomaremos el valor de 60 Tn.

5.1.4 Carga útil

Tras haber hecho todos los cálculos anteriores y teniendo en cuenta que nuestro peso muerto viene determinado en las RPA con un valor de 120.000 TPM, la carga útil será:

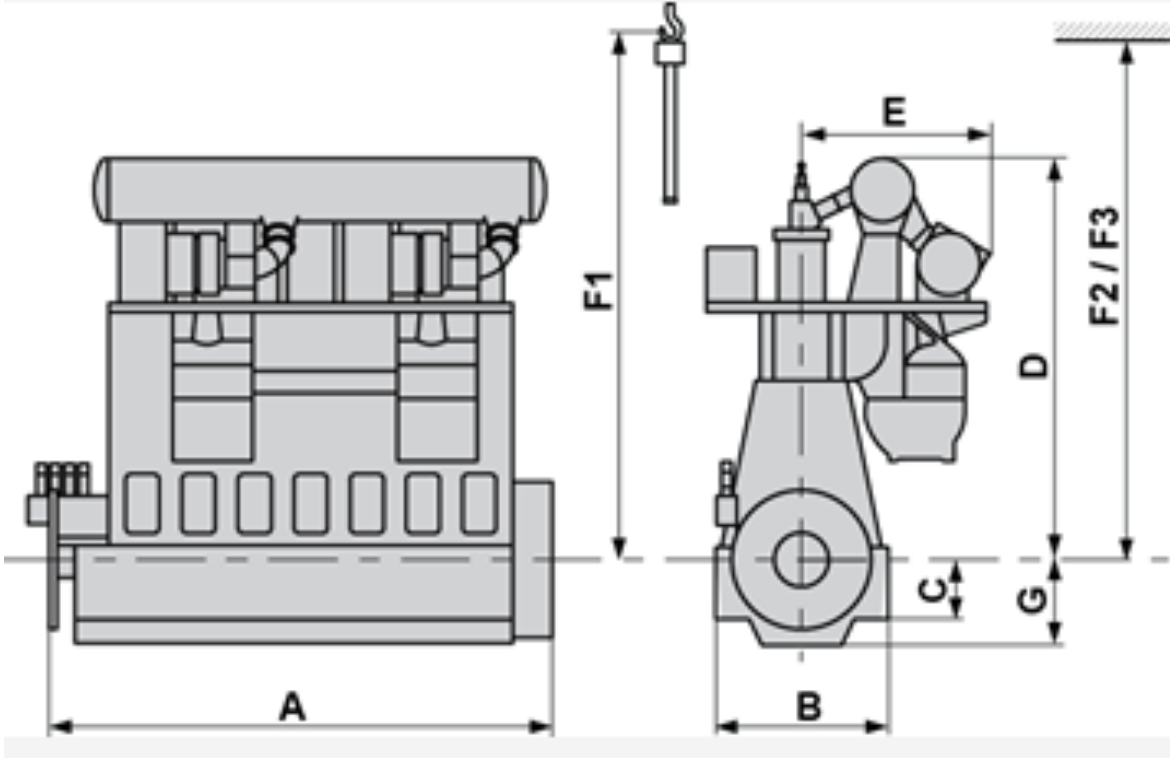
$$Carga\ útil = Peso\ Muerto - Consumos - Tripulación - Pertrechos$$

$$Carga\ útil = 120.000 - 3189 - 3,75 - 60 = 116747\ Tn$$

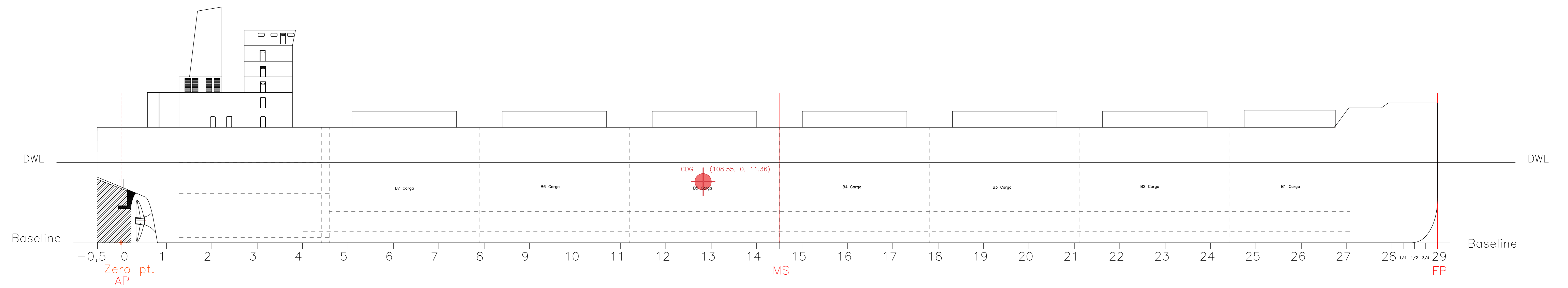
6 ANEXO 1_ INFORMACIÓN MOTORES

Motor Principal

WinGD X72		IMO Tier II/Tier III (SCR)				
Cylinder bore	720 mm					
Piston stroke	3086 mm					
Speed	66–89 rpm					
Mean effective pressure at R1/R1+	20.5/19.4 bar					
Stroke / bore	4.29					
Rated power, principal dimensions and weights						
Cyl.	Output in kW at				Length A mm	Weight tonnes
	84 / 89 rpm		66 rpm			
	R1 / R1+	R2 / R2+	R3	R4		
4	14 440	10 800	11 360	8 480	6 790	407
5	18 050	13 500	14 200	10 600	8 085	481
6	21 660	16 200	17 040	12 720	9 375	561
7	25 270	18 900	19 880	14 840	10 665	642
8	28 880	21 600	22 720	16 960	11 960	716
Dimensions (mm)	B	C	D	E		
	4 780	1 575	10 790	4 710		
	F1	F2	F3	G		
	13 560	13 560	12 580	2 455		
Brake specific fuel consumption (BSFC) in g/kWh						
Full load						
Rating point		R1/R1+	R2/R2+	R3	R4	
BMEP, bar		20.5/19.4	15.4/14.5	20.5	15.4	
BSFC	Standard Tuning	167/166	160	167	160	
Part load, % of R1/R1+	85	70	85	70	65	
Tuning variant	Standard	Standard	Delta	Delta	Low-Load	
BSFC	163.2/162.2	162.8/161.8	162.5/161.5	161.3/160.3	158.0/157.2	



7 ANEXO 2_PLANO CDG



Alumno		Diego Carral Amedo			
		BULKCARRIER NEOPANAMAX 120.000 TPM			
		TITULO DEL PLANO CENTRO DE GRAVEDAD (CDG)			
PROYECTO N° 18-12		FECHA	JULIO 2018	FORMATO	A2
		ESCALA	1/250	HOJA	1/1