



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

Trabajo Fin de Grado

CURSO 2020/21

*BUQUE PORTACONTENEDORES DE 20000 TEUS
ADAPTADO A RUTA ASIA - EUROPA*

Grado en Ingeniería Naval y Oceánica

ALUMNO

Miguel Ángel Rodríguez González

TUTOR

Luis Manuel Carral Couce

FECHA

Septiembre 2021



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

**TRABAJO FIN DE GRADO
CURSO 2020/21**

*BUQUE PORTACONTENEDORES DE 20000 TEUS
ADAPTADO A RUTA ASIA - EUROPA*

Grado en Ingeniería Naval y Oceánica

Cuaderno 2

**“ESTUDIO DE PESOS Y CENTROS DE GRAVEDAD DEL
PESO EN ROSCA”**

ÍNDICE

1 RPA.....	5
2 Resumen.....	6
2.1 Castellano.....	6
2.2 Gallego	6
2.3 Inglés	6
3 Introducción	7
4 Determinación de pesos.....	10
4.1 Primera Aproximación del Peso en Rosca	10
4.2 Peso de la Estructura.....	11
4.2.1 Cálculo del Peso de Acero	11
4.2.1.1 Método de Chapman.....	11
4.2.1.2 Método de D.G.M. Watson y A.W. Gilfillan	11
4.2.1.3 Método de A. Osorio	11
4.2.1.4 Fórmula de Kupras.....	12
4.2.1.5 Fórmula de Taggaet.....	13
4.2.1.6 Fórmula de J. L. García Garcés.....	13
4.2.2 Cálculo del peso de la amurada reforzada	14
4.3 Cálculo del peso de la Maquinaria.....	14
4.3.1 Peso de la Maquinaria Propulsora	14
4.3.2 Peso de la Maquinaria Restante	15
4.3.3 Peso de la hélice.....	16
4.3.4 Peso de la Instalación Contraincendios en Cámara de Máquinas.....	16
4.3.5 Peso de la línea de ejes.	17
4.3.6 Peso de piezas de Respeto, Cargos de cámara de máquinas y líquidos en circuitos incluidos en el peso en rosca.	17
4.3.7 Peso de los Tecles	18
4.3.8 Peso de Tanques varios.....	19
4.3.9 Peso de tuberías y bombas en cámara de máquinas	19
4.4 Cálculo del peso de Equipos y Habilitación.....	20
4.4.1 Peso de la habilitación.....	20
4.4.2 Peso de la protección anticorrosiva	21
4.4.2.1 Peso de la Pintura del buque (Pi):	21
4.4.2.2 Peso de la Protección catódica.....	21
4.4.3 Peso del equipo de navegación	21
4.4.4 Peso del equipo de gobierno.....	22

4.4.5	Peso de los Equipos de Salvamento y Contraincendios	23
4.4.5.1	Peso de los Equipos de Salvamento, PL.....	23
4.4.5.2	Peso del Equipo Contraincendios en Bodegas, PI.....	23
4.4.6	Peso del equipo de la chimenea	24
4.4.7	Peso del aire acondicionado	24
4.4.8	Peso de tuberías y bombas en el casco	25
4.4.9	Peso de las trincas	25
4.4.10	Peso de las guías en buques portacontenedores.....	26
5	Resumen de Pesos, Centros de Gravedad y Momentos	27
5.1	Resumen de pesos de la maquinaria	27
5.2	Resumen de pesos de equipos y habilitación	28
5.3	Peso en rosca total	29
6	Carga Útil.....	30
6.1	Carga útil	30
6.2	Consumos	30
6.2.1	Combustible	30
6.2.2	Aceite	31
6.2.3	Agua dulce, agua de alimentación y agua potable.	31
6.2.4	Víveres	31
6.3	Tripulación y pasaje	32
6.4	Pertrechos	32
6.5	Comprobación de la carga útil	32
7	Situación de los centros de gravedad.....	33
7.1	Posición en el plano de los centros de gravedad.....	34

1 RPA

Escola Politécnica Superior



GRADO EN INGENIERÍA NAVAL Y OCEÁNICA

TRABAJO FIN DE GRADO

PROYECTO NÚMERO

TIPO DE BUQUE: Portacontenedores con ruta Asia - Norte de Europa.

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

CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA: 20000 TEUS

VELOCIDAD Y AUTONOMÍA: 20 nudos en condiciones de servicio y 20000 millas de autonomía.

SISTEMAS Y EQUIPOS DE CARGA / DESCARGA: Sin medios propios de carga/descarga.

PROPULSIÓN: Motor Diésel.

TRIPULACIÓN Y PASAJE: 40 tripulantes en camarotes dobles e individuales.

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

Ferrol, 4 Octubre 2020

ALUMNO/A: **D Miguel Ángel Rodríguez González**

2 RESUMEN

2.1 Castellano

La finalidad del presente Trabajo Fin de Grado es el dimensionamiento y definición de un buque portacontenedores, cumpliendo con la RPA establecida. Una de las principales características es que es un buque de carga normalizada que ha de transportar 20000 TEUS, lo cual afecta a las dimensiones del mismo. Este portacontenedores será diseñado para dar servicio a la ruta Asia – Norte de Europa, por lo que ha de tener una autonomía que le permita realizar un trayecto de unas 20000 millas.

2.2 Gallego

A finalidade do presente Traballo de Fin de Grao é o dimensionamento e definición dun buque portacontenedores, cumprindo co establecido na RPA. Unha das principais características é que é un buque de carga normalizada que transporta 20000 TEU's, o cal afecta as dimensións do mesmo. Este portacontenedores deseñarase para dar servizo a ruta Asia – Norte de Europa, polo que terá unha autonomía que permita realizar o traxecto dunhas 20 000 millas.

2.3 Inglés

The purpose of this Final Degree Project is the dimensioning and definition of a container ship, complying with the established RPA. One of the main characteristics is that it is a standardized cargo ship and that it has to transport 20000 TEUS, which affects its dimensions. This container ship will be designed to serve the Asia - North Europe route, so it must have an autonomy that allows it to cover a journey of about 20000 miles.

3 INTRODUCCIÓN

El objetivo de este cuaderno es hacer un cálculo más detallado del peso en rosca obtenido en el cuaderno 1, teniendo en cuenta todos los pesos y centros de gravedad de todos los elementos del buque que sean conocidos. Para todo ello se parte de las dimensiones calculadas en el Cuaderno 1, y la formulación empírica, que se muestra más adelante con un mayor detalle.

A continuación, se muestran las dimensiones obtenidas en el Cuaderno 1.

TEUS TOTALES	20000 TEUS
TEUS BODEGA	8518 TEUS
TEUS CUBIERTA	11481 TEUS
ESLORA TOTAL (Loa)	397,99 m.
ESLORA PERPENDICULARES (Lpp)	374,38 m.
MANGA (B)	57,97 m.
PUNTAL (D)	31,59 m.
CALADO (T)	15,25 m.
DESPLAZAMIENTO (Δ)	272608 ton
VELOCIDAD (V)	20 kn

Nº DE FROUD	0,1698
COEFICIENTE DE BLOQUE	0,7996
COEFICIENTE DE LA MAESTRA	0,9964
COEFICIENTE PRISMÁTICO	0,8025

El peso en rosca del buque, se puede dividir en tres grandes partidas compuestas por diferentes pesos, los cuales están sacados del libro "Proyectos del Buque y Artefactos" de Fernando Junco Ocampo y se muestran a continuación para tener una mayor claridad a la hora de enfrentarse a los cálculos pertinentes.

- Elemento de la estructura
 - Fondo y dobles fondos (incluye pozos de sentinas)
 - Mamparos transversales
 - Mamparos longitudinales
 - Tanques estructurales
 - Cubiertas intermedias
 - Bloque de popa (incluye codaste y arbotantes)
 - Bloque de proa (incluye caja de cadenas)
 - Forro exterior (incluye quillas de balance)
 - Cubierta superior
 - Toldilla
 - Ciudadela
 - Castillo
 - Plataformas
 - Brazolas de escotilla de bodegas de carga
 - Troncos de acceso
 - Cajas de tomas de mar
 - Amuradas
 - Cubiertas de habilitación
 - Mamparos exteriores de habilitación
 - Guardacalor
 - Mamparos exteriores de habilitación
 - Chimenea
 - Casetas de chigres, de frigorígenos, etc.

- Elementos de la maquinaria
 - Maquinaria propulsora
 - Línea de ejes reductores, chumaceras y bocinas.
 - Hélices
 - Sistema de combustible
 - Sistema de aceite
 - Sistema de aire comprimido de arranque y de control
 - Sistema de refrigeración (incluye generador de agua dulce)
 - Sistema de generación de vapor principal
 - Sistema de generación de vapor auxiliar
 - Sistema de generación e 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)
 - Sistemas de telemando en cámara de Máquinas
 - Exhaustación en cámara de maquinas
 - Pisos y tecles en cámara de máquinas
 - Ventilación mecánica en cámara de máquinas
 - Pañoles y talleres en cámara de maquinas
 - Cuadros eléctricos principales y secundarios
 - Generadores acoplados a líneas de ejes
 - Transformadores
 - Baterías
 - Grupos convertidores
 - Aparatos de alumbrado (excepto habilitación)

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

4 DETERMINACIÓN DE PESOS

4.1 Primera Aproximación del Peso en Rosca

Como primera instancia se realiza una primera estimación del peso en rosca y centros de gravedad del buque proyecto aplicando la ecuación sacada del libro de Fernando Junco Ocampo "Proyectos del Buque y Artefactos. Cálculo del Desplazamiento", concretamente la específica para portacontenedores y que es mostrada a continuación:

$$WR = 0,02144 * L^{1,5} * B * D^{0,5} + 7,9999 * BHP^{0,49855} + 0,03775 * L * B * D$$

$$ZR = 0,64193 * D + 1,02109$$

$$XR = 0,41699 * L$$

Siendo:

- WR es el peso en rosca del buque
- L es la eslora del buque
- B manga del buque
- D es el puntal del buque
- BHP es la potencia del motor propulsor

Sustituyendo en la ecuación se obtienen:

$$WR = 0,02144 * 374,38^{1,5} * 57,97 * 31,59^{0,5} + 7,9999 * 78757^{0,49855} + 0,03775 * 374,38 * 57,97 * 31,59$$

$$\mathbf{WR = 78692,237 \text{ ton}}$$

$$ZR = 0,64193 * 31,59 + 1,02109$$

$$\mathbf{ZR = 21,3 \text{ m}}$$

$$XR = 0,41699 * 374,38$$

$$\mathbf{XR = 156,11 \text{ m}}$$

Comparando con las gráficas del libro, se observa que las características de este buque se encuentran fuera del rango abarcado por esta gráfica por lo que no puede ser usada.

4.2 Peso de la Estructura

4.2.1 Cálculo del Peso de Acero

Teniendo en cuenta que en la fase de diseño del proyecto en la que se encuentra el proyecto, se desconocen muchos de los datos, se va a realizar un cálculo del peso del acero mediante una serie de fórmulas empíricas obteniendo como valor final la media entre todos los resultados de cada una de ellas.

Se utiliza la formulación empírica de buques en general mediante Watson y J. L. García Garcés y A Osorio, y mediante la específica para buques portacontenedores Chapman, todas ellas obtenidas del libro de Fernando Junco ya mencionado anteriormente y del libro "El proyecto básico del buque mercante".

4.2.1.1 Método de Chapman

$$PS1 = 0,03 * L^{1,759} * B^{0,712} * D^{0,374}$$

$$PS1 = 0,03 * 374,38^{1,759} * 57,97^{0,712} * 31,59^{0,374}$$

$$PS1 = 66040,52 \text{ ton}$$

4.2.1.2 Método de D.G.M. Watson y A.W. Gilfillan

$$PS3 = K * E^{1,36} * (0,65 + 0,5 * CB80D)$$

Siendo:

- $E = L_{pp} * (B + D) + 0,85 * L_{pp}(D - T) + 1,45 * L_{pp} - 11 = 39\ 261,09$
- $CB80D = Cb + (1 - Cb) * \frac{0,8 * D - T}{3 * T} = 0,843$
- $k = 0,034$ para portacontenedores

Sustituyendo en la ecuación:

$$PS3 = 0,034 * 39261,09^{1,36} * (0,65 + 0,5 * 0,843)$$

$$PS3 = 64872,341 \text{ ton}$$

4.2.1.3 Método de A. Osorio

$$PS3 = \left(\frac{L_{pp}}{10}\right)^{1,3760} * \left(\frac{B * D}{100}\right)^{0,7449} * (0,0542 - 0,0017 * C_b)$$

$$PS3 = \left(\frac{374,38}{10}\right)^{1,3760} * \left(\frac{57,97 * 31,59}{100}\right)^{0,7449} * (0,0542 - 0,0017 * 0,7996)$$

$$PS3 = 67370,729 \text{ ton}$$

Una vez obtenidos los pesos del acero por los diferentes métodos, se realiza una media aritmética para obtener un valor final:

$$PStot = \frac{PS1 + PS2 + PS3}{3}$$

$$PStot = \frac{66040,52 + 64872,341 + 67370,729}{3}$$

$$PStot = 65456,432 \text{ ton}$$

Una vez calculado el peso final del acero se determina el centro de gravedad de éste según varios métodos.

4.2.1.4 Fórmula de Kupras

La ecuación de Kupras se saca del libro "Proyecto del buque mercante" y como se indica anteriormente nos servirá para el cálculo del centro de gravedad.

$$ZS = 0,01 * D * \left(46,6 + 0,135 * (0,81 - Cb) * \frac{L^2}{D^2}\right) + \left(\frac{L}{B} - 6,5\right) * 0,008 * D$$

Siendo el factor de corrección para el bulbo de proa de:

$$Corrección = -0,002 * D = -0,002 * 31,59$$

$$Corrección = -0,06318$$

Sustituyendo en la ecuación principal se obtiene:

$$ZS = 0,01 * 31,59 * \left(46,6 + 0,135 * (0,81 - 0,7996) * \frac{374,38^2}{31,59^2}\right) + \left(\frac{374,38}{57,97} - 6,5\right) * 0,008 * 31,59$$

$$KG_{kupras} = 14,77 - 0,06318$$

$$KG_{kupras} = 14,71 \text{ m}$$

4.2.1.5 Fórmula de Taggaet

Este es uno de los métodos propuestos en el libro de Fernando Junco Ocampo.

$$KG_{kupras} = (0,725 - 0,0007218 * L) * D$$

Sustituyendo los datos del buque proyecto:

$$KG_{kupras} = (0,725 - 0,0007218 * 374,38) * 31,59$$

$$\mathbf{KG_{kupras} = 14,36 m}$$

4.2.1.6 Fórmula de J. L. García Garcés

Este método también está propuesto en el libro de Fernando Junco Ocampo

$$KG_{J.L.García Garcés} = 0,52207 * D + 1,1717$$

$$KG_{J.L.García Garcés} = 0,52207 * 31,59 + 1,1717$$

$$\mathbf{KG_{J.L.García Garcés} = 17,66 m}$$

$$XG_{J.L.García Garcés} = 0,37009 * L + 5,924$$

$$XG_{J.L.García Garcés} = 0,37009 * 397,99 + 5,924$$

$$\mathbf{XG_{J.L.García Garcés} = 153,22 m}$$

Finalmente, al haber obtenido el KG por diferentes métodos, se realiza la media aritmética total de todos ellos de manera que nos quedan los siguientes centros de gravedad:

$$KG_{Acero} = \frac{KG_{kupras} + KG_{Tagget} + KG_{J.L.García Garcés}}{3}$$

$$KG_{Acero} = \frac{14,71 + 14,36 + 17,66}{3}$$

$$\mathbf{KG_{Acero} = 15,58 m}$$

$$\mathbf{XG_{Acero} = XG_{J.L.García Garcés} = 153,22 m}$$

4.2.2 Cálculo del peso de la amurada reforzada

En los buques portacontenedores, debido a las formas en "U" la estructura está sometida a grandes esfuerzos. Por ello la amurada estará reforzada, el peso de la cual se calculará mediante la siguiente ecuación:

$$P_{bc} = 1,05 * (6 - 0,0021875 * L^2 + 1,1125 * L) * \frac{L_b}{1000}$$

En la ecuación anterior, se considera que L_b (longitud total de la amura) es el doble de la eslora entre perpendiculares del buque proyecto, por lo que sustituyendo obtenemos:

$$P_{bc} = 1,05 * (6 - 0,0021875 * 374,38^2 + 1,1125 * 374,38) * \frac{2 * 374,38}{1000}$$

$$P_{bc} = 91,12 \text{ ton}$$

El centro de gravedad XG, se supone igual al del acero, y el centro de gravedad KG se supone un valor igual al valor del puntal del buque más la mitad de la altura de la amurada:

$$XG_{bc} = 144,48 \text{ m}$$

$$KG_{bc} = 33,8 \text{ m}$$

4.3 Cálculo del peso de la Maquinaria

Podemos realizar el cálculo del peso de la maquinaria propulsora dividiéndolo en dos grupos principales, los cuales son el peso del motor propulsor (QP), y el peso restante de la maquinaria propulsora (RP).

4.3.1 Peso de la Maquinaria Propulsora

El peso del motor propulsor se puede hallar mediante la ecuación siguiente:

$$PQ = a * (BHP/rpm)^b$$

Siendo:

- a, b, c y d coeficientes e índices de regresión.
- BHP: potencia de freno (HP)
- rpm: revoluciones por minuto del motor

Sustituyendo en la ecuación anterior:

$$PQ = 9,38 * (82440/86,4)^{0,84}$$

$$\mathbf{PQ = 3207,54 \text{ ton}}$$

Si a continuación, se compara el valor obtenido a partir de la ecuación con el del catálogo del motor escogido en el cuaderno 1, se aprecia que el valor es muy parecido.

El valor de catálogo del peso del motor (Dry mass) es de 2 400 ton, lo cual es bastante acorde con lo calculado.

Los centros de gravedad se obtendrán a partir de la disposición general del buque, en el caso de la maquinaria propulsora, su centro de gravedad se situará en el centro geométrico de la cámara de maquinas, tal como se muestra a continuación:

$$\mathbf{XG = 73,85 \text{ m}}$$

$$\mathbf{KG = 11,8 \text{ m}}$$

4.3.2 *Peso de la Maquinaria Restante*

Para el cálculo del peso de la maquinaria se utiliza la ecuación que se muestra a continuación:

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

Siendo:

- k, l, h y j: coeficientes e índices de regresión
- VE: volumen de la cámara de maquinas
- EJ: longitud línea de ejes fuera de la cámara de máquinas
- L: eslora entre perpendiculares

En cuanto a los valores de VE y de EJ, se medirán en el buque de referencia y se escalarán para el buque proyecto de manera que:

- EJ para el buque de referencia 49,66 metros por lo que por una regla de tres para el buque proyecto 48,54 m.
- VE para el buque de referencia 26858 m³ por lo que haciendo una extrapolación al buque proyecto mediante la eslora obtenemos 26254 m³.

Sustituyendo en la ecuación:

$$PQR = 0,0295 * 26254^1 + 1 * 48,54 * (0,0164 * 374,38 + 5)$$

$$\mathbf{PQR = 1315,22 \text{ ton}}$$

La situación de los centros de gravedad se establece a partir de la posición de la cámara de máquinas obtenida de la disposición general del buque y que al igual que en el caso del motor propulsor, se establecen en:

$$\mathbf{XG = 73,85 \text{ m}}$$

$$\mathbf{KG = 11,8 \text{ m}}$$

4.3.3 *Peso de la hélice*

El peso de la hélice de nuestro buque se calcula mediante la ecuación:

$$P_H = 0,08 * d^3$$

Siendo d el diámetro del propulsor:

$$P_H = 0,08 * 9,888^3$$

$$\mathbf{P_H = 77,34 \text{ ton}}$$

En el caso de la hélice, los centros de gravedad estarán situados en la zona muy a popa del buque y en el núcleo de ésta, situándose de la siguiente manera:

$$\mathbf{XG = 12,3 \text{ m}}$$

$$\mathbf{KG = 5 \text{ m}}$$

4.3.4 *Peso de la Instalación Contraincendios en Cámara de Máquinas*

El peso de la instalación contra incendios en la cámara de máquinas será calculado mediante la siguiente ecuación:

$$PI = 0,0025 * VE + 1$$

Donde VE es el volumen en m³ de la cámara de máquinas por lo que el peso de la instalación del contra incendios en la cámara de máquinas será:

$$PI = 0,0025 * 26\ 254,16 + 1$$

$$\mathbf{PI = 66,64 \text{ Tn}}$$

Los centros de gravedad se situarán en el centro geométrico de la cámara de máquinas debido a que el equipo contraincendios estará situado en el interior de ésta:

$$\mathbf{XG = 73,85 \text{ m}}$$

$$\mathbf{KG = 11,8 \text{ m}}$$

4.3.5 *Peso de la línea de ejes.*

Como en caso anteriores, la formulación será la presentada en el libro de Fernando Junco Ocampo:

$$P_{lej} = L_{lej} * 0,081 * (n * MCR/n'/rpm)^{2/3}$$

Siendo:

- L_{lej} longitud de la línea de ejes
- n número de motores propulsores
- n' número de propulsores
- MCR en kW.

Sustituyendo en la ecuación:

$$P_{lej} = 48,54 * 0,081 * (1 * 82440/1/86,4)^{2/3}$$

$$\mathbf{P_{lej} = 381,07 \text{ ton}}$$

Los centros de gravedad se establecen por la posición geométrica de la línea de ejes según la disposición general del buque, los cuales se establecen en:

$$\mathbf{XG = 12,31 \text{ m}}$$

$$\mathbf{KG = 5,9 \text{ m}}$$

4.3.6 *Peso de piezas de Respeto, Cargos de cámara de máquinas y líquidos en circuitos incluidos en el peso en rosca.*

Según el libro de Fernando Junco la ecuación que indica este peso es:

$$P_{vario} = a * MCR + b * MCR^{0,7}$$

Siendo:

- $a = 0,0109$ para buques de mas de 736 kW de potencia
- $b = 0,07525$ para buques de más de 736 kW de potencia

Entrando en la ecuación se obtiene:

$$P_{\text{vario}} = 0,0109 * 82440 + 0,07525 * 82440^{0,7}$$

$$\mathbf{P_{\text{vario}} = 1106,61 \text{ ton}}$$

Se establecen los centros de gravedad, al igual que en casos anteriores, según la disposición general del buque, los cuales, en este caso, al igual que otros casos ya calculados se sitúan en el centro geométrico de la cámara de máquinas:

$$\mathbf{XG = 73,85 \text{ m}}$$

$$\mathbf{KG = 11,8 \text{ m}}$$

4.3.7 *Peso de los Tecles*

El peso de los tecles de la cámara de máquinas se estima mediante la ecuación relaciona la eslora de la cámara de máquinas y la manga del buque. Se hace una estimación de la eslora de la cámara de máquinas a partir del buque de referencia:

$$P_{TM} = 0,047 * lm * B * 0,6$$

Siendo como ya se ha comentado, lm la eslora de la cámara de máquinas y B la manga del buque.

$$P_{TM} = 0,047 * 24,6 * 57,97 * 0,6$$

$$\mathbf{P_{TM} = 40,22 \text{ ton}}$$

Los centros de gravedad de los tecles se situarán en el centro geométrico de la cámara de máquinas, los cuales se sitúan gracias a la disposición general del buque de referencia, de la siguiente manera:

$$\mathbf{XG = 73,85 \text{ m}}$$

$$\mathbf{KG = 11,8 \text{ m}}$$

4.3.8 *Peso de Tanques varios*

El peso de los tanques varios se refiere a los tanques que se encuentran en las cámara de máquinas y que contienen todos los fluidos necesarios para el correcto funcionamiento de los motores y todos los equipos que funcionan con ellos. Se puede estimar como:

$$P_{TV} = a + b * MCR$$

Los coeficientes a y b serán dos coeficientes y dependerán de si los MCR son superiores a 736 kW o inferior. En este caso es superior por lo que quedará como:

$$P_{TV} = 1,2 + 0,0009 * 82440$$

$$\mathbf{P_{TV} = 75,396 \text{ Ton}}$$

Los centros de gravedad, estarán situados en el centro geométrico de la cámara de máquinas, al igual que en casos anteriores, se establecerá según la disposición general del buque de referencia:

$$\mathbf{XG = 73,85 \text{ m}}$$

$$\mathbf{KG = 11,8 \text{ m}}$$

4.3.9 *Peso de tuberías y bombas en cámara de máquinas*

Este peso se refiere al peso de las tuberías y de las bombas necesarias para surtir a toda la maquinaria que se encuentra en el interior de la cámara de máquinas. Dicho peso se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$P_{TBM} = 0,014101 * MCR$$

Esta ecuación se ha de utilizar siempre y cuando $MCR > 736 \text{ KW}$, en el caso del buque proyecto, se supera con creces esta potencia del motor ya que el motor propulsor da una potencia de 82440 kW, por tanto:

$$P_{TBM} = 0,014101 * 82440$$

$$\mathbf{P_{TBM} = 1162,49 \text{ ton}}$$

Los centros de gravedad, estarán situados en el centro geométrico de la cámara de máquinas, al igual que en casos anteriores, se establecerá según la disposición general del buque de referencia:

$$\mathbf{XG = 73,85 \text{ m}}$$

$$\mathbf{KG = 11,8 \text{ m}}$$

4.4 Cálculo del peso de Equipos y Habilitación

4.4.1 Peso de la habilitación

Para el cálculo del peso de la habilitación se va a realizar una estimación a partir del plano del buque de referencia (OOCL Hong Kong), midiendo su superficie

La superficie de la habilitación por planta es de 293,88 m² por tanto la superficie total, y al tener 8 cubiertas en la zona de habilitación quedando una superficie 2351,06 m².

Este peso se establece mediante una serie de parámetros:

- Subpavimentado, $P_{SP} = 28 \text{ kg/m}^2$
- Aislamiento acústico, $P_{AA} = 16 \text{ kg/m}^2$
- Pavimentado PVC, $P_{PVC} = 10 * 0,8 \text{ kg/m}^2$
- Moqueta, $P_{SP} = 10 * 0,2 \text{ kg/m}^2$
- Techos, $P_{SP} = 17 \text{ kg/m}^2$
- Mamparos, $P_{MD} = 26 \text{ kg/m}^2$
- Aislamientos, $P_{AC} = 8 \text{ kg/m}^2$

Sumando estos datos se obtiene un valor de 103 kg/m².

Además, es necesario añadir un total de 10 aseos y 40 cabinas sencillas quedando:

- 10 aseos = 5,6 ton.
- 28 cabinas sencillas = 15,43 ton.

Por tanto, el valor final de la habilitación será:

$$P_{HAB} = 267,8 \text{ Ton}$$

Los centros de gravedad, al igual que la estimación del peso, se va a realizar mediante el plano del buque de referencia y su disposición general. En el caso de la habilitación se sitúa su centro de gravedad en el entro geométrico de la habilitación, tal y como se muestra a continuación:

$$XG = 267,4 \text{ m}$$

$$KG = 48,75 \text{ m}$$

4.4.2 *Peso de la protección anticorrosiva*

4.4.2.1 **Peso de la Pintura del buque (Pi):**

Para este caso, se plantean dos situaciones distintas en el libro de Fernando Junco Ocampo, las cuales se dividen en buques de menos de 12000 toneladas de peso de acero y para buques de más de 12000 toneladas.

En el caso del buque proyecto al ser el PS del orden de 63000 toneladas, se utiliza la segunda opción la cual se resume en la siguiente ecuación:

$$P_i = 0,006 * PS$$

$$P_i = 0,006 * 65456,43$$

$$P_i = 392,74 \text{ ton}$$

Los centros de gravedad, se establecen en el centro geométrico del buque, las cuales son:

$$XG = 200 \text{ m}$$

$$KG = 16,25 \text{ m}$$

4.4.2.2 **Peso de la Protección catódica**

Peso de la protección catódica del casco por ánodos de sacrificio, Pcc. Como se desconoce el número de ánodos y el número de años que se usarán:

$$P_{cc} = 0,0008 * S_m$$

La superficie mojada, se obtendrá de los cálculos del cuaderno 1.

$$P_{cc} = 0,0008 * 27\,564,73$$

$$P_{cc} = 22,05 \text{ ton}$$

En cuanto al centro de gravedad del peso de la protección catódica, se establece el centro geométrico de la obra viva del buque, ya que en este caso se está realizando una protección catódica de toda la superficie mojada del buque, lo cual quedaría:

$$XG = 200 \text{ m}$$

$$KG = 7,63 \text{ m}$$

4.4.3 *Peso del equipo de navegación*

El peso de los equipos que integran este concepto, es muy reducido y se recomienda tomar como peso del equipo de la navegación 2 toneladas, el cual viene definido de esta manera en el libro de Fernando Junco Ocampo.

Los centros de gravedad se establecen mediante la situación de dicho equipo según la distribución general del buque proyecto, la cual se estima de forma preliminar en el centro geométrico de la cámara de máquinas del buque.

$$\mathbf{XG = 73,85 \text{ m}}$$

$$\mathbf{KG = 11,8 \text{ m}}$$

4.4.4 *Peso del equipo de gobierno*

En el caso del equipo de gobierno se establece la siguiente formulación sacada, como en los casos anteriores, del libro de Fernando Junco Ocampo:

$$PG = 0,0224 * A * v^{2/3} + 2$$

Al no conocer todavía el área del timón, se establece mediante la siguiente ecuación:

$$A = L * T * (1,1 + 2,5 * B^2 / L^2) / 100 = 66,224 \text{ m}^2$$

Al igual que en el caso del área del timón, la velocidad en pruebas del buque se desconoce, por lo que se puede obtener mediante:

$$v = 1,06 * v_s = 21,2 \text{ nudos}$$

Una vez obtenidos estos dos datos, que antes eran desconocidos, se procede a aplicar la ecuación que se mencionó en el inicio del apartado:

$$PG = 0,0224 * 66,224 * 21,2^{2/3} + 2$$

$$\mathbf{PG = 13,36 \text{ ton}}$$

Los centros de gravedad se establecen como en casos anteriores, mediante la situación del equipo de gobierno centrada según la distribución general del buque proyecto, tal como se muestran a continuación:

$$\mathbf{XG = 267,4 \text{ m}}$$

$$\mathbf{KG = 16,25 \text{ m}}$$

4.4.5 *Peso de los Equipos de Salvamento y Contraincendios*

4.4.5.1 **Peso de los Equipos de Salvamento, PL**

Se calcula el peso de los equipos de salvamento mediante la ecuación siguiente:

$$PL = 9,5 + (n - 35) * 0,1$$

Donde n es el número de personas a bordo, en este caso, el número de tripulantes que lleva el buque proyecto. Si n no fuese superior a 35 se ha de poner esta última cifra, y en el caso de que sea mayor que 35 se pondrá la mayor. Por otro lado, si los botes salvavidas son de tipo cerrado se incrementará el peso en 3,5 toneladas.

En el caso del buque proyecto, tal como se podrá comprobar posteriormente en el cuaderno 12 "Equipos y servicios" los botes son totalmente cerrados por lo que se aumentará esta cantidad.

Por tanto, el peso de los equipos de salvamento (PL), será:

$$PL = 9,5 + (40 - 35) * 0,1 + 3,5$$

$$\mathbf{PL = 13,5 \text{ ton}}$$

Los centros de gravedad, se situarán dependiendo de la situación del equipo de salvamento, principalmente los botes salvavidas en el buque proyecto. Ya que estos irán situados en los costados, concretamente a proa y a popa, normalmente por encima de la cubierta principal, por lo que quedarán:

$$\mathbf{XG = 200 \text{ m}}$$

$$\mathbf{KG = 33 \text{ m}}$$

4.4.5.2 **Peso del Equipo Contraincendios en Bodegas, PI**

Al igual que en el caso en el que se calculó el peso del equipo contraincendios en cámara de maquinas, ahora se calcula el peso contraincendios en las bodegas del buque proyecto, a partir de la siguiente ecuación:

$$PI = (4 * L * B + 1400) * \frac{1}{1000}$$

En este caso VEM, será el volumen de bodegas del buque proyecto. Se puede estimar mediante el buque de referencia. Este volumen se va a estimar como un paralelepípedo, ya que depende de la situación en el buque. Por lo que el peso del equipo contraincendios será:

$$PI = (4 * 374,38 * 57,97 + 1400) * \frac{1}{1000}$$

$$\mathbf{PI = 88,21 \text{ Ton}}$$

Los centros de gravedad se situarán principalmente en la bodega del buque proyecto. Teniendo en cuenta que aun están por definir, se situarán mediante el buque de referencia en el centro geométrico de éste:

$$\mathbf{XG = 200\ m}$$

$$\mathbf{KG = 16,25\ m}$$

4.4.6 *Peso del equipo de la chimenea*

El peso del equipo de la chimenea, se puede determinar mediante la siguiente ecuación que relaciona la eslora y la manga con el peso de la chimenea en la siguiente proporción:

$$P_{EF} = 0,0034 * L * B$$

Donde como ya se ha comentado, L es la eslora entre perpendiculares y B es la manga del buque proyecto. El peso de la chimenea por tanto queda:

$$P_{EF} = 0,0034 * 374,38 * 57,97$$

$$\mathbf{P_{EF} = 73,79\ Ton}$$

Los centros de gravedad estarán situados dependiendo de la disposición general del buque, en este caso en el centro geométrico de la chimenea, a estas alturas de la definición del proyecto se establecen por medio del buque de referencia como en la mayoría de los pesos por lo que quedarán:

$$\mathbf{XG = 81,54\ m}$$

$$\mathbf{KG = 48,75\ m}$$

4.4.7 *Peso del aire acondicionado*

El peso del aire acondicionado se estima mediante la superficie de la habitación ya que será el único lugar donde esté funcionando el aire:

$$P_{AA} = 0,020 * S_B$$

La superficie de la habitación será calculada a partir del buque de referencia de manera que se calcula el área por planta y se multiplica por el número de cubiertas de la habitación (8)

$$P_{AA} = 0,020 * 2351,059$$

$$\mathbf{P_{AA} = 47,02\ Ton}$$

Los centros de gravedad del aire acondicionado se situarán en el centro de gravedad de la habitación, todo ello como en casos anteriores se medirá en el buque de referencia, quedando de la siguiente manera:

$$\mathbf{XG = 267,4\ m}$$

$$\mathbf{KG = 48,75\ m}$$

4.4.8 *Peso de tuberías y bombas en el casco*

En cuanto al cálculo del peso de las tuberías y las bombas en el casco se hará mediante una aproximación a partir de la eslora y la manga del buque, representada mediante la siguiente ecuación:

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

Sustituyendo los datos el peso de las tuberías y bombas quedaría:

$$P_{TBV} = 0,0047 * 374,38 * \sqrt{374,38 * 57,97}$$

$$\mathbf{P_{TBV} = 1\ 973,65\ Ton}$$

Los centros de gravedad se situarán en el centro de gravedad del casco del buque proyecto, teniendo en cuenta que estas tuberías estarán situadas a lo largo del casco, así como las bombas estarán situadas en distintos puntos del casco del buque proyecto.

$$\mathbf{XG = 200\ m}$$

$$\mathbf{KG = 11,8\ m}$$

4.4.9 *Peso de las trincas*

El peso de las trincas de los contenedores en el buque proyecto va a venir dado en función del número de contenedores de 40 pies que se sitúen en cubierta y de los que se puedan portar en bodegas, debido a que los situados en las partes altas del buque han de llevar unos trincajes mucho más seguros que si el contenedor se encuentra en las bodegas.

Por lo tanto, de acuerdo con lo anterior, y sabiendo que se portan 4259 FEUS en la bodega y 5741 en cubierta, se puede decir que el peso de las trincas queda como:

$$P_T = 0,040 * (N_{CC} + N_{CB})$$

$$P_T = 0,040 * (5741 + 4259)$$

$$\mathbf{P_T = 400\ ton}$$

Los centros de gravedad de las trincas se situarán al igual que las guías que se calcularán en el siguiente apartado, en la zona central del casco del buque a la altura de la cubierta principal, según la disposición general del buque de referencia, tal y como se indica a continuación:

$$\mathbf{XG = 200\ m}$$

$$\mathbf{KG = 32,5\ m}$$

4.4.10 Peso de las guías en buques portacontenedores

El peso de las guías de los portacontenedores, las cuales van a soportar los contenedores haciendo que su trincaje sea más fácil. El peso de las mismas estará en función del tipo de contenedores que porte el buque, bien sea TEU o FEU.

Se seguirá la siguiente ecuación como primera aproximación del peso de dichas guías:

$$P_{GC} = 0,25 * TEU_{BOD}$$

Teniendo en cuenta lo obtenido en el cuaderno 1 del proyecto, el buque ha de portar 8518 TEUS en sus bodegas, quedando un peso de guías de:

$$P_{GC} = 0,25 * 8518$$

$$\mathbf{P_{GC} = 4529\ ton}$$

Los centros de gravedad de las guías se situarán, según el buque de referencia y su disposición general, por la misma razón que en el caso de las trincas, de la siguiente manera:

$$\mathbf{XG = 200\ m}$$

$$\mathbf{KG = 32,5\ m}$$

5 RESUMEN DE PESOS, CENTROS DE GRAVEDAD Y MOMENTOS

5.1 Resumen de pesos de la maquinaria

		PESO	XG	KG	MOM. LONG	MOM. TRNS
1ª APROXIMACIÓN WR	1ª APROX DEL PR	78692,237	156,11	21,30	1,23E+07	1,68E+06
PESO ESTRUCTURAL	Peso del acero	65456,432	153,22	15,58	1,00E+07	1,02E+06
	Peso Amura Reforzada	91,118	153,22	33,8	1,40E+04	3,08E+03
TOTAL EST	TOTAL EST	65547,549	153,22	15,605	1,00E+07	1,02E+06
PESO DE LA MAQUINARIA	Peso de la maquinaria propulsora	3207,541	73,85	11,8	2,37E+05	3,78E+04
	Peso de la maquinaria restante	1315,225	73,85	11,8	9,71E+04	1,55E+04
	Peso de la hélice	77,342	12,31	5	9,52E+02	3,87E+02
	Peso de la línea de ejes	381,067	12,31	5,9	4,69E+03	2,25E+03
	Peso del C.I. de la C.M.	66,635	73,85	11,8	4,92E+03	7,86E+02
	Pesos varios	1106,610	73,85	11,8	8,17E+04	1,31E+04
	Peso de los tecles de C.M.	40,215	73,85	11,8	2,97E+03	4,75E+02
	Peso de tanques en C.M.	75,396	73,85	11,8	5,57E+03	8,90E+02
	Peso de tuberías y bombas en C.M.	1162,486	73,85	11,8	8,58E+04	1,37E+04
TOTAL MAQ	TOTAL MAQ	7254,578	71,914	11,707	5,22E+05	8,49E+04

5.2 Resumen de pesos de equipos y habilitación

		PESO	XG	KG	MOM. LONG	MOM. TRNS
1ª APROX PESO DE EQ Y HAB	1ª APROX PESO DE EQ Y HAB	10438,722				
PESO DEL EQUIPO Y LA HABILITACIÓN	Peso de la pintura anticorrosiva	392,739	200	16,25	7,85E+04	6,38E+03
	Peso de la protección catódica	22,052	200	7,63	4,41E+03	1,68E+02
	Peso de la habilitación	267,891	267,4	48,75	6,76E+04	1,31E+04
	Peso del equipo de navegación	2,000	73,85	11,8	1,48E+02	2,36E+01
	Peso del equipo de gobierno	13,363	267,4	16,25	2,67E+03	2,17E+02
	Peso de los equipos de salvamento	13,500	200	33	2,70E+03	4,46E+02
	Peso de tuberías y bombas en casco	259,220	200	11,8	3,95E+05	2,33E+04
	Peso del aire acondicionado	47,021	267,4	48,75	1,19E+04	2,29E+03
	Peso de la chimenea	73,790	81,54	48,75	6,02E+03	3,60E+03
	Peso del C.I. de las bodegas	88,211	200	16,25	2,64E+05	2,14E+04
	Peso de las trincas	400	200	32,5	1,60E+05	2,60E+04
	Peso de las guías de los contenedores	4259	200	32,5	2,00E+06	3,25E+05
TOTAL MAQ	TOTAL MAQ	5838,786	202,249	31,187	1,18E+06	1,82E+05

5.3 Peso en rosca total

A continuación, se muestra una tabla resumiendo el peso en rosca total.

	PESO	XG	KG	MOM. LONG	MOM. VERT
ESTRUCTURA	65547,549	153,22	15,605	1,00E+07	1,02E+06
MAQUINARIA	7254,578	71,914	11,707	5,22E+05	8,49E+04
EQ Y HAB	5838,786	202,246	31,187	1,18E+06	1,82E+05
ROSCA	78640,914	149,36	16,40	1,17E+07	1,29E+06

Si se compara ahora el peso obtenido tras sumar todas las partidas de pesos, o lo que es lo mismo sumar el peso de la maquinaria con el de los equipos y habilitación, se observa que ambos datos están muy próximos, por lo que se establece como buena la aproximación.

A continuación, se establecen ciertos márgenes:

	PESO	XG	KG
MÁRGENES	+ 5%	+ 1	+ 0,5

Por lo que el peso en rosca final quedaría:

	PESO	XG	KG
ROSCA	78640,914	149,36	16,40
MÁRGENES	3932,0457	1	0,5
ROSCA FINAL	82572,960	150,36	16,90

Si bien es cierto que, tras aplicar los márgenes, el peso en rosca del buque sobrepasa lo estimado en la primera aproximación, no es demasiado por lo que si se comprueba que cumple con el peso muerto se dará por bueno.

6 CARGA ÚTIL

Se realiza la misma estimación de pesos para el buque proyecto que la que se hizo en el Cuaderno 1, pero ahora conocidos ya los valores de los consumos de los motores. Al igual que en el Cuaderno 1 se sigue el libro "Proyectos de Buques y Artefactos del profesor Fernando Junco Ocampo:

6.1 Carga útil

Para el peso de la carga útil que transporta el portacontenedores que se está dimensionando, se han de tener en cuenta una serie de características:

- Carga media por contenedor: 14 ton
- Porcentaje de contenedores con carga: 70%
- Número de contenedores total: 20000 TEUS

Por lo que así podremos obtener el peso de la carga transportada:

$$\text{Carga útil} = 14 * 0,70 * 20000$$

$$\text{Carga útil} = \mathbf{196000 \text{ ton}}$$

6.2 Consumos

Esta partida, se puede dividir a su vez en las siguientes:

6.2.1 Combustible

En el cálculo del combustible se va a utilizar, de nuevo, las especificaciones de la tabla del motor principal.

- Autonomía: 20000 millas
- Velocidad de servicio: 20 nudos
- Consumo del motor: 168,0 g/kWh.
- Potencia: 78 757 kW
- Margen: 5%

Con estos datos se puede calcular el consumo total de combustible del motor:

$$CM = \frac{20\,000 * 168,0 * 82440 * 0,85}{(20 * 10^6)}$$

$$CM = 11772,432 \text{ ton}$$

6.2.2 Aceite

Para el cálculo del peso de aceite se considera un 4% según el libro "El proyecto básico del buque mercante", del consumo de combustible para la propulsión:

$$\text{Consumo de aceite} = 0,04 * CM$$

$$\text{Consumo de aceite} = 0,04 * 11772,432$$

$$\text{Consumo de aceite} = 470,897 \text{ ton}$$

6.2.3 Agua dulce, agua de alimentación y agua potable.

Para el agua potable se considera que cada persona por día tiene un consumo aproximado de 90 litros, por lo que el consumo total de agua será:

$$\text{Consumo de agua} = \frac{90 * 40 * 20\,000}{20 * 24}$$

$$\text{Consumo de agua} = 150 \text{ ton}$$

6.2.4 Víveres

En el cálculo de los víveres, se recomiendan 5 kg por persona y día en buques mercantes, por lo que el peso total de esta partida será:

$$\text{Consumo de víveres} = \frac{5 * 40 * 20\,000}{20 * 24}$$

$$\text{Consumo de víveres} = 8,33 \text{ ton}$$

Sumando las partidas anteriores obtenemos el peso total en consumos del buque:

$$P_{\text{consumo}} = \text{Viveres} + \text{Agua} + \text{Aceite} + \text{Combustible}$$

$$PP_{\text{consumo}} = 8,33 + 150 + 470,897 + 11772,432$$

$$P_{\text{consumo}} = 12401,659 \text{ ton}$$

6.3 Tripulación y pasaje

A efecto de peso, se considera que para la tripulación se le asignan 125 kg por persona. En el buque proyecto se tiene un número de 40 tripulantes, así que este peso quedaría como:

$$\text{Tripulación y pasaje} = 125 * 40$$

$$\text{Tripulación y pasaje} = \mathbf{5 \text{ ton}}$$

6.4 Pertrechos

La cantidad de pertrechos es muy variable, desde las 10 toneladas hasta las 100. Como en la RPA no se ha especificado nada en cuanto a esta partida, se la situación mas desfavorable de este rango, la cual es el peso máximo

$$\text{Pertrechos} = \mathbf{100 \text{ ton}}$$

6.5 Comprobación de la carga útil

Si a continuación sumamos el peso en rosca y el peso muerto exceptuando la carga útil del buque proyecto, y se hace la diferencia con respecto al desplazamiento se podrá comprobar la carga útil que ha de portar el buque.

	PESO (Toneladas)
PESO EN ROSCA	82572,960
PESO MUERTO	12506,659
TOTAL	95079,619

Sabiendo que el desplazamiento del buque proyecto es 272608 toneladas se tiene de carga útil:

$$\text{Carga útil} = \Delta - \text{Peso en rosca} - \text{Peso muerto (sin carga útil)}$$

$$\text{Carga útil} = 272608 - 82572,960 - 12506,659$$

$$\text{Carga útil} = \mathbf{177528,38 \text{ ton}}$$

La diferencia entre esta carga útil y la que de verdad se necesita se puede solucionar aumentando un poco el calado de nuestro buque de 15,25 a 16,5 metros, lo cual no es un cambio demasiado grande y soluciona el problema que se tiene. Realizando este cambio nos quedaría una carga útil de:

$$\text{Carga útil} = 294923,85 - 82572,96 - 12506,659$$

$$\text{Carga útil} = \mathbf{199844,23 \text{ ton}}$$

7 SITUACIÓN DE LOS CENTROS DE GRAVEDAD

A continuación, se muestra una tabla con cada uno de los centros de gravedad, y un número que los asocia con la posición en el perfil del buque que se muestra también en este apartado.

NÚMERO EN PLANO	DESCRIPCIÓN	XG	KG
1	Peso del acero	153,22	15,58
2	Peso Amura Reforzada	153,22	33,8
3	Peso de la maquinaria propulsora	73,85	11,8
3	Peso de la maquinaria restante	73,85	11,8
4	Peso de la hélice	12,31	5
5	Peso de la línea de ejes	12,31	5,9
3	Peso del C.I. de la C.M.	73,85	11,8
3	Pesos varios	73,85	11,8
3	Peso de los techos de C.M.	73,85	11,8
3	Peso de tanques en C.M.	73,85	11,8
3	Peso de tuberías y bombas en C.M.	73,85	11,8
6	Peso de la pintura anticorrosiva	200	16,25
7	Peso de la protección catódica	200	7,63
8	Peso de la habilitación	267,4	48,75
3	Peso del equipo de navegación	73,85	11,8
3	Peso del equipo de gobierno	267,4	16,25
7	Peso de los equipos de salvamento	200	32,5
9	Peso de tuberías y bombas en casco	200	11,8
8	Peso del aire acondicionado	267,4	48,75
10	Peso de la chimenea	81,54	48,75
6	Peso del C.I. de las bodegas	200	16,25
7	Peso de las trincas	200	32,5
7	Peso de las guías de los contenedores	200	32,5
CGT	Centro de gravedad del rosca	150,36	16,9

7.1 Posición en el plano de los centros de gravedad

Se ha utilizado el plano del buque de referencia debido a que aun no se tienen las formas del buque proyecto.

