



Escuela Técnica Superior de Ingeniería Naval y Oceánica

Máster en Ingeniería Naval y Oceánica

Trabajo Fin de Máster

Creación de una herramienta de
Software para calcular las
dimensiones principales de un buque.

Autor:

María Paz Montalvo Martín de Almagro

Director: María José Legaz Almanza

Codirector: Juan Ruiz Álvarez



**Universidad
Politécnica
de Cartagena**

Curso 2021/2022

Agradecimientos

*Gracias a mis tutores, María José y Juan,
por su ayuda y motivación para la
realización de este proyecto.*

*Agradecer especialmente a mi familia todo
el apoyo y ánimo que me han brindado
siempre desde la distancia.*

*Y por último y no menos importante,
gracias a mis compañeros y a todas
las personas que me ha regalado
Cartagena en estos dos años.*

Índice

Índice	5
Índice de figuras	8
Índice de tablas	12
Introducción.....	14
1. Diseño de un buque	15
1.1 Introducción	15
1.2 Dimensiones principales	15
1.3 Componentes del buque.....	20
1.4 Pesos y volúmenes	21
1.5 Velocidad y potencia	23
1.6 Fases de diseño	23
2. Requisitos de diseño	26
2.1 Requisitos del armador	26
2.2 Estudio de los buques base	27
2.3 Revisión de normas y regulaciones	27
2.4 OMI.....	27
2.5 Sociedad de clasificación.....	28
2.6 Administración.....	29
3. Restricciones de diseño	30
3.1 Restricciones físicas.....	30
3.2 Restricciones económicas	32
3.2.1 Ecuación de volumen.....	32
3.2.2 Velocidad de servicio y DFOC.....	32
3.3 Restricciones regulatorias	33
3.3.1 Francobordo requerido	33
3.3.2 Estabilidad requerida	33
4. Estimación del peso en rosca.....	35
5. Estimación de la capacidad de la bodega de carga.....	41
6. Francobordo.....	43

6.1	Definición y parámetros.....	43
6.2	Cálculo del francobordo requerido	46
6.2.1	Clasificación de tipos de buques	47
6.2.2	Cálculo del francobordo tabular	47
6.2.3	Adición por coeficiente de bloque.....	49
6.2.4	Corrección por puntal	49
6.2.5	Corrección por posición de la línea de cubierta	50
6.2.6	Deducción por superestructuras y troncos.....	51
6.2.7	Corrección por arrufo	53
6.2.8	Adición por altura mínima de la proa.....	57
6.2.9	Adición por reserva de flotabilidad	58
6.2.10	Cálculo del francobordo mínimo.....	59
7.	Determinación de las dimensiones principales del buque.....	60
7.1.	Ecuación de masa.....	60
7.2.	Ecuación de volumen.....	61
7.3.	Francobordo requerido.....	61
7.4.	Procedimiento de dimensionamiento.....	61
7.4.1.	Buques de peso muerto.....	63
7.4.2.	Buques de volumen	63
7.5.	Optimización del modelo.....	64
8.	Evaluación económica.....	66
9.	Predicción de resistencia y potencia.....	69
9.1.	Resistencia al avance del buque.....	69
9.2.	Método de Holtrop y Menppen.....	70
9.3.	Predicción de potencia	74
10.	Selección del motor principal.....	78
11.	Determinación de las dimensiones principales de la hélice	81
11.1.	Dimensiones principales	81
11.2.	Coefficientes adimensionales	83
11.3.	Determinación de las dimensiones principales	84
12.	Métodos de optimización	87
12.1.	Formulación de problemas de optimización	87
12.2.	Clasificación de problemas de optimización.....	88
12.3.	Clasificación de Métodos de Optimización.	89
12.4.	Algoritmo genético.....	91
12.4.1.	Introducción	91

12.4.2. Aplicación en Matlab.....	92
12.5. Programación cuadrática secuencial (SQP).....	96
12.5.1. Introducción.....	96
12.5.2. Programación en Matlab.....	98
13. Software de dimensionamiento.....	99
13.1. Desarrollo en <i>Appdesigner</i>	99
13.1.1. Introducción.....	99
13.1.2. Optimización de dimensiones principales del buque.....	99
13.1.3. Optimización de dimensiones principales de la hélice.....	106
13.1.4. Configuración de los algoritmos.....	108
13.2. Interfaz gráfica.....	110
13.2.1. Inicio.....	110
13.2.3. Dimensionamiento del buque.....	112
13.2.4. Dimensionamiento de la hélice.....	116
14. Dimensionamiento de un VLCC.....	121
14.1. Dimensionamiento manual.....	124
14.1.1. Ecuación de peso.....	124
14.1.2. Ecuación de volumen.....	126
14.1.3. Requerimiento de francobordo.....	127
14.1.4. Coste de construcción.....	132
14.1.5. Predicción de resistencia.....	133
14.1.5. Predicción de potencia.....	136
14.1.6. Selección de motor principal.....	136
14.1.7. Determinación de dimensiones de la hélice.....	137
14.2. Dimensionamiento en Software.....	138
14.3. Comparación de resultados.....	142
14.3.1. Dimensionamiento del buque.....	142
14.3.2. Dimensionamiento de la hélice.....	142
15. Conclusión.....	143
Bibliografía.....	145
Anexo A. Correcciones por el francobordo tabular.....	149
Anexo B. Índices en polinomio de series-B Wageningen.....	152
Anexo C. Pruebas durante la configuración del método GA.....	154
Anexo D. Código de interfaz.....	183

Índice de figuras

Figura 1-1. Tipos de eslora en un buque. Fuente: [1].	16
Figura 1-2. Manga, puntal y calado en un buque. Fuente: [1].	16
Figura 1-3. Líneas de calado. Fuente: < https://ingenieromarino.com/construccion-naval-nomenclatura-basica/ >	18
Figura 1-4. Coeficiente de la maestra. Fuente: [1].	19
Figura 1-5. Coeficiente Prismático. Fuente: [1].	20
Figura 1-6. Compartimentos de un VLCC. Fuente: [1].	20
Figura 1-7. Estructura casco de un VLCC. Fuente: [1].	21
Figura 1-8. Equipamiento de tuberías de un VLCC. Fuente: [1].	21
Figura 1-9. Clasificación de petroleros en función de su capacidad de carga. Fuente: [12].	22
Figura 1-10. Procedimiento seguido para la construcción de un buque. Fuente: [1].	24
Figura 1-11. Flujo de trabajo en la fase de diseño conceptual. Fuente: [1].	25
Figura 2-1. Requisito de calado máximo en función de puerto de carga/descarga. Fuente: [8].	26
Figura 2-2. Sociedades de Clasificación. Fuente: < https://marineandnavalengineering.com/articulos/sociedades-clasificacion-buque/ >	28
Figura 3-1. Brazo de estabilidad para ángulos pequeños. Fuente: Fuente [12].	33
Figura 3-2. Brazo de estabilidad para grandes escoras. Fuente [12].	34
Figura 5-1. Eslora de la bodega de carga de un buque. Fuente: [1].	42
Figura 6-1. Papel del Francobordo en el buque. Fuente: [1].	43
Figura 6-2. Francobordo y puntal de francobordo. Fuente: [1].	43
Figura 6-3. Métodos para aumentar el francobordo. Incrementar el puntal y disminuir la manga (izq.) o añadir superestructura adicional (dr.). Fuente: [1].	44
Figura 6-4. Buque con arrufo (amarillo) y sin arrufo (rojo) para un mismo volumen. Fuente: [1].	45
Figura 6-5. Francobordo para buque sin receso (a) y para buque con receso (b). Fuente: [1].	45
Figura 6-6. Eslora de Francobordo. Fuente: [1].	46
Figura 6-7. Procedimiento para el cálculo del Francobordo. Fuente: [1].	46
Figura 6-8. Corrección de Francobordo por línea de cubierta. Fuente: [1].	50
Figura 6-9. Medida de la altura de la superestructura. Fuente: [1].	51
Figura 6-10. Altura estándar de superestructuras. Fuente: [1].	51
Figura 6-11. Eslora de superestructura. Fuente: [1].	51
Figura 6-12. Ubicación del tronco (a) y saltillo (b) en el buque. Fuente: [1].	53
Figura 6-13. Porcentaje de deducción de Francobordo para buques tipo A y tipo B. Fuente: [1].	53
Figura 6-14. Arrufo real y Arrufo estándar. Fuente: [1].	54
Figura 6-15. Perfil del arrufo estándar. Fuente: [1].	54
Figura 6-16. Medida de la ordenada del francobordo actual. Fuente: [1].	55
Figura 6-17. Áreas para calcular la reserva de flotabilidad. Fuente: [1].	59
Figura 7-1. Comparación entre buque de volumen y buque de peso muerto. Fuente: [8].	62

Figura 7-2. Procedimiento para determinar las dimensiones principales de un buque de peso muerto. Fuente: [1].	63
Figura 7-3. Procedimiento para determinar las dimensiones principales de un buque de volumen. Fuente: [1].	63
Figura 9-1. Relación entre diferentes componentes de potencia. Fuente: [1].	76
Figura 10-1. Relación entre la velocidad del motor y la potencia, representado en escala logarítmica. Fuente: [1].	78
Figura 11-1. Relación de área expandida EAR de hélice. Fuente: [1].	81
Figura 11-2. Punto de coincidencia de la potencia y la velocidad entre el motor principal y la hélice. Fuente: [1].	82
Figura 11-3. Diagramas POW de las hélices de la serie B de Wageningen para $AE/A0=0.55$ y $z=4$. Fuente: [1].	85
Figura 11-4. Esquema típico para resolver el problema de dimensionamiento de hélices. Fuente: [1].	86
Figura 12-1. Componentes en sistema de optimización. Fuente: [5].	88
Figura 12-2. Diferencia entre óptimos en métodos locales y globales. Fuente: [5].	89
Figura 12-3. Clasificación de problemas de optimización y métodos de optimización. Fuente: [3].	91
Figura 12-4. Ciclo del Algoritmo Genético. Fuente: http://www.cs.us.es/~fsancho/?e=65	92
Figura 12-5. Ejemplo de población inicial aleatoria en Algoritmo Genético. Fuente: [13].	93
Figura 12-6. Tipos de nuevas generaciones en Algoritmo Genético. Fuente: [13].	94
Figura 12-7. Ejemplo de poblaciones en diferentes generaciones del Algoritmo Genético. Fuente: [13].	94
Figura 13-1. Valores para la relación L/D en diferentes tipos de buque. Fuente: [2].	102
Figura 13-2. Valores para la relación L/B en diferentes tipos de buque. Fuente: [2].	102
Figura 13-3. Contenedor de carga estandarizado (TEU).	105
Figura 13-4. Comando de Inicio del software.	110
Figura 13-5. Pantalla de inicio del software.	111
Figura 13-6. Pantalla de selección de buque en software. Fuente propia.	111
Figura 13-7. Pantalla de cálculo de las dimensiones principales de un petrolero.	112
Figura 13-8. Mensaje de aviso del software al pulsar el botón 'Calcular' sin haber cumplimento todas las celdas de datos obligatorios.	112
Figura 13-9. Mensaje de aviso del software al pulsar el botón 'Calcular' si ha restringido todas las dimensiones del buque diseño.	113
Figura 13-10. Celdas con valores máximos permitidos.	113
Figura 13-11. Información sobre el proceso de dimensionamiento del buque.	113
Figura 13-12. Aviso emergente cuando el programa no converge hacia la solución óptima.	113
Figura 13-13. Aviso del software sobre los datos necesarios para abrir la ventana de Dimensionamiento de hélice.	114
Figura 13-14. Pantalla de cálculo de las dimensiones principales de un Ro-ro.	114
Figura 13-15. Ventana de selección tipo de vehículo en buques Ro-ro y Ro-pax.	114
Figura 13-16. Pantalla de cálculo de las dimensiones principales de un Ro-pax.	115
Figura 13-17. Pantalla de cálculo de las dimensiones principales de un portacontenedor.	116

Figura 13-18. Pantalla de cálculo de las dimensiones de la hélice para el buque diseño.	116
Figura 13-19. Ventana del panel de datos obligatorios del buque base.....	117
Figura 13-20. Ventana del panel de datos obligatorios del buque diseño.	117
Figura 13-21. Mensaje de aviso del software al pulsar el botón 'Calcular' sin haber cumplimiento las celdas de datos obligatorios.	118
Figura 13-22. Panel de datos de salida en el cálculo de las dimensiones de la hélice..	118
Figura 13-23. Sub-panel destinado a las características del motor principal.	119
Figura 13-24. Mensaje de aviso del sistema al no seleccionar el motor adecuado para el buque.	119
Figura 13-25. Información sobre el proceso de dimensionamiento de la hélice.	119
Figura 13-26. Panel para los resultados de las dimensiones de la hélice.	120
Figura 14-1. Valores de cálculo de francobordo de un VLCC de 301,000 ton. Fuente [1].	121
Figura 14-2. Datos del buque base y requerimientos de buque de diseño. Fuente [1].	122
Figura 14-3. Datos del buque base y requerimientos de buque de diseño. Fuente [1].	123
Figura 14-4. Porcentaje de deducción de francobordo para buques tipo A y B. Fuente: [1].	129
Figura 14-5. Factor de coste unitario del buque base. Fuente: [3].	132
Figura 14-6. Características motor seleccionado. Fuente: [1].	136
Figura 14-7. Datos de entrada para el dimensionamiento de la hélice.	137
Figura 14-8. Determinación de la relación de avance para la máxima eficiencia de la hélice. Fuente: [1].	138
Figura 14-9. Introducción de datos de entrada para el dimensionamiento de un VLCC.	139
Figura 14-10. Datos de salida para el dimensionamiento de un VLCC.	139
Figura 14-11. Introducción de datos de entrada para el dimensionamiento de la hélice.	140
Figura 14-12. Predicción de resistencia y potencia.	140
Figura 14-13. Selección del motor principal y el número de hélices.	141
Figura 14-14. Mensaje informativo en el dimensionamiento de la hélice.....	141
Figura 14-15. Resultado de las dimensiones principales de la hélice.....	141
Figura AnexoA-0-1. Francobordo tabular para buques tipo A. Fuente [1].	150
Figura AnexoA-0-2. Francobordo tabular para buques tipo B. Fuente [1].....	151
Figura AnexoB-0-1. Valores de índices en regresiones polinómicas de la serie-B de Wageningen. Fuente: [1].	153
Figura AnexoC-0-1. Porcentajes de coste de construcción total por grupos. Fuente: [2].	155
Figura AnexoC0-2. Características buque base y requisitos buque diseño (Bulkcarrier). Fuente: [1].	155
Figura AnexoC0-3. Características buque base (Bulkcarrier). Fuente: [1].	155
Figura Anexo C-0-4. Propiedades por defecto de GA en Matlab.....	156
Figura AnexoC0-5. Generaciones del algoritmo genético cálculo 2 en Matlab.....	162
Figura AnexoC0-6. Generaciones algoritmo genético cálculo 3 en Matlab.....	162
Figura AnexoC0-7. Generaciones del algoritmo genético cálculo 4 en Matlab.....	163
Figura AnexoC0-8. Generaciones del algoritmo genético en cálculo 2 en Matlab.	169
Figura AnexoC0-9. Generaciones del algoritmo genético en cálculo 3 en Matlab.	170

Figura AnexoC0-10. Generaciones del algoritmo genético en cálculo 3 secundario en Matlab.....	170
Figura AnexoC0-11. Generaciones del algoritmo genético en cálculo 4 en Matlab. ...	171
Figura AnexoC0-12. Propiedades del algoritmo genético en Matlab modificadas para el cálculo 1.....	172
Figura AnexoC0-13. Generaciones del algoritmo genético en cálculo 1 en Matlab. ...	172
Figura AnexoC0-14. Propiedades del algoritmo genético en Matlab modificadas para el cálculo 2.....	173
Figura AnexoC0-15. Generaciones del algoritmo genético en cálculo 2 en Matlab. ...	173
Figura AnexoC0-16. Propiedades del algoritmo genético en Matlab modificadas para el cálculo 3.....	174
Figura AnexoC0-17. Generaciones del algoritmo genético en cálculo 3 en Matlab. ...	174
Figura AnexoC0-18. Generaciones del algoritmo genético en cálculo 4 en Matlab. ...	175
Figura AnexoC0-19. Generaciones del algoritmo genético en cálculo 4 secundario en Matlab.....	175
Figura AnexoC0-20. Generaciones del algoritmo genético en cálculo 1 en Matlab. ...	177
Figura AnexoC0-21. Generaciones del algoritmo genético en cálculo 1 secundario en Matlab.....	177
Figura AnexoC0-22. Generaciones del algoritmo genético en cálculo 2 en Matlab. ...	178
Figura AnexoC0-23. Generaciones del algoritmo genético en cálculo 3 en Matlab. ...	178
Figura AnexoC0-24. Generaciones del algoritmo genético en cálculo 3 secundario en Matlab.....	179
Figura AnexoC0-25. Generaciones del algoritmo genético en cálculo 4 en Matlab. ...	180
Figura AnexoC0-26. Introducción de datos de entrada de un portacontenedor mediante volumen de la bodega de carga.....	181
Figura AnexoC0-27. Resultados variables restringiendo la manga.....	182

Índice de tablas

Tabla 1-1. Coeficientes de forma típicos en diferentes buques. Fuente [12].....	19
Tabla 6-1. Cálculo de la ordenada media del Arrufo Real. Fuente: [1].....	56
Tabla 9-1. Valores del coeficiente Cpopa en función de forma de las cuadernas de popa. Fuente: [1].	71
Tabla 9-2. Valores del factor $(1+k_2)$ para cada tipo de apéndice. Fuente: [1].	72
Tabla 12-1. Parámetros utilizados en Matlab para definir el Algoritmo Genético. Fuente: [13].	96
Tabla 12-2. Parámetros utilizados en Matlab para definir el Método Cuadrático Secuencial (SQP). Fuente: [16].	98
Tabla 13-1. Dimensiones de plaza de garaje para coches y tráiler. Fuente: [8].	104
Tabla 13-2. Propiedades del Algoritmo Genético en cada uno de los métodos programados en el dimensionamiento del buque. Fuente: Anexo C.	109
Tabla 13-3. Rango de valores en las variables en el dimensionamiento de la hélice. ..	109
Tabla 14-1. Resultado de las dimensiones principales del buque diseño en la Ecuación de peso.	126
Tabla 14-2. Resultado de las dimensiones principales del buque diseño en la Ecuación de volumen.	127
Tabla 14-3. Corrección de Francobordo por Arrufo en el cuerpo de popa.....	130
Tabla 14-4. Corrección de Francobordo por Arrufo en el cuerpo de proa.	130
Tabla 14-5. Dimensiones de la hélice en el buque diseño.	138
Tabla 14-6. Comparativa resultados dimensiones principales buque calculados mediante el método de optimización presentado en Referencia [1]; a la izquierda de forma manual y a la derecha mediante el software diseñado.....	142
Tabla 14-7. Comparativa resultados dimensiones principales hélice calculados mediante el método de optimización presentado en Referencia [1]; a la izquierda de forma manual y a la derecha mediante el software diseñado.....	142
Tabla AnexoC-0-1. Generaciones del Algoritmo Genético cálculo 1 en Matlab.....	161
Tabla AnexoC-0-2. Resultados de variables en cálculo 1.	161
Tabla AnexoC0-3. Resultados de variables en cálculo 2.	162
Tabla AnexoC 0-4. Resultados variables en cálculo 3.	162
Tabla AnexoC0-5. Resultados variables en cálculo 4.	163
Tabla AnexoC0-6. Comparativa de resultados en diferentes cálculos mediante cambio de ecuaciones de restricción.	163
Tabla AnexoC 0-7. Generaciones de algoritmo genético en cálculo 1 en Matlab.....	168
Tabla AnexoC0-8. Resultados variables de algoritmo genético en cálculo 1.	168
Tabla AnexoC0-9. Resultados variables de algoritmo genético en cálculo 2.	169
Tabla AnexoC0-10. Resultados de variables del algoritmo genético en cálculo 3.	170
Tabla AnexoC0-11. Resultados de variables del algoritmo genético en cálculo 4.	171
Tabla AnexoC0-12. Comparativa de resultados en diferentes cálculos mediante cambio de límites inferior y superiores de variables.	171
Tabla AnexoC0-13. Resultados variables de algoritmo genético en cálculo 1.	173
Tabla AnexoC0-14. Resultados variables del algoritmo genético en cálculo 2.	173
Tabla AnexoC0-15. Resultados variables del algoritmo genético en cálculo 3.	174
Tabla AnexoC0-16. Resultados variables del algoritmo genético en cálculo 4.	175

Tabla AnexoC0-17. Resultados variables del algoritmo genético en cálculo 4 secundario.	176
Tabla AnexoC0-18. Comparativa de resultados en diferentes cálculos mediante cambio de parámetros del algoritmo.	176
Tabla AnexoC0-19. Resultados variables del algoritmo genético en cálculo 1.	177
Tabla Anexo0-20. Resultados variables del algoritmo genético en cálculo 1 secundario.	177
Tabla AnexoC0-21. Resultados variables del algoritmo genético en cálculo 2.	178
Tabla AnexoC0-22. Resultados variables del algoritmo genético en cálculo 3.	179
Tabla AnexoC0-23. Resultados variables del algoritmo genético en cálculo 3 secundario.	179
Tabla AnexoC0-24. Resultados variables del algoritmo genético en cálculo 4.	180
Tabla AnexoC0-25. Comparativa de resultados en diferentes cálculos mediante cambio de parámetros del algoritmo.	180

Introducción

El diseño de buques ha sido realizado tradicionalmente de forma manual durante un gran periodo de tiempo. Esto se debe a las características específicas que presenta cada proyecto de buque, en función de los fines de la embarcación, de las fuerzas externas a las que se verá sometido durante su operación, e, incluso, de los métodos de producción utilizados.

Sin embargo, en la actualidad, gracias al desarrollo de la tecnología informática, el diseño de buques ha experimentado un gran crecimiento de investigación tanto a nivel académico como a nivel industrial. Muchas de las problemáticas del diseño de buques pueden ser solucionadas de manera más rápida y sencilla mediante la adopción de métodos sistemáticos y aplicando los conceptos de automatización a este campo.

La finalidad de este proyecto es obtener las dimensiones principales de cualquier tipo de buque mercante minimizando los costes constructivos mediante el uso de métodos computacionales. Para ello, se han aplicado las metodologías y directrices sistemáticas publicadas en Referencia [1] y Referencia [2] para el dimensionamiento de buques. En estos libros se ofrecen descripciones detalladas de los problemas, teorías utilizadas, formulaciones matemáticas y selección de algoritmos sobre el diseño de buques. Además de estas referencias, se ha utilizado la documentación correspondiente a las asignaturas impartidas por los autores del mismo (ver Referencia [3]) en la Universidad Nacional de Seoul (Corea).

La dificultad que presenta el sistema planteado de dimensionamiento de buques, es que se trata de un sistema de optimización restringido de tipo no lineal. Para resolverlo, se han aplicado dos métodos matemáticos que se ajustan a este tipo de problema; el método de algoritmo genético (GA) y el método de programación cuadrática secuencial (SQP).

El desarrollo de la interfaz gráfica del software de este proyecto se ha realizado mediante la aplicación “*App Designer*” integrada en Matlab.

1. Diseño de un buque

Antes de comenzar con el proceso de dimensionamiento de un buque, puesto que este será función de una gran cantidad de especificaciones y requisitos, es necesario conocer todos los componentes y las fases del proyecto de diseño de cualquier buque.

1.1 Introducción

Cualquier buque debe satisfacer los siguientes requisitos básicos:

1. Flotabilidad. Cualquier embarcación debe flotar y tener estabilidad en el agua.
2. Capacidad de transporte de carga. Para esto, el buque debe disponer de espacios interiores lo suficientemente grandes para almacenar la carga.
3. Velocidad y maniobrabilidad. La embarcación debe tener la capacidad de desplazarse con una velocidad determinada de manera controlada. Para ello, deben diseñarse con baja resistencia al avance posible y van equipados con equipos de propulsión y gobierno.
4. Resistencia estructural. El buque debe resistir las fuerzas externas a lo largo de su vida operativa, por lo que generalmente suelen ser diseñados de estructuras soldadas y refuerzos.

1.2 Dimensiones principales

- **Eslora (L).**

Es la longitud del buque medida en el plano longitudinal. Dependiendo de las líneas de referencia del casco que se utilicen podemos distinguir:

Eslora entre perpendiculares (L_{BP}): Es la dimensión longitudinal de trazado del casco del buque; longitud de la flotación en el centro del disco de máxima carga, medida horizontalmente entre las perpendiculares de proa y popa.

(Perpendicular de proa (FP): Es la línea imaginaria perpendicular a la flotación de trazado o proyecto, que pasa por el punto de intersección de la roda con dicha flotación).

(Perpendicular de popa (AP): Es la línea imaginaria perpendicular a la flotación de trazado o proyecto, que pasa por la mecha del timón, o bien, por la cara de popa del codaste popel en caso de codaste cerrado).

Eslora en la línea de flotación (L_{WL}): Es la máxima longitud del buque en la intersección de esa flotación con la proa y popa del buque. Es la longitud base para el cálculo de la resistencia.

Eslora máxima: Es la distancia máxima entre dos planos perpendiculares a crujía, entre los puntos más alejados a proa y popa del buque. Se consideran todas las partes estructurales del buque, pero se excluyen las partes no estructurales.

Eslora total (L_{OA}): Es la máxima longitud del buque entre los puntos más alejados a proa y popa. Se consideran también las partes no estructurales del buque.

Eslora de francobordo (L_f): Es la eslora base para el cálculo del francobordo y la estabilidad ante datos. Se conoce como el máximo valor entre el 96% de la longitud total de la eslora en la línea de flotación al 85% del puntal, o la eslora entre perpendiculares al 85% del puntal.

$$L_f = \max (96\% \text{ del LWL a } 0.85D; L_{BP} \text{ a } 0.85D).$$

Eslora de escantillonado (L_s): Es la longitud base para el cálculo estructural del casco y la selección del equipo. Es un valor intermedio entre:

96% de L_{WL} al calado de escantillonado
 97% de L_{WL} al calado de escantillonado
 L_{BP} al calado de escantillonado

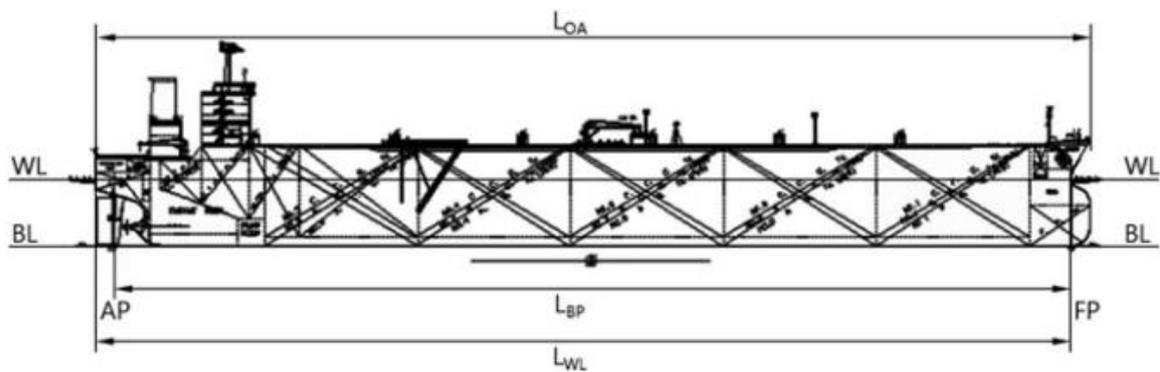


Figura 1-1. Tipos de eslora en un buque. Fuente: [1].

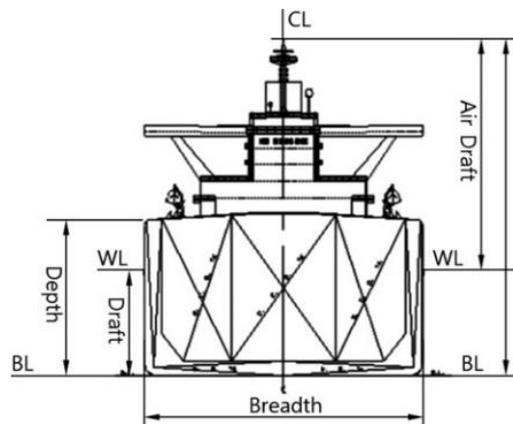


Figura 1-2. Manga, puntal y calado en un buque. Fuente: [1].

- **Manga (B).**

Es el ancho del buque medido en el plano de la cuaderna maestra. Se puede distinguir entre las siguientes mangas:

Manga de trazado (B_{molded}): Es la máxima dimensión transversal de trazado del casco del buque a lo largo de la eslora.

Manga fuera de forro o manga en el fuerte (B_{extreme}): Es la anchura máxima del buque por fuera del forro exterior; es decir, considerando el espesor del material del cual está construido el casco. Es igual a la manga de trazado sumándole los espesores del forro exterior.

Manga en una flotación: Es la manga máxima en la flotación considerada.

- **Puntal (D).**

El puntal de construcción es la altura del buque medida sobre la perpendicular media, desde el borde inferior de la quilla hasta la cubierta superior. Cuando el buque tenga trancañil curvo, el puntal se mide hasta la recta trazada por intersección de cara o canto superior del bao de la cubierta superior con la del costado prolongando imaginariamente las líneas.

Puntal de trazado (D_{molded}): En barcos de casco metálico, es la distancia desde el canto alto de la quilla hasta la cara inferior de la cubierta superior.

Puntal de construcción (D_{extreme}): La vertical medida en el centro del navío desde la parte inferior de la quilla hasta la recta de unión del bao con el forro.

Puntal de bodega: Es la distancia vertical desde la cara alta del fondo, o doble fondo, hasta la cara inferior de la cubierta más baja.

Puntal de entrepuente: Es la distancia vertical entre dos cubiertas contiguas, dentro de una misma bodega.

El término “francobordo” hace referencia a la distancia entre la línea de flotación y la línea de cubierta (borde en el costado de la cubierta hasta donde llegan los mamparos estancos).

- **Calado (T).**

Es la inmersión del buque en el agua. Se define como la distancia vertical entre a línea de agua a determinada condición de carga del buque y el fondo del casco, medida sobre el costado del buque. Se pueden considerar los siguientes calados:

Calado de diseño (T_d): Calado principal diseñado para la operación el buque. En general, es la base para el cálculo del peso muerto del buque, la velocidad, la potencia, etc.

Calado de escantillonado (T_s): Calado base para el cálculo estructural del casco. Normalmente es mayor que el calado de diseño.

Calado aéreo: Altura por encima de la línea de flotación únicamente o incluyendo el calado de operación restringido por las instalaciones portuarias, la ruta de navegación, etc.

Calado a proa: Calado medido en la perpendicular de proa.

Calado a popa: Calado medido en la perpendicular de popa.

Calado medio: Es la semisuma de los calados a proa y popa.

Calado en la sección media: Es el calado en la perpendicular media.

Como es evidente, el calado de cualquier buque varía con su condición de carga. Es por ello que también se encuentran los siguientes términos:

Calado en una flotación: Es el calado medido desde la cara inferior o exterior de la quilla hasta el nivel de la flotación correspondientes.

Calado máximo: Es el correspondiente al desplazamiento máximo o calado para la flotación de la marca de calado de verano.

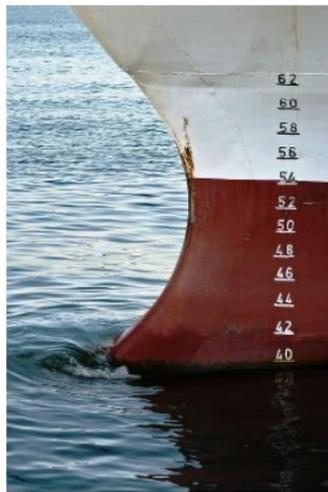


Figura 1-3. Líneas de calado. Fuente: <<https://ingenieromarino.com/construccion-naval-nomenclatura-basica/>> .

- **Coefficiente de bloque (C_B).**

Con objeto de definir la geometría general de la carena de un buque, junto con las dimensiones principales del mismo, se consideran unos números adimensionales que expresan relaciones entre volúmenes de carena, superficies de flotación o secciones transversales y paralelepípedos, cilindros o rectángulos que pudieran circunscribir el contorno real considerado.

El coeficiente de bloque es el fundamental para representar las formas del buque. Tiene una incidencia muy grande sobre la resistencia al avance y sobre la capacidad de carga y, en menor medida, sobre la estabilidad y maniobrabilidad.

Es la relación entre el volumen de carena de un casco y el paralelepípedo que lo contiene, de dimensiones L (Eslora), B (Manga) Y C (Calado).

$$C_b = \frac{\nabla}{L \cdot B \cdot C} \quad (1.1)$$

El coeficiente de bloque depende del número de Froude del barco y, por tanto, de su velocidad y eslora fundamentalmente.

- **Coefficiente de la maestra (C_m).**

Es la relación entre el área de la sección maestra y el rectángulo que la circunscribe. Esta relación se refiere, generalmente, a la porción sumergida de dicha sección maestra del buque.

$$C_m = \frac{\text{Area sección maestra}}{B \cdot C} \quad (1.2)$$

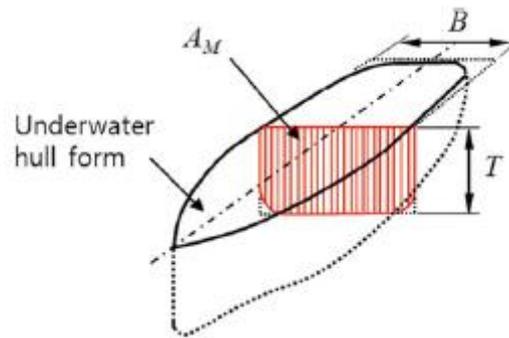


Figura 1-4. Coeficiente de la maestra. Fuente: [1].

- **Coefficiente de flotación (C_f).**

Es la relación entre el área o superficie del plano de flotación y el área del rectángulo que la circunscribe. También se suele llamar coeficiente de afinamiento de la línea de agua.

$$C_f = \frac{\text{Superficie de flotación}}{L \cdot B} \quad (1.3)$$

Una vez definidos los coeficientes de bloque y de la sección maestra, el coeficiente de flotación en carga ya está muy condicionado, pero puede variarse mediante la modificación de la forma de las secciones transversales de la carena.

Tipo de buque	C_f	C_b	C_m
Cruceros	0.68 a 0.72	0.50 a 0.55	0.78 a 0.85
Buques de carga	0.80 a 0.85	0.75 a 0.80	0.94 a 0.97
Veleros	0.82 a 0.84	0.65 a 0.70	0.90 a 0.92

Tabla 1-1. Coeficientes de forma típicos en diferentes buques. Fuente [12].

El aumento del coeficiente de flotación incrementa el desplazamiento próximo a la flotación, por lo que aumenta la resistencia al avance del buque. Sin embargo, valores bajos de este coeficiente pueden dar lugar a problemas de estabilidad.

- **Coefficiente prismático o cilíndrico (C_p).**

Es la relación entre el volumen de carena y el volumen de un cilindro cuya base tiene igual área que la sección maestra y por altura la eslora del buque en la flotación.

$$C_p = \frac{\nabla}{\text{Área sección maestra} \cdot L} \quad (1.4)$$

Su aumento, manteniendo los valores de eslora y desplazamiento, implica un coeficiente de la maestra más bajo, ya que el coeficiente prismático es igual a la relación C_b/C_m .

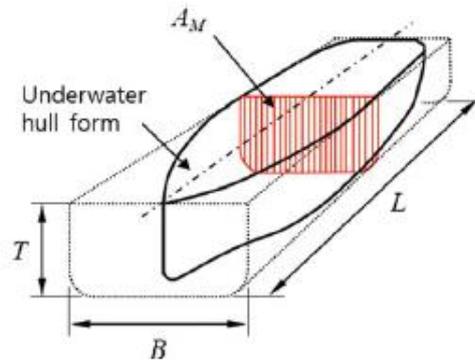


Figura 1-5. Coeficiente Prismático. Fuente: [1].

1.3 Componentes del buque

Los barcos están compuestos por el casco y el equipamiento. El casco hace referencia tanto a la forma externa del mismo, como al compartimentado y su estructura.

- La forma del casco es una forma externa que se diseña para satisfacer los requisitos del armador, como el peso muerto, la velocidad del barco, etc.

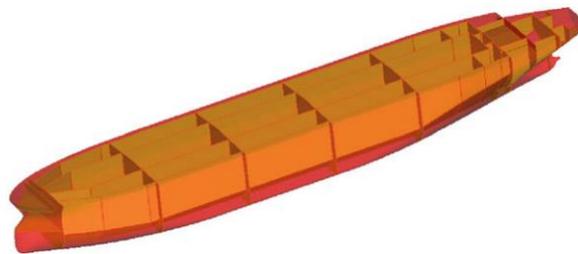


Figura 1-6. Compartimentos de un VLCC. Fuente: [1].

- Los compartimentos son los espacios destinados para la carga del buque y están divididos por mamparos. El diseño de los compartimentos consiste en la división las partes interiores del casco en una serie de espacios para carga. El arquitecto naval evalúa los requisitos del armador del buque, la capacidad de carga requerida, la velocidad del buque, etc., y, al mismo tiempo, el cumplimiento de las normas internacionales relacionadas con la seguridad y la estabilidad de OMI (Organización Marítima Internacional), como SOLAS (Seguridad de la vida en el mar), ICLL (Convenio Internacional sobre Líneas de Carga), MARPOL (Convenio Internacional para Prevenir la Contaminación por los Buques), Convenio Internacional sobre Arqueo de Buques, etc.

- La estructura del casco es el armazón del buque que consta de una serie de piezas como placas, refuerzos, soportes, etc. El diseño estructural del casco es una tarea que determina las especificaciones y características de cada una de las piezas estructurales que componen el caso, como el número, la ubicación, el tamaño, el grosor, material, etc.



Figura 1-7. Estructura casco de un VLCC. Fuente: [1].

En cuanto al equipamiento, hace referencia al conjunto de equipos e instrumentos necesarios para el funcionamiento de un buque. Puede clasificarse en cuatro categorías: equipamiento del casco, equipamiento de la maquinaria, equipamiento de habilitación y equipamiento eléctrico.

Mediante el diseño del equipamiento se determina el tipo, número y especificaciones de los equipos. Uno de los resultados importantes del diseño del equipamiento son los planos de P&ID (Diagrama del flujo del proceso en las tuberías, así como los equipos instalados y el instrumental).

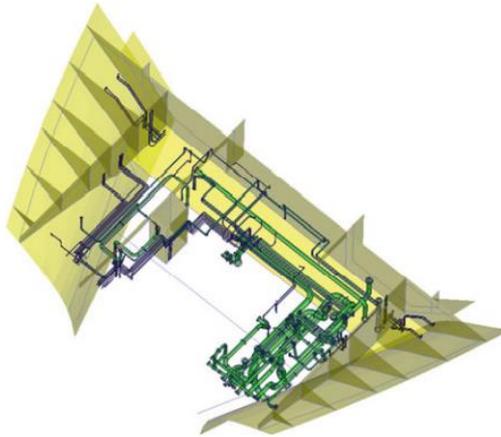


Figura 1-8. Equipamiento de tuberías de un VLCC. Fuente: [1].

1.4 Pesos y volúmenes

A continuación, se definen algunos términos relacionados con el peso y el volumen del buque.

Desplazamiento: Peso del agua desplazada por el volumen subacuático del buque.

Peso muerto (DWT): Peso de la carga, incluidos los consumibles (por ejemplo, fuel oil, gasóleo, aceite de lubricación, agua dulce, etc.) y el peso muerto constante (por ejemplo, líquido operativo en la maquinaria y tuberías, provisiones para la tripulación, etc.)

Peso en rosca (o peso ligero, LWT): Total del peso estructural, peso del equipo y peso de la maquinaria.

Desplazamiento en lastre: es el peso del buque en rosca mas todo lo necesario para que pueda navegar (combustible, agua potable, provisiones y pertrechos), pero sin carga.

Desplazamiento a plena carga o total: es el peso del buque cargado hasta la línea de máxima carga de verano. También se le denomina “Desplazamiento máximo”.

La diferencia entre el desplazamiento máximo y el desplazamiento en lastre se conoce como “Capacidad de carga”, que indica el peso de la carga que es posible transportar en ese buque. A la carga útil que un buque puede transportar también se conoce como porte.

El porte de un buque mide su valor comercial, ya que del mismo dependerá el importe de los fletes a cobrar.

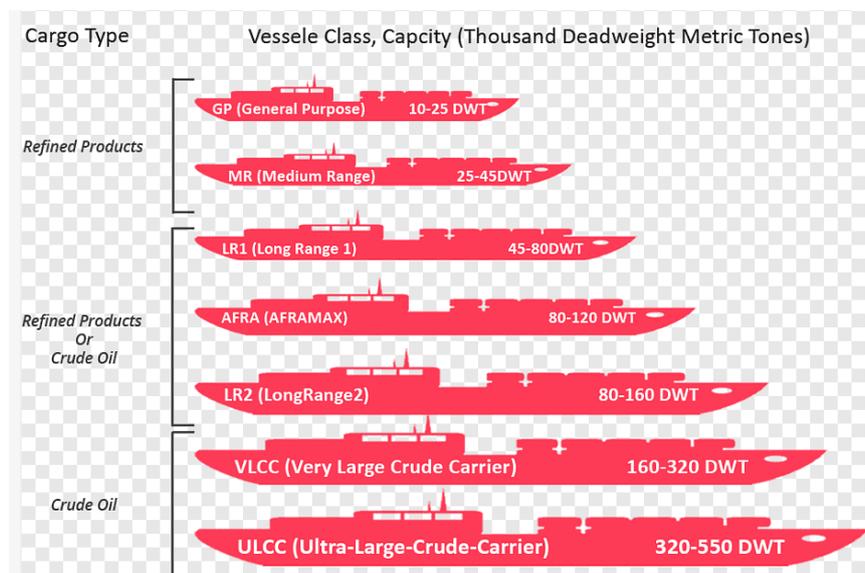


Figura 1-9. Clasificación de petroleros en función de su capacidad de carga. Fuente: [12].

Trimado: Diferencia entre los calados en la perpendicular de proa y la perpendicular de popa.

LCB (Centro Longitudinal de Flotabilidad): Posición longitudinal del centro de carena del buque.

LCG (Centro de gravedad longitudinal): Posición longitudinal del centro de gravedad del buque.

Tonelaje: Medida del volumen del buque. En la actualidad, se ajusta a la normativa internacional, como el Convenio Internacional sobre Arqueo de Buques (OMI 1969).

Tonelaje bruto (GT): Suma total de los volúmenes de cada espacio cerrado.

Tonelaje neto (NT): Suma total de los volúmenes de cada espacio de carga.

Tonelaje bruto compensado (CGT): El tonelaje bruto nominal. Significa la cantidad de trabajo que es necesario para construir un determinado buque y se calcula multiplicando

el GT de un buque por un coeficiente, que se determina según el tipo y el tamaño de un buque concreto.

Entre las terminologías anteriores, el desplazamiento, el peso muerto y el tonelaje se utilizan como criterios para determinar el tamaño del buque. El desplazamiento se utiliza cuando se representa el tamaño de los buques de guerra. El peso muerto se utiliza cuando se representa el tamaño de buques comerciales (petroleros, graneleros, etc.). Y el tonelaje se utiliza para para representar el tamaño de los buques de pasajeros. El desplazamiento y el peso muerto se refieren en cuanto al peso, mientras que el tonelaje hace referencia al volumen.

1.5 Velocidad y potencia

Estos términos se definen a continuación:

Velocidad de servicio (o velocidad del buque): Velocidad media mantenida por un buque en condiciones normales de carga y ambientales, es decir, la velocidad a la potencia NCR (Normal Continuous Rating) con un margen específico llamado “margen de mar” (por ejemplo, 15%).

EHP (Effective Horse Power): Potencia necesaria para mantener la velocidad prevista del buque.

DHP (Delivered Horse Power): Potencia realmente entregada a la hélice con alguna pérdida de potencia en el cojinete de la bocina y en los cojinetes del túnel del eje entre la bocina y el lugar del medidor de torsión.

BHP (Brake Horse Power): Potencia en el cigüeñal que sale del motor principal.

Margen de mar: Reserva de potencia para la influencia de los mares de tormenta y el viento, incluyendo efectos de la suciedad y la corrosión.

NCR (Normal Continuous Rating): Potencia a la que puede funcionar el motor principal de forma más eficiente, económica y con un menor mantenimiento. Normalmente entre el 85-95% MCR. Suele ser la potencia contractual para la que está diseñada la hélice.

MCR (Maximum Continuous Rating) o DMCR (Derated MCR): Máxima potencia continua que puede producir el motor principal de forma continua sin provocar un fallo en el equipo propulsor.

NMCR (Nominal MCR): Potencia máxima del motor principal proporcionada según fabricante.

1.6 Fases de diseño

En el diseño de un buque hay cinco eventos clave; el contrato, el corte de acero, la puesta de la quilla, la botadura y la entrega del buque.

En primer lugar, el contrato es un acontecimiento en el que el contrato para la construcción del buque es realizado entre el armador y el astillero.

En segundo lugar, el corte de acero (o inicio de los trabajos) es un evento en el que se corta por primera vez el acero para comenzar la construcción del barco.

En tercer lugar, la puesta de la quilla es el acontecimiento en el que el primer bloque del buque se deposita en el dique.

En cuarto lugar, la botadura es el evento en el que el barco flota por primera vez y es lanzado desde la grada.

Y, por último, en quinto lugar, sucede la entrega del buque al armador después de las pruebas de mar y la ceremonia de nombramiento.

En la siguiente imagen se muestra un resumen del procedimiento que se sigue en el diseño de un buque.

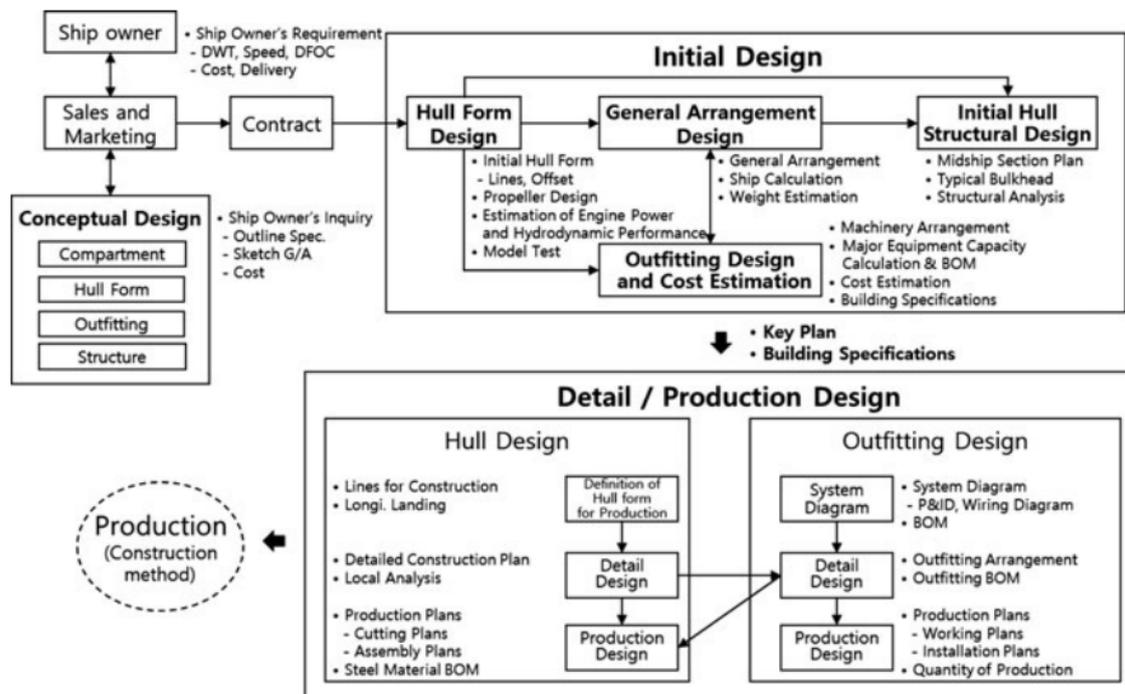


Figura 1-10. Procedimiento seguido para la construcción de un buque. Fuente: [1].

Según el nivel de detalle, las fases de diseño del buque pueden dividirse en cuatro etapas:

1. Diseño conceptual (o diseño por contrato). El diseño conceptual comienza con datos de entrada, como los requisitos del armador, e incluye varios pasos como la determinación de las dimensiones principales, el cálculo del francobordo, etc. Algunos de los pasos necesitan más iteraciones a medida que pasa el tiempo con el avance del proyecto.
2. Diseño inicial (o diseño básico). Después del contrato, el diseño inicial, que incluye el diseño de las formas del casco, el diseño de la disposición general, el

diseño estructural inicial del casco y el diseño inicial del equipamiento y la estimación de los costes.

3. Diseño de detalle. Tras el diseño inicial, el diseño de detalle y el diseño de producción avanzan. En la fase de diseño de detalle, se termina el diseño general del buque.
4. Diseño de producción. En la fase de diseño de producción, se elabora la lista de materiales, los planos de montaje, los planos de corte, etc.

La finalidad de este proyecto es el dimensionamiento del buque, por lo que se ha enfocado en la fase de diseño conceptual, que es la fase en la que se hace la primera determinación de las dimensiones principales. Como se ha indicado, algunos de los procedimientos de esta fase de diseño necesitarán ser repetidos de forma iterativa, pues, la modificación de algunos de los cálculos o características estimadas en esta fase tienen generalmente una influencia directa con el tamaño de las dimensiones principales.

En la Figura 1-11 se muestra el flujo de trabajo para el diseño conceptual, en la que se observa que, para poder llegar a la determinación de las dimensiones principales, se necesitan satisfacer todos los requisitos de:

- Estimación del peso en rosca.
- Predicción de resistencia y potencia.
- Selección del motor principal.
- Diseño del propulsor.
- Estimación de la capacidad de la bodega de carga.
- Cálculo del francobordo.

Por tanto, se necesitan encontrar las ecuaciones que tendrán en consideración todos estos aspectos para el cálculo dimensional, obteniendo de este modo una determinación dimensional inicial mucho más ajustada a los requisitos del armador.

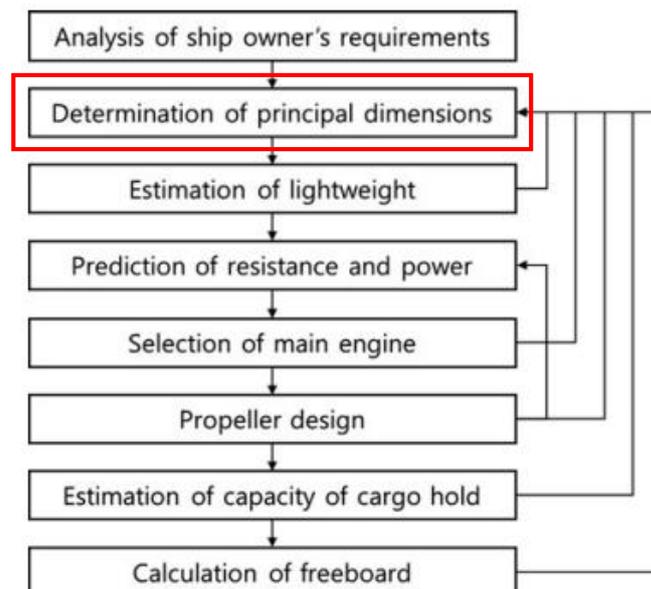


Figura 1-11. Flujo de trabajo en la fase de diseño conceptual. Fuente: [1].

En los siguientes capítulos se estudian cada uno de estos puntos.

2. Requisitos de diseño

El primer paso del diseño inicial de un buque es analizar los requisitos del mismo. A continuación, se muestran las diferentes restricciones que se deben considerar en el diseño de una embarcación.

2.1 Requisitos del armador

Un buque debe diseñarse de acuerdo a los requisitos del armador que se establecen en las especificaciones de construcción a través del contrato. A continuación, se enumeran ejemplos de requisitos que suelen encontrarse en los contratos:

- Tipo de buque: Petrolero, granelero, portacontenedores, etc.
- Peso muerto (DWT).
- Capacidad de la bodega de carga (VCH). Se hace referencia al requisito de volumen de la bodega de carga, contenedores en las bodegas y en la cubierta, superficie de la cubierta para vehículos, etc. También a la capacidad de lastre de agua.
- Velocidad de servicio (V_s): Velocidad a potencia NCR con un margen de mar específico.
- Limitaciones dimensionales. Limitaciones genéricas, debido al tránsito que realiza el buque, y suelen afectar especialmente al calado y la manga. Dependerán de las dimensiones de los canales de paso y de los puertos de carga y descarga.

CALADOS MÁXIMOS DE PUERTOS DE GRANELEROS

PUERTO	T_{mx}	PUERTO	T_{mx}	PUERTO	T_{mx}	PUERTO	T_{mx}
Albany	11,50	Amberes	14,95	Amsterdam	15,00	Bahia Blanca	11,60
Baltimore	15,20	Brownsville	10,67	Buchanan	14,20	Buenos Aires	14,50
Bunbury	12,20	Cape Town	13,10	Charleston	11,73	Corpus Christi	12,20
Duluth	07,92	Durban	11,60	Galveston	12,20	Gdansk	15,00
Gdynia	11,35	Geraldton	13,50	Hampton Roads	10,67	Houston	12,20
Le Havre	15,50	Londres	12,50	Long Beach	15,20	Los Angeles	15,50
Mobile	13,71	Monrovia	13,71	Montreal	09,00	Port Cartier	11,60
Portland (AUS)	12,20	Porto Alegre	05,18	Puerto Órdaz	09,00	Quebec	15,30
Rio Grande	14,00	Rotterdam	19,81	Rouen	11,00	Santos	11,59
Seattle	22,00	Sydney (AUS)	11,60	Vancouver	20,80		
Barcelona	14,00	Bilbao	14,00	Cadiz	09,00	Gijón	14,00
Valencia	14,00	Vigo	17,00				

Figura 2-1. Requisito de calado máximo en función de puerto de carga/descarga. Fuente: [8].

- Calado máximo (T_{max}).
- Autonomía de crucero.
- Consumo diario de fuel (DFOC): Relacionado con la economía del buque.
- Día de entrega.
- Precio. Este será el resultado de:
 Coste del material + coste de la mano de obra + coste de los gastos generales + margen

- Requisitos especiales. Como calado aéreo para el paso del buque bajo determinados puentes, hélice de proa/popa, timón especial, doble quilla, etc.

Además de los requisitos del armador, se pueden encontrar algún tipo de limitaciones que pueden ser específicas del astillero. Por ejemplo, las dimensiones de las gradas o diques de construcción, obstáculos en el corredor del buque durante la botadura o la salida del mismo al mar.

2.2 Estudio de los buques base

El diseño de un buque normalmente parte de otro buque base, es decir, se puede considerar que el diseño de una embarcación es más bien una mejora que una creación. Un barco se diseña basándose en buques similares anteriores ya operativos, llamados buques base. Por lo tanto, es importante estudiar los datos de los buques base, como las dimensiones principales, el peso en rosca, el peso muerto, la capacidad de las bodegas de carga, la velocidad, etc.

2.3 Revisión de normas y regulaciones

Las normas y los reglamentos deben revisarse y tenerse en cuenta a la hora de diseñar un buque. Si el diseño del buque no cumple con la normativa y reglamentos, el buque no puede obtener la aprobación de la sociedad de clasificación y, por tanto, finalmente no podrá construirse.

Algunas de las normas y regulaciones que restringen la construcción de un buque pueden ser:

- a) Organizaciones Marítimas Internacionales (OMI).
- b) Sociedades de clasificación.
- c) Administraciones: Bandera, puerto.
- d) Organizaciones regionales: UE, USCG (*United States Coast Guard*), etc.
- e) Organizaciones internacionales de normalización (ISO)

2.4 OMI

La OMI es una agencia especializada de las Naciones Unidas, y es la autoridad mundial que establece normas de seguridad, protección y rendimiento medioambiental del transporte marítimo internacional. En 2017, la OMI está formada por 171 Estados y tiene 3 miembros asociados. Por lo tanto, la OMI crea un marco normativo sobre buques y términos marítimos, y se convierte en una normativa fundamental para otras organizaciones.

La OMI cuenta con muchos instrumentos:

- a) Convenios. SOLAS 1974, MARPOL 1973, ICLL 1966, etc.

- b) Protocolos. SOLAS 1978 y 1988, Protocolo MARPOL 1978 y 1997, etc.
- c) Códigos. ISM (International Safety Management), LSA (Life-Saving Appliance), IBC (International Bulk Chemical), etc.
- d) Resoluciones. MSC (Comité de Seguridad Marítima), MEPC (Comité de Protección del Medio Marino), etc.
- e) Circulares. MSC, MEPC, Subcomités, etc.

Entre ellas, también se encuentran importantes normas y reglamentos relacionados con la seguridad y la estabilidad del buque como:

- SOLAS (Convenio Internacional para la Seguridad de la Vida Humana en el Mar) (OMI 1974)
- MARPOL (Convenio Internacional para Prevenir la Contaminación por los buques) (OMI 1973)
- ICLL (Convenio Internacional sobre Líneas de Carga) (OMI 1966)
- TONNAGE (Convenio Internacional sobre el Arqueo de buques) (OMI 1969)

2.5 Sociedad de clasificación

El diseño del buque también debe cumplir las normas de las Sociedades de Clasificación. Durante el contrato de un buque se elige una sociedad de clasificación específica y el buque se diseña de acuerdo con sus normas. En 2017, la IACS (Asociación Internacional de Sociedades de Clasificación) consta de 12 sociedades miembros.

Algunas de las sociedades más conocidas son:

- ABS (American Bureau of Shipping), Estados Unidos
- BV (Bureau Veritas), Francia
- DNV GL (Det Norske Veritas Germanischer Lloyd), Noruega
- LR (Lloyd's Register), Reino Unido



Figura 2-2. Sociedades de Clasificación. Fuente: <<https://marineandnavalengineering.com/articulos/sociedades-clasificacion-buque/>>

2.6 Administración

Además, un buque debe cumplir las normas y reglamentos de las administraciones como el país registrado y la bandera de conveniencia (FOC). Todos los buques tienen que estar registrados en un país determinado. De este modo, pertenecen a la jurisdicción exclusiva de la nación en aguas internacionales.

El armador puede registrar el buque bajo una bandera de conveniencia para reducir los costes de explotación o evitar la normativa del país del armador.

- País de registro. Por ejemplo, USCG (USA), DOT (UK), SBG (Alemania), SNMA (Suecia), NMD (Noruega), AMSA (Australia), KG (Corea), etc.
- Bandera de conveniencia. Se incluyen 28 países.

3. Restricciones de diseño

En la fase inicial de diseño, se disponen de pocos datos para poder determinar las dimensiones principales del buque. Por lo tanto, los valores iniciales pueden estimarse basándose en un buque base, cuyas relaciones dimensionales y coeficientes de forma del casco sean similares a las del buque que se busca diseñar.

Los datos principales incluyen: dimensiones principales, coeficientes de forma del casco, velocidad y potencia del motor, DFOC, capacidad de la bodega de carga, autonomía de crucero, tripulación, etc.

Las dimensiones principales y los coeficientes de forma del casco definen gran parte de las características de un buque, como la estabilidad, la capacidad de la bodega de carga, la resistencia, la propulsión y la eficiencia económica.

Por lo tanto, la determinación de las dimensiones principales y los coeficientes de forma del casco es lo más importante en el diseño de un buque. La eslora (L), la manga (B), el puntal (D), el calado (T) y el coeficiente de bloque (C_B) deben determinarse en primer lugar.

En el diseño de buques, las dimensiones principales no pueden determinarse de forma arbitraria, sino que siempre tienen que satisfacer las siguientes restricciones:

- La primera es una restricción física. Por ejemplo, un buque debe tener flotabilidad, es decir, un barco debe satisfacer el equilibrio hidrostático, lo que puede expresarse como cumplir una ecuación de pesos.
- La segunda es una restricción de tipo económico, que está relacionada con los requisitos del armador, como el tipo de buque a dimensionar, el peso muerto, la capacidad de las bodegas de carga, la velocidad de servicio, etc.
- La tercera hace referencia a las restricciones de índole reglamentario, como las normas de la OMI y las reglas de las Sociedades de Clasificación. Estas limitaciones deben tenerse en cuenta a la hora de determinar las dimensiones principales del buque.

3.1 Restricciones físicas

La restricción física es una limitación básica e importante en el diseño de buques. Un barco debe tener la capacidad de flotar en el agua. Para que un buque tenga flotabilidad, el barco debe satisfacer el equilibrio hidrostático y, por tanto, la fuerza gravitatoria (peso total, W) del buque debe ser igual a la fuerza de flotación (F_B) que actúa sobre el volumen de carena del buque. Esta restricción puede expresarse como la siguiente ecuación:

$$|F_B| = |W|. \quad (3.1)$$

El peso total puede descomponerse como la suma del peso en rosca (LWT) y del peso muerto (DWT) del buque. Se obtiene la Ecuación (3.2).

$$|W| = (LWT+DWT) \cdot |g|. \quad (3.2)$$

Según el principio de Arquímedes, la fuerza de flotación (F_B) sobre el volumen de carena tiene la misma magnitud que el peso del fluido desplazado por el buque. Se obtiene la ecuación (3.3).

$$|F_B| = |\Delta| = \rho \cdot \nabla \cdot |g|. \quad (3.3)$$

donde, ∇ es el volumen de carena del buque, $\rho \cdot \nabla$ es la masa de desplazamiento del buque, y $\rho \cdot \nabla \cdot g$ es el desplazamiento (Δ) del buque. Por lo tanto, la fuerza de flotación se puede definir como el desplazamiento del buque.

En el lado derecho de la ecuación (4.4), el volumen de desplazamiento del buque puede expresarse por el coeficiente de bloque (C_B):

$$\nabla_{molded} = L_{BP} \cdot B \cdot T \cdot C_B. \quad (3.4)$$

donde, L_{BP} , B , y T son la eslora entre perpendiculares, la manga y el calado del barco, respectivamente.

En general, hay que considerar el desplazamiento de las placas del casco y los apéndices como la hélice, el timón, el eje, etc. Por lo tanto, el volumen de desplazamiento del buque puede expresarse conforme sigue la ecuación (3.5)

$$\nabla_{total} = L_{BP} \cdot B \cdot T \cdot C_B \cdot (1+\alpha). \quad (3.5)$$

donde, α es una fracción del margen de los apéndices del casco que adapta el volumen de trazado al volumen real teniendo en cuenta el volumen de los apéndices.

Como resultado, en el lado izquierdo de la Ecuación (3.1), la fuerza de flotación puede expresarse como la siguiente ecuación:

$$|F_B| = \rho \cdot \nabla_{total} \cdot |g| = \rho \cdot L_{BP} \cdot B \cdot T \cdot C_B \cdot (1+\alpha) \cdot |g|. \quad (3.6)$$

Y de las Ecuaciones (3.2) y (3.6), la restricción física puede describirse mediante la siguiente Ecuación (3.7):

$$\rho \cdot L_{BP} \cdot B \cdot T \cdot C_B \cdot (1+\alpha) \cdot |g| = (LWT+DWT) \cdot |g|. \quad (3.7)$$

En el mundo sector naval, se utiliza la tonelada como unidad para el peso en rosca y el peso muerto en la práctica. Así, la Ecuación (3.7) puede ser como un tipo de ecuación de masa sin aceleración gravitacional (g), como se muestra en la Ecuación (3.8).

Esta ecuación significa la restricción física y se denomina ecuación de peso.

$$\rho \cdot L_{BP} \cdot B \cdot T \cdot C_B \cdot (1+\alpha) = (LWT+DWT). \quad (3.8)$$

Es importante tener en consideración que, en esta ecuación, si el peso muerto se da para el calado de diseño (DWT_d), T es el calado de diseño (T_d). Y si se da el peso muerto para el calado de escantillón (DWT_s), T es el calado de escantillón (T_s).

3.2 Restricciones económicas

3.2.1 Ecuación de volumen

La capacidad de las bodegas de carga es uno de los requisitos del armador y la principal dimensión que el buque, ya que este tiene que satisfacer la capacidad de carga requerida. En el caso de los petroleros, graneleros, etc., el volumen de las bodegas de carga puede utilizarse como el índice de capacidad.

El volumen del buque puede expresarse en función de la eslora, la manga y el calado del buque, como la siguiente ecuación:

$$V_{CH} = f(L, B, D). \quad (3.9)$$

Donde V_{CH} hace referencia al volumen de las bodegas de carga requerido por el armador.

Esta ecuación significa una restricción económica en el aspecto de la capacidad de bodegas de carga y recibe el nombre de ecuación de volumen. Por lo tanto, las dimensiones principales deben ser determinadas de acuerdo a esta ecuación.

3.2.2 Velocidad de servicio y DFOC

El armador requiere que el buque se diseñe de forma económica con una velocidad de servicio determinada. Para ello, se debe tener en consideración el consumo de combustible del buque, como el DFOC (consumo diario de fuel). Este parámetro está muy relacionado con el motor principal del buque. A su vez, para la selección del motor principal el ingeniero se basa en la resistencia total y la potencia del buque. Por ello, para poder seleccionar el motor principal, en primer lugar, se tiene que estimar la resistencia total del barco en aguas tranquilas.

Es por esto que primero se calcula la potencia necesaria, como EHP, DHP, BHP, NCR y MCR. Y después de tener definidos estos parámetros, por último, se selecciona el motor principal que tenga una NMCR adecuada teniendo en cuenta la MCR. Una vez seleccionado el motor principal, el DFOC, que es una función de varios parámetros puede estimarse mediante la siguiente ecuación (3.10.):

$$DFOC = f(NCR, SFOC). \quad (3.10)$$

Donde:

NCR es el índice continuo normal y SFOC es el consumo específico de fuel-oil.

3.3 Restricciones regulatorias

3.3.1 Francobordo requerido

El francobordo es la distancia entre la superficie del agua y la parte superior de la cubierta de francobordo, normalmente la parte superior de la cubierta principal en el costado. Incluye el espesor de la chapa de la cubierta. El francobordo está estrechamente relacionado con el calado del buque. El francobordo determina si el puntal del buque es admisible de acuerdo con la regulación ICLL 1966 (OMI 1966), es decir, el francobordo real ($D_f - T_s$) del buque no debe ser inferior al francobordo exigido por la normativa ICLL (Fb_{ICLL}), tal y como se observa en la siguiente ecuación (3.11.):

$$D_f - T_s \geq Fb_{ICLL}(L, B, D, C_B). \quad (3.11)$$

Siendo:

- D_f es el puntal tomado para el cálculo del francobordo, y este es la suma del puntal de trazado (D_{molded}) y el espesor de la placa de cubierta (t_{deck}).
- T_s es el máximo calado de verano o de escantillonado del buque.

3.3.2 Estabilidad requerida

Uno de los requisitos de cualquier buque es tener suficiente estabilidad. Existen dos tipos de estabilidad: la estabilidad intacta y la estabilidad en avería. En la fase inicial de diseño, la estabilidad sin avería del buque puede estimarse aproximadamente a partir de la estabilidad inicial. La estabilidad del buque está relacionada con el momento de recuperación cuando el buque está inclinado. El momento de recuperación que también se denomina momento de adrizamiento, depende del brazo de adrizamiento (GZ). La curva de estabilidad estática (o curva GZ) es un gráfico del brazo adrizante frente al ángulo de inclinación para una condición de carga determinada. Esta curva está regulada por la OMI y el cumplimiento de las normas debe evaluarse en la fase de diseño, tal y como se indica en la Ecuación (3.12).

$$GZ(L, B, D, T, C_B) \geq GZ_{IMO}. \quad (3.12)$$

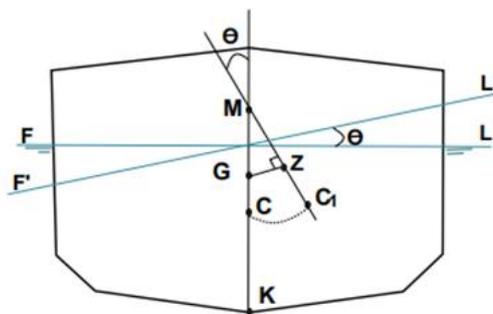


Figura 3-1. Brazo de estabilidad para ángulos pequeños. Fuente: Fuente [12].

Para un ángulo de inclinación pequeño, GZ puede aproximarse como GM (altura metacéntrica).

GM puede utilizarse como índice de la estabilidad inicial en la fase inicial de diseño.

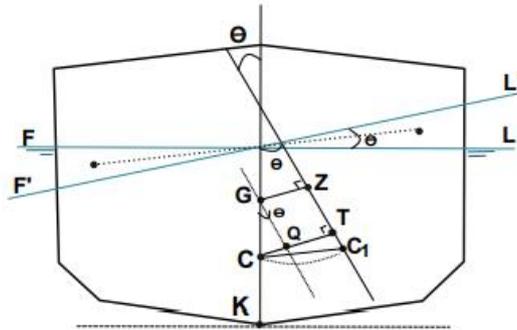


Figura 3-2. Brazo de estabilidad para grandes escoras. Fuente [12].

4. Estimación del peso en rosca

Como se ha mencionado anteriormente, para que un buque tenga flotabilidad, el barco debe satisfacer el equilibrio hidrostático y, por tanto, el peso total (W) del barco debe ser igual a la fuerza de flotación (FB) que actúa sobre el volumen de carena. La fuerza de flotación sobre el volumen de carena tiene la misma magnitud que el peso del fluido desplazado por el volumen de carena. Este hecho hace que la ecuación del peso sea una restricción física en el diseño del buque, como se muestra en la Ecuación (3.8). En esta ecuación, el peso muerto (DWT) es uno de los requisitos del armador, mientras que no se tiene un valor prefijado para el peso ligero (LWT).

El peso en rosca será función de las dimensiones principales y el motor principal del buque y debe ser estimado. Existen varios métodos para calcularlo. A continuación, se explican algunos de ellos:

Método 1. A partir del peso en rosca del buque base.

En la fase inicial de diseño, se disponen de pocos datos para la estimación del peso en rosca. Por lo tanto, la forma más sencilla de estimarlo es suponer que este no varía con la variación de las dimensiones principales del buque, según la siguiente ecuación:

$$LWT = LWT_P. \quad (4.1)$$

En donde:

- LWT es el peso en rosca del buque de diseño.
- LWT_P es el peso en rosca del buque base o “padre”.

Como resultado, la Ecuación de pesos (3.8) puede reescribirse como la siguiente ecuación.

$$\rho \cdot L \cdot B \cdot T \cdot C_B \cdot (1+\alpha) = LWT_P + DWT. \quad (4.2)$$

Método 2. A partir de la relación entre el peso muerto y el peso total.

Para una mayor precisión, el método 2 supone que el buque de diseño y el buque base tienen la misma relación entre el peso muerto y el peso total, según la siguiente ecuación:

$$\frac{DWT_P}{W_P} = \frac{DWT}{W}. \quad (4.3)$$

$$W = \frac{DWT}{DWT_P} \cdot W_P. \quad (4.4)$$

$$LWT = W - DWT = DWT \cdot \left(\frac{W_P}{DWT_P} - 1 \right). \quad (4.5)$$

Sabiendo que:

- W es el peso total del buque de diseño.
- W_P es el peso total del buque base.
- DWT_P es el peso muerto del buque base.

Por lo tanto, el peso total del buque de diseño puede estimarse mediante la relación entre el peso muerto y el peso total del buque base, reescribiendo la ecuación del peso como sigue:

$$\rho \cdot L \cdot B \cdot T \cdot C_B \cdot (1+\alpha) = \frac{DWT}{DWT_P} \cdot W_P. \quad (4.6)$$

Método 3. A partir de la eslora, manga y puntal.

Para mejorar la precisión del Método 1 y 2, el Método 3 supone que el peso en rosca depende de las dimensiones principales como L , B y D . Es decir, se puede suponer que el peso en rosca es proporcional a $L \cdot B \cdot D$, según la siguiente ecuación

$$LWT = C_{LWT} \cdot L \cdot B \cdot D. \quad (4.7)$$

donde, C_{LWT} es un coeficiente que se obtiene suponiendo que el coeficiente del buque de diseño es el mismo que el del buque base, conforme la ecuación (4.8.):

$$C_{LWT} = \frac{L_P \cdot B_P \cdot D_P}{LWT_P}. \quad (4.8)$$

donde, L_P , B_P y D_P son la eslora, la manga y el puntal del buque base, respectivamente. Como resultado, la Ecuación de peso (3.8) puede reescribirse como se muestra en la Ecuación (4.9).

$$\rho \cdot L \cdot B \cdot T \cdot C_B \cdot (1+\alpha) = DWT + C_{LWT} \cdot L \cdot B \cdot D. \quad (4.9)$$

Método 4. A partir del peso estructural, peso del equipo y maquinaria.

En este método se divide el buque en tres partes: estructura del casco, el equipo y la maquinaria. En base a esta suposición, la estimación del peso en rosca será más precisa si se pudiese estimar el peso de cada uno de los componentes, como la siguiente ecuación:

$$LWT = W_S + W_o + W_m. \quad (4.10)$$

Donde,

- W_s representa el peso estructural del buque.
- W_o representa el peso de los equipos del buque.
- W_m representa el peso de la maquinaria del buque.

Si estos pesos son dependientes de las dimensiones principales, pueden estimarse en componentes conforme se explica a continuación.

- Peso estructural (W_s).

En primer lugar, se puede suponer que el peso estructural (W_s) es función de L, B y D.

$$W_s = f(L, B, D). \quad (4.11)$$

Dado que la estructura del buque está compuesta en realidad por planchas rígidas, se utilizan variables de área que proporcionen una mejor correlación.

Si se utilizan variables de área como $L \cdot B$ o $B \cdot D$, la Ecuación (4.11) puede reescribirse como:

$$W_s = f(L \cdot B, B \cdot D). \quad (4.12)$$

Por ejemplo, suponiendo que el peso estructural es proporcional a L^α y $(B+D)^\beta$ la Ecuación (4.12.) puede reescribirse como la siguiente:

$$W_s = C_s \cdot L^\alpha \cdot (B+D)^\beta. \quad (4.13)$$

Conociendo que:

- C_s es un coeficiente para el peso estructural obtenido suponiendo que el coeficiente del buque de diseño es el mismo que el del buque base.
- Los parámetros desconocidos, como α y β pueden obtenerse a partir del análisis de regresión utilizando una serie de datos de los buques base. Por ejemplo, utilizando los datos de los buques de referencia, los valores de α y β pueden obtenerse como $\alpha = 1.6$ y $\beta = 1$.

$$W_s = C_s \cdot L^{1.6} \cdot (B+D). \quad (4.14)$$

La Ecuación (4.14) refleja que la eslora del buque (L) afectará exponencialmente al peso estructural mucho más que otras variables como la manga (B) y el puntal (D).

- Peso del equipo (W_o).

En segundo lugar, el peso del equipo (W_o) puede asumirse como una función de L y B, como la siguiente ecuación.

$$W_o = f(L, B). \quad (4.15)$$

Por ejemplo, suponiendo que el peso del equipo es proporcional a L y B, la anterior ecuación puede ser reescrita como:

$$W_o = C_o \cdot L \cdot B. \quad (4.16)$$

Siendo:

- C_o un coeficiente para el peso del equipo obtenido suponiendo que el coeficiente del buque de diseño es el mismo que el del buque base.

- Peso de la maquinaria (W_m).

El peso de la maquinaria puede ser asumido como función del NMCR del motor principal.

$$W_m = f(\text{NMCR}). \quad (4.17)$$

Por ejemplo, si se asume que el peso de la maquinaria es proporcional al NMCR, se tiene que

$$W_m = C_m \cdot \text{NMCR}. \quad (4.18)$$

Donde:

- C_m es el coeficiente de la maquinaria obtenido asumiendo que el coeficiente de del buque de sieño es el mismo que el del buque base.
- NMCR expresado en PS (*German Horse Power*), que equivale a 0.9863 hp. La velocidad se expresará en unidades de kn.

Por tanto, si se consideran las ecuaciones descritas para W_m , W_o y W_s , el peso en rosca puede estimarse como sigue:

$$\text{LWT} = W_m + W_o + W_s = C_S \cdot L^{1.6} \cdot (B+D) + C_o \cdot L \cdot B + C_m \cdot \text{NMCR}. \quad (4.19)$$

El término NMCR es la combinación máxima de potencia y velocidad disponible para la operación del motor principal y es un criterio que influye en el tamaño, peso, potencia y coste del motor principal.

El NMCR puede estimarse a partir de la predicción de la resistencia y la potencia de propulsión del buque de diseño. Sin embargo, dado que en la fase inicial de diseño hay pocos datos disponibles para la estimación de NMCR, se comienza por la estimación del parámetro DHP (*Delivered Horse Power*).

El DHP de un buque en aguas tranquilas puede expresarse en función del desplazamiento (Δ) y la velocidad del buque (V_S), conforme la siguiente ecuación.

$$\text{DHP} = f(\Delta, V_S). \quad (4.20)$$

Por ejemplo, suponiendo que la DHP en aguas tranquilas es proporcional a Δ^α y V_S^β , la Ecuación (4.21) puede obtenerse mediante análisis de regresión utilizando los datos de los buques base.

$$\text{DHP} = C_{\text{DHP}} \cdot \Delta^{2/3} \cdot V_S^3. \quad (4.21)$$

Donde:

- C_{DHP} es un coeficiente para estimar DHP. Puede obtenerse a partir de los datos del buque base.

En consecuencia, la Ecuación (4.21) puede reescribirse como:

$$DHP = \frac{\Delta^{2/3} \cdot V_s^3}{C_{ad}} \quad (4.22)$$

En donde:

- C_{ad} es un coeficiente que se obtiene suponiendo que el coeficiente del buque de diseño es el mismo que el del buque base. Este coeficiente está relacionado con el coeficiente expresado anteriormente (C_{DHP}) y se define como $C_{ad} = 1/C_{DHP}$.

A este coeficiente, C_{ad} , se le conoce como coeficiente de almirantazgo, y se define como se muestra a continuación.

$$C_{ad} = \frac{\Delta^{2/3} \cdot V_s^3}{DHP} \quad (4.23)$$

Dado que $\Delta^{2/3} \cdot V_s^3$ es proporcional a la EHP (potencia efectiva en caballos), el coeficiente de almirantazgo puede considerarse como una especie de medición de la eficiencia/rendimiento de propulsión (η_D) como podemos observar en la Ecuación (4.24).

$$\eta_D = \frac{EHP}{DHP} \quad (4.24)$$

Sin embargo, esto debe utilizarse sólo para una estimación aproximada. Una vez determinadas las dimensiones principales del barco, DHP debe estimarse con mayor precisión a partir de la predicción de la resistencia y la potencia.

Como el desplazamiento (Δ) se expresa con la ecuación del peso, la Ecuación (4.22) puede reescribirse como la Ecuación (4.25).

$$DHP = \frac{(\rho \cdot L \cdot B \cdot T \cdot CB \cdot (1 + \alpha))^{2/3} \cdot V_s^3}{C_{ad}} \quad (4.25)$$

Utilizando la Ecuación (4.25), el NMCR puede reescribirse conforme la Ecuación (4.26).

$$\begin{aligned} NMCR &= \frac{1}{\eta_T} \cdot \left(1 + \frac{Sea\ Margin}{100}\right) \cdot \frac{1}{Engine\ Margin} \cdot \frac{1}{Derating\ Ratio} \cdot DHP = \\ C_1 \cdot DHP &= \frac{C_1}{C_{ad}} \cdot (\rho \cdot L \cdot B \cdot T \cdot CB \cdot (1 + \alpha))^{2/3} \cdot V_s^3. \end{aligned} \quad (4.26)$$

Donde:

- η_T es la eficiencia de transmisión
- El coeficiente C_1 se define como $C_1 = (1/\eta_T) \cdot (1 + Margen\ de\ mar/100) \cdot (1/Margen\ de\ motor) \cdot (1/Relación\ de\ transmisión)$

Por último, utilizando la Ecuación (4.26), el peso de la maquinaria puede reescribirse como la próxima ecuación.

$$W_m = C_m \cdot \text{NMCR} = C_m \cdot \frac{C_1}{C_{ad}} \cdot (\rho \cdot L \cdot B \cdot T \cdot C_B \cdot (1 + \alpha))^{2/3} \cdot V_S^3 = C_{power} \cdot (\rho \cdot L \cdot B \cdot T \cdot C_B \cdot (1 + \alpha))^{2/3} \cdot V_S^3. \quad (4.27)$$

Sabiendo que:

- El coeficiente C_{power} se define como $C_{power} = C_m \cdot C_1 / C_{ad}$.

En conclusión, la Ecuación (4.10) del peso en rosca se puede estimar conforme la Ecuación (4.28) aplicando el método 4.

$$\text{LWT} = W_S + W_o + W_m = C_S \cdot L^{1.6} \cdot (B+D) + C_o \cdot L \cdot B + C_{power} \cdot (\rho \cdot L \cdot B \cdot T \cdot C_B \cdot (1+\alpha))^{2/3} \cdot V_S^3. \quad (4.28)$$

Por tanto, ahora se puede reescribir la ecuación de masas como sigue:

$$\rho \cdot L \cdot B \cdot T \cdot C_B \cdot (1+\alpha) = \text{DWT} + C_S \cdot L^{1.6} \cdot (B+D) + C_o \cdot L \cdot B + C_{power} \cdot (\rho \cdot L \cdot B \cdot T \cdot C_B \cdot (1+\alpha))^{2/3} \cdot V_S^3. \quad (4.29)$$

El resultado es una Ecuación (4.29) indeterminada no lineal, con 5 variables desconocidas (L, B, D, T y C_B) para datos conocidos de DWT, α , C_S , C_o , C_{power} , V_S y ρ .

Por tanto, para resolver la ecuación de pesos, a partir del método 4, de forma resumida, se siguen tres pasos:

1. Definición del problema.

- (a) Datos conocidos: C_S , C_o y C_m del buque base.
- (b) Se suponen: eslora (L), manga (B), puntal (D) y NMCR del buque de diseño.
- (c) Hallar: peso en rosca (LWT) del buque de diseño.

2. Formulación matemática.

La formulación matemática de este problema tiene una ecuación como la siguiente

$$\text{LWT} = W_S + W_o + W_m = C_S \cdot L^{1.6} \cdot (B+D) + C_o \cdot L \cdot B + C_m \cdot \text{NMCR}. \quad (4.30)$$

En esta ecuación, el NMCR debería determinarse mediante la selección del motor principal. Sin embargo, tal y como se ha explicado anteriormente, en la fase inicial de diseño, el NMCR se puede estimar aproximadamente por la fórmula del almirantazgo descrita anteriormente (Ecuación 4.23).

3. Selección del algoritmo.

Este problema de una ecuación tiene formalmente una incógnita (LWT) y puede ser resuelto, si y sólo si se suponen L, B, D y NMCR del buque de diseño. Sin embargo, la tarea real de resolver esta ecuación es cómo asumir L, B, D, y NMCR.

5. Estimación de la capacidad de la bodega de carga

Uno de los requisitos del armador es la capacidad de carga. En el caso de un petrolero, un granelero, etc., el volumen de las bodegas de carga puede utilizarse como el índice de la capacidad. Como se ha mencionado anteriormente, el requisito sobre el volumen se representa como la ecuación del volumen, que es una de las restricciones económicas, como se muestra en la Ecuación (4.9). En esta ecuación, el volumen requerido de la bodega de carga (V_{CH}) viene dado por el propietario del buque. Además de este requisito, el volumen del buque de diseño también debe ser diseñado según las estimaciones de dimensiones principales (L, B y D). Para ello, se pueden utilizar dos métodos en la fase inicial de diseño, que se explican a continuación.

Método 1. Usando la eslora, manga y puntal.

En primer lugar, se puede suponer que el volumen de la bodega de carga es proporcional a L, B y D según la siguiente ecuación:

$$V_{CH} = C_{CH} \cdot L_{BP} \cdot B \cdot D \text{ [m}^3\text{]}. \quad (5.1)$$

En donde:

- C_{CH} es un coeficiente para estimar el volumen de la bodega de carga utilizando el Método 1. Puede obtenerse a partir de los datos del buque base, suponiendo que el coeficiente del buque de diseño es el mismo que el del buque base.

Por tanto, de forma esquemática, el método 1 utiliza los siguientes pasos para determinar el volumen de las bodegas de carga:

1. Definición del problema.
 - (a) Conocidos: C_{CH} del buque base, eslora (L), manga (B) y puntal (D) del buque de diseño.
 - (b) Hallar: el volumen de la bodega de carga (V_{CH}) del buque de diseño.
2. Formulación matemática.

La formulación matemática de este problema es conforme la ecuación (5.1).

3. Selección del algoritmo.

Este problema de una ecuación tiene una incógnita (V_{CH}) y se puede resolver fácilmente.

Método 2. Usando la eslora de la bodega, manga y puntal.

El volumen de la bodega de carga puede estimarse con mayor precisión si se considera la longitud de la bodega de carga (L_H) en lugar de la eslora del buque. En el método 2, se supone que el volumen es proporcional a L_H , B y D, según la siguiente ecuación:

$$V_{CH} = C_{CH} \cdot L_H \cdot B \cdot D \text{ [m}^3\text{]}. \quad (5.2)$$

Donde:

- C_{CH} es un coeficiente para estimar el volumen de la bodega de carga utilizando el Método 1. Puede obtenerse a partir de los datos del buque base.

La eslora de la bodega de carga se define mediante la siguiente ecuación.

$$L_H = L_{BP} - L_{APT} - L_{ER} - L_{FPT} \text{ [m]}. \quad (5.3)$$

Siendo:

- L_{APT} es la eslora del cuerpo de popa (m).
- L_{ER} es la eslora de la sala de máquinas (m).
- L_{FPT} es la eslora del cuerpo de proa del barco (m).

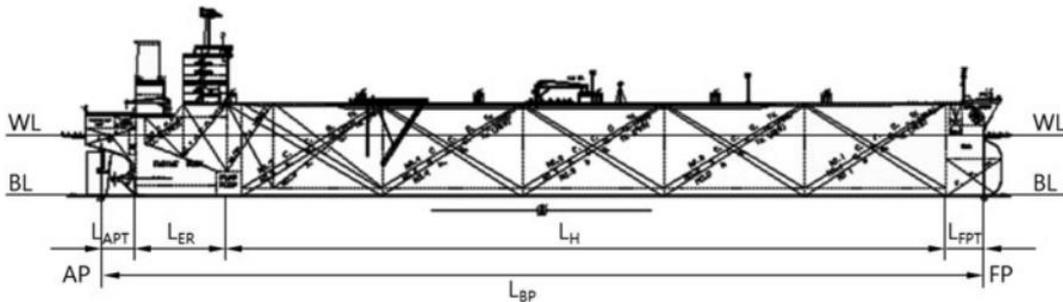


Figura 5-1. Eslora de la bodega de carga de un buque. Fuente: [1].

6. Francobordo

Como uno de los reglamentos internacionales, el requisito de francobordo se evalúa en el presente capítulo. El método utilizado para calcular el francobordo mínimo requerido en este proyecto está basado en el ICLL (Convenio Internacional sobre Líneas de Carga) de 1966 de la OMI.

6.1 Definición y parámetros

Un buque necesita un margen de seguridad adicional para mantener su flotabilidad y estabilidad mientras opera en el mar. Este margen de seguridad lo proporciona la flotabilidad de reserva del casco situada por encima de la línea de flotación, que se denomina francobordo.

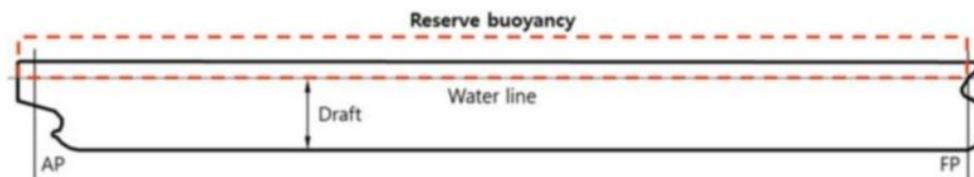


Figura 6-1. Papel del Francobordo en el buque. Fuente: [1].

El francobordo se define como la distancia vertical medida hacia abajo, en la sección media del buque, desde el canto alto de la línea de cubierta hasta el canto alto de la línea de carga correspondiente. En otras palabras, el francobordo es la distancia entre la superficie del agua y la parte superior de la cubierta de francobordo en el costado.

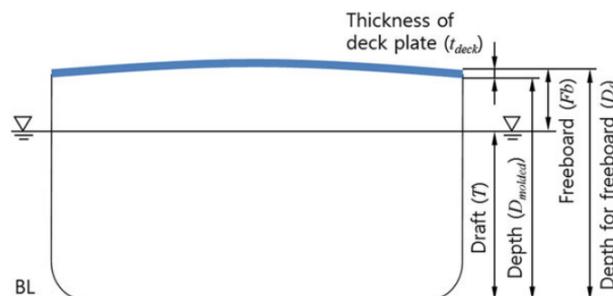


Figura 6-2. Francobordo y puntal de francobordo. Fuente: [1].

El francobordo puede expresarse con la siguiente ecuación.

$$Fb = D_{molded} + t_{deck} - T_s = D_f - T_s. \quad (6.1)$$

En donde:

- D_{molded} es el puntal excluyendo el espesor de la plancha de la quilla.
- t_{deck} es el espesor de la plancha de cubierta.

- T_s es el calado de escantillón excluyendo el espesor de la plancha de quilla.
- D_f es el puntal de francobordo incluyendo el espesor de la placa de cubierta, es decir, $D_f = D_{molded} + t_{deck}$.

Como se indicaba en el Capítulo 1.2, existen dos tipos de calado calculados: el calado de diseño (T_d) y el calado de escantillón (T_s). El calado de diseño es el calado que se estima para la operación del buque, y el de escantillón se utiliza como base para el diseño estructural. Normalmente, el calado de escantillón es mayor que el calado de diseño. Por lo tanto, el calado de escantillón se utiliza en el cálculo del francobordo ya que se trata de la condición más demandante.

Según el reglamento de la ICLL, el francobordo real del buque (Fb_{actual}) no debe ser inferior al francobordo exigido por la ICLL (Fb_{ICLL}), según la siguiente ecuación:

$$Fb_{actual} = D_f - T_s \geq Fb_{ICLL}. \quad (6.2)$$

El francobordo influye en las características del buque, como la cubierta estanca, la flotabilidad de reserva en caso de avería, la estabilidad intacta y la estabilidad con avería. Por ejemplo, una cubierta estanca es deseable como medida de seguridad contra la entrada de agua a través de las aberturas de la cubierta, así como para evitar que los mares violentos destruyan la superestructura del barco. Por supuesto, las demás características, como la flotabilidad de reserva en condiciones de avería, la estabilidad intacta y la estabilidad en caso de avería, son también importantes porque están todas directamente relacionadas con la seguridad del buque.

Para aumentar el francobordo hay tres alternativas posibles:

1. La primera sería aumentar el puntal, lo que supone una disminución de la manga, con la condición de mantener el desplazamiento constante. Sin embargo, el aumento del puntal y la disminución de la manga produce una disminución de la estabilidad.
2. La segunda alternativa es la adición de la superestructura.

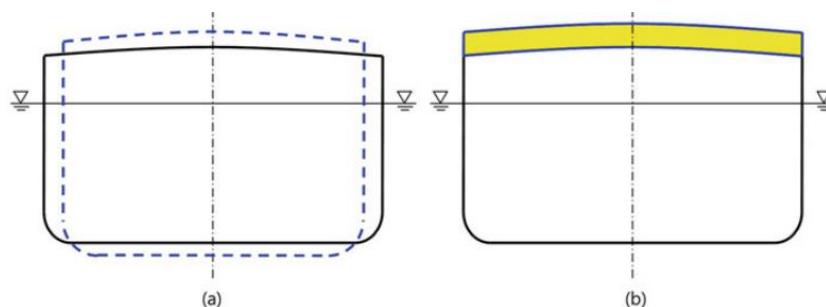


Figura 6-3. Métodos para aumentar el francobordo. Incrementar el puntal y disminuir la manga (izq.) o añadir superestructura adicional (dr.). Fuente: [1].

3. La tercera es el aumento de la escora. La escora es una medida de la curvatura longitudinal de la cubierta principal. También afecta a la estabilidad del buque y se tiene en cuenta en el cálculo del francobordo. Si un buque se diseña sin escora, el buque tiene una mejor estiba de los contenedores en las bodegas y en la cubierta. Además, puede

construirse con un método más barato y tiene mayor capacidad de contenedores con un volumen constante bajo cubierta.

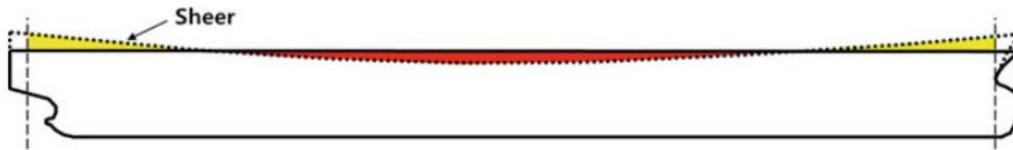


Figura 6-4. Buque con arrufo (amarillo) y sin arrufo (rojo) para un mismo volumen. Fuente: [1].

Para realizar el cálculo del francobordo mínimo requerido se necesita definir previamente los parámetros de “cubierta de francobordo” y “eslora de francobordo”.

- **Cubierta de francobordo.**

(a) La cubierta de francobordo es normalmente la cubierta completa más alta expuesta a la intemperie, y por debajo de la cual todas las aberturas de los costados del buque están con medios permanentes de cierre hermético.

(b) Cuando un hueco/receso en la cubierta de francobordo se extiende hasta los costados del buque y tenga una longitud superior a 1 m., la línea más baja de la cubierta expuesta y la continuación de esa línea paralela a la parte superior de la cubierta se toma como cubierta de francobordo.

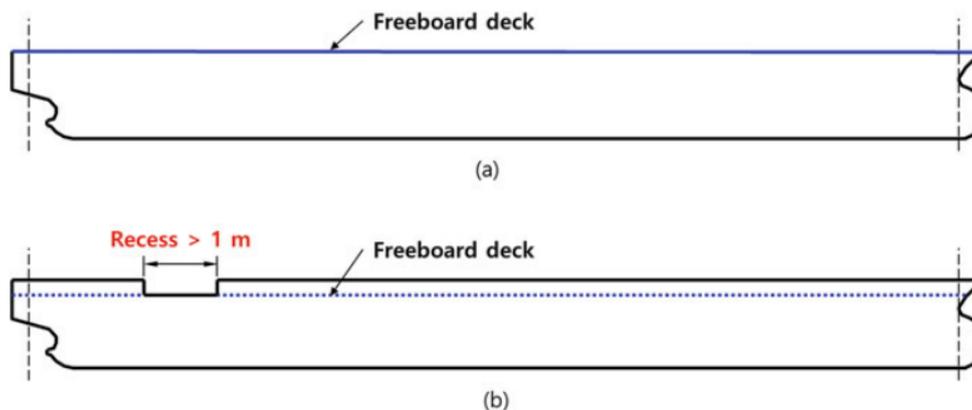


Figura 6-5. Francobordo para buque sin receso (a) y para buque con receso (b). Fuente: [1].

- **Eslora de francobordo.**

La eslora de francobordo (L_f) es la eslora base para el cálculo del francobordo y se define conforme se muestra en la Ecuación (6.3).

$$L_f = \max (L_1, L_2). \quad (6.3)$$

En esta ecuación:

- L_1 es el 96% de la eslora total, incluyendo el grosor de la roda y la popa, en una línea de flotación al 85% del puntal de trazado medida desde la cara superior de la quilla.

- L_2 es la eslora en una línea de flotación al 85% del puntal de trazado desde la cara proel de la roda hasta el eje de la mecha del timón.

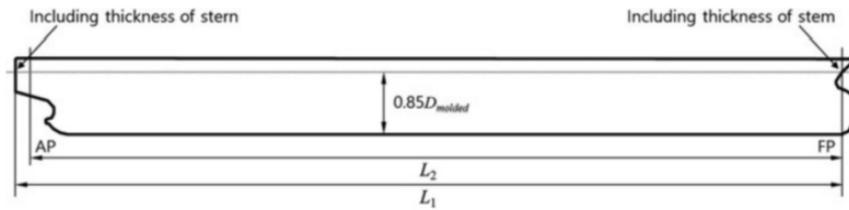


Figura 6-6. Eslora de Francobordo. Fuente: [1].

En el reglamento de francobordo, la perpendicular de popa (AP) se establece utilizando la línea central de la mecha del timón y la perpendicular de proa (FP) se sitúa en el punto de la intersección de la línea de flotación al 85% del puntal con el borde delantero de la roda. La razón por la que se utiliza el 85% del puntal en lugar del calado, es que el calado normalmente no está disponible como valor de entrada, ya que el calado sólo se conoce después de terminar el cálculo del francobordo.

6.2 Cálculo del francobordo requerido

En este epígrafe se describe el procedimiento para el cálculo del francobordo siguiendo el reglamento ICLL. Para calcular el francobordo del buque de acuerdo con este reglamento, se requieren algunos datos y planos como los siguientes:

- Plano de las líneas del casco o tabla de compensaciones.
- Plano de disposición general.
- Tablas hidrostáticas.
- Plano de la cuaderna maestra del buque.
- Plano de desarrollo del casco.
- Plano constructivo.

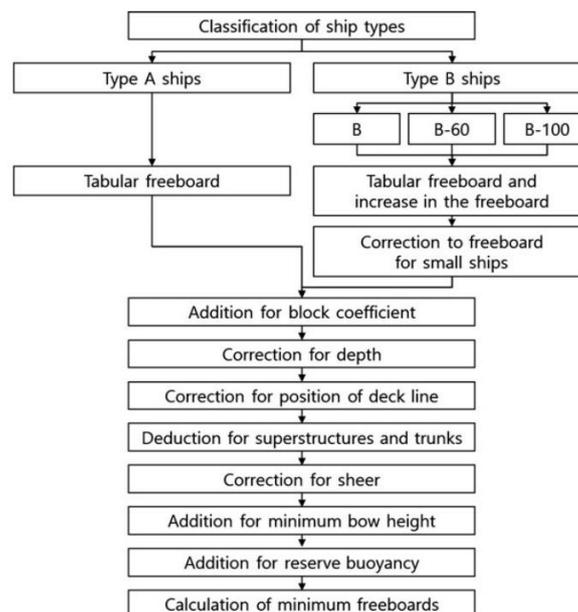


Figura 6-7. Procedimiento para el cálculo del Francobordo. Fuente: [1].

A partir de estos datos y planos, el procedimiento general para el cálculo del francobordo necesario se muestra en la Figura 6-7.

6.2.1 Clasificación de tipos de buques

Tal y como se mostraba en el esquema anterior, a efectos del cálculo del francobordo, se encontrarán dos tipos de buques: tipo A y tipo B.

Buques tipo A

El buque de tipo A es aquel que:

- a) Está diseñado para transportar únicamente cargas líquidas a granel.
- b) Tiene una alta integridad de la cubierta expuesta, con sólo pequeñas aberturas de acceso a los compartimentos de carga, cerradas por cubiertas estancas de acero o material equivalente.
- c) Tiene una baja permeabilidad en los compartimentos de carga. Los buques tipo A de más de 150 m de eslora, cuando se encuentren cargados de acuerdo a las condiciones iniciales de carga, deben ser capaces de soportar la inundación de cualquier compartimento o compartimentos como consecuencia de un caso de avería, y deben ser capaces de permanecer a flote en un estado de equilibrio satisfactorio.

Algunos buques tipo A pueden ser: un petrolero, un buque de transporte de GNL, etc.

Buques tipo B

Los buques tipo B son todos los que no cumplen las condiciones relativas a los buques de tipo A. Algunos buques tipo B pueden ser: un granelero, un portacontenedores, etc.

6.2.2 Cálculo del francobordo tabular

Se empieza por el cálculo del francobordo tabular, que será sólo función del tipo de buque y de su eslora. Las reglas del Convenio estipulaban que los buques pueden ser tipo A y tipo B.

Buques tipo A

A los buques tipo A se les asignará un francobordo no inferior al francobordo tabulado ($F_{t,A}$). Este se muestra mediante tablas en el Anexo A. El francobordo para buques con valores de eslora intermedias, serán obtenidos por interpolación lineal.

El francobordo para los buques del tipo A con esloras de entre 365 y 400 m, se determinan mediante la siguiente ecuación.

$$F_{t,A} = 221 + 16.10 \cdot L_f - 0.02 \cdot L_f^2 \quad [\text{mm}]. \quad (6.4)$$

En donde:

- El francobordo tabular ($F_{t,A}$) está en mm.
- La eslora de francobordo está en m.

El francobordo para los buques de tipo A con una eslora de valor de 400 m o superior adquiere un valor constante de 3.460 mm.

Buques tipo B

En cuanto a los buques tipo B equipados con tapas de escotilla que cumplen con los requisitos, deben tener asignados francobordos con valores no inferiores a los francobordos tabulados ($F_{t,B}$) para el Tipo B en las tablas del Anexo A. En cuanto a los buques del tipo B que tengan escotillas equipadas con tapas de escotilla que no cumplan los requisitos (es decir, tapas portátiles aseguradas a la intemperie por lonas y dispositivos de anclaje) se les debe asignar los francobordos basados en los valores indicados en las tablas del Anexo A, incrementados con los valores adicionales indicados en el reglamento.

El francobordo para los buques de tipo B con esloras entre 365 y 400 m se determinan por la siguiente ecuación:

$$F_{t,B} = - 587 + 23 \cdot L_f - 0.0188 \cdot L_f^2 \quad [\text{mm}]. \quad (6.5)$$

Donde:

- El francobordo tabular ($F_{t,B}$) está en mm.
- La eslora de francobordo está en m.

El francobordo para los buques de tipo B con una eslora de 400 m y superior toma el valor constante de 5.605 mm.

El francobordo tabulado para los buques de tipo B de entre 24 y 100 m de eslora que tienen superestructuras cerradas con una eslora efectiva de hasta el 35% de la eslora de francobordo (L_f) debe aumentarse conforme la ecuación (6.6):

$$F_{t,B}^+ = 7.5 \cdot (100 - L_f) \cdot \left(0.35 - \frac{L_{SE}}{L_f}\right) \quad [\text{mm}]. \quad (6.6)$$

Siendo:

- $F_{t,B}^+$ es un aumento de $F_{t,B}$ en mm.
- L_{SE} es la longitud efectiva de la superestructura excluyendo el tronco (en m).

A todo buque de tipo B de más de 100 m de eslora se le podrá asignar francobordos inferiores a los exigidos, que serán función de la cantidad de reducción concedida, como 60% (tipo "B-60"), 100% (tipo "B-100"), etc.

En el caso del buque de tipo "B-60" el francobordo tabular ($F_{t,B-60}$) puede calcularse mediante la siguiente ecuación.

$$F_{t,B-60} = F_{t,B} - 0.6 \cdot (F_{t,B} - F_{t,A}). \quad (6.7)$$

Y en el caso de un buque del tipo "B-100", el francobordo tabular ($F_{t,B-100}$) puede ser calculado mediante la siguiente ecuación.

$$F_{t,B-100} = F_{t,B} - 1.0 \cdot (F_{t,B} - F_{t,A}) = F_{t,A}. \quad (6.8)$$

Además, a los buques pequeños, como una gabarra, una barcaza u otro buque sin medios de propulsión independientes, se les debe asignar un francobordo conforme a las disposiciones del reglamento.

6.2.3 Adición por coeficiente de bloque

En función del valor del coeficiente de bloque del buque, el francobordo tabular debe ser modificado. Es decir, si el coeficiente de bloque del buque es superior a 0.68, el valor del término c_{CB} (en mm) en la Ecuación (6.9) debe añadirse al francobordo tabular.

$$\begin{cases} C_{CB} = 0 \text{ [mm]}, & \text{cuando } C_{Bf} < 0.68, \\ C_{CB} = F_t \cdot \{(C_{Bf} + 0.68)/1.36 - 1\} \text{ [mm]}, & \text{cuando } 0.68 \leq C_{Bf}. \end{cases} \quad (6.9)$$

Donde:

- El coeficiente de bloque para el francobordo (C_{Bf}) significa el coeficiente de bloque al 85% del puntal y se define como sigue

$$C_{Bf} = \frac{\nabla_f}{L_f \cdot B \cdot T_f}.$$

En esta ecuación, T_f es el calado al 85% del puntal de trazado en la cubierta de francobordo y ∇_f es el volumen de desplazamiento al T_f .

6.2.4 Corrección por puntal

En función del puntal de francobordo (D_f) del buque, el francobordo tabular debe ser modificado.

- En primer lugar, si el puntal de francobordo supera la relación $L_f/15$, el francobordo se incrementará en el valor (c_D) en mm según la siguiente ecuación:

$$c_D = \left(D_f - \frac{L_f}{15} \right) \cdot R \text{ [mm]}. \quad (6.10)$$

En donde el coeficiente R toma el valor:

$$\begin{cases} R = L_f/0.48, & \text{cuando } L_f < 120 \text{ [m]}, \\ R = 250, & \text{cuando } 120 \text{ [m]} \leq L_f. \end{cases}$$

- b) Cuando el puntal de francobordo es inferior a $L_f/15$, no se realiza ninguna corrección, excepto en los buques que tengan una superestructura cerrada que cubra al menos una longitud igual a $0,6 \cdot L_f$ en el centro del buque, o bien con un tronco completo, o una combinación de superestructuras cerradas separadas y troncos, que se extiendan de manera continua de proa a popa, en cuyo caso el francobordo debe reducirse en la proporción (c_D).
- c) Cuando la altura real de la superestructura o del tronco es inferior a la altura estándar correspondiente, la reducción calculada debe corregirse proporcionalmente a la relación entre la altura de la superestructura o del tronco real y la altura estándar aplicable, como se indica en la Ecuación (6.11):

$$c_D = c_D \cdot \frac{H_S}{H_{S,S}} \quad [mm]. \quad (6.11)$$

Siendo:

- $H_{S,S}$ la altura estándar de la superestructura.
- H_S la altura real de la superestructura.

6.2.5 Corrección por posición de la línea de cubierta

Si el puntal real hasta el borde superior de la línea de cubierta (D_{DL}) es mayor o inferior que el puntal de francobordo (D_f), la diferencia entre los puntales (c_{DL}) se sumará o se deducirá al francobordo como se indica en la Ecuación (6.12):

$$c_{DL} = D_{DL} - D_f \quad [mm]. \quad (6.12)$$

En la imagen inferior se muestra un ejemplo en el que la profundidad real es menor que D_f , ya que la cubierta de francobordo está inclinada. En este caso, el francobordo debería reducirse por la diferencia. Sin embargo, la mayoría de los astilleros no consideran esta corrección en la actualidad.

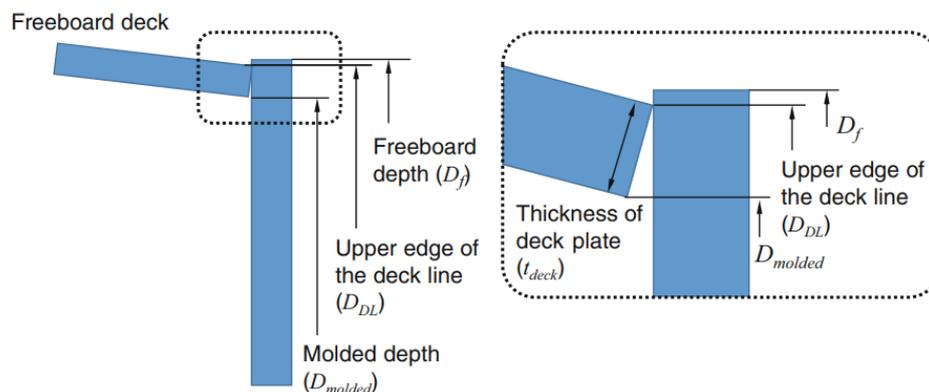


Figura 6-8. Corrección de Francobordo por línea de cubierta. Fuente: [1].

6.2.6 Deducción por superestructuras y troncos

1. Altura estándar de superestructura

Una superestructura es una estructura con cubierta sobre la cubierta de francobordo, que se extiende de lado a lado del buque. Las dimensiones de la superestructura se expresan mediante su altura y su longitud. La altura de una superestructura es la altura mínima vertical medida en el costado desde la parte superior de las vigas de cubierta de la superestructura hasta la parte superior de vigas de cubierta de francobordo, como se muestra en la Figura 6-9.

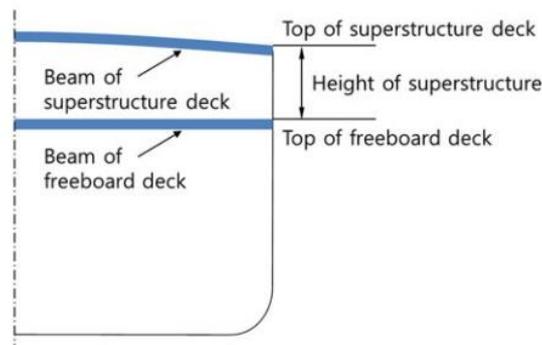


Figura 6-9. Medida de la altura de la superestructura. Fuente: [1].

La altura estándar de una superestructura ($H_{s,s}$) es la indicada a continuación.

L_f (m)	Raised quarter deck (m)	All other superstructures (m)
30 or less	0.90	1.80
75	1.20	1.80
125 or more	1.80	2.30

Figura 6-10. Altura estándar de superestructuras. Fuente: [1].

Las alturas estándar para las esloras intermedias del buque se obtienen por interpolación lineal.

2. Eslora de superestructura

La longitud de una superestructura (L_s) es la longitud media de las partes de la superestructura que se encuentran dentro de la longitud de francobordo (L_f).

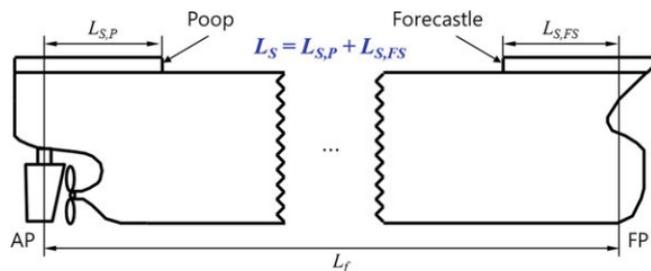


Figura 6-11. Eslora de superestructura. Fuente: [1].

El castillo de popa y el castillo de proa son tipos de superestructuras que se sitúan en la popa y la proa del barco, respectivamente.

3. Longitud efectiva de superestructura

La longitud efectiva de la superestructura (L_{SE}) puede determinarse como sigue:

- a) La longitud efectiva de una superestructura cerrada de altura estándar es su longitud.
- b) En todos los casos en los que una superestructura cerrada de altura estándar se adentra desde los lados del buque, la eslora efectiva es la eslora modificada por la relación b/B_S , donde b es la anchura de la superestructura en la mitad de su longitud y B_S es la manga del buque en la mitad de la longitud de la superestructura.
- c) Si la altura de una superestructura cerrada es inferior a la altura estándar, la longitud efectiva debe ser su longitud reducida en la proporción de la altura real a la altura estándar, como se indica en la Ecuación (6.13). Sin embargo, si la altura supera la normativa, no se incrementa la longitud efectiva de la superestructura.

$$L_{SE} = \frac{L_S \cdot [\min(H_{S,S}, H_S)]}{H_S} \quad [m]. \quad (6.13)$$

Donde:

- $H_{S,S}$ es la altura estándar de la superestructura.
 - H_S es la altura real de la superestructura.
- d) La longitud efectiva de un espacio elevado sobre cubierta, si está equipado con un mamparo frontal intacto, su longitud debe ser hasta un máximo de $0,6L_f$. Si el mamparo delantero no está intacto debido a las puertas y aberturas de acceso, la superestructura se considerará entonces como un puente de altura inferior a la estándar.
 - e) Por último, las superestructuras que no están cerradas no tienen longitud efectiva.

4. Altura estándar de tronco

Un tronco o estructura similar que no se extienda hasta los costados del buque debe considerarse en el cálculo si se cumplen los siguientes requisitos:

- a) El tronco es al menos tan resistente como una superestructura.
- b) La manga del tronco es al menos del 60% de la manga del buque.
- c) Si no hay superestructura, la eslora del tronco es de al menos $0.6L_f$.

La altura estándar de un tronco es similar a la altura estándar de una superestructura (ver Figura 6-10). La Figura 6-12 muestra un ejemplo del tronco, el saltillo, la cubierta de la toldilla y la cubierta de francobordo. Como se ha mencionado anteriormente, la cubierta de la toldilla y el castillo de proa son tipos de superestructuras, que se ubican en la zona de popa y proa del barco, respectivamente.

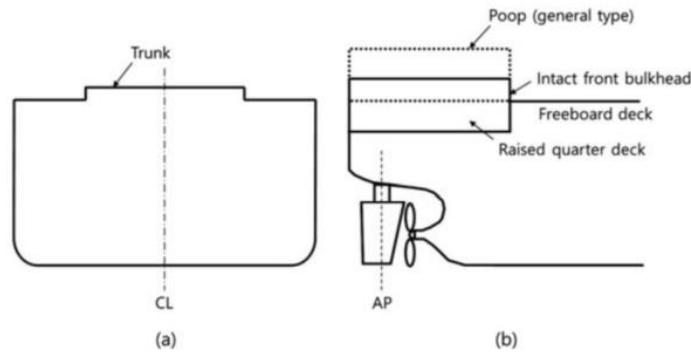


Figura 6-12. Ubicación del tronco (a) y saltillo (b) en el buque. Fuente: [1].

5. Longitud efectiva de tronco

La longitud efectiva del tronco (L_{TE}) es la longitud total de un tronco eficiente reducida en la proporción de su anchura media con respecto a la manga. Si la altura del tronco es inferior a la altura estándar, su longitud efectiva debe reducirse en la relación entre la altura real y la altura estándar, de forma similar a la Ecuación (6.13).

6. Dedución por superestructuras y troncos

Si la longitud efectiva de las superestructuras y troncos ($L_E = L_{SE} + L_{TE}$) es de $1.0 \cdot L_f$, la deducción del francobordo (c_{ST}) debe ser de 350 mm para 24 m de eslora de francobordo del buque, de 860 mm para 85 m de eslora, y 1.070 mm para 122 m de eslora y más, como se muestra en Ecuación (6.14). Las deducciones en esloras intermedias pueden obtenerse por interpolación lineal:

$$\left\{ \begin{array}{ll} c_{ST} = 350 \text{ [mm]}, & \text{cuando } L_f = 24 \text{ [m]}, \\ c_{ST} = 860 \text{ [mm]}, & \text{cuando } L_f = 85 \text{ [m]}, \\ c_{ST} = 1.070 \text{ [mm]}, & \text{cuando } 122[\text{m}] \leq L_f. \end{array} \right. \quad (6.14)$$

Si la longitud efectiva total de la superestructura y los troncos es inferior a $1.0 \cdot L_f$, la deducción debe ser un porcentaje obtenido a partir de la Figura 6-13. El porcentaje de deducción en los valores intermedios de esta tabla puede obtenerse por interpolación lineal.

	Total effective length of superstructures and trunks										
	0	$0.1L_f$	$0.2L_f$	$0.3L_f$	$0.4L_f$	$0.5L_f$	$0.6L_f$	$0.7L_f$	$0.8L_f$	$0.9L_f$	$1.0L_f$
Percentage of deduction	0	7	14	21	31	41	52	63	75.3	87.7	100

Figura 6-13. Porcentaje de deducción de Francobordo para buques tipo A y tipo B. Fuente: [1].

6.2.7 Corrección por arrufo

El arrufo se mide desde la cubierta en el costado hasta una línea de referencia trazada paralelamente a la quilla a través de la línea de arrufo en medio del barco, como se

muestra en la Figura 6-14. Si el arrufo real es menor que el arrufo estándar, se añade una corrección al francobordo, y en caso contrario, se hace una deducción. En general, los buques recientes no tienen arrufo en la cubierta superior.

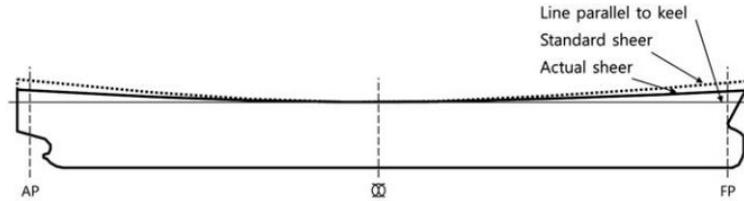


Figura 6-14. Arrufo real y Arrufo estándar. Fuente: [1].

La corrección por arrufo (c_s) puede obtenerse mediante la Ecuación (6.15), y el valor resultante se añade al francobordo tabular:

$$c_s = (S_t + s) \cdot \left(0.75 - \frac{L_{ST}}{2 \cdot L_f} \right) \text{ [mm]}. \quad (6.15)$$

Donde:

- S_t es la deficiencia o el exceso arrufo en mm. Puede ser calculado restando la ordenada media del arrufo real (A_o) al arrufo estándar (S_o), es decir, $S_t = S_o - A_o$.
- s es el suplemento de arrufo en mm.
- L_{ST} es la longitud total de las superestructuras, excepto los troncos, en m. L_{ST} es aproximado a L_s , pero es diferente.
- L_s es la longitud media de las partes de la estructura que se encuentran dentro de la eslora de francobordo (L_f). En la mayoría de los casos, L_{ST} es casi igual a L_s .

1. Cálculo del arrufo medio estándar

En la Figura 6-15 se indican las ordenadas del arrufo estándar en cada punto del buque. En esta tabla, S_{popa} y S_{proa} son las ordenadas medias del arrufo estándar. S_{popa} y S_{proa} pueden obtenerse calculando el área bajo el arrufo en las mitades delantera y trasera del buque con la segunda regla de Simpson, como se muestra en la Ecuación (6.16) y dividiendo el área por $L_f/2$, suponiendo que la forma del arrufo es una parábola.

Part	Station	Ordinate (S_i) of standard sheer at each profile (mm)	Factor
After body	AP	$25.0(L_f/3 + 10)$	1
	$L_f/6$ from AP	$11.1(L_f/3 + 10)$	3
	$L_f/3$ from AP	$2.8(L_f/3 + 10)$	3
	Amidships	0	1
	Mean (S_{after})	$S_{after} = 8.34(L_f/3 + 10)$	
Fore body	Amidships	0	1
	$L_f/3$ from FP	$5.6(L_f/3 + 10)$	3
	$L_f/6$ from FP	$22.2(L_f/3 + 10)$	3
	FP	$50.0(L_f/3 + 10)$	1
	Mean ($S_{forward}$)	$S_{forward} = 16.68(L_f/3 + 10)$	

Figura 6-15. Perfil del arrufo estándar. Fuente: [1].

$$A = \left(\sum (S_i \cdot Factor) \right) \cdot \frac{3}{8} \cdot h. \quad (6.16)$$

Donde,

- $h = L_f/6$.
- Factor = valores mostrados en la Figura 6-15.

Entonces, S_{popa} y S_{proa} pueden ser calculados con las siguientes ecuaciones.

$$\begin{aligned} S_{popa} &= \frac{A}{L_f/2} = \left(\sum (S_i \cdot Factor) \right) \cdot \frac{3}{8} \cdot \frac{L_f}{6} \cdot \frac{2}{L_f} = \frac{1}{8} \cdot \left(\sum (S_i \cdot Factor) \right) \\ &= 8.34 \cdot \left(\frac{L_f}{3} + 10 \right) \quad [mm], \end{aligned} \quad (6.17)$$

$$\begin{aligned} S_{proa} &= \frac{A}{L_f/2} = \left(\sum (S_i \cdot Factor) \right) \cdot \frac{3}{8} \cdot \frac{L_f}{6} \cdot \frac{2}{L_f} = \frac{1}{8} \cdot \left(\sum (S_i \cdot Factor) \right) \\ &= 16.68 \cdot \left(\frac{L_f}{3} + 10 \right) \quad [mm]. \end{aligned} \quad (6.18)$$

Ahora, el arrufo medio estándar (S_0) se puede calcular como:

$$S_0 = \frac{S_{popa} + S_{proa}}{2} = \frac{8.34 + 16.68}{2} \cdot \left(\frac{L_f}{3} + 10 \right) = 12.51 \cdot \left(\frac{L_f}{3} + 10 \right) \quad [mm]. \quad (6.19)$$

2. Cálculo del arrufo medio real

Si una superestructura está en una zona determinada de la eslora del buque (L_f) o si una superestructura se extiende por toda la eslora del buque, pero la altura de la superestructura cerrada es inferior a la altura estándar, las ordenadas del arrufo real se miden en la cubierta de francobordo.

Mientras que, si una superestructura se extiende por toda la eslora del buque y la altura de una superestructura cerrada es mayor que la altura estándar, las ordenadas del arrufo real se miden en la cubierta de la superestructura, como se muestra en la Figura 6-16. En este caso, si la altura de la superestructura supera la altura estándar, la diferencia menor (z) entre la altura real y la estándar se debe sumar a cada ordenada de los extremos (FP y AP). Del mismo modo, las ordenadas intermedias a las distancias $L_f/6$ y $L_f/3$ de cada perpendicular se incrementarán en $0.444 \cdot z$ y $0.111 \cdot z$, respectivamente. Estas ordenadas del arrufo real (A_i) se utilizarán para calcular la ordenada media del arrufo real (A_0).

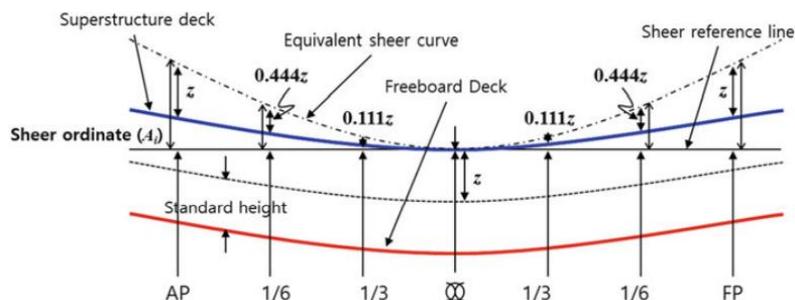


Figura 6-16. Medida de la ordenada del francobordo actual. Fuente: [1].

De forma similar a las ordenadas del arrufo estándar (S_{popa} y S_{proa}), se pueden calcular las del real (A_{popa} y A_{proa}). La ordenada media del arrufo real (A_O) puede determinarse comparando A_{popa} y A_{proa} con S_{popa} y S_{proa} conforme las cinco situaciones siguientes mostradas en la Tabla 6-1.

Cuando $S_{popa} > A_{popa}$ y $S_{proa} > A_{proa}$	$A_O = \frac{A_{popa} + A_{proa}}{2}$
Cuando $S_{popa} < A_{popa}$ y $S_{proa} > A_{proa}$	$A_O = \frac{S_{popa} + A_{proa}}{2}$
Cuando $0.75 \cdot S_{popa} \leq A_{popa}$ y $S_{proa} \leq A_{proa}$	$A_O = \frac{S_{popa} + S_{proa}}{2}$
Cuando $0.75 \cdot S_{popa} > A_{popa} > 0.5 \cdot S_{popa}$ y $S_{proa} \leq A_{proa}$	$A_O = \frac{A_{popa} + A'_{proa}}{2}$
Cuando $0.5 \cdot S_{popa} > A_{popa}$ y $S_{proa} \leq A_{proa}$	$A_O = \frac{S_{proa} + A_{popa}}{2}$

Tabla 6-1. Cálculo de la ordenada media del Arrufo Real. Fuente: [1].

Conociendo que,

- A'_{proa} se calcula a partir de las ordenadas modificadas del arrufo real conforme la siguiente ecuación:

$$A' = S_i + (A_i - S_i) \cdot \left(\frac{4 \cdot A_{proa}}{S_{proa}} - 2 \right). \quad (6.20)$$

En esta ecuación, S_i es la ordenada del arrufo estándar y A_i es la ordenada del arrufo real en cada perfil.

3. Corrección de arrufo por puente o castillo de proa

Si una superestructura está colocada en una parte de la eslora del buque (L_f) y la altura real del puente o del castillo de proa es mayor que la altura estándar, la diferencia se define como “y”, y la corrección se calcula utilizando la Ecuación (6.21). Si la altura real es menor que la altura estándar “y” es igual a cero y no hay corrección. La corrección por puente (s_a) o por el castillo de proa (s_f) se deduce de la deficiencia o se añade al exceso de arrufo.

$$s_a \text{ o } s_f = \frac{y}{3} \cdot \frac{L'}{L_f}. \quad (6.21)$$

Asumiendo que,

- y es la diferencia entre la altura real (AH) y la altura estándar (SH) del puente o del castillo de proa, es decir, $y = AH_{P,F} - SH_{P,F}$ en AP y FP en mm.
- L' significa la longitud cerrada del puente o del castillo de proa hasta una longitud máxima de $0,5 \cdot L_f$ en m.

4. Adición por deficiencia de arrufo

Si la cubierta es inferior a la norma, la corrección por deficiencia de arrufo debe añadirse al francobordo, como se indica en la Ecuación (6.15).

5. Deducción por exceso de arrufo

En los buques en los que una superestructura cerrada cubre $0.1L_f$ a proa y $0.1L_f$ a popa de la sección media, la corrección por exceso de arrufo (c_s) en la Ecuación (6.15) se deduce del francobordo. Por tanto, en los buques en los que no haya una superestructura cerrada que cubra el centro del buque, no se hará ninguna deducción del francobordo.

En los buques en los que una superestructura cerrada cubre menos de $0.1L_f$ a proa y $0.1L_f$ a popa del centro del buque, la deducción se obtendrá por interpolación lineal. Por ejemplo, la longitud de una superestructura cerrada es inferior a $0.2L_f$, c_s en la Ecuación (6.15) se reduce a lo siguiente:

$$c_s = c_s \cdot \frac{L_{ST}}{0.2L_f} \quad [mm]. \quad (6.22)$$

(Donde L_{ST} es la longitud total de las superestructuras, exceptuando los troncos, en m).

Además, si la altura real de la superestructura o del cuarto de cubierta elevado es menor que la altura estándar, c_s en la Ecuación (6.15) se reduce a la siguiente ecuación:

$$c_s = c_s \cdot \frac{H_S}{H_{S,S}} \quad [mm]. \quad (6.23)$$

La deducción máxima por exceso de arrufo debe ser de 125 mm por 100 m de longitud (L_f).

6.2.8 Adición por altura mínima de la proa

La altura real de la proa (BH) se define como la distancia vertical a la proa perpendicular entre la línea de flotación correspondiente al francobordo de verano asignado con el trimado diseñado y la parte superior de la cubierta expuesta en el costado. La BH se puede estimar con la siguiente ecuación:

$$BH = D_f + H_S + H_F - T_S. \quad (6.24)$$

Donde,

- H_S es la altura de la superestructura.
- H_F es la altura del castillo de proa.
- T_S es el calado máximo de verano. En lugar de T_S , se puede utilizar el calado de escantillón (T_s).

La altura no debe ser inferior a la altura mínima de la proa (BH_{\min}), que viene dada por la Ecuación (6.25).

$$BH_{\min} = \left\{ 6.075 \cdot \left(\frac{L_f}{100} \right) - 1.875 \cdot \left(\frac{L_f}{100} \right)^2 + 200 \cdot \left(\frac{L_f}{100} \right)^3 \right\} \times \left\{ 2.08 + 0.609 \cdot C_{Bf} - 1.603 \cdot C_{WF} - 0.0129 \cdot \left(\frac{L_f}{T_f} \right) \right\} \quad [mm]. \quad (6.25)$$

Conociendo que,

- T_f es el calado al 85% del puntal de trazado en m.
- C_{WF} es el coeficiente de área del plano de agua por delante de $L_f/2$ que se define en Ecuación (6.26)

$$C_{WF} = \frac{A_{WF}}{0.5L_f B}. \quad (6.26)$$

Siendo A_{WF} el área del plano de agua por delante de $L_f/2$ en m^2 .

Llegado a este punto, si la altura de la proa se obtiene por arrufo, éste debe extenderse por al menos el 10% de la eslora del barco medida desde FP. Si se obtiene mediante la instalación de una superestructura, dicha superestructura debe extenderse desde la roda hasta un punto al menos $0,07 \cdot L_f$ por encima de FP, y debe estar cerrada.

Si la altura real de la proa (BH) es mayor que la altura mínima de la proa, la adición por esta corrección (C_{BH}) en mm es cero. En caso contrario, la adición por corrección de altura mínima es igual a la diferencia entre la altura mínima de proa y la altura real de proa, según la siguiente ecuación.

$$\begin{cases} C_{BH} = 0 \quad [mm], & \text{cuando } BH_{\min} < BH, \\ C_{BH} = BH_{\min} - BH \quad [mm], & \text{cuando } BH \leq BH_{\min}. \end{cases} \quad (6.27)$$

6.2.9 Adición por reserva de flotabilidad

Todos los buques tipo B, que no sean petroleros, quimiqueros y los gaseros, deben tener una reserva de flotabilidad adicional en el extremo de proa. En el rango de $0,15 \cdot L_f$ por encima de FP, la suma del área proyectada entre la línea de carga de verano y la cubierta en el costado (A_1 y A_2) y la superficie proyectada de una superestructura (A_3) debe cumplir el siguiente criterio:

$$A_1 + A_2 + A_3 \geq \left\{ 0.15 \cdot RB_{\min} + 4 \cdot \left(\frac{L_f}{3} + 10 \right) \right\} \cdot L_f / 1000 \quad [m^2]. \quad (6.28)$$

Donde,

- RB_{\min} se calcula conforme $RB_{\min} = (F_t \cdot c_{CB}) + c_D$ en mm.
- F_t es el francobordo tabular en mm.
- c_{CB} es la corrección por el coeficiente de bloque (Ecuación (6.9)),
- c_D es la corrección por puntal en mm (Ecuación (6.10)).

Si esta ecuación (6.28) no se cumple, la corrección por reserva de flotabilidad (c_{RB}) en mm debe añadirse al francobordo. Esta adición aumentará la altura de la cubierta de francobordo y el puntal de francobordo (D_f) y, por tanto, el área de A_1 también aumentará. Si es necesario, el valor de c_{RB} debe determinarse manualmente por ensayo y error de forma que se cumpla el criterio anterior.

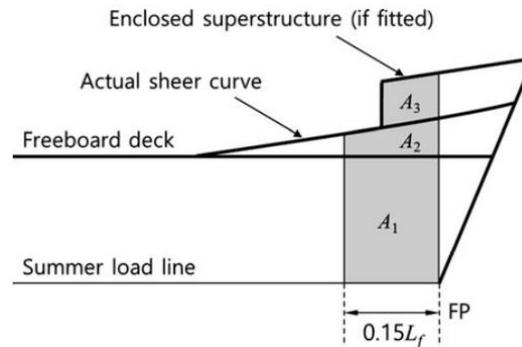


Figura 6-17. Áreas para calcular la reserva de flotabilidad. Fuente: [1].

6.2.10 Cálculo del francobordo mínimo

Finalmente, el francobordo mínimo (F_{bICLL}) en la Ecuación (6.2) en función de las estaciones y zonas se obtiene de diferentes formas.

El francobordo mínimo de verano (F_{bs}) será el resultado del francobordo tabular (F_t), modificado por las correcciones indicadas en los puntos anteriores; modificación por coeficiente de bloque (c_{CB}), puntal (c_D), posición de la línea de cubierta (c_{DL}), superestructuras y troncos (c_{ST}), arrufo (c_s), y, si procede, la corrección de la altura mínima del bulbo (c_{BH}) y la flotabilidad de reserva (c_{RB}), según la siguiente ecuación.

$$F_{bs} = F_t + c_{CB} + c_D + c_{DL} - c_{ST} + c_s + c_{BH} + c_{RB} \quad [\text{mm}]. \quad (6.29)$$

El francobordo en agua salada, calculado de acuerdo con la ecuación anterior, pero sin la corrección de la posición de la línea de cubierta, no debe ser inferior a 50 mm. En los buques que tengan cubiertas con escotillas que no cumplan los requisitos, el francobordo no debe ser inferior a 150 mm.

7. Determinación de las dimensiones principales del buque

En este capítulo se explica un modelo de diseño para determinar las dimensiones principales óptimas de un buque, basado en las ecuaciones descritas en el Capítulo 3, que son las restricciones de diseño. Es decir, estas restricciones se utilizarán como ecuaciones de gobierno para determinar las dimensiones principales, y en estas ecuaciones, los valores de varios componentes, como el peso, la resistencia al avance, la capacidad de carga y el francobordo necesario, se estimarán, predecirán o serán seleccionados mediante el uso de métodos adecuados.

7.1. Ecuación de masa

Como se explicaba en el Capítulo 3, la restricción física del buque puede establecerse mediante la siguiente ecuación de pesos:

$$\rho \cdot L_{BP} \cdot B \cdot T \cdot C_B \cdot (1+\alpha) = (LWT+DWT). \quad (7.1)$$

En el lado derecho de esta ecuación, el peso muerto (DWT) se da como uno de los requisitos del armador. Sin embargo, el peso en rosca (LWT) debe estimarse utilizando las dimensiones principales del buque.

Hay muchos métodos para estimar el peso en rosca, como se describe en el Capítulo 4. De entre todos los métodos, se va a utilizar el método 4, ya que mediante este se obtiene una mayor precisión de las dimensiones principales. Aquí se mostraba como el peso en rosca de un buque puede estimarse a partir de la suma del peso de la estructura, el peso del equipo y el peso de la maquinaria. Mediante este método, la ecuación de peso puede escribirse como sigue:

$$\rho \cdot L_{BP} \cdot B \cdot T \cdot C_B \cdot (1+\alpha) = C_S \cdot L^{1.6} \cdot (B+D) + C_o \cdot L \cdot B + C_m \cdot NMCR + DWT. \quad (7.2)$$

Donde,

- NMCR está relacionado con las dimensiones principales del buque y puede obtenerse a partir de la selección del motor principal. Pero, tal y como se ha descrito en el Capítulo 4, cuando nos encontramos en las etapas iniciales del proyecto de diseño, se puede realizar una estimación de su valor a partir del buque base.

La ecuación de peso anterior es una ecuación de tipo indeterminada con cinco incógnitas (L, B, D, T y CB), que tiene muchas soluciones. Si asumimos esta ecuación indeterminada como un problema de optimización introduciendo una función objetivo, se puede obtener una solución óptima utilizando un método matemático que optimice la función objetivo.

7.2. Ecuación de volumen

Como se explica en el Capítulo 3.2.1, una de las limitaciones económicas de los requisitos del armador se puede plantear conforme la ecuación de volumen:

$$V_{CH} = f(L, B, D). \quad (7.3)$$

En el lado izquierdo de esta ecuación, V_{CH} se da como el volumen de la bodega de carga requerido por el armador. El lado derecho debe estimarse en función de las dimensiones principales del buque.

Existen varios métodos para estimar la capacidad de la bodega de carga, como se describe en Capítulo 5. Si se supone que el volumen de la bodega de carga es proporcional a L , B y D , puede estimarse como:

$$V_{CH} = C_{CH} \cdot L \cdot B \cdot D. \quad (7.4)$$

La ecuación del volumen es también un tipo de ecuación indeterminada que tiene tres incógnitas (L , B y D), con muchas soluciones. Si asumimos esta ecuación indeterminada como un problema de optimización introduciendo una función objetivo, también se puede obtener una solución óptima mediante la optimización de la función objetivo como en el caso anterior.

7.3. Francobordo requerido

Como se explica en la Sección 3.3.1, una de las limitaciones reglamentarias del buque es el francobordo por la normativa ICLL (OMI 1966):

$$D_f - T_s \geq F_{bICLL}(L, B, D, C_B). \quad (7.5)$$

En esta ecuación, F_{bICLL} es el francobordo exigido por la normativa ICLL, es función de las dimensiones principales del buque y puede calcularse según el procedimiento descrito en el Capítulo 6.

7.4. Procedimiento de dimensionamiento

Para determinar las dimensiones principales de un buque, primero hay que tener en consideración de que buque se trata en función del tipo de carga que transporte.

Teniendo en cuenta la densidad de la carga, los buques pueden clasificarse en dos tipos: buques de peso muerto y buques de volumen.

Buques de peso muerto

Un buque de peso muerto es un buque en el cual el peso es un factor crítico cuando la carga a transportar es pesada en relación con el espacio disponible. Son aquellos buques que almacenan cargas muy densas, cargas con densidad superior a 0.77 ton/m^3 .

- Graneleros de solidos.
- Petroleros de crudo y productos.
- Quimiqueros.
- Graneleros combinados, O.B.O. (Ore Bulk Oil – mineral, grano y petróleo) y O.O. (Ore Oil – mineral, petróleo).

Para el diseño de este tipo de buques, la dimensión más demandante es el calado. Esto se debe a que su finalidad es conseguir con el mínimo volumen, el máximo calado, o el mínimo francobordo.

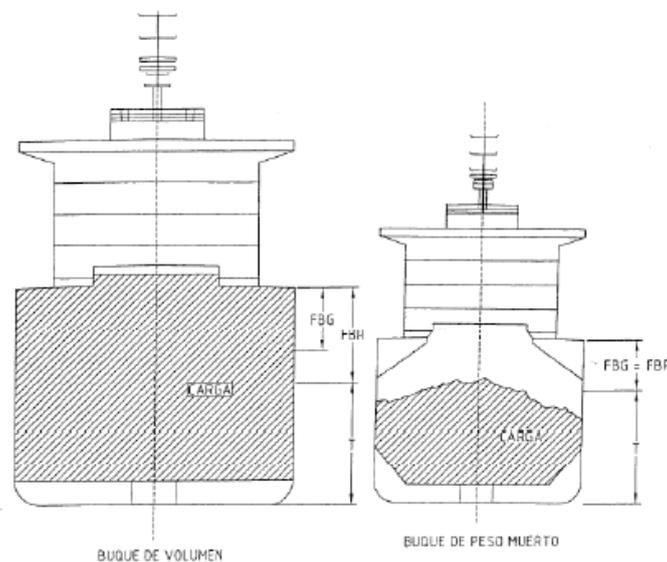


Figura 7-1. Comparación entre buque de volumen y buque de peso muerto. Fuente: [8].

Buques de volumen

Un buque de volumen es aquel cuyo factor crítico es el volumen cuando la carga a transportar es poco densa en relación con el espacio previsto para ella. Un buque será de volumen cuando el buque transporta una carga que tiene una densidad inferior a 0.77 ton/m^3 .

- Cargueros y polivalentes.
- Portacontenedores.
- Cruceros.
- Madereros.
- Transportes de gas licuado, LNG y LPG.

Para el diseño de estos buques, la dimensión más condicionante suele ser el puntal. Para evitar los problemas de estabilidad en buque intacto que presentan estos buques, se debe controlar el rango B/D. El aumento en manga puede inducir un aumento en eslora para poder mantener la relación LPP/B dentro del rango admisible.

7.4.1. Buques de peso muerto

Para buques de peso muerto, en el primer paso, se determina la longitud (L), la manga (B), el calado (T) y el coeficiente de bloque (C_B) mediante la ecuación del peso. En segundo lugar, se determina el puntal (D) teniendo en cuenta la capacidad requerida de las bodegas según la ecuación de volumen. Por último, hay que comprobar si el puntal y el calado satisfacen el francobordo mínimo requerido por la ICLL (ver Figura 7-2).

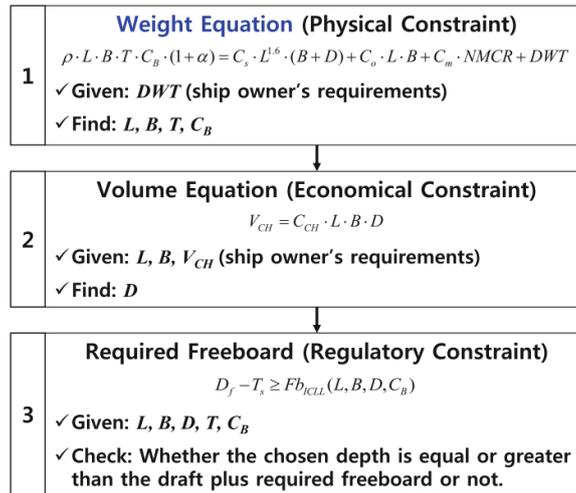


Figura 7-2. Procedimiento para determinar las dimensiones principales de un buque de peso muerto. Fuente: [1].

7.4.2. Buques de volumen

En buques de volumen, como se observa en la Figura 7-3, en el primer paso se determina la longitud (L), la manga (B) y el puntal (D) a partir de la capacidad de carga requerida según la ecuación del volumen. Posteriormente, se determinan el calado (T) y el coeficiente de bloque (C_B) mediante la ecuación de pesos. Por último, hay que comprobar si el puntal y el calado cumplen la normativa de francobordo de la ICLL.

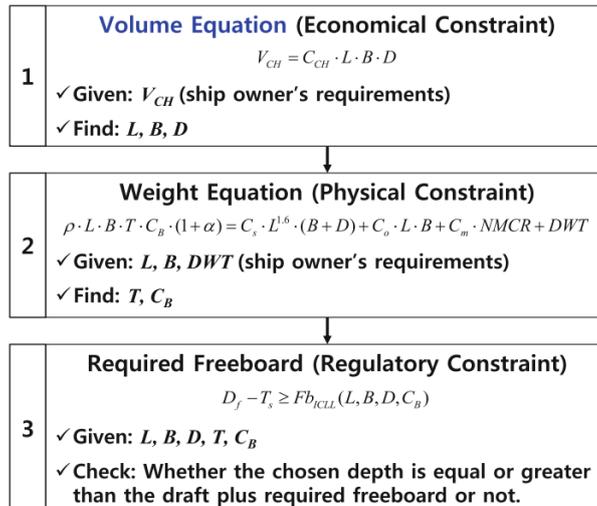


Figura 7-3. Procedimiento para determinar las dimensiones principales de un buque de volumen. Fuente: [1].

7.5. Optimización del modelo

1. Definición de problema

- (a) Conocidos: Datos del buque base, incluyendo las dimensiones principales.
 (b) Encontrar: eslora (L), manga (B), puntal (D), calado (T) y coeficiente de bloque (C_B) del buque de diseño.

2. Formulación matemática

La formulación matemática de este problema tiene las 3 ecuaciones explicadas en los puntos anteriores; la ecuación de pesos, la ecuación de volumen y el requerimiento de francobordo.

De estas ecuaciones hay dos igualdades y una desigualdad.

$$\rho \cdot L_{BP} \cdot B \cdot T \cdot C_B \cdot (1+\alpha) = C_S \cdot L^{1.6} \cdot (B+D) + C_O \cdot L \cdot B + C_m \cdot NMCR + DWT, \quad (7.6)$$

$$V_{CH} = C_{CH} \cdot L \cdot B \cdot D, \quad (7.7)$$

$$D_f - T_s \geq Fb_{ICLL}(L, B, D, C_B). \quad (7.8)$$

3. Optimización del modelo

Esta formulación matemática puede considerarse un problema indeterminado ya que el número de incógnitas, cinco (L, B, D, T y C_B), es mayor que el número de ecuaciones. El problema indeterminado tiene muchas soluciones. Si asumimos el problema como un problema de optimización introduciendo una función objetivo, en este caso, la minimización del coste de construcción de un barco, el problema de optimización puede formularse matemáticamente con 5 incógnitas (variables de diseño), igualdades y desigualdades (restricciones), y una función objetivo como se indica a continuación:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Encontrar las variables de diseño:} \\ \\ L, B, D, T \text{ y } C_B. \\ \\ \text{Minimizar la función objetivo; coste de construcción} \\ \\ C_{PS} \cdot C_S \cdot L^{1.6} \cdot (B+D) + C_{PO} \cdot C_O \cdot L \cdot B + C_{PM} \cdot C_{ma} \cdot NMCR. \\ \\ \text{Sujeto a las restricciones:} \\ \\ \rho \cdot L_{BP} \cdot B \cdot T \cdot C_B \cdot (1+\alpha) = C_S \cdot L^{1.6} \cdot (B+D) + C_O \cdot L \cdot B + C_m \cdot NMCR + DWT, \\ \\ V_{CH} = C_{CH} \cdot L \cdot B \cdot D, \\ \\ D_f - T_s \geq Fb_{ICLL}(L, B, D, C_B). \end{array} \right.$$

Para resolver la ecuación de peso y la ecuación de volumen, para comprobar el francobordo y calcular el coste de construcción del buque, se necesitan implementar una serie de sub-funciones para determinar algunos parámetros:

a) Para la resolución de la ecuación de peso, se requiere la estimación del peso en rosca LWT y de NMCR.

b) Para la resolución de la ecuación del volumen, se necesita determinar el coeficiente de carga de bodega, a partir del buque base.

c) Para la comprobación del francobordo necesario, se necesita estimar el coeficiente de francobordo.

4. Selección del algoritmo.

Este problema de optimización es un tipo de problema de optimización con restricciones que puede resolverse utilizando cualquier tipo de métodos de optimización restringida.

8. Evaluación económica

La evaluación económica puede utilizarse con diversos fines. En la fase de diseño conceptual para la licitación, puede utilizarse para estimar el coste de la construcción naval, incluyendo el margen de un astillero. En la fase de diseño inicial, puede utilizarse para determinar la mejor opción de entre una serie de diseños alternativos de buques. Pueden introducirse varios índices para la evaluación económica, como el coste de construcción naval, el coste de explotación, el flete necesario, el factor de beneficio de explotación, etc.

Como se ha indicado en este proyecto, la finalidad es el dimensionamiento preliminar, por lo que el estudio se realiza sobre la fase de diseño inicial. En esta fase, de entre todos los costes, principalmente se busca la evaluación económica de la construcción del buque.

El coste de la construcción naval puede descomponerse en coste directo y coste indirecto (también llamado costes fijos). El coste directo se descompone de nuevo en coste de material y coste de mano de obra, y está relacionado con el coste real de fabricación del buque. Por otro lado, el coste indirecto está relacionado con todos los buques construidos en el periodo contable, incluido el buque de diseño.

1. Coste de material

El coste del material está relacionado con el peso en rosca. Como se menciona en la Secc. 4.5, el peso en rosca (LWT) puede descomponerse en tres componentes: peso estructural, peso del equipo y peso de la maquinaria del buque. Así, el coste de los materiales puede expresarse en función de estos pesos.

$$C_{\text{mat}} = C_{\text{mat,s}} + C_{\text{mat,o}} + C_{\text{mat,m}} \quad [\$]. \quad (8.1)$$

Donde,

- $C_{\text{mat,s}}$ representa el coste material del peso estructural.
- $C_{\text{mat,o}}$ es el coste del peso del equipo.
- $C_{\text{mat,m}}$ representan el peso de la maquinaria del buque.

Por su parte, los costes $C_{\text{mat,s}}$, $C_{\text{mat,o}}$ y $C_{\text{mat,m}}$ pueden estimarse considerando el coste unitario del material por peso (\$/tonelada):

$$C_{\text{mat,s}} = f_{\text{mat,s}} \cdot W_s \quad [\$]. \quad (8.2)$$

$$C_{\text{mat,o}} = f_{\text{mat,o}} \cdot W_o \quad [\$]. \quad (8.3)$$

$$C_{\text{mat,m}} = f_{\text{mat,m}} \cdot W_m \quad [\$]. \quad (8.4)$$

Siendo,

- $f_{\text{mat,s}}$ representa el coste unitario de material por peso de la estructura.
- $f_{\text{mat,o}}$ es el coste unitario de material por peso de los equipos.

- $f_{mat,m}$ representa el coste unitario de material por peso de la maquinaria.
Y los coeficientes W_s , W_o y W_m representan el peso estructural, el peso del equipo y el peso de la maquinaria del buque, respectivamente. Estos coeficientes pueden obtenerse a partir de los datos del buque base.

2. Coste de mano de obra

El coste de la mano de obra está relacionado con las horas de trabajo a realizar por hombre para construir el buque. Se puede relacionar las horas-hombre con el peso en rosca. Generalmente cuanto más elevado sea el peso de un barco, el coste de la mano de obra será mayor. Así, el coste de la mano de obra puede expresarse con la siguiente ecuación, de forma similar al coste de los materiales:

$$C_{lab} = C_{lab,s} + C_{lab,o} + C_{lab,m} \quad [\$]. \quad (8.5)$$

En donde,

- $C_{lab,s}$ representa el coste de mano de obra de la estructura.
- $C_{lab,o}$ es el coste de mano de obra del equipo.
- $C_{lab,m}$ representa el coste de mano de obra de la maquinaria.

Estos costes ($C_{lab,s}$, $C_{lab,o}$ y $C_{lab,m}$) pueden estimarse considerando el coste unitario de la mano de obra por peso.

$$C_{lab,s} = f_{lab,s} \cdot W_s \quad [\$], \quad (8.6)$$

$$C_{lab,o} = f_{lab,o} \cdot W_o \quad [\$], \quad (8.7)$$

$$C_{lab,m} = f_{lab,m} \cdot W_m \quad [\$]. \quad (8.8)$$

Siendo

- $f_{lab,s}$ coste unitario de la mano de obra por peso de estructura.
- $f_{lab,o}$ coste unitario de la mano de obra por el peso del equipo.
- $f_{lab,m}$ coste unitario de la mano de obra por peso de la maquinaria.

Estos coeficientes pueden obtenerse también a partir de los datos del buque base.

3. Gastos generales/fijos

Los gastos generales o fijos están directamente relacionados con el tamaño del astillero, y son los costes asociados a las instalaciones del mismo, incluyendo muelles y grúas, el número de empleados, etc. Por tanto, puede ser diferente de un astillero a otro. Sin embargo, de forma general, suele suponerse un 10%-15% de los costes directos.

Si se considera que estos gastos son aproximadamente del 10% de los costes de mano de obra y coste de material, los gastos generales pueden expresarse con la siguiente ecuación.

$$C_{soh} = 0.1 \cdot (C_{mat} + C_{lab}) \quad [\$]. \quad (8.9)$$

4. Coste de construcción

Sumando cada uno de los componentes mencionados anteriormente, el coste de construcción del buque de diseño puede estimarse con la siguiente ecuación.

$$C_{sc} = C_{mat} + C_{lab} + C_{soh} = 1.1 \cdot (C_{mat} + C_{lab}) = 1.1 \cdot (C_{mat,s} + C_{mat,o} + C_{mat,m} + C_{lab,s} + C_{lab,o} + C_{lab,m}) \quad [\$]. \quad (8.10)$$

Sustituyendo las relaciones anteriores en la ecuación (8.10) se llega a la siguiente estimación.

$$C_{sc} = 1.1 \cdot [(f_{lab,s} + f_{mat,s}) \cdot W_s + (f_{lab,o} + f_{mat,o}) \cdot W_o + (f_{lab,m} + f_{mat,m}) \cdot W_m] \quad [\$]. \quad (8.11)$$

Esta ecuación también puede re-escribirse como se muestra a continuación.

$$C_{sc} = C_{ps} \cdot C_s \cdot L^{1.6} \cdot (B+D) + C_{po} \cdot C_o \cdot L \cdot B + C_{pm} \cdot C_{ma} \cdot NMCR. \quad (8.12)$$

Siendo,

- W_s (tn) = Toneladas de peso de la estructura.
- W_o (tn) = Toneladas de peso de los equipos.
- W_m (tn) = Toneladas de peso de la maquinaria.
- C_{ps} (\$/tn) = Coste unitario de construcción por peso de la estructura.
- C_{po} (\$/tn) = Coste unitario de construcción por peso de los equipos.
- C_{pm} (\$/tn) = Coste unitario de construcción por peso de la maquinaria.

9. Predicción de resistencia y potencia

Para estimar las dimensiones principales del propulsor se requiere una estimación más ajustada de la potencia necesaria para que el buque pueda operar a la velocidad de servicio solicitada. Para ello, primero hay que predecir la resistencia total para el buque de diseño.

9.1. Resistencia al avance del buque

La resistencia de un barco a una velocidad determinada en aguas tranquilas es la fuerza demandada para remolcarlo a esa misma velocidad en aguas tranquilas, suponiendo que no hay interferencia con el remolcador.

Esta resistencia suele descomponerse en varios componentes, aunque todos estos componentes suelen interactuar entre sí y la mayoría de ellos no pueden medirse individualmente. El concepto de descomposición de la resistencia ayuda a diseñar la forma del casco, ya que el ingeniero puede estudiar la influencia de cada una de las componentes en la resistencia total.

En el estudio clásico de la resistencia, ésta se divide en dos componentes:

- a) Resistencia por fricción de casco, que se rige por el número de Reynolds.
- b) Resistencia residual, compuesta principalmente por la formación de olas, y que se rige por el número de Froude.

En el diseño de buques, la descomposición de resistencia más popular es la de Froude y la de Huges. Froude descompuso la resistencia total (R_T) en resistencia por fricción (R_F), resistencia residual (R_R) y resistencia de correlación modelo-barco (ΔR_F), según la siguiente ecuación.

$$R_T = R_F + R_R + \Delta R_F. \quad (9.1)$$

Por su parte, Huges descompuso la resistencia total en resistencia viscosa (R_V) y resistencia de olas (R_W), mediante la siguiente ecuación.

$$R_T = R_V + R_W. \quad (9.2)$$

En la descomposición de la resistencia de Froude, la resistencia por fricción puede predecirse asumiéndola como función del número de Reynolds. Por lo tanto, la resistencia por fricción se suele predecir tomando la resistencia de una placa plana equivalente de la misma área y longitud, según la siguiente ecuación:

$$R_F = \frac{1}{2} \rho S V^2 C_F. \quad (9.3)$$

El coeficiente de resistencia defricción (C_F) se expresa mediante la fórmula del ITTC (International Towing Tank Committee) de 1957, como sigue a continuación:

$$C_F = \frac{0.075}{(\log(Rn) - 2)^2} \cdot \quad (9.4)$$

Siendo,

- Rn es el número de Reynolds definido por $Rn = V \cdot LWL / \nu$.

9.2. Método de Holtrop y Mennnen

Existen varios métodos para la predicción de la resistencia. Los métodos tradicionales y estándar son métodos analíticos que predicen la resistencia con una serie de funciones. Los métodos estadísticos consisten en estimar la resistencia mediante fórmulas empíricas, incluyendo algunos coeficientes derivados de análisis de regresión de pruebas de resistencia en modelos. Los métodos numéricos son métodos computacionales que predicen numéricamente la resistencia mediante ciertas ecuaciones, por ejemplo, el método CFD (*Computational Fluid Dynamics*). Por último, los métodos experimentales predicen la resistencia a partir de ensayos con modelos.

Como la resistencia de un buque a escala real no puede medirse directamente, los conocimientos sobre la resistencia del barco provienen de los ensayos de modelos, aunque necesitan mucho tiempo y coste. Sin embargo, en la fase inicial de diseño, el modelo de buque de diseño no está disponible. Además, el buque de diseño y el buque matriz no van a compartir similitud geométrica. Por lo tanto, los métodos estadísticos pueden ser una de las alternativas para predecir la resistencia del buque en la fase inicial de diseño. Uno de los métodos estadísticos más utilizados es el método de Holtrop y Mennen, que se presentó originalmente, que utiliza una fórmula derivada del análisis de regresión de los datos que obtuvieron tras considerables pruebas de resistencia:

$$R_T = R_F \cdot (1 + k_1) + R_{APP} + R_W + R_B + R_{TR} + R_A. \quad (9.5)$$

Donde:

- R_T = Resistencia total.
- R_V = Resistencia viscosa.
- R_{AP} = Resistencia por apéndices.
- R_W = Resistencia por formación de olas.
- R_B = Resistencia de presión por bulbo.
- R_{TR} = Resistencia de presión de las popas de estampa cuando están sumergidas.
- R_A = Resistencia por coeficiente de correlación modelo-buque.

1. Resistencia de fricción

$$R_F = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_F \cdot S_{BH} \cdot V^2. \quad (9.6)$$

Donde,

- C_F es el coeficiente de resistencia a la fricción según la fórmula de fricción del CIMT 1957 en la Ecuación (9.4).
- S_{BH} es la superficie mojada del casco desnudo en m^2 . Si no se conoce este valor, puede estimarse con la Ecuación (9.7).

$$S_{BH} = L_{WL} \cdot (2 \cdot T + B) \cdot \sqrt{CM} \cdot (0.453 + 0.4425 \cdot C_B - 0.2862 \cdot C_M - 0.003467 \cdot B/T + 0.3696 \cdot C_{WP}) + 2.38 \cdot A_{BT}/C_B. \quad (9.7)$$

Siendo,

- L_{WL} es la eslora en la línea de flotación.
- A_{BT} es el área de la sección transversal del bulbo en la zona de cruce de la superficie de agua con la roda.

La resistencia de fricción se “tridimensionaliza” mediante el factor de forma $(1 + k_1)$.

$$1 + k_1 = 0.93 + 0.487118 \cdot C_{14} \cdot (B/L_{WL})^{1.06806} \cdot (T/L_{WL})^{0.46106} \cdot (L_{WL}^3/\nabla)^{0.36486} \cdot (1 - C_P)^{0.36486}. \quad (9.8)$$

En donde,

$$C_{14} = 1 + 0.011 \cdot C_{popa}. \quad (9.9)$$

Por su parte, el coeficiente “ C_{popa} ” variará su valor en función del tipo de popa del buque, conforme se muestra en la Tabla 9-1.

C_{popa}	Tipo de popa
-25	Forma tipo Góndola
-10	Forma en V
0	Cuadernas normales
10	Forma en U

Tabla 9-1. Valores del coeficiente C_{popa} en función de forma de las cuadernas de popa. Fuente: [1].

Por último, L_R/L_{WL} se puede obtener de la Ecuación (9.10):

$$L_R = L_{WL} \cdot (1 - C_P + 0.06 \cdot C_P \cdot lcb / (4 \cdot C_P - 1)). \quad (9.10)$$

Donde,

- lcb es la posición longitudinal del centro de flotación a proa de $0.5L_{WL}$ como porcentaje (%) de L_{WL} .

2. Resistencia por apéndices

$$R_{APP} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_F \cdot S_{APP} \cdot V^2 \cdot (1 + k_2)_{eq}. \quad (9.11)$$

En donde el valor del coeficiente $(1 + k_2)$ dependerá del tipo de apéndice (ver Tabla 9-2). Si hay una combinación de apéndices, el valor de este coeficiente se determina con la Ecuación (9.12).

$$(1 + k_2)_{eq} = \frac{\sum S_{APP,i} (1 + k_2)_i}{\sum S_{APP,i}}. \quad (9.12)$$

Conociendo que, $S_{APP,i}$ es la superficie mojada para cada apéndice y $(1 + k_2)_i$ es el factor de resistencia del apéndice correspondiente.

<i>Tipo de apéndice</i>	<i>(1+k₂)</i>
Timón buque 1 hélice	1.3 a 1.5
Timón buque 2 hélices	2.8
Timón y quillote	1.5 a 2.0
Quillote	1.5 a 2.0
Ejes	2.0 a 4.0
Aletas Estabilizadoras	2.8
Arbotantes	3.0
Henchimientos protectores	3.0
Henchimientos integrados	2.0
Domo	2.7
Quillas de balance	1.4

Tabla 9-2. Valores del factor (1+k₂) para cada tipo de apéndice. Fuente: [1].

3. Resistencia por formación de olas

$$R_W = \rho \cdot g \cdot \nabla \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot C_5 \cdot \exp(m_1 F_n^d + m_4 \cdot \cos(\lambda \cdot F_n^{-2})). \quad (9.13)$$

En esta ecuación, algunas variables se modifican en función de la velocidad del buque. En el rango de bajo número de Froude ($F_n < 0,4$), las olas en proa son dominantes. Sin embargo, en un rango de mayor velocidad ($F_n > 0,55$), las olas predominan más a lo largo del casco.

Coefficientes cuando $F_n < 0,4$

El coeficiente C_1 se calcula mediante la Ecuación (9.14):

$$C_1 = 2,223,105 \cdot C_7^{3.78613} \cdot (T/B)^{1.07961} \cdot (90 - i_E)^{-1.37565}. \quad (9.14)$$

En donde,

$$\left\{ \begin{array}{ll} C_7 = 0.22957 \cdot (B/L_{WL})^{0.33333} & \text{cuando } B/L_{WL} < 0.11, \\ C_7 = B/L_{WL} & \text{cuando } 0.11 \leq B/L_{WL} < 0.25, \\ C_7 = 0.5 - 0.0625 \cdot (L_{WL}/B) & \text{cuando } 0.25 \leq B/L_{WL}, \end{array} \right. \quad (9.15)$$

$$I_E = 1 + 89e \left\{ \begin{array}{l} - \left(\frac{L_{WL}}{B} \right)^{0.80856} \\ \cdot (1 - C_{wp})^{0.30484} \cdot (1 - C_p - 0.0225 lcb)^{0.6367} \\ \cdot \left(\frac{LR}{B} \right)^{0.34574} \cdot \left(\frac{100V}{L_{WL}} \right)^{0.16302} \end{array} \right\}. \quad (9.16)$$

El coeficiente C_2 se calcula mediante la Ecuación (9.17):

$$C_2 = e^{-1.8 \cdot \sqrt{c_3}}. \quad (9.17)$$

Siendo,

$$C_3 = 0.56 \cdot A_{BT}^{1.5} / (B \cdot (T \cdot \sqrt{A_{BT}} + T_F - h_B)). \quad (9.18)$$

Por último, se toman las siguientes consideraciones para C_5 , m_1 y m_4 :

$$C_5 = 1 - 0.8A_T / (B \cdot T + C_M), \quad (9.19)$$

$$m_1 = 0.0140407 \cdot L_{WL} / T - 1.75254 \cdot \nabla^{1/3} / L_{WL} - 4.7932 \cdot B / L_{WL} - C_{16}, \quad (9.20)$$

$$m_4 = C_{15} \cdot 0.4 \cdot e^{-0.034 \cdot Fn^{-3.29}}. \quad (9.21)$$

En donde,

$$\begin{cases} C_{16} = 8.08981C_P - 13.867C_P^2 + 6.984388 C_P^3 & \text{cuando } C_P < 0.8, \\ C_{16} = 1.73014 - 0.7067 \cdot C_P & \text{cuando } 0.8 \leq C_P, \end{cases} \quad (9.22)$$

$$\begin{cases} C_{15} = -1.69385 & \text{cuando } L_{WL}^3 / \nabla < 512, \\ C_{15} = -1.69385 + (L_{WL} / \nabla^{1/3} - 8) / 2.36 & \text{cuando } 512 \leq L_{WL}^3 / \nabla \leq 1,726.91, \\ C_{15} = 0 & \text{cuando } 1,726.91 < L_{WL}^3 / \nabla, \end{cases} \quad (9.23)$$

$$\begin{cases} \lambda = 1.446C_P - 0.03 \cdot L_{WL} / B & \text{cuando } L_{WL} / B < 12, \\ \lambda = 1.446C_P - 0.36 & \text{cuando } 12 \leq L_{WL} / B. \end{cases} \quad (9.24)$$

Coeficientes cuando $Fn \geq 0.55$

En este caso solo se modifican los siguientes coeficientes:

$$C_1 = 6,919.3 \cdot C_M^{-1.3346} \cdot (\nabla / L_{WL}^3)^{2.00977} \cdot (L_{WL} / B - 2)^{1.40692}, \quad (9.25)$$

$$m_1 = -7.2035 \cdot (B / L_{WL}^3)^{0.3268869} \cdot (T / B)^{0.605375}. \quad (9.26)$$

Coeficientes cuando $0.4 \leq Fn < 0.55$

La resistencia en este caso se obtiene a partir de una combinación de los dos casos anteriores.

$$R_W = R_{W,Fn=0.4} + (10 \cdot Fn - 4) \cdot (R_{W,Fn=0.55} - R_{W,Fn=0.4}) / 1.5 \quad [N]. \quad (9.27)$$

4. Resistencia de presión producida por el bulbo

El bulbo de proa del barco hace presión cerca de la superficie del agua debido a su forma, y produce resistencia. Esta resistencia a la presión adicional cerca de la superficie del agua se expresa con la Ecuación (9.28):

$$R_B = 0.11 \cdot e^{-3 \cdot P_B \cdot 2} \cdot F_{ni}^3 \cdot A_{BT}^{1.5} \cdot \rho \cdot g / (1 + F_{ni}^2) \quad [N]. \quad (9.28)$$

Siendo,

$$P_B = 0.56 \cdot \sqrt{A_{BT}} / (T_F - 1.5 \cdot h_B), \quad (9.29)$$

$$F_{ni} = V / \sqrt{g(T_F - h_B - 0.25 \cdot \sqrt{A_{BT}}) + 0.15 \cdot V^2}. \quad (9.30)$$

5. Resistencia adicional por inmersión del espejo de popa

El espejo de popa sumergido también hace presión debido a su forma y la resistencia que produce.

$$R_{TR} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_6 \cdot A_T \cdot V^2 \quad [N]. \quad (9.31)$$

En donde el coeficiente C_6 se determina como se muestra a continuación:

$$\begin{cases} C_6 = 0.2 \cdot (1 - 0.2 \cdot F_{nT}) & \text{cuando } F_{nT} < 5, \\ C_6 = 0 & \text{cuando } 5 \leq F_{nT}, \end{cases} \quad (9.32)$$

$$F_{nT} = V / \sqrt{2 \cdot g \cdot A_T / (B + B \cdot C_{WP})}. \quad (9.33)$$

6. Resistencia por correlación de modelo-buque

Debido a que la resistencia calculada basada en el modelo a escala del buque tiene alguna diferencia con la resistencia real del barco, se utiliza la resistencia de correlación modelo-barco (R_A) para mejorar la exactitud de la resistencia calculada en base al buque modelo. Esta resistencia por correlación trata corregir principalmente el efecto de la rugosidad del casco y la resistencia al aire. La resistencia de correlación modelo-barco se expresa mediante la siguiente Ecuación (9.34):

$$R_A = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_A \cdot S_{BH} \cdot V^2 \quad [N]. \quad (9.34)$$

En donde,

$$C_A = 0.006 \cdot (L_{WL} + 100)^{-0.16} - 0.00205 + 0.003 \cdot \sqrt{L_{WL}/7.5} \cdot C_B^4 \cdot C_2 \cdot (0.04 \cdot C_4), \quad (9.35)$$

$$\begin{cases} C_4 = T_F/L_{WL} & \text{cuando } T_F/L_{WL} < 0.04, \\ C_4 = 0.04 & \text{cuando } 0.04 \leq T_F/L_{WL}. \end{cases} \quad (9.36)$$

7. Resistencia total

Finalmente, la resistencia total del buque puede predecirse sumando cada componente, utilizando la Ecuación 9.5. Llegados a este punto, si se dispone de los datos de los ensayos del modelo del buque base, la resistencia calculada puede ajustarse aún más utilizando estos valores para aumentar su precisión, mediante la relación que se muestra en la Ecuación (9.37):

$$R_{T,diseño} = R_{T,diseño,Holtrop\&Mennen} \cdot \frac{R_{T,base,modelo}}{R_{T,base,Holtrop\&Mennen}}. \quad (9.37)$$

9.3. Predicción de potencia

Eficiencia propulsiva: Se define como la relación entre la potencia efectiva (EHP) y la potencia entregada (DHP) en la hélice:

$$\eta_D = \frac{EHP}{DHP} = \frac{EHP}{THP} \cdot \frac{THP}{DHP} = \eta_H \cdot \eta_o \cdot \eta_R. \quad (9.38)$$

Eficiencia de hélice en aguas abiertas: La eficiencia de la hélice si trabajase en aguas abiertas, es decir, en un campo de estela homogénea sin casco delante:

$$\eta_o = \frac{THP}{DHP_{aguasabiertas}}. \quad (9.39)$$

Eficiencia del casco: La eficiencia del casco se define como la relación entre la potencia efectiva en caballos y la potencia de empuje, según la siguiente Ecuación (9.40):

$$\eta_H = \frac{EHP}{THP} = \frac{RT/T}{V_A/V} = \frac{1-t}{1-w}. \quad (9.40)$$

Eficiencia rotativa relativa: La velocidad real del agua que fluye hacia la hélice por detrás del casco no es constante y tampoco forma un ángulo recto con respecto al área de las palas de la hélice, sino que tiene una especie de flujo rotativo. Por lo tanto, a diferencia de la operación de la hélice en aguas abiertas, si se considera la influencia de las formas del casco sobre la hélice, la eficiencia de esta se ve reducida, y se mide mediante un factor denominado factor de eficiencia rotativa relativa:

$$\eta_R = \frac{\eta_{O,B}}{\eta_o}. \quad (9.41)$$

Coefficiente de fracción de estela (w): Cuando el barco está en movimiento, la fricción del casco crea una capa límite de agua alrededor del casco. En esta zona, la velocidad del agua en la superficie del casco es igual a la del buque, pero se reduce en las zonas con mayor distancia a la superficie del casco. A cierta distancia del casco, la velocidad del agua es igual a cero. El grosor de la capa límite aumenta con la distancia en la parte delantera del casco. Por tanto, esta capa es más gruesa en el extremo de popa del casco y su grosor es casi proporcional a la eslora del barco. En consecuencia, la velocidad del agua que llega a la hélice (es decir, la velocidad de avance de la hélice, V_A) dada como la velocidad media sobre el área de las palas de la hélice es inferior a la velocidad del buque. La velocidad efectiva de la hélice es igual a $V_w = V - V_A$ y puede expresarse en forma adimensional mediante el coeficiente de estela (w):

$$w = 1 - \frac{V_A}{V}. \quad (9.42)$$

Coefficiente de deducción de empuje (t): La rotación de la hélice hace que el agua que se encuentra delante de ella sea aspirada hacia la hélice. Esto da lugar a una resistencia adicional en el casco denominada aumento de resistencia o, si se relaciona con la fuerza de empuje total requerida (T) en la hélice, coeficiente de deducción de empuje (t), como se muestra en la Ecuación (9.43). Esto significa que la fuerza de empuje en la hélice tiene que superar tanto la resistencia total del barco (R_T) como esta pérdida de empuje ($T - R_T$):

$$t = 1 - \frac{R_T}{T}. \quad (9.43)$$

Una vez estimada la resistencia total, y conocidos los coeficientes necesarios mencionados anteriormente, se puede predecir la potencia necesaria del buque mediante una serie de procesos.

Effective Horse Power (EHP): Es la potencia efectiva en aguas tranquilas necesaria para mover el buque a la velocidad requerida en ausencia de la acción de la hélice. Es decir, esta potencia no está relacionada con el sistema de tren de potencia del buque:

$$EHP = R_T \cdot V \quad [W]. \quad (9.44)$$

Thrust Horse Power (THP): La potencia de empuje es la potencia producida por la hélice:

$$THP = T \cdot V_A = R_T \cdot V \cdot \frac{1-w}{1-t} = \frac{EHP}{\eta_H} \quad [W]. \quad (9.45)$$

Delivered Horse Power (DHP): Es la potencia entregada a la hélice en aguas tranquilas. Puede expresarse con la THP, el rendimiento de la hélice y el rendimiento rotativo relativo, como vemos en la Ecuación (9.46):

$$DHP = \frac{THP}{\eta_o \cdot \eta_R} \quad [W]. \quad (9.46)$$

Shaft Horse Power (SHP): Si el buque tiene engranajes de reducción entre el motor principal y el eje, hablamos de la potencia SHP. La SHP es la potencia de salida después de los engranajes de reducción. Entonces, puede expresarse conforme la Ecuación (9.47):

$$SHP = \frac{DHP}{\eta_T} \quad [W]. \quad (9.47)$$

Brake Horse Power (BHP): La potencia de frenado (BHP) es la potencia en el cigüeñal que sale del motor principal. Si no hay engranajes de reducción, BHP es igual a SHP y por lo tanto, la Ecuación (9.48) se puede utilizar en lugar de la Ecuación (9.47).

$$BHP = \frac{DHP}{\eta_T} \quad [W]. \quad (9.48)$$

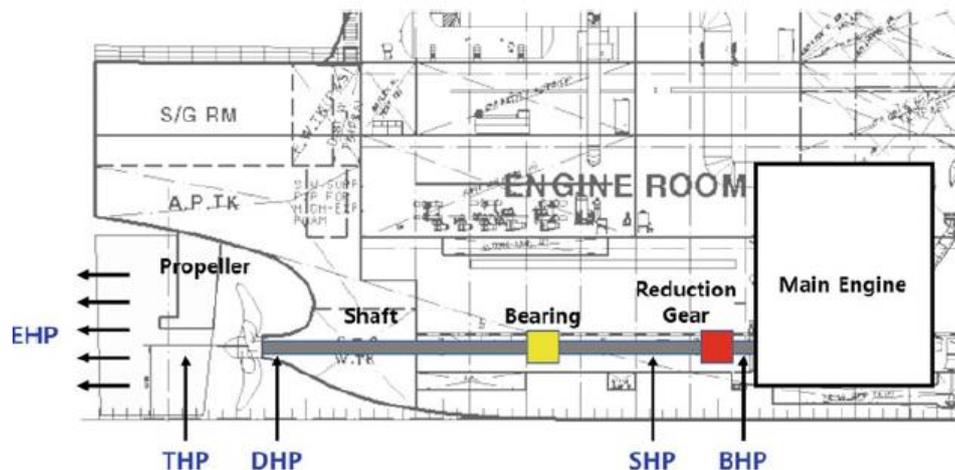


Figura 9-1. Relación entre diferentes componentes de potencia. Fuente: [1].

En resumen, la relación de cada potencia se muestra en la Figura 9-1. La magnitud relativa de cada componente es la siguiente:

$$EHP < THP < DHP < SHP < BHP. \quad (9.49)$$

Normal Continuous Rating (NCR): Llegados a este punto, una vez que hemos estimado el valor de BHP, podemos predecir el régimen normal continuo (NCR) a partir de este, teniendo en consideración el margen por mala mar, como se muestra en la Ecuación (9.50). NCR hace referencia a la potencia a la que el motor principal puede funcionar de forma más eficiente, económica y con menos mantenimiento. Suele ser la potencia contractual para la que está diseñada la hélice:

$$\text{NCR} = \text{BHP}_{\text{calmwater}} \cdot \left(1 + \frac{\text{margen de mar}}{100} \right) \quad [\text{W}]. \quad (9.50)$$

Maximum Continuous Rating (MCR): Finalmente, la potencia máxima continua (MCR) puede predecirse a partir de la Ecuación (9.51). El término MCR indica la máxima potencia que puede producir el motor principal de forma continua sin provocar un fallo en el equipo de propulsión:

$$\text{MCR} = \frac{\text{NCR}}{\text{EngineMargin}} \quad [\text{W}]. \quad (9.51)$$

10. Selección del motor principal

Después de predecir la resistencia y la potencia requerida para el buque diseñado, se debe seleccionar un motor adecuado que cumpla de forma adecuada con las necesidades de la embarcación.

Hoy en día, el motor diésel es el motor más utilizado en la industria naval porque tiene la mayor eficiencia térmica entre los motores de potencia y su eficiencia es de alrededor del 50%. Además, el motor diésel puede utilizar aceite de baja calidad, por lo que tiene un efecto de ahorro de combustible. En este proyecto hemos supuesto que se utiliza el motor diésel como motor principal para los buques.

El motor se compone de varias piezas, como pistón, cigüeñal, biela, cojinetes, etc. El cigüeñal se encarga de transformar el movimiento lineal de los pistones en el movimiento de rotación que se transmite al eje de la hélice. Esa potencia que se entrega del motor al cigüeñal se denomina BHP (*Brake Horse Power*).

La BHP del motor en kW se puede calcular mediante la Ecuación (10.1).

$$\text{BHP} = P_{me} \cdot L \cdot A \cdot n_E \cdot Z. \quad (10.1)$$

Siendo,

- P_{me} la presión media efectiva en kN/m^2 .
- L la carrera del pistón en m.
- A el área de la sección transversal del pistón.
- Z el número de cilindros.

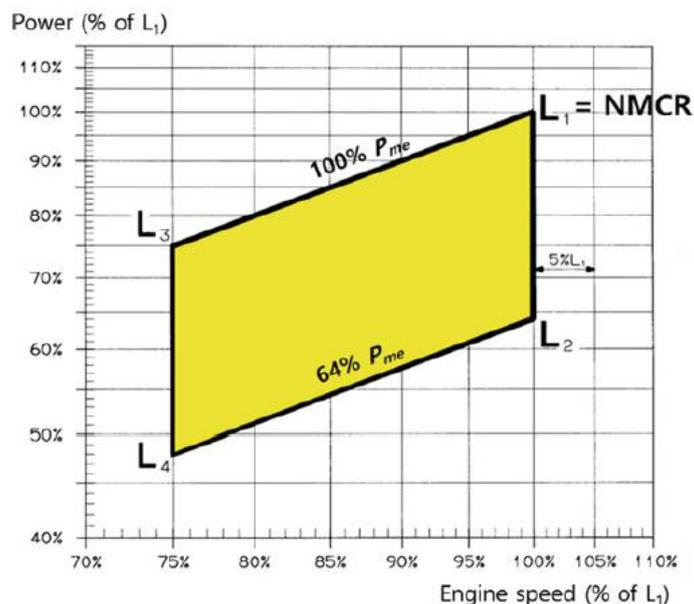


Figura 10-1. Relación entre la velocidad del motor y la potencia, representado en escala logarítmica. Fuente: [1].

Por lo tanto, la BHP del motor diésel es proporcional a la velocidad del motor (n_E) y a la potencia media efectiva (P_{me}).

La relación entre la velocidad del motor y la potencia del motor (BHP) se muestra en la Figura 10-1. Dado que la potencia del motor diésel es proporcional a la velocidad del motor, el gráfico de la potencia puede representarse como diferentes líneas rectas para diferentes valores de P_{me} . Por tanto, considerando el valor mínimo y máximo de velocidad del motor, y los valores respectivos de P_{me} , se forma la región amarilla de la figura, conocido como el diagrama de funcionamiento del motor.

Dado que el motor sólo puede funcionar en la región interior del diagrama de trazado, debe seleccionarse un motor principal adecuado teniendo en cuenta el NCR y el MCR requeridos del buque. Puede haber varios motores alternativos que satisfagan este requisito de potencia. Para seleccionar el motor que mejor se ajuste a las necesidades del buque, se tienen en cuenta además otros aspectos, como los siguientes:

- Eficiencia de la hélice.
- Peso del motor.
- Disposición de la sala de máquinas.
- Coste de la inversión inicial.
- Coste de explotación.

Por tanto, para resolver la etapa de selección de motor principal, de forma esquemática, se muestra la siguiente guía.

1. Definición del problema.

(a) Datos conocidos: NCR y MCR del buque de diseño y “*Derating Ratio*” (relación de reducción de potencia) del buque base.

(b) Hallar: Motor principal (NMCR) del buque de diseño.

2. Formulación matemática.

Se trata de una restricción de desigualdad; Ecuación (10.2).

$$NMCR > MCR. \quad (10.2)$$

Es decir, el NMCR del motor principal debe ser mayor que el MCR considerando la relación de reducción de potencia. Hay varios motores alternativos que pueden producir MCR. Por lo tanto, el mejor debe seleccionarse teniendo en cuenta su peso, el tamaño, el SFOC, etc.

3. Selección del algoritmo.

Comprobar la restricción de desigualdad algebraicamente cuando se seleccione el motor principal.

Una vez que se ha seleccionado el motor principal, toda la información sobre el motor, incluyendo el consumo específico de combustible (SFOC) en g/kWh. puede obtenerse en el catálogo del fabricante.

Estimación del consumo diario de Fuel Oil

Después de seleccionar el motor principal, y conociendo el SFOC del mismo, puede estimarse el consumo diario de fuel oil del buque (Ecuación (10.3)).

$$DFOC = NCR \cdot SFOC \cdot 24 \cdot 10^{-6} \quad [\text{ton/día}]. \quad (10.3)$$

Para este cálculo, las unidades de las variables serán:

- NCR en kW.
- SFOC en g/kWh.

Estimación de la capacidad necesaria para los tanques de Fuel Oil

El peso del fuel-oil pesado (W_{HFO}) en toneladas se estima con la próxima Ecuación (10.4).

$$W_{HFO} = DFOC \cdot \frac{\text{Autonomía}}{V_S} + \text{Margin}_{HFO} \quad [\text{ton}]. \quad (10.4)$$

Donde,

- La autonomía se expresa en millas náuticas (NM).
- V_S es la velocidad de servicio del buque en nudos (kn).
- Margin_{HFO} es el margen añadido de fuel oil (tn).

Por último, el volumen total del tanque de fuel oil (V_{HFO}) puede calcularse mediante la siguiente ecuación.

$$V_{HFO} = \frac{W_{HFO}}{\rho_{HFO}} \quad [\text{m}^3]. \quad (10.5)$$

Siendo ρ_{HFO} la densidad del fuel-oil en ton/m³.

11. Determinación de las dimensiones principales de la hélice

Para que el buque utilice de manera eficiente la potencia del motor principal y pueda producir suficiente fuerza de empuje, la hélice debe estar diseñada de forma óptima. Las dimensiones principales de la hélice se van a determinar considerando la relación con el buque y con el motor principal.

11.1. Dimensiones principales

Una hélice es una pala móvil que convierte la potencia del motor en potencia de empuje. El diseño de la hélice incluye la determinación de sus dimensiones principales, como el diámetro, el paso, la relación de área expandida, etc.

Diámetro de la hélice (D_p): Es la distancia de punta a punta de las palas de la hélice. Su valor suele ser el mayor determinante de la eficiencia de la hélice (η_0), y posteriormente de todo el sistema de tren de potencia del buque. Salvo en el caso de los buques de alta velocidad, cuanto mayor sea el diámetro, mayor será la eficiencia de la hélice. Normalmente, el diámetro está limitado por el calado y los apéndices del buque.

Paso de la hélice (P_i): El paso (P_i) es la distancia teórica que se mueve la hélice en una revolución. El ángulo de paso es el ángulo de la pala con respecto al flujo entrante. El ángulo suele variar desde la raíz hasta la punta. Comúnmente, en lugar del paso, se utiliza la relación entre el paso y el diámetro (P_i/D_p).

Relación de área expandida (EAR, A_E/A_0): Es la relación entre el área real de las palas de la hélice (A_E) con respecto al área del círculo descrito por el diámetro de las palas (A_0), tal y como se muestra en la Figura 11-1.

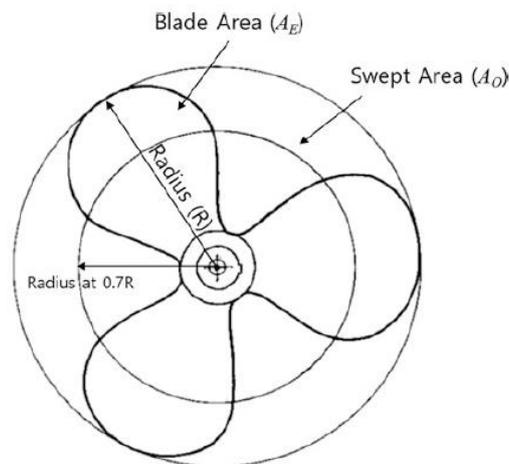


Figura 11-1. Relación de área expandida EAR de hélice. Fuente: [1].

En el diseño de la hélice, el valor mínimo de la EAR seleccionado debe ser el punto de no cavitación, porque, si la relación es menor, la posibilidad de cavitación es mayor, aunque la eficiencia de la hélice incremente. En la mayoría de los casos, se considera aceptable un valor de 0.55 para la EAR. Para los barcos con hélices especialmente cargadas, con cinco o seis palas, el valor de la EAR puede tener un valor más alto. En los buques de la marina, puede tomar valores de hasta 1.2.

Número de palas (z): En general, las hélices se fabrican de entre dos y seis palas. Cuanto menor sea el número de palas (z), mayor será la eficiencia de la hélice. Sin embargo, las hélices sometidas a grandes cargas no pueden fabricarse sólo con dos o tres palas. Normalmente se utilizan hélices de cuatro a seis palas. La mayoría de los buques comerciales utilizan cuatro palas excepto los portacontenedores, que suelen utilizar cinco o seis palas. Además, la velocidad óptima de la hélice (o rpm) depende del número de palas. Por razones de vibración, las hélices con cierto número de palas pueden evitarse en casos concretos para no dar lugar a frecuencias de excitación en el casco o la superestructura del buque.

Velocidad de la hélice: En la Ecuación (10.1) se indicaba la potencia producida por el motor principal (P_E). Por otro lado, la potencia absorbida por el propulsor puede calcularse conforme la Ecuación (11.1):

$$P_p = DHP \cdot 2\pi \cdot n_p \cdot Q_p. \quad (11.1)$$

Donde, Q_p es el par absorbido por la hélice.

A partir de esta ecuación, la relación entre la potencia de la hélice (P_p) y la velocidad de la hélice (n_p) es la que se muestra en la Figura 11-2.

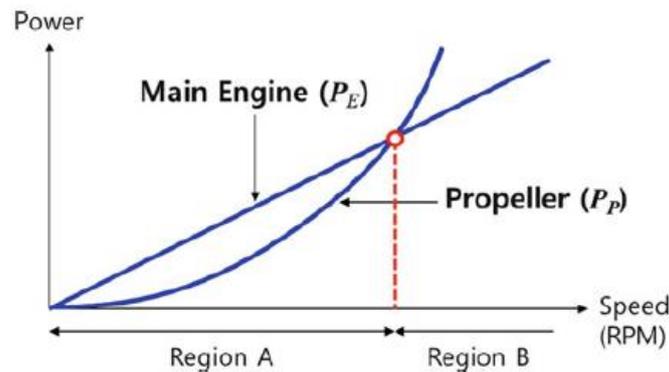


Figura 11-2. Punto de coincidencia de la potencia y la velocidad entre el motor principal y la hélice. Fuente: [1].

Si hay engranajes de reducción entre el motor principal y el eje de propulsión, la velocidad de la hélice será diferente de la del motor, normalmente $n_E > n_p$. Si no hay engranajes reductores, significa que la hélice está directamente acoplada con el motor principal a través del eje y, por tanto, la velocidad de la hélice será la misma que la velocidad del motor ($n_E = n_p$). En general, los buques de gran tamaño no tienen engranajes de reducción.

Podemos observar en la Figura 11-2 que la velocidad del motor y la de la hélice se encuentran en la región A, la potencia que proporciona el motor será mayor que la que

absorbe la hélice. Esto significa que habrá un desperdicio de energía. Por el contrario, en la región B, la potencia del motor será menor que la de la hélice. En este caso, el motor principal producirá menos potencia que la requerida por la hélice. Como resultado, la velocidad del barco disminuye. Teniendo en cuenta este hecho, las dos velocidades deben ser igualadas. Esto se denomina adaptación del motor principal y la hélice, lo que significa que la velocidad y la potencia de la hélice son las mismas que las del motor si no hay engranajes de reducción:

$$P_p = P_e, \quad (11.2)$$

$$n_p = n_e. \quad (11.3)$$

11.2. Coeficientes adimensionales

Para evaluar la eficiencia de la hélice, la prueba de agua abierta de la hélice (POW) se lleva a cabo en condiciones ideales en las que la hélice no se ve afectada por la forma del casco. En la prueba, utilizando datos de entrada como las dimensiones de la hélice (D_p , P_i , AE/AO , y z), se obtienen los resultados tales como fuerza de empuje, par de la hélice y eficiencia de la hélice. Para llevar a cabo la prueba POW con una hélice modelo y analizar el rendimiento de la hélice, se utilizan algunos coeficientes adimensionales de la hélice. Los coeficientes se derivan del análisis dimensional y se enumeran a continuación.

Ratio de avance (J): La diferencia entre el paso de la hélice y el movimiento real se llama deslizamiento. Esto significa que cuando la hélice ha girado una vuelta en el agua sólo ha avanzado una determinada parte del paso, normalmente del orden del 75~95%. Al mismo tiempo, el barco arrastrará agua con él, un poco por delante de la hélice. La reducción de la velocidad del agua se denomina estela, que afecta al deslizamiento. Por lo tanto, la velocidad de avance (V_A) por unidad de tiempo considerando la estela y la velocidad del barco, puede expresarse como:

$$V_A = V \cdot (1-w). \quad (11.4)$$

En donde V es la velocidad del barco y w es el coeficiente de estela.

Ahora se puede definir la relación de avance (J). Es la relación entre la distancia que la hélice avanza en el agua durante una revolución y el diámetro de la hélice. Y se puede calcular mediante la Ecuación (11.5):

$$J = \frac{V_A}{n_p \cdot D_p}, \quad (11.5)$$

considerando n_p en unidades de rps.

Coefficiente de Empuje (K_T): La fuerza de empuje (T_p) generada por la hélice se expresa en forma adimensional mediante el coeficiente de empuje (K_T) a través de la siguiente ecuación:

$$K_T = \frac{T_p}{\rho \cdot n_p^2 \cdot D_p^4} \cdot \quad (11.6)$$

Coeficiente de Torque (K_Q): El par (Q_E) producido por el motor se define en la Ecuación (11.7). El par (Q_P) absorbido por la hélice se expresa en forma adimensional introduciendo coeficiente de par (K_Q) como en la Ecuación (11.8). Para igualar el motor principal y la hélice, Q_E=Q_P y n_E=n_P deben ser válidos:

$$Q_E = \frac{DHP}{2\pi \cdot n_E} \cdot \quad (11.7)$$

$$K_Q = \frac{Q_p}{\rho \cdot n_p^2 \cdot D_p^5} \cdot \quad (11.8)$$

Eficiencia de hélice en aguas abiertas (η₀): Eficiencia de la hélice operando en aguas abiertas, es decir, en un campo de estela homogénea sin casco delante. Se trata de una eficiencia propia de la hélice y uno de los componentes de la eficiencia propulsora (η_D). Esta eficiencia depende fundamentalmente de la velocidad de avance (V_A), la fuerza de empuje absorbida por la hélice (T_P), la velocidad de la hélice (n_P), y su diámetro (D_P). También depende de las dimensiones principales de la hélice, como la relación de paso, la EAR, el número de palas, etc. La eficiencia de la hélice puede variar entre 0.35~0.75 aproximadamente, siendo el valor más alto válido para hélices con una alta velocidad de avance. La eficiencia de la hélice por definición se expresa con la siguiente Ecuación:

$$\eta_0 = \frac{THP}{DHP_{aguasabiertas}} \cdot \quad (11.9)$$

donde, THP es la potencia generada por la hélice y DHP es la potencia absorbida por la hélice.

11.3. Determinación de las dimensiones principales

Como resultado de la prueba POW, se obtienen diagramas de hélice en aguas abiertas, denominados diagramas de hélice. En los diagramas se presentan los valores de K_T, K_Q y η₀ para diferentes relaciones de paso (P_i/D_P), como se muestra en la Figura 11-3. Con estos diagramas, es posible encontrar las dimensiones principales de la hélice, incluyendo la eficiencia de la hélice, la fuerza de empuje, la potencia entregada etc.

Mediante el análisis de regresión de los resultados de muchas pruebas POW, Los coeficientes adimensionales K_T y K_Q pueden expresarse como polinomios que son funciones de la relación de avance (J), la relación de paso (P_i/D_P), la EAR (AE/AO) y el número de palas (z). (Ver Anexo B. Índices en polinomio de series-B Wageningen para trabajar con la Ecuación (11.10)):

$$K_T \text{ y } K_Q = \sum C_{s,t,u,v} (J)^s \left(\frac{P_i}{D_p}\right)^t \left(\frac{AE}{AO}\right)^u (z)^v \cdot \quad (11.10)$$

$$K_T = \frac{R_T}{(1-t) \cdot \rho \cdot D_p^4} \cdot \left(\frac{J \cdot D_p}{V_A} \right) = c_2 \cdot J^2, \quad (11.11)$$

$$K_Q = \frac{P_E}{(1-t) \cdot \rho \cdot n_p^3} \cdot \left(\frac{J \cdot n_p}{V_A} \right)^5 = c_4 \cdot J^5. \quad (11.12)$$

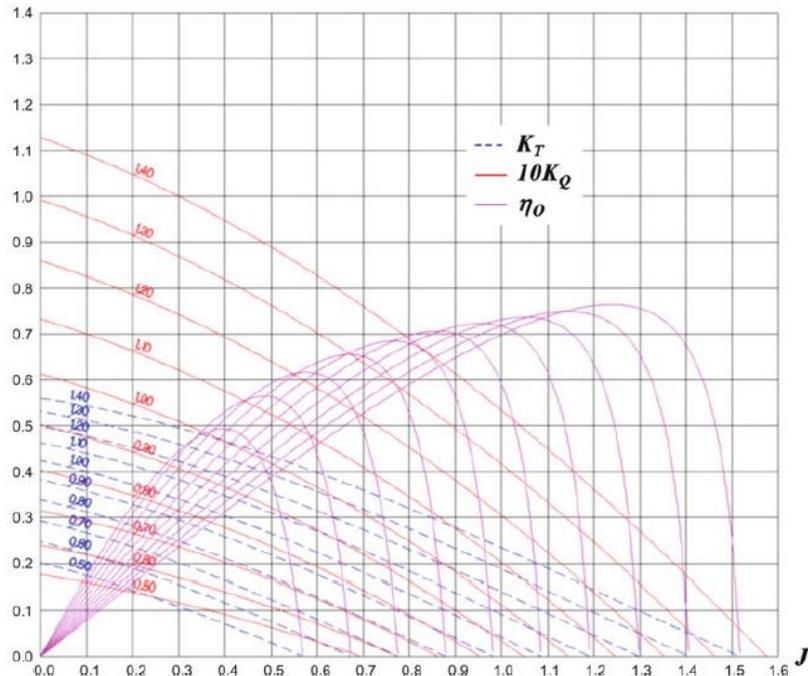


Figura 11-3. Diagramas POW de las hélices de la serie B de Wageningen para $A_E/A_0=0.55$ y $z=4$. Fuente: [1].

Por último, hay que considerar la Ecuación (11.13) para el criterio de no cavitación de la hélice. Esta ecuación se denomina fórmula de Keller, y nos muestra el requisito de valor mínimo de EAR:

$$A_E/A_0 \geq K + \frac{(1.3+0.3z) \cdot T}{D_p^2 \cdot (p_0 - \rho \cdot g \cdot h - p_v)}. \quad (11.13)$$

Donde,

- K es 0.2 para los buques de una hélice y 0.1 para buques con dos hélices.
- T es la fuerza de empuje de la hélice en kN.
- $(p_0 - p_v)$ es 0.9947 kN/m² en agua de mar de 15°C.
- h es la diferencia de altura entre la profundidad de inmersión del eje en m. y la altura del centro del eje (medida desde la línea de base) en m.

Este sistema de 3 ecuaciones puede resolverse de varias maneras, y tomando diferentes suposiciones. En la Figura 11-4 se muestra un esquema típico que se sigue para el dimensionamiento de la hélice.

Este problema se puede resolver de forma computacional considerando diferentes perspectivas de optimización. A continuación, se muestra una guía para realizar este procedimiento a modo de ejemplo.

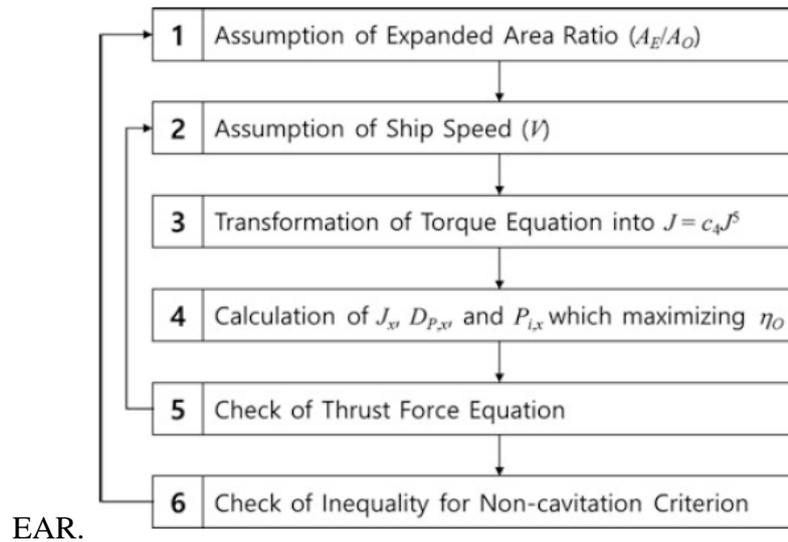


Figura 11-4. Esquema típico para resolver el problema de dimensionamiento de hélices. Fuente: [1].

1. Definición del problema.

(a) Datos conocidos: Potencia deliberada por el motor a la hélice ($P_E = NCR$), velocidad del motor (n_E), número de palas (z) y resistencia total a la velocidad de servicio del buque (R_T).

(b) Hallar: Diámetro de la hélice (D_p), paso (P_i), EAR, y velocidad máxima del buque diseño.

2. Formulación matemática.

Se trata de un sistema con dos ecuaciones de igualdad y una de desigualdad:

$$\rho \cdot n_p^2 \cdot D_p^4 \cdot K_T = \frac{R_T}{(1-t)}, \quad (11.14)$$

$$\rho \cdot n_p^2 \cdot D_p^5 \cdot K_Q = \frac{P_E}{2\pi \cdot n_p}, \quad (11.15)$$

$$A_E/A_O \geq K + \frac{(1.3+0.3z) \cdot T}{D_p^2 \cdot (\rho_0 - \rho \cdot g \cdot h - p_v)}. \quad (11.16)$$

3. Selección del algoritmo.

Resolver con un método de optimización con restricciones.

12. Métodos de optimización

12.1. Formulación de problemas de optimización

En el campo de la ingeniería, incluyendo la Ingeniería Naval y Oceánica, muchos problemas pueden considerarse como problemas de optimización.

La optimización es un método utilizado para resolver problemas indeterminados. Un problema de optimización puede formularse matemáticamente como se muestra a continuación.

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Minimizar o maximizar:} \\ \\ \text{Sujeto a:} \\ \\ \text{Donde:} \end{array} \right. \begin{array}{l} f(x). \\ \\ g_i(x) \leq 0, i = 1, \dots, m, \\ h_i(x) = 0, i = 1, \dots, p. \\ \\ x = (x_1, x_2, \dots, x_n). \end{array} \quad \begin{array}{l} (12.1) \\ \\ (12.2) \\ (12.3) \\ \\ (12.4) \end{array}$$

Un problema de optimización consta de tres componentes: variables de diseño (Ecuación 12.4), restricciones (Ecuaciones 12.2 y 12.3) y funciones objetivo (12.1).

1. Variables de diseño.

Las variables de diseño son un conjunto de variables que describen un sistema, como el tamaño, la posición, etc. Es decir, estas son las variables que se busca encontrar en el problema de optimización.

2. Restricciones.

Las restricciones son un conjunto de requisitos y condiciones específicas que se imponen al problema. Estas restricciones son funciones de las variables de diseño. Existen dos tipos de restricciones: las de desigualdad (" \leq ", " \geq ") y las de igualdad (" $=$ ").

3. Funciones objetivo.

Las funciones objetivo son criterios para comparar los diferentes diseños y determinar el diseño más adecuado para un problema determinado como puede ser el coste, el beneficio, el peso, etc. Son funciones de las variables de diseño. Hay dos tipos de funciones objetivo: función a minimizar y función a maximizar.

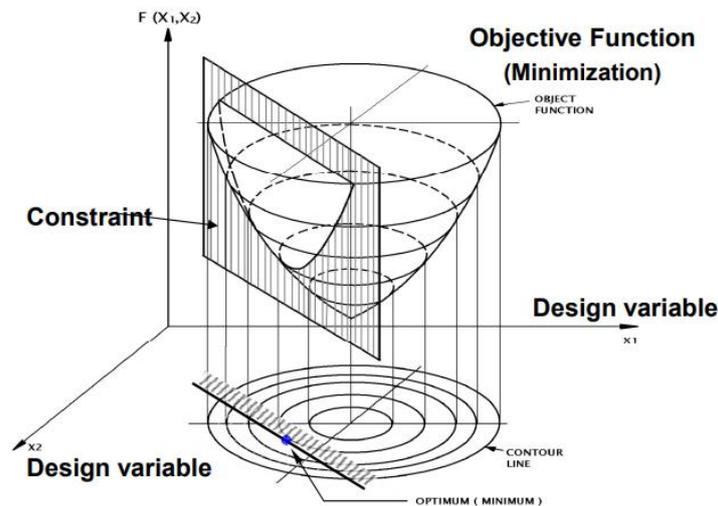


Figura 12-1. Componentes en sistema de optimización. Fuente: [5].

12.2. Clasificación de problemas de optimización

Los problemas de optimización pueden clasificarse en varios tipos en función de diferentes criterios, explicados a continuación.

1. Existencia de restricciones

En función de la existencia de restricciones, los problemas de optimización se pueden clasificar en problemas de optimización sin restricciones y problemas de optimización con restricciones. Los primeros optimizan la función objetivo sin ninguna restricción sobre las variables de diseño. Por el contrario, en cuanto a los problemas de optimización con una o más restricciones, estos deben considerar las restricciones durante la optimización para obtener una solución factible.

2. Número de funciones objetivo

Según el número de funciones objetivo, los problemas de optimización pueden clasificarse en problemas de optimización de un solo objetivo o de varios objetivos. Los primeros tienen una función objetivo y generalmente tienen una solución que optimiza la misma. Sin embargo, los segundos tienen dos o más funciones objetivo y pueden tener muchas soluciones según las prioridades relativas entre las funciones objetivo.

3. Linealidad de la función objetivo y de las restricciones

Según la linealidad de la función objetivo y las restricciones, los problemas de optimización pueden clasificarse en problemas de optimización lineal y no lineal. En los primeros, todas las funciones objetivo y las restricciones son funciones lineales. En cambio, en los segundos, algunas de las funciones objetivo y las restricciones son funciones no lineales.

4. Tipos de variables de diseño

De acuerdo con los tipos de variables de diseño, los problemas de optimización pueden clasificarse en problemas de optimización continuos o discretos. En los primeros, las variables de diseño son continuas en los problemas de optimización. Mientras, en los segundos, las variables de diseño son discretas, como su nombre indica.

12.3. Clasificación de Métodos de Optimización.

Los métodos de optimización son diferentes tipos de algoritmos numéricos para resolver problemas de optimización. Se pueden clasificar tal y como se muestra a continuación.

1. Tipos de óptimos

Según los tipos de óptimos, los métodos de optimización se pueden clasificar en métodos de optimización global y local.

a) Métodos de optimización global

Estos métodos son útiles para encontrar un óptimo global en los problemas de optimización que tienen muchos óptimos locales. Sin embargo, necesitan mucho tiempo y muchas iteraciones para obtener el óptimo. Entre estos métodos encontramos el método de Algoritmos Genéticos (GA), el método de optimización híbrido, el recocido simulado (*Simulated annealing*, SA), etc.

b) Métodos de optimización local

Estos métodos requieren relativamente menos tiempo y menos iteraciones para encontrar la solución óptima. Sin embargo, sólo son capaces de encontrar el óptimo local que está cerca del punto de partida. Algunos ejemplos son, entre otros, el método de Programación Cuadrática Secuencial (SQP), método de las direcciones factibles (MFD), el método de optimización de inicio múltiple, etc.

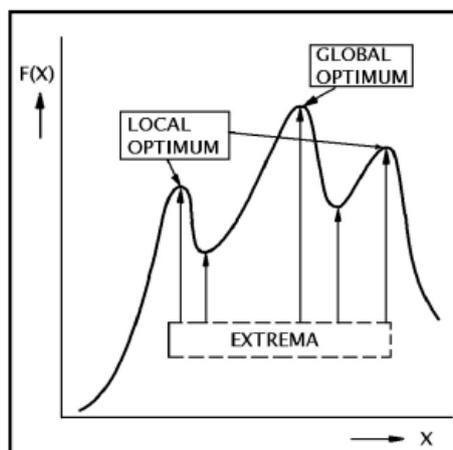


Figura 12-2. Diferencia entre óptimos en métodos locales y globales. Fuente: [5].

2. Técnicas de búsqueda

Según las técnicas de búsqueda que se utilicen para encontrar el óptimo, los métodos de optimización se pueden clasificar en métodos de búsqueda numérica, métodos de búsqueda aleatoria y métodos de búsqueda enumerativa.

a) Métodos de búsqueda numérica

Estos métodos también se denominan métodos de búsqueda clásicos o basados en el cálculo. Estos métodos utilizan un enfoque determinista para encontrar el óptimo. Es decir, utilizan un conjunto de condiciones necesarias y suficientes que deben cumplir las soluciones de un problema de optimización.

Requieren el conocimiento de los gradientes o las derivadas de orden superior de las funciones objetivo y de las restricciones. Pueden clasificarse de nuevo en dos grupos: métodos indirectos y directos. Los métodos indirectos buscan los extremos locales resolviendo el conjunto de ecuaciones, generalmente no lineales, que resulta de poner a cero el gradiente de la función objetivo. La búsqueda de posibles soluciones comienza restringiéndose a puntos con pendientes nulas en todas las direcciones.

Por otro lado, los métodos directos buscan extremos locales saltando por el espacio de búsqueda y evaluando el gradiente del nuevo punto, que guía la búsqueda. Su finalidad es encontrar el mejor óptimo local subiendo el gradiente más pronunciado posible. Estos métodos sólo pueden utilizarse en un conjunto restringido de funciones que se comportan adecuadamente. En esta categoría se incluyen los métodos de gradiente, los métodos de función de penalización, LP (programación lineal), SQP, etc.

b) Métodos de búsqueda aleatoria

Estos métodos también se denominan métodos de búsqueda estocástica. Se basan en técnicas estocásticas enumerativas, pero utilizan información adicional para guiar la búsqueda. Dos subclases principales son los algoritmos evolutivos y el recocido simulado que pueden considerarse procesos evolutivos. Los primeros utilizan principios de selección natural. Esta forma de búsqueda evoluciona a lo largo de generaciones, mejorando las características de las soluciones potenciales mediante operaciones de inspiración biológica. GA (Algoritmo genético), ES (Estrategias evolutivas), etc., se incluyen en esta categoría.

c) Métodos de búsqueda enumerativa

Estos métodos buscan cada punto del espacio de búsqueda del problema de optimización, un punto a la vez. En cada punto, se generan todas las soluciones posibles y se prueban para encontrar un óptimo. Son muy sencillos de aplicar, pero suelen requerir una gran cantidad de cálculos. Estos métodos no son adecuados para aplicaciones con un gran espacio de búsqueda. La programación dinámica, el método de Hooke y Jeeves, el método de Nelder y Mead, el método de la sección áurea, etc., se incluyen en esta categoría.

En la Figura 12-3 se muestran diferentes métodos de optimización en función del tipo de problema.

	Unconstrained optimization problem		Constrained optimization problem		
	Linear	Nonlinear	Linear	Nonlinear	
Objective function (example)	Minimize $f(x)$ $f(x) = x_1 + 2x_2$	Minimize $f(x)$ $f(x) = x_1^2 + x_2^2 - 3x_1x_2$	Minimize $f(x)$ $f(x) = x_1 + 2x_2$	Minimize $f(x)$ $f(x) = x_1^2 + x_2^2 - 3x_1x_2$	Minimize $f(x)$ $f(x) = x_1^2 + x_2^2 - 3x_1x_2$
Constraint (example)	None	None	$h(x) = x_1 + 5x_2 = 0$ $g(x) = -x_1 \leq 0$	$h(x) = x_1 + 5x_2 = 0$ $g(x) = -x_1 \leq 0$	$g_1(x) = \frac{1}{6}x_1^2 + \frac{1}{6}x_2^2 - 1.0 \leq 0$ $g_2(x) = -x_1 \leq 0$
Optimization methods for continuous value	① Direct search method - Hooke & Jeeves method - Nelder & Mead method ② Gradient method - Steepest descent method - Conjugate gradient method - Newton method - Davidon-Fletcher-Powell (DFP) method - Broyden-Fletcher-Goldfarb-Shanno (BFGS) method		Linear programming (LP) method is usually used. Simplex Method (Linear programming)	Penalty Function Method: Converting the constrained optimization problem to the unconstrained optimization problem by using the penalty function, the problem can be solved using unconstrained optimization method. SLP (Sequential Linear Programming) First, linearize the nonlinear problem and then obtain the solution to this linear approximation problem using the linear programming method. And, then, repeat the linearization Quadratic programming (QP) method Sequential Quadratic Programming (SQP) method First, approximate a quadratic objective function and linear constraints , find the search direction and then obtain the solution to this quadratic programming problem in this direction. And, then, repeat the approximation	
Optimization methods for discrete value	Integer programming: ① Cut algorithm ② Enumeration algorithm ③ Constructive algorithm				
Heuristic optimization	Genetic algorithm (GA), Ant algorithm, Simulated annealing, etc.				

Figura 12-3. Clasificación de problemas de optimización y métodos de optimización. Fuente: [3].

12.4. Algoritmo genético

El método seleccionado para resolver el problema de optimización para el dimensionamiento de buques ha sido el Algoritmo Genético. Se ha considerado la utilización de este método ya que se trata de un método de optimización global, algo que resulta muy útil para resolver un problema de optimización con muchos óptimos locales, ya que, por su parte, los métodos locales, aunque necesiten menos iteraciones, sólo son capaces de encontrar el óptimo local que está cerca del punto de partida, y se está buscando un método genérico capaz de optimizar las dimensiones de cualquier tipo y tamaño de buque mercante.

En cuanto a la técnica de búsqueda, se han descartado los métodos de búsqueda enumerativa, ya que no son adecuados para aplicaciones con un gran espacio de búsqueda. El algoritmo genético es un método de búsqueda aleatorio. Además, este método puede aplicarse tanto a problemas de optimización con restricciones como sin restricciones, así como en restricciones de “igualdades” y “desigualdades”.

12.4.1. Introducción

El Algoritmo Genético es uno de los métodos de optimización global, tal y como ya se ha indicado. Este método proporciona soluciones a problemas de optimización global en un proceso evolutivo similar al propuesto por la teoría de Darwin. Al principio, se evalúa la aptitud de cada individuo de la población y, a continuación, se seleccionan dos individuos de buena calidad como padres para producir los nuevos individuos. Una nueva generación se refuerza mediante cruce y mutación al mismo tiempo para reemplazar los

individuos de menor calidad. En resumen, el óptimo se encuentra repitiendo la evaluación, la reproducción (selección, cruce y mutación) y la sustitución.

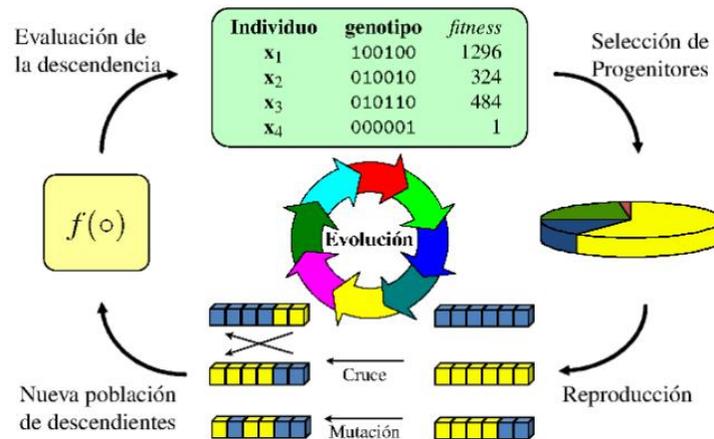


Figura 12-4. Ciclo del Algoritmo Genético. Fuente: <<http://www.cs.us.es/~fsancho/?e=65>>

1. Selección

En esta operación, se seleccionan dos progenitores al azar con posibilidades de selección sesgadas en relación con las evaluaciones cromosómicas. Los padres seleccionados son sometidos para generar nuevas generaciones mediante operadores de cruce y mutación. Para esta operación, existen varios operadores de selección; selección de la aptitud proporcional (o selección de ruleta), muestreo estocástico universal, selección basada en la recompensa, etc.

2. Cruce

Esta operación es una característica crítica de los Algoritmos Genéticos. Acelera enormemente la búsqueda en las primeras etapas de la evolución de una población y conduce a una combinación eficaz de esquemas (sub-soluciones en diferentes cromosomas). Para esta operación, existen varios operadores de cruce; cruce de orden 1, cruce de orden múltiple, etc.

3. Mutación

Esta operación provoca un movimiento local o global en el espacio de búsqueda. Restablece la información perdida a la población. Para esta operación, hay varios operadores de mutación; mutación de inversión, mutación de inserción, intercambio simple, intercambio aleatorio, mutación de inversión desplazada, etc.

12.4.2. Aplicación en Matlab

12.4.2.1. Fundamento

1. Esquema del algoritmo

El siguiente esquema resume cómo funciona el algoritmo genético:

1. El algoritmo comienza creando una población inicial aleatoria.
2. El algoritmo crea entonces una secuencia de nuevas poblaciones. En cada paso, el algoritmo utiliza los individuos de la generación actual para crear la siguiente población. Para crear la nueva población, el algoritmo realiza los siguientes pasos:
 - a. Puntúa a cada miembro de la población actual calculando su valor de “aptitud física”.
 - b. Escala estos valores para poder convertirlos a un rango de valores utilizables. Esta escala recibe el nombre de “valores de expectativa”.
 - c. Selecciona a los miembros, llamados padres, en función de las expectativas de estos.
 - d. Algunos de los individuos en la población actual son elegidos como “élite”, y pasan a la siguiente generación.
 - e. Produce hijos de los padres. Los niños se producen haciendo cambios aleatorios en un solo padre (mutación) o combinando las entradas vectoriales de un par de padres (cruce).
 - f. Reemplaza a la población actual con los nuevos niños para formar la siguiente generación.
2. El algoritmo se detiene cuando se cumple uno de los criterios de detención.
3. El algoritmo toma pasos modificados por las restricciones lineales y las restricciones no lineales.

2. Población inicial

El algoritmo comienza creando una población inicial aleatoria, como se muestra en la siguiente figura.

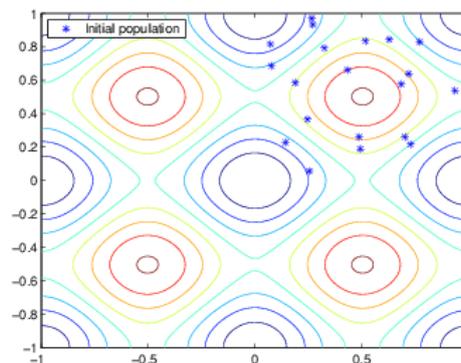


Figura 12-5. Ejemplo de población inicial aleatoria en Algoritmo Genético. Fuente: [13].

Si se conoce aproximadamente la zona dónde se encuentra el punto mínimo para una función, se debe establecer de modo que el punto se encuentre cerca de la mitad de ese rango. En cualquier caso, en ocasiones el algoritmo también es capaz de encontrar el punto mínimo a partir de un rango que no se ajuste tanto a la solución.

3. Creación de la próxima generación

En cada paso, el algoritmo genético utiliza la población actual para crear los niños que componen la siguiente generación. El algoritmo selecciona un grupo de individuos en la población actual, llamados padres, que contribuyen con sus genes, las entradas de sus

vectores, a sus hijos. El algoritmo generalmente selecciona a las personas que tienen mejores valores de aptitud como padres.

El algoritmo genético crea tres tipos de niños para la próxima generación, como se ha indicado anteriormente; Élite, cruzados y mutación.

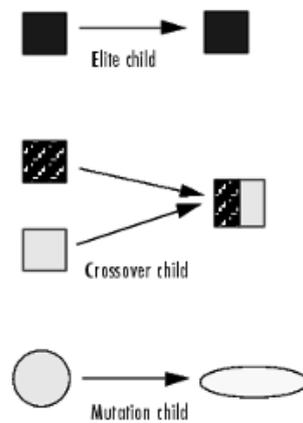


Figura 12-6. Tipos de nuevas generaciones en Algoritmo Genético. Fuente: [13].

4. Tramas de generaciones posteriores

La siguiente figura muestra las poblaciones en las iteraciones 60, 80, 95 y 100.

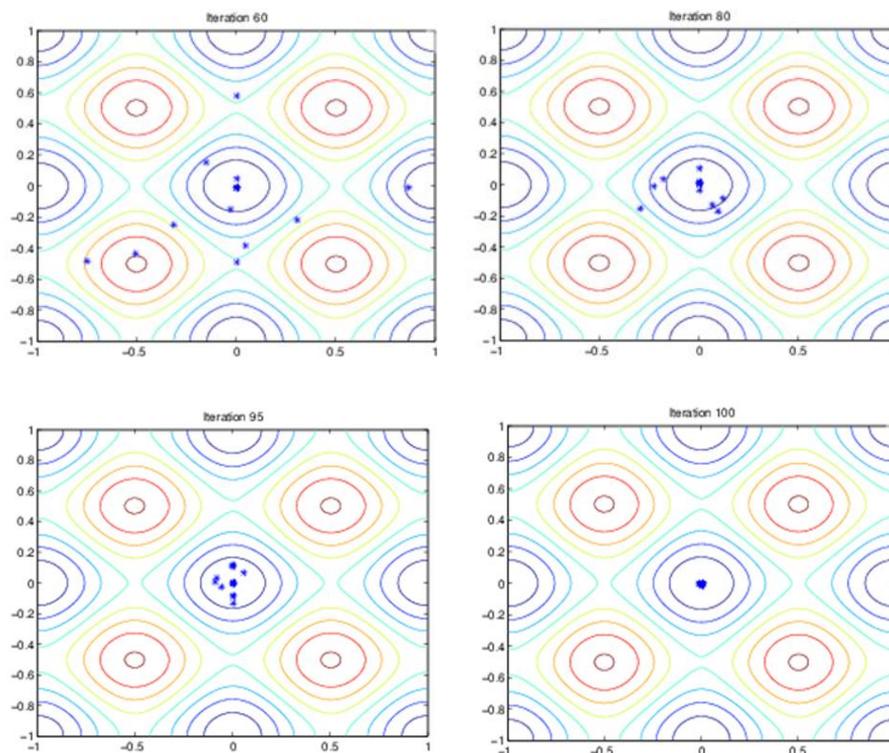


Figura 12-7. Ejemplo de poblaciones en diferentes generaciones del Algoritmo Genético. Fuente: [13].

A medida que aumenta el número de generaciones, los individuos de la población se acercan al punto mínimo.

5. Condiciones de detención para el algoritmo

El algoritmo genético utiliza las siguientes opciones para determinar cuándo detenerse.

- *MaxGenerations*. El algoritmo se detiene cuando alcanza el número de generaciones establecidas.
- *MaxTime*. El algoritmo se detiene después de ejecutarse durante una cantidad de tiempo en segundos determinada.
- *FitnessLimit*. El algoritmo se detiene cuando el valor de la función de aptitud para el mejor punto de la población actual es menor o igual que un valor establecido.
- *MaxStallGenerations*. El algoritmo se detiene cuando el cambio relativo medio en el valor de la función de aptitud es inferior a un valor preestablecido.
- *MaxStallTime*. El algoritmo se detiene si no hay mejora en la función de aptitud durante un intervalo de tiempo en segundos determinada.
- *FunctionTolerance*. El algoritmo se ejecuta hasta que el cambio relativo promedio en el valor de la función de aptitud es menor que un valor ajustado.

El algoritmo se detiene tan pronto como se cumple cualquiera de estas condiciones.

6. Selección

La función de selección elige a los padres para la próxima generación en función de sus valores escalados. Hay dos formas de selección; selección predeterminada, que establece una línea en la que cada padre corresponde a una sección de la línea de longitud proporcional a su valor escalado. En cada paso, el algoritmo asigna un padre de la sección en la que aterriza. La otra opción, más determinista, que realiza dos pasos; en el primer paso, la función selecciona los padres de acuerdo con la parte entera del valor escalado para cada individuo, mientras que, en el segundo paso, la función selecciona padres adicionales utilizando las partes fraccionarias de los valores escalados.

7. Mutación y cruce

Como ya se ha indicado, el algoritmo genético utiliza a los individuos de la generación actual para crear los que compondrán la siguiente. Además de los niños “élite”, el algoritmo crea niños por cruce seleccionando entradas vectoriales, o genes, de un par de individuos en la generación actual y los combina. El algoritmo también crea niños por mutación, mediante la aplicación de cambios aleatorios a un solo individuo en la generación actual. La función de cruce permite al algoritmo extraer los mejores genes de diferentes individuos y recombinarlos para crear generaciones potencialmente superiores.

8. Restricciones

Cuando un problema tiene restricciones, el algoritmo modifica la evolución de la población. Cuando el problema tiene restricciones enteras y lineales, el software modifica

todos los individuos generados para que sean factibles con respecto a esas restricciones. Puede usar cualquier función de creación, mutación o cruce, y toda la población sigue siendo factible con respecto a las restricciones enteras y lineales.

12.4.2.2. Código

Para llamar al Algoritmo Genético en Matlab, se utiliza la siguiente función

$$[x,fval,exitflag] = ga (fun, nvars, A, b, Aeq, beq, lb, ub, nonlcon, options) \quad (12.5)$$

En donde cada elemento tiene la función mostrada en la Tabla 12-1.

fun	Función objetivo
nvars	Número de variables que tiene la función objetivo
A	Matriz de coeficientes de las restricciones lineales de desigualdad
b	Vector de constantes a la derecha de las restricciones lineales de desigualdad
Aeq	Matriz de coeficientes de las restricciones lineales de igualdad
beq	Vector de constantes a la derecha de las restricciones lineales de igualdad
lb	Vector de límite inferior de las variables
ub	Vector de límite superior de las variables
nonlcon	Función de restricciones no lineales de igualdad y de desigualdad
options	Opciones de optimización
exitflag	Motivo de parada del algoritmo

Tabla 12-1. Parámetros utilizados en Matlab para definir el Algoritmo Genético. Fuente: [13].

12.5. Programación cuadrática secuencial (SQP)

12.5.1. Introducción

El SQP es un método de optimización local. Este método encuentra el óptimo resolviendo el problema de programación cuadrática secuencialmente. En primer lugar, la función objetivo del problema, en este caso la función de costes, puede aumentarse utilizando multiplicadores de Lagrange, de modo que el problema de optimización restringido puede transformarse en un problema de optimización sin restricciones como sigue.

Minimizar:

$$\phi(x^{(k+1)}) = f(x^{(k+1)}) + \sum_{l=1}^m u_l [\max\{0, g_l(x^{(k+1)})\}] + \sum_{i=1}^p v_i |h_i(x^{(k+1)})| \quad (12.6)$$

Donde,

- u_i es el multiplicador de Lagrange para las restricciones de desigualdad.
- v_i es el multiplicador de Lagrange para las restricciones de igualdad.

Aquí, la función de Lagrange $L(x, u, v)$ se puede establecer como sigue:

$$L(x,u,v) = f(x) + \sum_{i=1}^l u_i \cdot g_i(x) + \sum_{i=1}^p v_i \cdot h_i(x). \quad (12.7)$$

En cuanto a las variables de la función objetivo (eslora, manga, puntal...), un nuevo punto de diseño puede definirse como sigue:

$$x^{(k+1)} = x^{(k)} + \alpha d^{(k+1)}, \quad (12.8)$$

siendo α el tamaño del paso.

Las partes importantes de la tarea de optimización de SQP consisten en los siguientes pasos; la determinación de la dirección de búsqueda, la determinación del tamaño del paso, y las pruebas de los criterios de convergencia.

1. Determinación de la dirección de búsqueda

El proceso de optimización tiene comienzo determinando la dirección de búsqueda deseada. Esto se hace creando una aproximación cuadrática de la función objetivo y una aproximación lineal de las restricciones impuestas en el problema, de manera que el subproblema para encontrar la dirección de búsqueda $d^{(k+1)}$ sea el siguiente:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Minimizar:} \\ \nabla f(x^{(k)})^T d^{(k+1)} + \frac{1}{2} d^{(k+1)T} H d^{(k+1)}. \quad (12.9) \\ \\ \text{Sujeto a:} \\ \nabla g_i(x^{(k)}) \cdot d^{(k+1)} + g_i(x^{(k)}) \leq 0, \quad i = 1, \dots, l, \quad (12.10) \\ \nabla h_i(x^{(k)}) \cdot d^{(k+1)} + h_i(x^{(k)}) = 0, \quad i = 1, \dots, p. \quad (12.11) \end{array} \right.$$

En donde la matriz H es una matriz definida positiva que es inicialmente la matriz identidad y se actualiza a través de iteraciones posteriores para acercarse a la matriz Hessiana de la función de Lagrange de la Ecuación (12.6). En cuanto al problema de las Ecuaciones (12.9) a la Ecuación (12.11), puede escribirse en forma matricial, y puede convertirse en un problema de programación lineal que puede resolverse, por ejemplo, mediante el método Simplex.

2. Determinación del tamaño del paso

Una vez determinada la dirección de búsqueda $d^{(k+1)}$, se actualiza un punto de diseño vigente utilizando la Ecuación (12.8) como un problema de búsqueda unidimensional. Normalmente, el método de la sección áurea o el método de interpolación polinómica es adecuado para obtener el tamaño de paso óptimo α .

En este punto, se ha determinado la dirección de búsqueda y se ha realizado la búsqueda unidimensional para actualizar el punto de diseño actual.

3. Prueba de los criterios de convergencia

Para comprobar la convergencia al óptimo, se pueden utilizar los siguientes criterios: el límite del número máximo de iteraciones, la variación del valor de la función objetivo y la satisfacción de las condiciones necesarias de Kuhn-Tucker (condiciones KKT; condiciones necesarias de primer orden, condiciones de regularidad, y condiciones suficientes).

Si se cumplen los criterios de convergencia, el punto de diseño actual se convierte en el óptimo del problema. Si no se consigue la convergencia al óptimo, será necesario actualizar la matriz H de la Ecuación (12.9) en este punto, con el fin de proporcionar una aproximación cuadrática mejorada para la función.

La nueva matriz H sustituye ahora a H en la Ecuación (12.9) y el proceso de optimización se repite hasta que se cumplan los criterios de convergencia.

12.5.2. Programación en Matlab

$$[x, fval, exitflag] = fmincon (fun, x0, A, b, Aeq, beq, lb, ub, nonlcon, options) \quad (12.12)$$

En donde cada elemento tiene la función mostrada en la Tabla 12-2.

fun	Función objetivo
x0	Punto inicial
A	Matriz de coeficientes de las restricciones lineales de desigualdad
b	Vector de constantes a la derecha de las restricciones lineales de desigualdad
Aeq	Matriz de coeficientes de las restricciones lineales de igualdad
beq	Vector de constantes a la derecha de las restricciones lineales de igualdad
lb	Vector de límite inferior de las variables
ub	Vector de límite superior de las variables
nonlcon	Función de restricciones no lineales de igualdad y de desigualdad
options	Opciones de optimización
exitflag	Motivo de parada del algoritmo

Tabla 12-2. Parámetros utilizados en Matlab para definir el Método Cuadrático Secuencial (SQP). Fuente: [16].

13. Software de dimensionamiento

13.1. Desarrollo en *Appdesigner*

13.1.1. Introducción

El desarrollo de la herramienta de software para el dimensionamiento de un buque, se ha realizado mediante la aplicación “*App Designer*” de Matlab que permite diseñar una interfaz gráfica de usuario.

Este software se compone de dos problemas de optimización; en primer lugar, se estiman las dimensiones principales del buque diseño a partir del buque base, minimizando el coste de construcción, y, en segundo lugar, se obtienen las dimensiones principales de la hélice para el buque una vez ha sido ya diseñado, maximizando el rendimiento de la misma.

13.1.2. Optimización de dimensiones principales del buque

$$\left\{ \begin{array}{l}
 \textit{Función objetivo (minimizar)} \\
 C_{PS} \cdot C_S \cdot L^{1.6} \cdot (B+D) + C_{PO} \cdot C_O \cdot L \cdot B + C_{PM} \cdot C_{ma} \cdot NMCR. \quad (13.1) \\
 \\
 \textit{Restricciones de igualdad} \\
 \rho \cdot L_{BP} \cdot B \cdot T \cdot C_B \cdot (1+\alpha) = C_S \cdot L^{1.6} \cdot (B+D) + C_o \cdot L \cdot B + C_m \cdot NMCR + DWT, \quad (13.2) \\
 \\
 V_{CH} = C_{CH} \cdot L \cdot B \cdot D. \quad (13.3) \\
 \\
 \textit{Restricciones de desigualdad} \\
 D_f - T_s \geq F_{bICLL}(L, B, D, C_B), \quad (13.4) \\
 C_B \leq 0.7 + 0.125 \cdot \tan^{-1} \cdot ((23-100F_n)/4), \quad (13.5) \\
 \frac{C_B}{L/B} \leq 0.15, \quad (13.6) \\
 T \cdot (0.9 - 0.3 \cdot C_M - 0.1 \cdot C_B) + B \left(\frac{0.08}{\sqrt{C_M}} \cdot \frac{B}{T} \right) - D \cdot \left(\frac{1.6}{L^{0.2}} \right) \geq 0.04B, \quad (13.7) \\
 L/D \leq X_{\text{tipo buque}}, \quad (13.8) \\
 L/B \leq X_{\text{tipo buque}}, \quad (13.9) \\
 L/B \geq X_{\text{tipo buque}}. \quad (13.10) \\
 \\
 \textit{Variables} \\
 L_{PP}, B, D, C_B. \quad (13.11)
 \end{array} \right.$$

El problema de optimización se ha diseñado siguiendo las directrices indicadas en la Sección 7.5. Dadas las restricciones de peso (Ecuación (13.2)), de volumen (Ecuación

(13.3)) y de francobordo (Ecuación (13.4)), para las variables de la Ecuación (13.11), se busca optimizar los costes de construcción (Ecuación (13.1)) del buque a dimensionar.

El problema de optimización hasta este punto, si bien se puede programar, no tiene en consideración las relaciones adimensionales en buques, por lo que los resultados, aun cumpliendo con las tres restricciones impuestas, no se ajustan a las dimensiones reales de buques. Esto se debe a que, en la función a minimizar, la eslora tiene una mayor influencia en el coste, por lo que aparece la tendencia a disminuir esta dimensión, y aumentar las demás variables, con unos resultados con valores de L/B , L/D o C_B fuera de rango.

Es por ello, que en este problema se deben utilizar más restricciones (ver Ref [4]). En este caso, se han utilizado para este fin las Ecuaciones (13.5), (13.6), (13.7), (13.8), (13.9), (13.10), con el fin de garantizar unos resultados fieles a las dimensiones reales de los buques. En Anexo C se muestra de manera más detallada las pruebas realizadas en la programación del software para llegar a la configuración final del método GA.

A continuación, se exponen los procedimientos tomados en el software para resolver cada una de las ecuaciones.

➤ Ecuación de coste (13.1).

En la fase inicial de diseño hay pocos datos disponibles para el cálculo de NMCR, por lo que se ha valorado mediante la estimación del DHP, tal y como podemos ver en el Capítulo 4. Sin embargo, una vez determinadas las dimensiones principales del barco, DHP se estimará con mayor precisión a partir de la predicción de la resistencia y la potencia, para poder usarlo como punto de partida en el dimensionamiento de la hélice.

➤ Ecuación de peso (13.2).

Se necesita una estimación del peso en rosca. En el Capítulo 4 se muestran cuatro métodos diferentes para el cálculo de este. Finalmente se ha seleccionado el método 4 por tratarse del procedimiento más minucioso.

➤ Ecuación de volumen (13.3).

Programada por el método 1 (ver Capítulo 5).

➤ Ecuación de francobordo (13.4).

Al igual que ocurre con las variables NMCR y el peso en rosca, el francobordo no puede ser calculado en la etapa inicial del diseño, ya que se necesita haber determinado previamente las dimensiones principales del buque. Por tanto, se ha realizado una estimación, similar a la tomada en Ref. [4], a partir del buque base:

$$C_{FB} = \left(\frac{\text{Francobordo}}{D} \right)_{\text{buque base}} \cdot \quad (13.13)$$

Si se multiplica este coeficiente por la variable puntal (D) del buque diseño, se genera el valor estimativo para el francobordo diseño. Por tanto, podemos reescribir la Ecuación (13.4) de francobordo como:

$$D_f \geq T_s + C_{FB} \cdot D. \quad (13.14)$$

Si bien, en la normativa sobre francobordo (Capítulo 6), este puntal no es el puntal de diseño del buque, que es la variable que buscamos encontrar, sino, el puntal de francobordo. No podemos conocer en este punto el valor del puntal de francobordo del buque diseño, por lo que se estima a partir del buque base con la siguiente relación:

$$D_f = D \cdot \left(\frac{D_f}{D}\right)_{\text{buque base}}. \quad (13.15)$$

El calado en Ecuación (13.14), tampoco es el calado de diseño del buque, sino el calado de escantillón. Por ello, se utiliza la expresión:

$$T_s = T_d \cdot \left(\frac{T_s}{T_d}\right)_{\text{buque base}}. \quad (13.16)$$

Por tanto, esta ecuación finalmente se programa como:

$$D \cdot \left(\frac{D_f}{D}\right)_{\text{buque base}} \geq T_d \cdot \left(\frac{T_s}{T_d}\right)_{\text{buque base}} + D \cdot C_{FB} = \left(\frac{\text{Francobordo}}{D}\right)_{\text{buque base}}. \quad (13.17)$$

➤ Ecuaciones de coeficiente de bloque (13.5), (13.6).

Ecuación de coeficiente de bloque de los autores Watson y Gilfillan, es muy usada en la actualidad para una correcta estimación (Ref. [2]).

➤ Ecuación de estabilidad inicial (13.7).

La estabilidad inicial de un buque debe ser mayor o igual a $0.04 \cdot B$. GM puede estimarse conforme la siguiente Ecuación (13.18) (Ref. [2]):

$$GM = T \cdot (0.9 - 0.3 \cdot C_M - 0.1 \cdot C_B) + B \left(\frac{0.08}{\sqrt{C_M}} \cdot \frac{B}{T} \right) - D \cdot \left(\frac{1.6}{L^{0.2}} \right). \quad (13.13)$$

En donde el coeficiente de la maestra es estimado a partir de la siguiente ecuación empírica (Ref. [8]).

$$C_M = 1.006 - 0.0056 \cdot CB^{3.56}. \quad (13.14)$$

➤ Ecuación L/D (13.8).

El valor mínimo para la variable puntal (D) está muy bien predefinido a partir de las necesidades de francobordo, pero, para evitar un aumento excesivo de esta, se ha añadido el valor mínimo para la relación L/D. El rango de esta relación adimensional será función del tipo de buque, por lo que en cada buque se exigirá una restricción diferente (ver Figura

13-1). Para implantarlo en el software, se han tomado los rangos expuestos en Ref. [2] y Ref. [8].

Ship type	Ratio of main dimensions		
	L_{PP}/D	$F_{FF}\%L_{PP}$	$L_P\%L_{PP}$
Fast seagoing cargo ships	9.9–13.5	5.1–6.3	20–25
Slow seagoing cargo ships		5.8–7.0	30–35
Coastal cargo ships	10.0–12.0	up to 7.0	40–50
Small short sea passenger ships	10.4–11.6	6.6–7.9	20–25
Ferries	8.6–10.3	7.0–10.0	25–35
Fishing vessels	8.2–9.0	8.0–8.5	15–25
Tugboats	7.7–10.0	8.2–10.2	20–30
Bulk carriers	10.5–12.8	4.4–4.9	50–60
Tankers $F_n=0.15$	12.0–14.0	3.6–4.5	50–60
Tankers $F_n=0.16-0.18$	10.5–12.8	4.4–4.9	50–60
Fast seagoing reefers	–11.0	5.6–6.6	10–15

Figura 13-1. Valores para la relación L/D en diferentes tipos de buque. Fuente: [2].

➤ Ecuaciones L/B (13.9), (13.10).

Mediante la ecuación de estabilidad, se consiguió sustentar unos valores aproximados para las relaciones B/T y B/D. Sin embargo, la eslora no está tan restringida como el resto de variables, es por ello que se ha añadido la relación L/B, en función del tipo de buque (ver Figura 13-2). De forma análoga al punto anterior, se han tomado los niveles propuestos en Referencia [2] y Referencia [8].

Ship type	Hull form coefficients				Ratios of main dimensions		
	C_P	C_M	C_B	C_{WP}	L/B	B/T	$L_{PP}/V^{1/3}$
Fast seagoing cargo ships	0.57–0.65	0.97–0.98	0.56–0.64	0.68–0.74	5.7–7.8	2.2–2.6	5.6–5.9
Slow seagoing cargo ships	0.66–0.74	0.97–0.995	0.65–0.73	0.80–0.86	4.8–8.5	2.1–2.3	5.2–5.4
Coastal cargo ships	0.69–0.73	–0.985	0.58–0.72	0.78–0.83	4.5–5.5	2.5–2.7	4.2–4.8
Small short sea passenger ships	0.61–0.63	0.82–0.85	0.51–0.53	0.65–0.70	5.8–6.5	3.3–3.9	6.3–6.6
Ferries	0.53–0.62	0.91–0.98	0.50–0.60	0.69–0.81	5.9–6.2 ^a 5.2–5.4 ^b	3.7–4.0	6.2–6.9 ^a 5.7–5.9 ^b
Fishing vessels	0.61–0.63	0.87–0.90	0.53–0.56	0.76–0.79	5.1–6.1	2.3–2.6	5.0–5.4
Tugboats	0.61–0.68	0.75–0.85	0.50–0.58	0.79–0.84	3.8–4.5	2.4–2.6	4.0–4.6
Bulk carriers	0.79–0.84	0.990–0.997	0.72–0.86	0.88–0.92	5.0–7.1 ^a	2.1–3.2	4.7–5.6
Tankers $F_n=0.15$	0.835–0.855	0.992–0.996	0.82–0.88	0.88–0.94	5.1–6.8	2.4–3.2	4.5–5.6
Tankers $F_n=0.16-0.18$	0.79–0.83	0.992–0.996	0.78–0.86	0.88–0.92	5.0–6.5	2.2–2.9	4.5–5.2
Fast seagoing reefers	(0.55) ^c 0.59–0.62	0.96–0.985	(0.53) ^c 0.57–0.59	0.68–0.72	6.7–7.2	2.8–3.0	6.1–6.5

Figura 13-2. Valores para la relación L/B en diferentes tipos de buque. Fuente: [2].

Todos los tipos de buques se han programado con el mismo esquema de optimización presentado. Sin embargo, además de los diferentes límites propuestos para las relaciones adimensionales en cada tipo de buque, para satisfacer las condiciones de capacidad de carga en determinados proyectos más específicos, como puede ser el caso de buques portacontenedores o de carga rodada, se necesitan añadir ciertas consideraciones en el cálculo de las variables.

13.1.2.1. *Bulkcarrier.*

Buque destinado principalmente a transportar carga seca a granel, incluidos los buques para minerales o los buques de carga combinada. En estos buques el parámetro utilizado para definir su capacidad de carga usualmente son las toneladas de peso muerto (TPM).

Se utilizan las ecuaciones de peso y de volumen de bodega programadas.

13.1.2.2. *Petrolero.*

Se denomina “*Oil tankers*” a aquellos buques que son diseñados para el transporte de crudo o productos derivados del petróleo, se dedican a transportar el crudo desde plantas petrolíferas en alta mar o campos petrolíferos a las refinerías. Este tipo de buques están dentro del grupo de los buques de mayores dimensiones del mundo.

Para estos buques, al igual que en el caso de los *Bulkcarrier*, el parámetro utilizado para definir su capacidad de carga usualmente son las toneladas de peso muerto (TPM).

Se utilizan las ecuaciones de peso y de volumen de bodega programadas.

13.1.2.3. *Gaseros (LNG, LPG).*

Dentro de los principales grupos de cargas de gas transportados están los buques LNG, para gas natural licuado, y los buques LPG, para gas licuado de petróleo. El Gas Natural Licuado siempre se transporta a presión atmosférica, en su forma licuada. Todos los gases licuados deben ser transportados de acuerdo con las normas del Código de Gas de la OMI (Organización Marítima Internacional).

En este caso, el parámetro utilizado para definir su capacidad de carga es el Volumen total de los tanques de carga (m^3).

Se utilizan las ecuaciones de peso y de volumen de bodega programadas.

13.1.2.4. *Quimiqueros.*

Se dedican al transporte de productos químicos (fenol, amoníaco, gasolina y demás derivados). Estos buques se diseñan con tamaños menores a los petroleros.

Para esta situación, el parámetro utilizado en la definición de la capacidad de transporte es el Volumen total de los tanques de carga (m^3).

Se utilizan las ecuaciones de peso y de volumen de bodega programadas.

13.1.2.5. *Ro-ro y Ro-pax.*

Ro-Ro es un acrónimo del término inglés *roll on-roll off*, con el cual se denomina a todo tipo de barco que transporta carga rodada, tanto automóviles como camiones. Este tipo

de buques normalmente están diseñados con rampas en el buque o, en su defecto, fijas en tierra, que permitan la descarga y carga de vehículos desde el puerto.

Es muy común que estos buques se clasifiquen en función del número de vehículos que transporta o, de forma más general, de la longitud de carril, que es el equivalente longitudinal de la superficie. Es la medida de capacidad de carga utilizada en estos buques.

Esto significa que no podemos utilizar la ecuación de volumen de bodega, pues en este caso las bodegas vendrán definidas por ml. y no por m³.

La medida en manga y puntal de los carriles varía en función del tipo de vehículo que el buque transporta.

$$\text{Longitud carril coches} = N^{\circ} \text{ coches} \times \text{Largo}, \quad (13.15)$$

$$\text{Longitud carril tráilers} = N^{\circ} \text{ tráilers} \times \text{Largo}. \quad (13.16)$$

<i>Plaza</i>	<i>Largo</i>	<i>Ancho</i>	<i>Alto</i>
Coche	4.5 m.	2 m.	2.3 m.
Tráiler	12.5 m.	3 m.	5.5 m.

Tabla 13-1. Dimensiones de plaza de garaje para coches y tráiler. Fuente: [8].

En la Tabla 13-1 se muestra el espacio necesario para la estiba de cada tipo de vehículo en un buque. A partir de estas medidas, y considerando ciertos márgenes, se han configurado las variables de manga y puntal del siguiente modo:

$$D = N^{\circ} \text{ cubiertas} \cdot D_{\text{cubierta}} + D_{\text{doblefondo}}, \quad (13.17)$$

$$B = N^{\circ} \text{ carriles} \cdot B_{\text{carril}} + B_{\text{tambuchos}} + 2 \cdot B_{\text{pasillo}}. \quad (13.18)$$

En donde,

- N° cubiertas es un número entero.
- N° carriles es un número entero.
- D_{cubierta} varía en función del tipo de vehículo entre 2.3 y 4.5 m.
- B_{carril} varía en función del tipo de vehículo entre 2 y 3m.
- B_{pasillo} se necesitan dos pasillos al lado de los carriles extremos, en estribor y en babor. Normalmente van de 0.4 a 0.6 m.
- D_{doblefondo} margen por doble fondo, generalmente en este tipo de buques varía entre 1.4 y 1.8 m.
- B_{tambuchos} margen por tambuchos y afinamiento de formas en proa, propiciando una pérdida de ml. en esta zona del buque. La manga mínima por tambucho es de 2m. (Referencia [8]).

La eslora no se ha modificado, pues vendrá determinada por los ml. en la ecuación de volumen / capacidad de carga.

$$D_{\text{coche}} = N^{\circ} \text{ cubiertas} \cdot 2.3 + 1.5, \quad (13.19)$$

$$B_{\text{coche}} = N^{\circ} \text{ carriles} \cdot 2 + 4.5 + 2 \cdot 0.5 = N^{\circ} \text{ carriles} \cdot 2 + 5.5, \quad (13.20)$$

$$D_{\text{trailer}} = N^{\circ} \text{ cubiertas} \cdot 5.5 + 1.5, \quad (13.21)$$

$$B_{\text{trailer}} = N^{\circ} \text{ carriles} \cdot 3 + 4.5 + 2 \cdot 0.5 = N^{\circ} \text{ carriles} \cdot 3 + 5.5. \quad (13.22)$$

13.1.2.6. Ro-pax.

Los Ro-pax son buques definidos por su superficie. Por un lado, la superficie destinada para el alojamiento de los pasajeros, y por otro, las áreas de estiba para el transporte de coches, tráilers y trenes. En este tipo de buques, la condición más restrictiva en el dimensionamiento, es la superficie del garaje. Por tanto, la medida de la capacidad de carga en estos buques también es la longitud del carril.

Se define la manga de modo similar a los Ro-Ro, con la diferencia, de que en la variable de puntal hay que contar con las cubiertas destinadas a pasaje, que se supondrán de igual puntal a las del buque base.

$$D_{\text{coche}} = N^{\circ} \text{ cubiertas} \cdot 2.3 + 1.5 + D_{\text{pasajebase}}, \quad (13.23)$$

$$D_{\text{trailer}} = N^{\circ} \text{ cubiertas} \cdot 5.5 + 1.5 + D_{\text{pasajebase}}. \quad (13.24)$$

13.1.2.7. Portacontenedor.

Los buques portacontenedores son aquellos que se encargan de transportar cualquier tipo de carga en contenedores con dimensiones estandarizadas.

Por tanto, en estos buques el parámetro utilizado para definir su capacidad de carga son los contenedores. En concreto, la unidad estandarizada utilizada en estos buques es el denominado “TEU”.



Figura 13-3. Contenedor de carga estandarizado (TEU).

Sus dimensiones estandarizadas facilitan la estiba y el transporte, existiendo medios especiales para su manipulación, como por ejemplo las grandes terminales marítimas que constan de grúas que permiten la carga y descarga del buque.

- TEU (*twenty-foot equivalent unit*): contenedor normalizado de 20 pies (6.1 m) de longitud, 8 pies de ancho y el valor de la altura variará dependiendo de la carga que se transporte en su interior, desde 4 pies a 9 pies.

- FEU (*forty-foot equivalent unit*): contenedor normalizado de 40 pies (12.2 m) de longitud, 8 pies de ancho y 9 pies de altura. Esto significa que no podemos utilizar la ecuación de volumen de bodega, pues en este caso las bodegas vendrán definidas por TEU y no por m³.

Es por ello, que en este caso necesitamos modificar la ecuación de volumen

$$D = N^{\circ} \text{TEU}_{\text{bodega}} \cdot D_{\text{TEU}} + D_{\text{margen}} = N^{\circ} \text{TEU}_{\text{bodega}} \cdot 2.64 + 2.3, \quad (13.25)$$

$$B = N^{\circ} \text{TEU}_{\text{bodega}} \cdot B_{\text{TEU}} + B_{\text{margen}} = N^{\circ} \text{TEU}_{\text{bodega}} \cdot 2.45 + 1. \quad (13.26)$$

En donde,

- N° TEU es un número entero.
- D_{TEU} es el puntal estandarizado del TEU.
- B_{TEU} es la manga estandarizada del TEU.
- D_{margen} es el margen en puntal por doble fondo, que en estos buques suele tener un valor de 1.5 a 1.8 m. Además, hay que considerar un margen de 0.5 m. por la separación entre contenedores y pérdidas de espacio debido a las tapas de escotilla.
- B_{margen} es el margen en manga por separación entre contenedores (0.05m.) y el forro.

De manera análoga a los buques Ro-ro y Ro-pax, la variable eslora se mantiene “libre”, ya que, además, es más difícil realizar una buena estimación de los márgenes de proa y de popa, pues será función del tipo de puerta trasera a instalar, entre otros. Por tanto, la eslora vendrá determinada por la ecuación de volumen.

Los n° de TEU en bodega se multiplican por su volumen (38.54 m³) y de este modo se define la capacidad de carga en los portacontenedores para este problema de optimización.

$$VCH = N^{\circ} \text{TEU}_{\text{bodega}} \cdot 38.54 \text{ m}^3. \quad (13.27)$$

13.1.3. Optimización de dimensiones principales de la hélice

Una vez determinadas las dimensiones principales del buque mediante la minimización de los costes constructivos, se va a dimensionar la hélice. A diferencia del caso anterior, este segundo problema de optimización busca maximizar la función objetivo.

Este problema puede programarse de numerosas formas diferentes en función de las condiciones a satisfacer por el usuario (Referencia [18], Referencia [19], Referencia [20]). Por ejemplo, en algunos casos, se considera la velocidad de servicio del buque como una variable a determinar. Con las circunstancias actuales, para continuar en línea con la finalidad de este proyecto, que es el dimensionamiento de buques desde la perspectiva del astillero para la minimización de costes, se ha mantenido fija la velocidad de servicio del buque pues, un aumento de esta variable para unas mismas dimensiones

principales provoca un aumento en los costes de construcción que hayan sido obtenidos en el primer método de optimización.

Es por ello que, se quiere determinar el máximo rendimiento posible de la hélice conocidas la eslora, manga, puntal, calado, coeficiente de bloque y velocidad de servicio dadas del buque diseño.

$$\left. \begin{array}{l}
 \text{Función objetivo (maximizar)} \\
 \eta_0 = \frac{J \cdot K_T}{2\pi \cdot K_Q} \quad (13.28) \\
 \\
 \text{Restricciones} \\
 \\
 K_T = \sum C_{s,t,u,v} (J)^s \left(\frac{P_i}{D_p}\right)^t \left(\frac{A_E}{A_O}\right)^u (z)^v; \quad 1.6 \geq K_T \geq 0, \quad (13.29) \\
 \\
 K_Q = \sum C_{s,t,u,v} (J)^s \left(\frac{P_i}{D_p}\right)^t \left(\frac{A_E}{A_O}\right)^u (z)^v; \quad 1.6 \geq 10 \cdot K_Q \geq 0, \quad (13.30) \\
 \\
 A_E/A_O \geq K + \frac{(1.3+0.3z) \cdot T}{D_p^2 \cdot (p_0 - \rho \cdot g \cdot h - p_v)}, \quad (13.31) \\
 \\
 1.5 \geq J \geq 0.05, \quad (13.32) \\
 \\
 1.4 \geq P_i/D_p \geq 0.5, \quad (13.33) \\
 \\
 \frac{P_E}{2\pi \cdot n_p} \geq \rho \cdot n_p^2 \cdot D_p^5 \cdot K_Q, \quad (13.34) \\
 \\
 \frac{R_T}{(1-t)} = \rho \cdot n_p^2 \cdot D_p^4 \cdot K_T. \quad (13.35) \\
 \\
 \text{Variables} \\
 D_p, P_i, A_E/A_O. \quad (13.36)
 \end{array} \right\}$$

Como explicábamos en el Capítulo 11, en el dimensionamiento de la hélice se necesita satisfacer tres ecuaciones: ecuación de empuje (Ecuación (13.35)), ecuación de par (Ecuación (13.34)), y requisito de no cavitación (Ecuación (13.31)). Destacar que, mientras que la ecuación de empujes es una restricción de igualdad, la ecuación de par es una restricción de desigualdad, pues, como se mostraba en la Figura 11-2, si bien la situación ideal para mejorar el rendimiento es igualar los pares, en el caso de que el buque diseño utilice, por ejemplo, reductores, la potencia deliberada por el motor siempre tendrá que ser superior a la demandada por la hélice.

Para determinar los coeficientes adimensionales K_Q y K_T se han considerado las regresiones polinómicas de las hélices serie-B de Wageningen mediante las Ecuaciones (13.29) y (13.30), que han sido programadas a partir de los índices para cada coeficiente (ver Anexo B. Índices en polinomio de series-B Wageningen).

Por otro lado, se han añadido los límites que toman las hélices de la serie-B para los coeficientes J y P_i/D_p (ver Referencia [19]).

13.1.4. Configuración de los algoritmos

Una vez diseñadas las restricciones de diseño en cada uno de los problemas de optimización, se ha configurado el algoritmo genético. Durante el desarrollo del software, se encontraron una serie de irregularidades que han sido solventadas modificando y testeando las diferentes opciones recomendadas en la librería del Algoritmo Genético en Matlab (Referencia [14]).

Las pruebas realizadas están basadas en las recomendaciones para las situaciones en las que el Algoritmo Genético converge a un punto inviable:

1. Iniciar el solucionador desde el último punto calculado por el algoritmo.
2. Relajar las tolerancias de la función y las restricciones.
3. Iniciar el solucionador desde diferentes puntos.
4. Comprobar las definiciones de las funciones objetivo y de restricción; las restricciones lineales y las no lineales.
5. Ajustar los límites.
6. Cuando el solucionar pierde la viabilidad al comenzar por un punto factible, pero finalmente converge a un punto no factible, probar con un algoritmo diferente. Los algoritmos *fmincon* 'sqp' y 'interior-point' son los más robustos.

(Todas las precauciones tomadas para el correcto funcionamiento del software se encuentran de manera más detallada en Anexo C.)

Es debido a estas recomendaciones que se ha combinado el método global GA con el método local SQP, pues en las situaciones en las que es difícil encontrar un punto de convergencia, este método es capaz de calcular mediante los gradientes un punto factible de manera más rápida cerca del punto inicial de la generación. Combinando ambas opciones, se han programado tres métodos de cálculo para el dimensionamiento de buques en función de las situaciones que podemos encontrar.

Método 1. Método global, Algoritmo genético (GA).

Como sabemos, este algoritmo es aleatorio y en ocasiones el punto de inicio puede derivar el cálculo a un punto no factible. En consecuencia, se ha creado un bucle de repetición duplicada con el fin de evitar este tipo de error. El número de repeticiones no se ha aumentado más porque el tiempo de computo por algoritmo puede ser de más de 3 minutos, por lo que el usuario del software tendría que realizar esperas superiores a los 10 minutos, y, aun así, no encontrar la solución al problema con un grado de tolerancia suficiente.

Método 2. Método local, Programación cuadrática secuencial (SQP).

En caso de que el Método 1 no haya sido capaz de converger hacia la solución óptima, se genera el método 2 de cálculo. A diferencia del primer método, la programación

cuadrática secuencial es capaz de encontrar la solución en un tiempo menor al minuto. El problema de este método, como sabemos, es que se trata de un método local, por lo que la solución podría no ser el punto óptimo global. Con el fin de evitar este tipo de error, debido a la similitud que mantiene el buque diseño con el buque base, el punto inicial del método se tomará a partir de las dimensiones del buque base. De este modo garantizamos que la solución de este método será muy próxima a esta franja de valores.

Método 3. Método local aumentando el número de generaciones (SQP).

En caso de que el Método 2 no haya sido capaz de converger hacia la solución óptima, se genera el método 3 de cálculo. En este punto se aumenta el número de generaciones del método SQP, ya que en ocasiones el número preestablecido por defecto en Matlab puede no resultar suficiente para el problema planteado.

<i>Propiedades del algoritmo</i>	
Método 1	
Punto de inicio	$[L_{base}, B_{base}, D_{base}, C_{Bbase}]$
Límite inferior	$[L, B, D, C_B]$
	$[0.001, 0.001, 0.001, 0.3]$
Límite superior	$[inf, inf, inf, inf]$
ConstraintTolerance	10^{-3}
FunctionTolerance	10^{-6}
Stall Generation	50

Tabla 13-2. Propiedades del Algoritmo Genético en cada uno de los métodos programados en el dimensionamiento del buque. Fuente: Anexo C.

En la Tabla 13-2 se muestra la configuración en Matlab del Algoritmo Genético. El punto de inicio para la población serán las dimensiones del buque base, por su similitud con el buque diseño. En cuanto a los límites de las variables, tal y como se explica en Anexo C., deben utilizarse de modo que se estime que la solución numérica de las variables del problema se encuentran en el punto medio entre el límite superior e inferior. Tras diversas iteraciones, se comprueba que es difícil de establecer en primera instancia un valor a estos límites previo al dimensionamiento debido a la complejidad del propio problema y a la diversidad en las dimensiones de los buques. Es debido a esta dificultad que se han tomado los límites de las variables libres, “sin restricción”, de 0.001 a infinito, excepto el coeficiente de bloque, que, al encontrarse en una de las restricciones dentro de una raíz, se necesita este valor mínimo para evitar el error por solución numérica no real.

Para el problema de optimización de la hélice, el procedimiento es más sencillo, ya que las variables de las dimensiones están restringidas en un rango muy pequeño de valores, por lo que se elimina el problema de la no convergencia por límites no ajustados a las necesidades del método como ocurre en el caso de optimización de dimensiones del buque diseño. Además, las dimensiones serán prácticamente análogas a las del buque base, por lo que se utiliza estas dimensiones para el punto de inicio del algoritmo.

<i>Rango valores variables en algoritmo para el dimensionamiento de la hélice</i>		
<i>Variable</i>	<i>Una hélice</i>	<i>Dos hélices</i>
P_i	0 - 14	1.2 - 8.4
D_p	0.5 - 10	2.4 - 6
A_E/A_o	0.4 - 1	0.4 - 1

Tabla 13-3. Rango de valores en las variables en el dimensionamiento de la hélice.

En la Tabla 13-3 se muestran los límites impuestos en cada una de las variables del diseño de la hélice. Como ya se ha explicado, este problema de optimización es más sencillo que el anterior, por lo que la probabilidad de no convergencia por el algoritmo genético es muy baja. A pesar de ello, se han vuelto a utilizar ambos métodos; GA y SQP. Hemos tomado esta decisión porque se considera que, para este estudio, puede resultar muy beneficioso el uso de un método local, pues sabemos que las dimensiones de la hélice del buque diseño tendrán un grado de semejanza mucho más elevado a las del buque base que en el problema de optimización anterior, por lo que podríamos obtener la solución óptima en tan solo unos segundos si utilizamos como punto de inicio las dimensiones de la hélice base.

Por tanto, para el dimensionamiento de la hélice se realizarán los cálculos por ambos métodos y se elegirá como solución definitiva aquel que presente el rendimiento más maximizado.

13.2. Interfaz gráfica

A continuación, se muestra la guía de la interfaz gráfica para el usuario.

13.2.1. Inicio

Iniciamos Matlab y seleccionamos el directorio en donde se encuentren los archivos del software. Tras esto, tenemos dos opciones; podemos escribir en la ventana de comandos “Inicio”, o, seleccionamos el archivo denominado “Inicio.mlapp”.

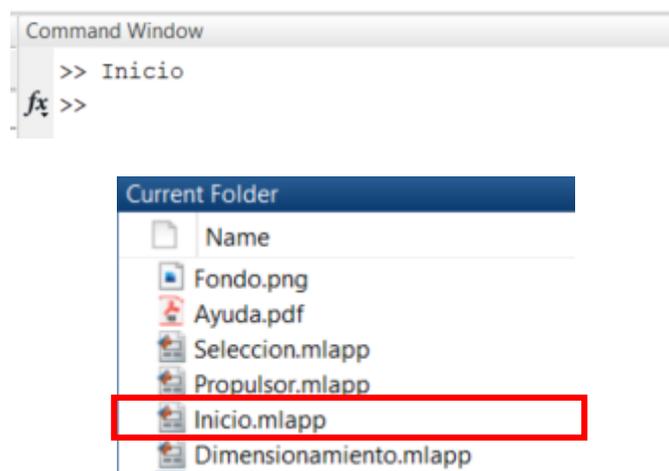


Figura 13-4. Comando de Inicio del software.

Cuando el software se ejecuta, aparece la ventana de Inicio del programa (Figura 13-5).

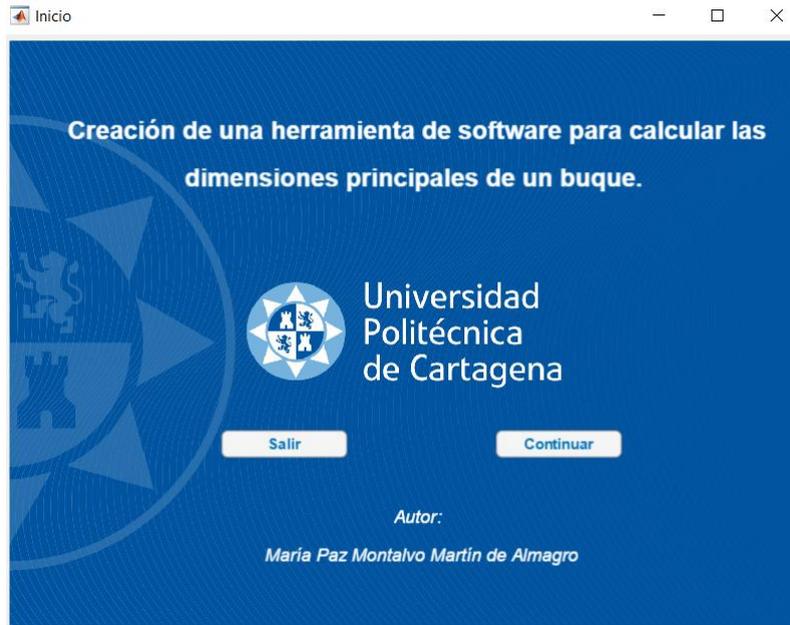


Figura 13-5. Pantalla de inicio del software.

Esta ventana es la introducción al software, y está compuesta por dos botones; “Salir”, para cerrar el software, y “Continuar”, para comenzar el proceso de dimensionamiento del buque.

13.2.2. Selección del tipo de buque

La siguiente ventana es para la selección del tipo de buque de diseño deseado. Aparece una lista con los tipos de buques que es capaz de dimensionar el software. También dispone de dos botones, “Atrás”, para regresar a la ventana de Inicio, y “Continuar”, para continuar con el dimensionamiento del buque que haya sido seleccionado con el cursor.

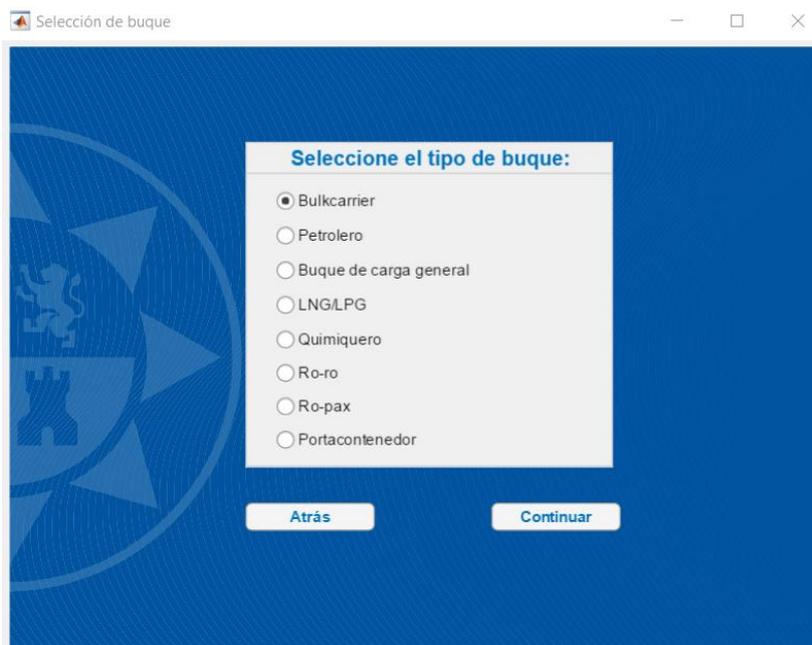


Figura 13-6. Pantalla de selección de buque en software. Fuente propia.

13.2.3. Dimensionamiento del buque

13.2.3.1. Bulkcarrier, Petrolero, Buque de carga general, LNG/LPG y Quimiquero.

Una vez seleccionado el buque, aparece la ventana del Cálculo de las dimensiones principales.

The screenshot shows a software interface for calculating ship dimensions. The window title is "Cálculo de las dimensiones principales". It is split into two main panes. The left pane, titled "Datos de entrada", contains "Parámetros obligatorios" (mandatory parameters) and "Parámetros opcionales" (optional parameters). The mandatory parameters are organized into "Buque base" (base ship) and "Buque diseño" (design ship) sub-panels. The optional parameters include a "¿Requisitos de diseño?" checkbox and several input fields. The right pane, titled "Datos de salida", displays the calculated results for various parameters. At the bottom of the left pane are buttons for "Atrás", "Borrar", "Calcular", and "Ayuda". At the bottom of the right pane are buttons for "Borrar resultados" and "Dimensionar hélice". A small image of a bulk carrier ship is shown in the top right of the right pane.

Figura 13-7. Pantalla de cálculo de las dimensiones principales de un petrolero.

Esta ventana se divide fundamentalmente en dos franjas; una para los valores de entrada, a la izquierda, y otra para los datos de salida, a la derecha. En el panel de los datos de entrada podemos encontrar cuatro botones diferentes; “Atrás”, para volver a la selección de buque en caso de que desee dimensionar otro tipo de buque, “Borrar”, para eliminar todos los datos introducidos en el panel de entrada, “Calcular”, para comenzar con el dimensionamiento, y, “Ayuda”, al seleccionar este botón se abre un documento PDF en el que se explica a modo informativo los detalles sobre los datos de entrada y sus unidades.

Dentro de los datos de entrada, encontramos a su vez dos sub-paneles; Parámetros de carácter obligatorio, y parámetros opcionales. Los parámetros obligatorios son los datos necesarios para realizar el cálculo de las dimensiones. Si alguna de las celdas de este sub-panel está vacía, cuando seleccione el botón “Calcular”, el programa le mandará un aviso.

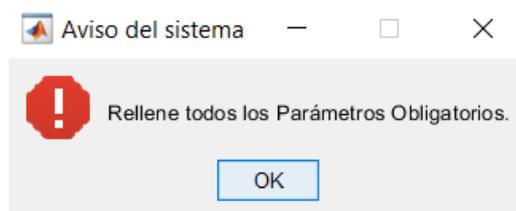


Figura 13-8. Mensaje de aviso del software al pulsar el botón 'Calcular' sin haber cumplimento todas las celdas de datos obligatorios.

Los parámetros opcionales son datos que no son necesarios para realizar el cálculo de las dimensiones. Estos datos sólo tienen que ser utilizados en caso de que se quiera imponer una o varias restricciones más específicas al buque diseño, como, por ejemplo, restringir la manga para el paso por canal determinado. Si restringe todas las variables, el software no tiene ninguna variable que calcular, por lo que también se mostrará un mensaje de aviso.

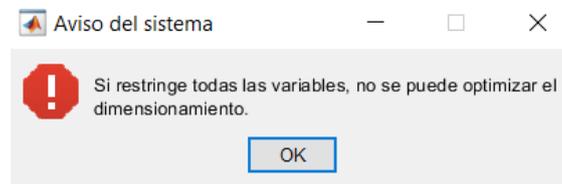


Figura 13-9. Mensaje de aviso del software al pulsar el botón 'Calcular' si ha restringido todas las dimensiones del buque diseño.

Por otro lado, algunas celdas de datos le indicarán el valor máximo permitido para ese parámetro.



Figura 13-10. Celdas con valores máximos permitidos.

Una vez rellenados todos los parámetros obligatorios, al seleccionar el botón “Calcular”, le aparecerá un mensaje informativo al comenzar el proceso de dimensionamiento. Como se muestra en la Figura 13-11, debe esperar hasta obtener los datos de salida.

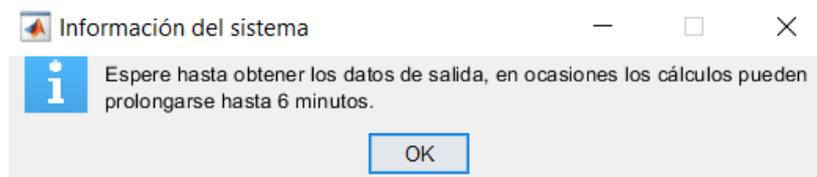


Figura 13-11. Información sobre el proceso de dimensionamiento del buque.

En caso de que para los datos y requisitos impuestos en el buque diseño no se haya encontrado una solución que cumpla las restricciones con la tolerancia mínima, verás en pantalla el siguiente aviso.

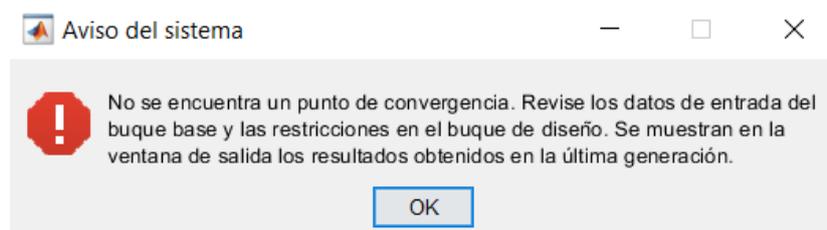


Figura 13-12. Aviso emergente cuando el programa no converge hacia la solución óptima.

Una vez dimensionado el buque, si se desea dimensionar la hélice, bastará con seleccionar el botón “Dimensionar hélice”. Sin embargo, recuerde que para calcular la hélice se necesita tener dimensionado el buque, por lo que se necesitan los datos de salida del buque

de diseño. Además, se necesitan también algunos de los datos del buque base, por lo que sí ha borrado los datos, el programa no podrá comenzar el cálculo y le enviará una ventana emergente.

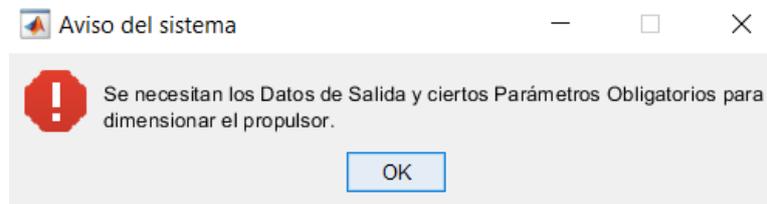


Figura 13-13. Aviso del software sobre los datos necesarios para abrir la ventana de Dimensionamiento de hélice.

13.2.3.2. Ro-ro y Ro-pax.

Como se comentaba en el Epígrafe 13.1.2, todos los buques comparten el mismo método de cálculo, excepto los buques Ro-ros, Ro-pax y Portacontenedores. Debido a esto, las pantallas de este tipo de buques muestran una pequeña diferencia.

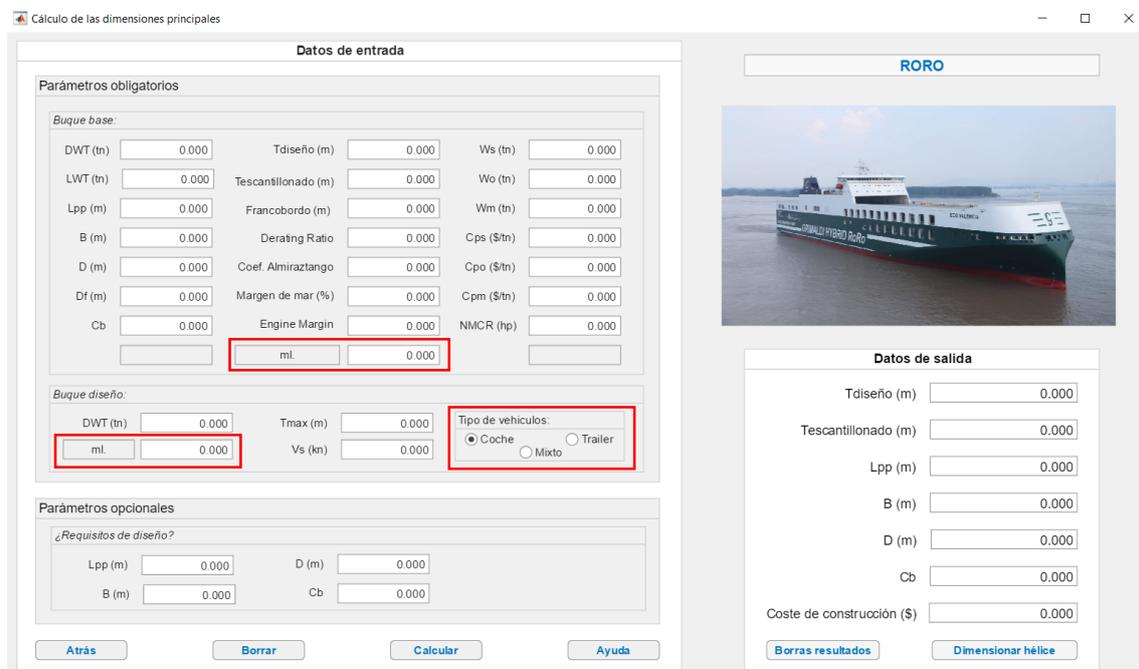


Figura 13-14. Pantalla de cálculo de las dimensiones principales de un Ro-ro.

Por ejemplo, en el caso de los buques Ro-ro y ro-pax, dentro del panel de “buque diseño” de los parámetros obligatorios, encontramos la selección para el tipo de vehículo que se desea transportar; coches, tráiler, o ambos tipos de vehículos.

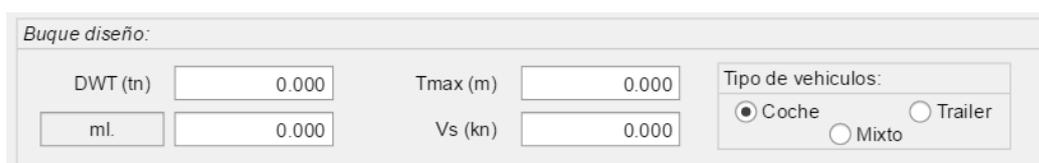


Figura 13-15. Ventana de selección tipo de vehículo en buques Ro-ro y Ro-pax.

Por otro lado, podemos observar en el panel de parámetros obligatorios, que en lugar de requerir el volumen de carga de bodegas como en el resto de buques, se piden los metros lineales de carga rodada.

Cálculo de las dimensiones principales

Datos de entrada

Parámetros obligatorios

Buque base:

DWT (tn)	0.000	Tdiseño (m)	0.000	Ws (tn)	0.000
LWT (tn)	0.000	Tescantillonado (m)	0.000	Wo (tn)	0.000
Lpp (m)	0.000	Francobordo (m)	0.000	Wm (tn)	0.000
B (m)	0.000	Derañng Ratio	0.000	Cps (\$/tn)	0.000
D (m)	0.000	Coef. Almiraztango	0.000	Cpo (\$/tn)	0.000
Df (m)	0.000	Margen de mar (%)	0.000	Cpm (\$/tn)	0.000
Cb	0.000	Engine Margin	0.000	NMCR (hp)	0.000
		ml.	0.000	Dpasaje (m)	0.000

Buque diseño:

DWT (tn)	0.000	Tmax (m)	0.000	Tipo de vehiculos:
ml.	0.000	Vs (kn)	0.000	<input checked="" type="radio"/> Coche <input type="radio"/> Trailer
				<input type="radio"/> Mixto

Parámetros opcionales

¿Requisitos de diseño?

Lpp (m)	0.000	D (m)	0.000
B (m)	0.000	Cb	0.000

Datos de salida

Tdiseño (m)	0.000
Tescantillonado (m)	0.000
Lpp (m)	0.000
B (m)	0.000
D (m)	0.000
Cb	0.000
Coste de construcción (\$)	0.000

Buttons: Atrás, Borrar, Calcular, Ayuda, Borrars resultados, Dimensionar hélice

Figura 13-16. Pantalla de cálculo de las dimensiones principales de un Ro-pax.

En el caso de los buques Ro-pax, además de las diferencias señaladas en la pantalla de los buques Ro-ro, se añade una nueva casilla a cumplimentar; el puntal de las cubiertas de pasaje.

13.2.3.3. Portacontenedor.

En la ventana para el dimensionamiento de portacontenedores, en lugar de requerir el volumen de carga de bodegas como en el resto de buques, o los metros lineales como en ro-ro y ro-pax, se solicita el número de TEU en bodega.

Cálculo de las dimensiones principales

Datos de entrada

Parámetros obligatorios

Buque base:

DWT (tn)	0.000	Tdiseño (m)	0.000	Ws (tn)	0.000
LWT (tn)	0.000	Tescantillonado (m)	0.000	Wo (tn)	0.000
Lpp (m)	0.000	Francobordo (m)	0.000	Wm (tn)	0.000
B (m)	0.000	Derating Ratio	0.000	Cps (\$/tn)	0.000
D (m)	0.000	Coef. Almiraztango	0.000	Cpo (\$/tn)	0.000
Df (m)	0.000	Margen de mar (%)	0.000	Cpm (\$/tn)	0.000
Cb	0.000	Engine Margin	0.000	NMCR (hp)	0.000
		TEUbodega	0.000		

Buque diseño:

DWT (tn)	0.000	Tmax (m)	0.000
TEUbodega	0.000	Vs (kn)	0.000

Parámetros opcionales

¿Requisitos de diseño?

Lpp (m)	0.000	D (m)	0.000
B (m)	0.000	Cb	0.000

Datos de salida

PORTACONTENEDOR



Tdiseño (m)	0.000
Tescantillonado (m)	0.000
Lpp (m)	0.000
B (m)	0.000
D (m)	0.000
Cb	0.000
Coste de construcción (\$)	0.000

Botones: Atrás, Borrar, Calcular, Ayuda, Borrars resultados, Dimensionar hélice

Figura 13-17. Pantalla de cálculo de las dimensiones principales de un portacontenedor.

13.2.4. Dimensionamiento de la hélice

Una vez finalizado el dimensionamiento, seleccionamos el botón “Dimensionar hélice” y se mostrará la siguiente ventana:

Dimensionamiento de la hélice

Datos de entrada

Buque base:

LWL (m)	0.000	HB (m)	0.000	AE/AO	0.000
ATB (m2)	0.000	AT (m2)	0.000	Dp (m)	0.000
Cm	0.000	nMCR (rpm)	0.000	Pi	0.000
Cwp	0.000	nNMCR (rpm)	0.000	η_o	0.000
Cp	0.000	Alt Eje (m)	0.000	η_r	0.000
Lcb (%)	0.000	CHM	0.000	η_t	0.000

Buque diseño:

Apéndices:	Superficie (m2)	(1*K2)
Timón (1 hélice)	0.000	0.000
Timón (2 hélices)	0.000	0.000
Timón y quillote	0.000	0.000
Solo quillote	0.000	0.000
Henchimientos protectores	0.000	0.000
Henchimientos integrados	0.000	0.000
Ejes	0.000	0.000
Aletas estabilizadoras	0.000	0.000
Domo	0.000	0.000
Quillas de balance	0.000	0.000
Arbotantes	0.000	0.000

Forma cuaderna de popa:

- Forma en U
- Forma en V
- Forma Normal
- Forma de Góndola

Requisitos motor y propulsor:

Margen mar (%)	0.000
Engine Margin	0.000
Autonomía (NM)	0.000

Número de palas de la hélice (z):

- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7

Datos de salida

Etapa 1: Selección del motor principal

Resistencia y Potencia requerida:

Rtotal (kN)	0.000
NMCR (kW)	0.000

Introduzca el motor seleccionado:

NMCR (kW)	0.000
nNMCR (rpm)	0.000
SFOC a MCR (g kWh)	0.000

Número de hélices:

- 1
- 2

Etapa 2: Dimensionamiento de la hélice

VHFO (m3)	0.000
nNCR (rpm)	0.000
V (kn)	0.000
AE/AO	0.000
Dp (m)	0.000
Pi/Dp	0.000
η_o	0.000

Botones: Borrar, Calcular, Ayuda, Continuar a Etapa 2, Borrars resultados

Figura 13-18. Pantalla de cálculo de las dimensiones de la hélice para el buque diseño.

De nuevo, esta ventana se divide en dos franjas; una para los valores de entrada, a la izquierda, y otra para los datos de salida, a la derecha. En el panel de los datos de entrada podemos encontrar tres botones diferentes; “Borrar”, para eliminar todos los datos introducidos en el panel de entrada, “Calcular”, para comenzar con el dimensionamiento, y, “Ayuda”, al seleccionar este botón se abre un documento PDF en el que se explica a modo informativo los detalles sobre los datos de entrada y sus unidades.

Dentro de los datos de entrada, encontramos a su vez dos sub-paneles; panel con los datos requeridos del buque base y panel con los datos deseados para el buque diseño.

Buque base:							
LWL (m)	0.000	HB (m)	0.000	AE/AO	0.000		
ATB (m2)	0.000	AT (m2)	0.000	Dp (m)	0.000		
Cm	0.000	nMCR (rpm)	0.000	Pi	0.000		
Cwp	0.000	nNMCR (rpm)	0.000	ηo	0.000	w	0.000
Cp	0.000	Alt Eje (m)	0.000	ηr	0.000	t	0.000
Lcb (%)	0.000	CHM	0.000	ηt	0.000		

Figura 13-19. Ventana del panel de datos obligatorios del buque base.

Buque diseño:		
Apéndices:		
	Superficie (m2)	(1+k2)
Timón (1 hélice)	0.000	0.000
Timón (2 hélices)	0.000	0.000
Timón y quillote	0.000	0.000
Solo quillote	0.000	0.000
Henchimientos protectores	0.000	0.000
Henchimientos integrados	0.000	0.000
Ejes	0.000	0.000
Aletas estabilizadoras	0.000	0.000
Domo	0.000	0.000
Quillas de balance	0.000	0.000
Arbotantes	0.000	0.000
Forma cuaderna de popa:		
<input checked="" type="radio"/> Forma en U		
<input type="radio"/> Forma en V		
<input type="radio"/> Forma Normal		
<input type="radio"/> Forma de Góndola		
Requisitos motor y propulsor:		
Margen mar (%)	0.000	
Engine Margin	0.000	
Autonomía (NM)	0.000	
Número de palas de la hélice (z):		
<input checked="" type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 5		
<input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 6		
<input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 7		

Figura 13-20. Ventana del panel de datos obligatorios del buque diseño.

Si bien, cabe destacar que en el panel del “buque diseño” nos encontramos con un sub-panel, “Apéndices”, cuyas casillas están en todo grisáceo (ver Figura 13-20). Esto tiene un motivo, y es que, a pesar de tratarse de un dato de carácter obligatorio a conocer para realizar los cálculos de forma correcta, los buques normalmente no disponen de todos estos apéndices simultáneamente, por lo que, sólo es necesario rellenar las casillas correspondientes a los apéndices que vayan a ser dispuestos en el buque de diseño.

Como ya se ha indicado, parámetros obligatorios son los datos necesarios para realizar el cálculo de las dimensiones. Estos datos son necesarios para el cálculo de la hélice, por

los que si pulsamos el botón “Calcular” con alguna celda de las requeridas sin cumplimentar, nos aparecerá en pantalla el error de la Figura 13-21.

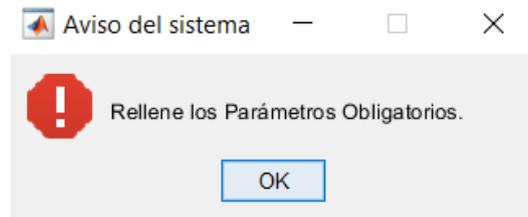


Figura 13-21. Mensaje de aviso del software al pulsar el botón 'Calcular' sin haber cumplimento las celdas de datos obligatorios.

Una vez cumplimentadas las casillas, presionamos el botón “Calcular” y nos aparecerán los resultados de predicción de resistencia y potencia en la Etapa 1 del panel de datos de salida.

Etapa 1		Etapa 2	
Selección del motor principal		Dimensionamiento de la hélice	
Resistencia y Potencia requerida:		VHFO (m3)	0.000
Rtotal (kN)	0.000	nNCR (rpm)	0.000
NMCR (kW)	0.000	V (kn)	0.000
Introduzca el motor seleccionado:		AE/AO	0.000
NMCR (kW)	0.000	Dp (m)	0.000
nNMCR (rpm)	0.000	Pi/Dp	0.000
SFOC a MCR (g-kw/h)	0.000	ηo	0.000
Número de hélices:		Borrar resultados	
<input checked="" type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2			
Continuar a Etapa 2			

Figura 13-22. Panel de datos de salida en el cálculo de las dimensiones de la hélice.

Como sabemos, tras predecir estos valores, el ingeniero debe seleccionar un motor principal de catálogo que satisfaga las necesidades de potencia del buque. Este paso en el diseño de la hélice se trata de un trámite que debe tomar el usuario a juicio propio, pues debe estudiar los diferentes motores disponibles en el mercado, sus características, peso, etc.

Una vez que el usuario ha decidido el motor a instalar en el buque, debe introducir los datos del mismo en el sub-panel marcado que se muestra en la Figura 13-23, así como seleccionar el número de hélices de las que dispondrá el buque.

Etapa 1

Selección del motor principal

Resistencia y Potencia requerida:

Rtotal (kN)

NMCR (kW)

Introduzca el motor seleccionado:

NMCR (kW)

nNMCR (rpm)

SFOC a MCR (g·kw/h)

Número de hélices:

1 2

[Continuar a Etapa 2](#)

Figura 13-23. Sub-panel destinado a las características del motor principal.

Una vez determinado el motor principal y el número de hélices, seleccionamos “Continuar a Etapa 2”, para proceder con el dimensionamiento de la hélice. Es importante recordar al usuario, que en caso de no haber seleccionado un motor adecuado para las necesidades del buque diseño, el sistema le enviará la siguiente ventana emergente y no continuará con el dimensionamiento.

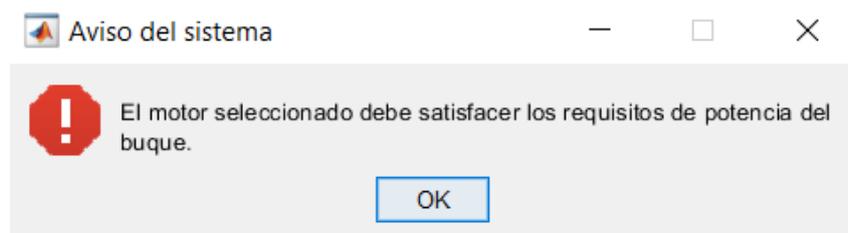


Figura 13-24. Mensaje de aviso del sistema al no seleccionar el motor adecuado para el buque.

Finalmente, una vez presionado el botón de “Continuar a Etapa 2”, le aparecerá el siguiente mensaje informativo.

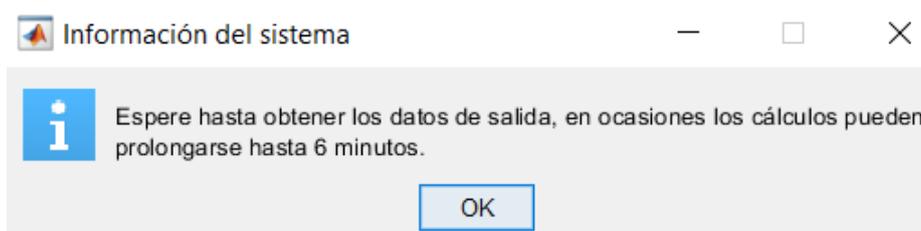


Figura 13-25. Información sobre el proceso de dimensionamiento de la hélice.

Una vez realizados los cálculos, estos aparecerán en el panel de la Etapa 2 (ver Figura 13-26).

Etapa 2

Dimensionamiento de la hélice

VHFO (m3)	<input type="text" value="0.000"/>
nNCR (rpm)	<input type="text" value="0.000"/>
V (kn)	<input type="text" value="0.000"/>
AE/AO	<input type="text" value="0.000"/>
Dp (m)	<input type="text" value="0.000"/>
Pi/Dp	<input type="text" value="0.000"/>
η_0	<input type="text" value="0.000"/>

[Borrar resultados](#)

Figura 13-26. Panel para los resultados de las dimensiones de la hélice.

14. Dimensionamiento de un VLCC.

En este capítulo se muestra a modo de ejemplo una aplicación práctica del cálculo de las dimensiones principales de un nuevo buque a diseñar mediante la aplicación de los procedimientos descritos en este proyecto.

El buque objetivo de diseño es un VLCC de 320,000 toneladas de peso muerto, mientras que el buque base de partida es un VLCC de 301,000 toneladas.

Un VLCC es un buque de peso muerto, por tanto, se utilizará el procedimiento para los buques de este tipo. Es decir, en primer lugar, se determina la eslora (L), la manga (B), el calado (T) y el coeficiente de bloque (C_B) mediante la ecuación del peso. En segundo lugar, se determina el puntal (D) teniendo en cuenta la capacidad de carga requerida según la ecuación de volumen. Por último, se comprueba si el puntal y el calado cumplen la normativa de francobordo.

En primera instancia, se presentará el método de cálculo realizado de forma manual. Recordamos que se trata de un sistema de ecuaciones no lineal, sin suficiente información para ser resuelto debido a la cantidad de variables libres que presenta. Es por ello, que en Referencia [1] y Referencia [3], se asume que el buque diseño compartirá las relaciones L/B y B/D del buque base. De este modo, se puede resolver la ecuación de peso y volumen de forma manual.

En segunda instancia, se presentará el método de cálculo mediante el uso del software. Si bien los procedimientos tomados para las estimaciones son similares tanto en el cálculo manual como en el software, en este último se dejan libres las variables de diseño sin la imposición de mantener la misma relación L/B y/o B/D que el buque base.

Finalmente, en tercer lugar, se compararán los resultados obtenidos por ambos métodos.

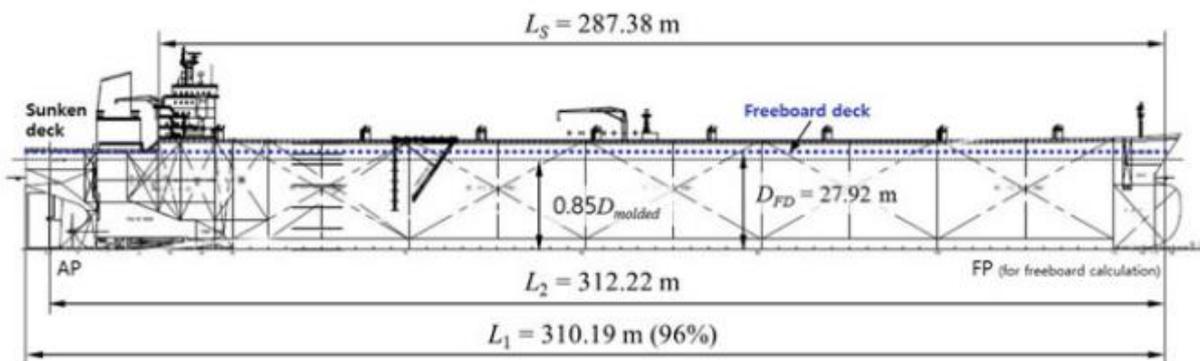


Figura 14-1. Valores de cálculo de francobordo de un VLCC de 301,000 ton. Fuente [1].

Item	Unit	Parent ship	Design ship
Principal particulars			
L_{OA}	m	330.30	–
L_{BP}	m	314.00	–
B_{molded}	m	58.00	–
D_{molded}	m	31.00	–
T_d	m	20.90	21.50
T_s	m	22.20	22.84
C_B (at T_d)	–	0.8213	–
Deadweight (at T_d)	ton	279,500	297,000
Deadweight (at T_s)	ton	301,000	320,000
Capacity of cargo hold (V_{CH})	m ³	345,500	360,000
Main engine and speed			
M/E type	–	B&W 7S80MC-C7	–
NMCR	bhp × rpm	36,429 × 76.0	–
MCR	bhp × rpm	32,000 × 74.0	–
NCR	bhp × rpm	28,800 × 71.4	–
SFOC	g/bhp-h	124.51	–
Service speed at NCR (15% sea margin)	knot	15.00	16.00
Engine margin	–	0.90	0.90
Miscellaneous			
Cruising range	N/M	26,000	26,500
Midship structure	–	Double hull	Double hull
Lightweight			
Structural weight (W_s)	ton	36,400	–
Outfit weight (W_o)	ton	2,700	–
Machinery weight (W_m)	ton	1,900	–
Lightweight	ton	41,000	–
Freeboard			
Deck type	–	Sunken deck	Sunken deck
D_{molded} at freeboard deck (D_{FD})	m	27.92	–
L_1	m	310.19	–
L_2	m	312.22	–
I_{deck}	m	0.0022	0.0022
Superstructure	–	Extends over ship's whole length	Extends over ship's whole length
Forecastle	–	None	None
Poop	–	None	None
Length of superstructures (L_s)	m	287.38	–
Height of superstructures (H_s)	m	3.36	–

Figura 14-2. Datos del buque base y requerimientos de buque de diseño. Fuente [1].

Item	Unit	Parent ship	Design ship
Sheer at AP	mm	342.80	342.80
Sheer at FP	mm	937.00	937.00
Height of forecastle (H_F)	m	0.00	0.00
Waterplane area forward of $L_{\beta}/2$ (A_{WF})	m ²	8,265	–
Resistance and power			
L_{WL}	m	320.20	–
C_M	–	0.9979	0.9979
C_{WP}	–	0.8850	0.8850
C_P	–	0.8230	0.8230
Bulb area (A_{BT})	m ²	184.80	–
Stern shape	–	U-shaped	U-shaped
Lcb	% L , % L_{WL}	3.11, 3.05 (forward)	3.11, 3.05 (forward)
Rudder area (S_{rudder})	m ²	147.32	147.32
Bilge keel area ($S_{bilgekeel}$)	m ²	180.00	180.00
Vertical centroid of bulb (h_B)	m ²	11.70	–
Transom area (A_{BT})	m ²	926.00	–
Correction factor (C_{HM})	–	0.89	0.89
Transmission efficiency (η_T)	–	0.9900	0.9900
Propeller efficiency (η_O)	–	0.6028	–
Relative rotative efficiency (η_R)		1.0300	1.0300
Wake fraction coefficient (w)	–	0.3054	0.3054
Thrust deduction coefficient (t)	–	0.2010	0.2010
Propeller dimensions			
Propeller diameter (D_P)	m	9.93	–
Pitch ratio (P_i/D_P)	–	0.7451	–
Number of blades (z)	–	4	4
Expanded area ratio (A_E/A_O)	–	0.4870	–
Shaft center height (h)	m	5.30	–

Figura 14-3. Datos del buque base y requerimientos de buque de diseño. Fuente [1].

14.1. Dimensionamiento manual

14.1.1. Ecuación de peso

Para la ecuación de pesos se tiene el dato del peso muerto de diseño, pero no se disponen de los valores del peso en rosca. Para estimarlo, se ha utilizado el método 4 descrito en el capítulo 4, quedando la ecuación de pesos como sigue:

$$\rho \cdot L_{BP} \cdot B \cdot T \cdot C_B \cdot (1 + \alpha) = C_s \cdot L^{1.6} \cdot (B + D) + C_o \cdot L \cdot B + C_m \cdot NMCR + DWT. \quad (14.1)$$

En esta ecuación existen 4 incógnitas: L, B, T y C_B . El resto de parámetros se obtienen a partir del buque base.

El resultado es una ecuación indeterminada no lineal, con 4 variables desconocidas (L, B, D, y C_B) para datos dados de DWT, α , C_s , C_o , C_{power} , V_s y ρ .

Cálculo α

Se obtiene directamente del buque base considerando que adquiere el mismo valor para el buque de diseño.

$$1 + \alpha = \frac{LWT + DWT}{Desplazamiento} \Big|_p = \frac{LWT + DWT}{\rho \cdot L_{BP} \cdot B \cdot T \cdot C_B} \Big|_p = \frac{41000 + 279500}{320427.378} \Big|_p = 1.000226; \quad (14.2)$$
$$\alpha = 0.000226.$$

Cálculo C_s , C_o y C_m

Se obtienen del buque base considerando que el buque de diseño tendrá el mismo valor.

$$C_s = \frac{W_s}{L^{1.6} \cdot (B + D)} \Big|_p = \frac{36400}{314^{1.6} \cdot (58 + 31)} = 0.0414, \quad (14.3)$$

$$C_o = \frac{W_o}{L \cdot B} \Big|_p = \frac{2700}{314 \cdot 58} = 0.1483, \quad (14.4)$$

$$C_m = \frac{W_m}{NMCR} \Big|_p = \frac{1900}{36429} = 0,0522. \quad (14.5)$$

Cálculo NMCR

Puesto que no se disponen de datos suficientes a esta altura del proyecto, NMCR se obtendrá a partir de la fórmula de almiraztango, tal y como se explica en el método 4 del Capítulo 4.

$$NMCR = \frac{1}{Engine\ Margin} \cdot \frac{1}{Derating\ Ratio} \cdot NCR = C_1 \cdot NCR = \frac{C_1}{C_{ad}} \cdot (\rho \cdot L \cdot B \cdot T \cdot C_B \cdot (1 + \alpha))^{2/3} \cdot V_s^3 \quad (14.6)$$

Donde:

$$C_1 = \frac{1}{\text{Engine Margin}} \cdot \frac{1}{\text{Derating Ratio}} = \frac{1}{0.9} \cdot \frac{1}{\text{MCR/NMCR}} = \frac{1}{0.9} \cdot \frac{1}{32000/36429} = 1.2649, \quad (14.7)$$

$$\text{NCR} = \frac{\Delta^{2/3} \cdot V_s^3}{C_{ad}}; \quad C_{ad} = \frac{\Delta^{2/3} \cdot V_s^3}{\text{NCR}} \Big|_P = \frac{320500^{2/3} \cdot 15^3}{28800} = 548.824. \quad (14.8)$$

Por último, el NMCR del buque de diseño puede estimarse utilizando la fórmula del almirantazgo como:

$$\text{NMCR} = 1.2649 \cdot \frac{\Delta^{2/3} \cdot V_s^3}{548.824} = 0.0023 \cdot \Delta^{2/3} \cdot V_s^3. \quad (14.9)$$

Resolución ecuación pesos

Una vez calculados los parámetros que parten del buque base, se puede reescribir la ecuación de pesos como:

$$\begin{aligned} \rho \cdot L_{BP} \cdot B \cdot T \cdot C_B \cdot (1+\alpha) &= C_S \cdot L^{1.6} \cdot (B+D) + C_o \cdot L \cdot B + C_m \cdot \text{NMCR} + \text{DWT} \\ 1.025 \cdot L_{BP} \cdot B \cdot 21.5 \cdot C_B \cdot 1.000226 &= 0.0414 \cdot L^{1.6} \cdot (B+D) + 0.1483 \cdot L \cdot B \\ + 0,0522 \cdot 0.0023 \cdot (1.025 \cdot L \cdot B \cdot 21.5 \cdot C_B \cdot 1.000226)^{\frac{2}{3}} \cdot 16^3 &+ 297000. \end{aligned} \quad (14.10)$$

En esta ecuación cabe destacar que los datos de calado, coeficiente de bloque y DWT que se buscan son calculados en base al calado de diseño, pues el buque se diseña para operar la mayor parte del tiempo a ese calado.

$$\begin{aligned} 22.04 \cdot L_{BP} \cdot B \cdot C_B &= 0.0414 \cdot L^{1.6} \cdot (B+D) + 0.1483 \cdot L \cdot B + 0,0001 \cdot \\ (L \cdot B \cdot C_B \cdot 22.04)^{\frac{2}{3}} \cdot 16^3 &+ 297000. \end{aligned} \quad (14.11)$$

En esta ecuación hay 4 incógnitas, En este caso, los valores de L/B, B/D y C_B del buque de diseño se suponen iguales a los del buque base, como se muestra a continuación.

$$L/B = L_p/B_p = 314/58 = 5.414, \quad (14.12)$$

$$B/D = B_p/D_p = 58/31 = 1.871. \quad (14.13)$$

Sustituyendo de esta forma el valor de B en función de L/B y D en función de B/D en la ecuación (14.11) tenemos:

$$\begin{aligned} 22.04 \cdot L \cdot (L/(L/B)) \cdot C_B &= 0.0414 \cdot L^{1.6} \cdot (L/(L/B) + L/(L/B)/(B/D)) + \\ 0.1483 \cdot L \cdot (L/(L/B)) &+ 0,00012 \cdot (L \cdot (L/(L/B)) \cdot C_B \cdot 22.04)^{\frac{2}{3}} \cdot 16^3 \\ + 297000. & \end{aligned} \quad (14.14)$$

Y suponiendo que el coeficiente de bloque tendrá el mismo valor que el buque base.

$$C_{B,d} = C_{B,d,b} = 0.8213. \quad (14.15)$$

Sustituyendo de nuevo:

$$22.042 \cdot L \cdot (L/(L/B)) \cdot 0.8213 = 0.0414 \cdot L^{1.6} \cdot (L/(L/B) + L/(L/B)/(B/D)) + 0.1483 \cdot L \cdot (L/(L/B)) + 0.0001 \cdot (L \cdot (L/(L/B)) \cdot 0.8213 \cdot 22.042)^{\frac{2}{3}} \cdot 16^3 + 297000. \quad (14.16)$$

Sustituyendo los valores de las relaciones adimensionales:

$$22.04 \cdot L^2 \cdot 5.413 \cdot 0.8213 = 0.0414 \cdot L^{1.6} \cdot (L/5.413) + (L/(5.413)/(1.871)) + 0.1483 \cdot L^2 \cdot 5.413 + 0.0001 \cdot (L \cdot (L/(5.413)) \cdot 0.8213 \cdot 22.04)^{\frac{2}{3}} \cdot 16^3 + 297000.$$

Sustituyendo,

$$0.0413 \cdot (L^{1.6}) \cdot ((L/5.413) + (L/10.13)) + 0.0274 \cdot (L^2) + 0.492 \cdot (L^2 \cdot 3.348)^{2/3} + 297000 - 3.348 \cdot (L^2) = 0. \quad (14.17)$$

De esta ecuación se obtiene el valor de la eslora de diseño (L).

$$L = 318.65 \text{ [m]}. \quad (14.18)$$

A partir de la eslora se obtienen la manga y puntal estimados:

$$B = L/(L/B) = 318.65/5.413 = 58.87 \text{ [m]}. \quad (14.19)$$

$$D = B/(B/D) = 58.87/1.871 = 31.46 \text{ [m]}. \quad (14.20)$$

Por tanto, de esta forma los resultados que han sido obtenidos son:

L	318.65 [m]
D	31.46 [m]
B	58.87 [m]
C _B	0.8213

Tabla 14-1. Resultado de las dimensiones principales del buque diseño en la Ecuación de peso.

De estos resultados, el puntal se verá modificado por la ecuación de volumen.

14.1.2. Ecuación de volumen

$$V_{CH} = C_{CH} \cdot L \cdot B \cdot D \text{ [m}^3\text{]}. \quad (14.21)$$

Cálculo C_{CH}

Se obtiene directamente del buque base considerando que adquiere el mismo valor para el buque de diseño.

$$C_{CH} = \frac{V_{CH}}{L \cdot B \cdot D} \Big|_p = \frac{345500}{314 \cdot 58 \cdot 31} = 0.612. \quad (14.22)$$

Cálculo D

Entonces, D del buque de diseño puede obtenerse utilizando la Ecuación (14.21) con la solución de la ecuación del peso (L y B) y el valor de C_{CH} como se indica a continuación.

$$360000 = 0.612 \cdot 318.65 \cdot 58.87 \cdot D; \quad D = 31.35 \text{ [m]}. \quad (14.23)$$

Por tanto, se obtiene de la ecuación del peso y de la ecuación del volumen, la siguiente solución para las dimensiones principales:

L	318.65 [m]
D	31.35 [m]
B	58.87 [m]
C_B	0.8213

Tabla 14-2. Resultado de las dimensiones principales del buque diseño en la Ecuación de volumen.

14.1.3. Requerimiento de francobordo

$$D_f - T_s \geq F_{b_{ICLL}}(L, B, D, C_B). \quad (14.24)$$

Se ha calculado el francobordo $F_{b_{ICLL}}$ conforme las indicaciones del Capítulo 6.

Determinación de eslora de francobordo

A partir de los datos del buque base y de L del buque de diseño, L_1 y L_2 se calculan suponiendo una relación proporcional.

$$L_1 = \frac{L_{1b} \cdot L}{L_b} = \frac{310.19 \cdot 318.65}{314} = 314.8, \quad (14.25)$$

$$L_2 = \frac{L_{2b} \cdot L}{L_b} = \frac{312.22 \cdot 318.65}{314} = 316.85. \quad (14.26)$$

La eslora de francobordo será:

$$L_f = \max(L_1, L_2) = 316.85. \quad (14.27)$$

Cálculo del francobordo tabular

Un VLCC es un petrolero y, por tanto, el buque de diseño es de tipo A. Utilizando la tabla de Anexo A. *Correcciones por el francobordo tabular* Para los buques de tipo A, se puede obtener el francobordo tabular. L_f del buque de diseño es de 316.85 m y se encuentra entre 316 m y 317 m en la tabla. Por lo tanto, el francobordo tabular (F_t) puede obtenerse por interpolación lineal como sigue:

$$F_t = \frac{3.318 \cdot (317 - 316.85) + 3.322 \cdot (316.85 - 316)}{(316.85 - 316) + (317 - 316.85)} = 3321 \text{ [mm]}. \quad (14.28)$$

Adición por coeficiente de bloque

Utilizando el coeficiente de bloque para el francobordo (C_{Bf}) como se había descrito anteriormente:

$$C_{Bf} = \frac{\nabla_f}{L_f \cdot B \cdot T_f}. \quad (14.29)$$

Para determinar el coeficiente de bloque defrancobordo (C_{Bf}), tenemos que conocer los valores de T_f y ∇_f . A partir de la definición de $T_f = 0.85 \cdot D_f$, se puede determinar T_f , si se conoce D_f . Para ello, se ha determinado que la relación entre el puntal del buque base (D_B) y el puntal de francobordo ($D_{FD,B}$) del buque base es la misma que para el buque de diseño.

$$D_{FD} = \frac{D_{FD,B} \cdot D}{D_b} = \frac{31.35 \cdot 27.92}{31} = 28.235 [m]. \quad (14.30)$$

D_{FD} es el puntal de francobordo de trazado del buque de diseño. Entonces, T_f puede calcularse como se indica a continuación:

$$T_f = 0.85 \cdot D_{FD} = 24 [m]. \quad (14.31)$$

De la misma manera, el volumen de desplazamiento del buque de diseño (∇) puede determinarse como sigue:

$$\nabla = L_{BP} \cdot B \cdot T_d \cdot C_B \cdot (1 + \alpha) = 318.65 \cdot 58.87 \cdot 21.50 \cdot 0.8213 \cdot 1.000226 = 331350 [m^3]. \quad (14.32)$$

Supongamos que el volumen de desplazamiento es proporcional a $L \cdot B \cdot T$, ∇_f puede ser calculado conforme:

$$\nabla_f = \nabla \cdot (T_f / T_d) = 331350 \cdot (24 / 21.50) = 369880 [m^3]. \quad (14.33)$$

Así, el C_{Bf} se calcula como sigue.

$$C_{Bf} = \frac{369880}{318.65 \cdot 58.87 \cdot 24} = 0.8263. \quad (14.34)$$

Dado que el C_{Bf} es superior a 0.68, la adición para el coeficiente de bloque (c_{CB}) debe ser:

Cuando $0.68 \leq C_{Bf}$

$$c_{CB} = F_t \cdot \left\{ \frac{C_{Bf} + 0.68}{1.36} - 1 \right\} = 3,321 \cdot \left\{ \frac{0.8263 + 0.68}{1.36} - 1 \right\} = 357.1 [mm]. \quad (14.35)$$

Corrección por puntal

El puntal de francobordo (D_f) del buque de diseño puede estimarse suponiendo que el espesor de la plancha de cubierta ($t_{cubierta}$) es el mismo que el del buque base, como se indica a continuación:

$$D_f = D_{FD} + t_{cubierta} = 28.235 + 0.022 = 28.257 \text{ [m]}. \quad (14.36)$$

Como $L_f/15 = 316.87/15 = 21.125$ m y $L_f > 120$ m, R es 250 mm. Por lo tanto, la corrección por puntal es:

$$c_D = \left(D_f - \frac{L_f}{15} \right) \cdot R = \left(28.257 - \frac{316.85}{15} \right) \cdot 250 = 1784 \text{ [mm]}. \quad (14.37)$$

Corrección por posición de la línea de cubierta

Suponiendo que el borde superior de la línea de cubierta es igual al puntal de francobordo, la corrección por posición de la línea de cubierta (c_{DL}) es cero.

$$C_{DL} = 0 \text{ [mm]}. \quad (14.38)$$

Deducción por superestructuras y troncos

La eslora de las superestructuras (L_S) y la altura de las superestructuras (H_S) del buque de diseño se pueden estimar con los datos del buque base mediante la siguiente suposición:

$$L_S = \frac{L_{S,B} \cdot L}{L_B} = \frac{287.38 \cdot 318.65}{314} = 291.64 \text{ [m]}. \quad (14.39)$$

$$H_S = \frac{H_{S,B} \cdot D}{D_b} = \frac{31.35 \cdot 3.36}{31} = 3.397 = 3.4 \text{ [m]}. \quad (14.40)$$

Dado que el buque de diseño tiene una cubierta hundida (no una cubierta elevada) como el buque base y L_f es superior a 125 m, la altura estándar de la superestructura ($H_{S,S}$) es 2.30 m. Por lo tanto, la eslora efectiva de la superestructura (L_{SE}) se obtiene como:

$$L_{SE} = \frac{L_S \cdot [\min(H_{S,S}, H_S)]}{H_{S,S}} = \frac{291.64 \cdot [\min(2.3, 3.4)]}{2.3} = 291.64 \text{ [m]}. \quad (14.41)$$

El buque de diseño no tiene ningún tronco como el buque base. Considerando la relación entre L_f y $L_E (= L_{SE})$, el porcentaje de deducción (x) puede ser calculado utilizando la siguiente Tabla:

	Total effective length of superstructures and trunks										
	0	0.1L	0.2L	0.3L	0.4L	0.5L	0.6L	0.7L	0.8L	0.9L	1.0L
Percentage of deduction	0	7	14	21	31	41	52	63	75.3	87.7	100

Figura 14-4. Porcentaje de deducción de francobordo para buques tipo A y B. Fuente: [1].

$$L_E/L_f = \frac{291.64}{316.85} = 0.9204, \quad (14.42)$$

$$\frac{1 - 0.9}{100 - 87.7} = \frac{1 - 0.9204}{100 - x}; \quad x = 90.2092. \quad (14.43)$$

Considerando que L_f es superior a 122 m, la deducción por superestructuras y troncos se calcula como:

$$C_{ST} = 1070 \cdot (90.2092/100) = 965.23 \text{ [mm]}. \quad (14.44)$$

Corrección por arrufo

Dado que la superestructura del buque de diseño se extiende a lo largo de toda la eslora y la altura de la superestructura cerrada ($H_{s,s} = 3.40 \text{ m}$) es mayor que la altura estándar ($H_{s,s} = 2.30 \text{ m}$), las ordenadas del arrufo real deben medirse en la cubierta de la superestructura, y deben ser modificadas considerando la menor diferencia entre las alturas real y las alturas estándar, $z=1.10 \text{ m}$ en este caso.

Para la zona de popa:

Cuerpo de popa						
Arrufo estándar				Arrufo real		
Sección	Ordenada (S_i)	Factor	Producto	Ordenada (A_i)	Factor	Producto
AP	$25 \cdot (L_t/3+10)=2891$	1	2891	342.8	1	343
+ $L_t/6$ de AP	$11.1 \cdot (L_t/3+10)=1282$	3	3846	0	3	0
+ $L_t/3$ de AP	$2.8 \cdot (L_t/3+10)=324$	3	971	0	3	0
Sección media		1	0	0	1	0
Modificación del arrufo actual						
AP				$z=1100$	1	1100
+ $L_t/6$ de AP				$0.444 \cdot z=488$	3	1465
+ $L_t/3$ de AP				$0.111 \cdot z=122$	3	366
Sección media				0	1	0
$\sum_{estandar}$			7708	\sum_{real}		3274

Tabla 14-3. Corrección de Francobordo por Arrufo en el cuerpo de popa.

Para la zona de proa:

Cuerpo de proa						
Arrufo estándar				Arrufo real		
Sección	Ordenada (S_i)	Factor	Producto	Ordenada (A_i)	Factor	Producto
Sección media	0	1	0	0	1	0
+ $L_t/6$ de FP	$5.6 \cdot (L_t/3+10)=647$	3	1942	0	3	0
+ $L_t/3$ de FP	$22.2 \cdot (L_t/3+10)=2601$	3	7803	0	3	0
FP	$50 \cdot (L_t/3+10)=5781$	1	5781	937	1	937
Modificación del arrufo actual						
Sección media				0	1	0
+ $L_t/6$ de FP				$0.111 \cdot z=122$	3	366
+ $L_t/3$ de FP				$0.444 \cdot z=488$	3	1465
FP				$z=1100$	1	1100
$\sum_{estandar}$			15525	\sum_{real}		3869

Tabla 14-4. Corrección de Francobordo por Arrufo en el cuerpo de proa.

A partir de los resultados obtenidos en la tabla anterior, S_{popa} , S_{proa} , A_{popa} y A_{proa} se han calculado del siguiente modo:

$$S_{popa} = \frac{Sum_{S,popa}}{8} = \frac{7708}{8} = 963 \text{ [mm]},$$

$$S_{proa} = \frac{Sum_{S,proa}}{8} = \frac{15525}{8} = 1940 \text{ [mm]},$$

$$A_{popa} = \frac{Sum_{A,popa}}{8} = \frac{3274}{8} = 409.25 \text{ [mm]}, \quad (14.45)$$

$$A_{proa} = \frac{Sum_{A,proa}}{8} = \frac{3869}{8} = 483.625 \text{ [mm]}.$$

A partir de este resultado, se ha determinado la ordenada media del arrufo estándar (S_o) como a continuación:

$$S_o = \frac{S_{popa} + S_{proa}}{2} = \frac{963 + 1940}{2} = 1451.5 \text{ [mm]}. \quad (14.46)$$

En este caso se observa que $S_{popa} > A_{popa}$ y $S_{proa} > A_{proa}$. Así, la ordenada media del arrufo real (A_o) se ha determinado conforme sigue:

$$A_o = \frac{A_{popa} + A_{proa}}{2} = \frac{409.25 + 483.625}{2} = 446.43 \text{ [mm]}. \quad (14.47)$$

De este modo, se ha comprobado que, S_o es mayor que A_o , por lo que el buque está en una condición de deficiencia de arrufo.

$$S_t = S_o - A_o = 1451.5 - 446.43 = 1005.07 \text{ [mm]}. \quad (14.48)$$

El barco de diseño no tiene castillo de proa cerrado como el buque base por lo que los parámetros s_a y s_f tienen valor nulo.

Finalmente, la corrección por arrufo (c_s) puede calcularse mediante la siguiente Ecuación (14.49), y el valor se añadirá al francobordo tabular.

$$c_s = (S_t + s) \cdot \left(0.75 - \frac{L_{ST}}{2L_f}\right) = (1005.07 + 0) \cdot \left(0.75 - \frac{291.66}{2 \cdot 316.85}\right) = 291.219 \text{ [mm]}. \quad (14.49)$$

(Se ha asumido que L_{ST} es igual que L_S).

Adicción por altura mínima de proa y reserva de flotabilidad

La altura real de la proa (BH) del buque de diseño se ha calculado con la siguiente ecuación:

$$BH = D_f + H_S + H_F - T_S = 28.257 + 3.397 + 0 - 22.84 = 8.814 \text{ [m]} \quad (14.50)$$

$$= 8814 \text{ [mm]}.$$

donde, H_F toma el valor de cero ya que el buque de diseño no tiene un castillo de proa como se ha indicado en el punto anterior.

En primer lugar, el área del plano de flotación a proa de $L_f/2$ (A_{WF}) del buque de diseño se ha calculado utilizando los datos del buque base como se indica a continuación.

$$A_{WF} = \frac{L \cdot B}{L_b \cdot B_b} \cdot A_{WF,B} = \frac{318.65 \cdot 58.87}{314 \cdot 58} \cdot 8265 = 8513.21 \text{ [m}^2\text{]}. \quad (14.51)$$

Entonces, el coeficiente de área de la superficie de flotación a proa de $L_f/2$ (C_{WF}) del buque de diseño se ha calculado conforme:

$$C_{WF} = \frac{A_{WF}}{0.5 \cdot L_f \cdot B} = \frac{8513.21}{0.5 \cdot 316.85 \cdot 58.87} = 0.9128. \quad (14.52)$$

Por tanto, la altura mínima de proa (BH_{\min}) será:

$$\begin{aligned} BH_{\min} &= \left\{ 6075 \cdot \left(\frac{L_f}{100} \right) - 1875 \cdot \left(\frac{L_f}{100} \right)^2 + 200 \cdot \left(\frac{L_f}{100} \right)^3 \right\} x \left\{ 2.08 + 0.609 \cdot C_{Bf} - \right. \\ &1.603 \cdot C_{WF} - 0.0129 \cdot \left(\frac{L_f}{T_f} \right) \left. \right\} = \left\{ 6075 \cdot \left(\frac{316.85}{100} \right) - 1875 \cdot \left(\frac{316.85}{100} \right)^2 + 200 \cdot \right. \\ &\left. \left(\frac{316.85}{100} \right)^3 \right\} x \left\{ 2.08 + 0.609 \cdot 0.8264 - 1.603 \cdot 0.9128 - 0.0129 \cdot \left(\frac{316.85}{24} \right) \right\} = \quad (14.53) \\ &6445.68 \text{ [mm]}. \end{aligned}$$

En este caso BH es superior a BH_{\min} , por lo que la adición para la altura de la proa (C_{BH}) no es necesaria.

$$C_{BH} = 0 \text{ [mm]}. \quad (14.54)$$

El buque de diseño es de tipo A y, por tanto, la corrección por flotabilidad de reserva (C_{RB}) no es necesaria.

$$C_{RB} = 0 \text{ [mm]}. \quad (14.55)$$

Cálculo del francobordo mínimo

Finalmente se ha obtenido el francobordo mínimo de verano (Fb_s).

$$\begin{aligned} Fb_s &= F_t + C_{CB} + C_D + C_{DL} - C_{ST} + C_S + C_{BH} + C_{RB}, \\ Fb_s &= 3321 + 357.64 + 1784 + 0 - 965.23 + 291.219 + 0 + 0, \\ Fb_s &= 4788 \text{ [mm]} = 4.79 \text{ [m]}. \quad (14.56) \end{aligned}$$

Comprobación del requerimiento de francobordo

Ahora, el calado máximo de verano ($T_{S,\max}$) puede determinarse como sigue:

$$T_{S,\max} = D_f - Fb_s = 28.257 - 4.79 = 23.47 \text{ [m]}. \quad (14.57)$$

Por tanto, se ha podido comprobar que el calado de escantillonado del buque de diseño satisface el francobordo requerido por la normativa ICLL.

$$D_f - T_s = 28.257 - 22.84 = 5.417 \geq Fb_s. \quad (14.58)$$

14.1.4. Coste de construcción

Tras haber comprobado que nuestras dimensiones del buque diseño cumplen con el requerimiento de francobordo, procedemos a estimar el coste de construcción.

Factor de coste VLCC	
Factor de coste unitario de estructura (C_{PS})	2230 (\$/tn)
Factor de coste unitario de diseño (C_{PO})	4834.5 (\$/tn)
Factor de coste unitario asociado a propulsión (C_{PM})	17177 (\$/tn)

Figura 14-5. Factor de coste unitario del buque base. Fuente: [3].

$$\text{Coste de construcción} = C_{PS} \cdot C_S \cdot L^{1.6} \cdot (B+D) + C_{PO} \cdot C_O \cdot L \cdot B + C_{PM} \cdot C_{ma} \cdot NMCR. \quad (14.59)$$

$$\begin{aligned} \text{Coste de construcción} &= 2230 \cdot 0.0414 \cdot L^{1.6} \cdot (B+D) + 4834.5 \cdot 0.1483 \cdot L \cdot B \\ &+ 17177 \cdot 0.0522 \cdot 0.0023 \cdot (1.025 \cdot L \cdot B \cdot 21.5 \cdot C_B \cdot 1.000226)^{2/3} \cdot 16^3; \quad (14.60) \\ \text{Coste de construcción} &= 144,853,308.1728 \text{ \$}. \end{aligned}$$

14.1.5. Predicción de resistencia

Una vez determinadas las dimensiones principales del buque, se ha procedido a calcular la potencia requerida para la velocidad de servicio requerida a partir de la predicción de la resistencia total, mediante el método de Holtrop y Mennen.

$$R_T = R_F \cdot (1+k_1) + R_{APP} + R_W + R_B + R_{TR} + R_A. \quad (14.61)$$

Resistencia de fricción

La eslora en la flotación se estima a partir de la del buque base, como sigue a continuación.

$$L_{WL} = \frac{L_{WL,b} \cdot L}{L_b} = \frac{320.20 \cdot 318.65}{314} = 324.95 \text{ [m]}, \quad (14.62)$$

$$R_n = \frac{V_s \cdot L_{WL}}{v} = \frac{16 \cdot 0.5144 \cdot 324.95}{1.13902 \cdot 10^{-6}} = 2.348 \cdot 10^9, \quad (14.63)$$

$$C_F = \frac{0.075}{(\log R_n - 2)^2} = 1.3805 \cdot 10^{-3}. \quad (14.64)$$

Se estima la sección de área transversal del bulbo para el buque diseño.

$$A_{BT} = \frac{B \cdot D}{B_b \cdot D_b} \cdot A_{BT,b} = \frac{58.87 \cdot 31.35}{58 \cdot 31} \cdot 184.8 = 189.69 \text{ [m}^2\text{]}. \quad (14.65)$$

Se calcula la superficie de agua mojada en la siguiente ecuación, asumiendo que el coeficiente de la línea de flotación es el mismo que en el buque base.

$$\begin{aligned} S_{BH} &= L_{WL} \cdot (2 \cdot T + B) \cdot \sqrt{CM} \cdot (0.453 + 0.4425 \cdot C_B - 0.2862 \cdot C_M \\ &- 0.003467 \cdot B/T + 0.3696 \cdot C_{WP}) + 2.38 \cdot A_{BT}/C_B, \\ S_{BH} &= 28,605 \text{ [m}^2\text{]}. \end{aligned} \quad (14.66)$$

Obtenemos la resistencia de fricción.

$$\begin{aligned} R_F &= \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_F \cdot S_{BH} \cdot V^2 = \frac{1}{2} \cdot 1.025 \cdot 1.3805 \cdot 10^{-3} \cdot 28,605 \cdot (16 \cdot 0.5144)^2 \\ &= 1,371 \text{ [kN]}. \end{aligned} \quad (14.67)$$

Por último, calculamos el factor de corrección (1+k₁).

$$C_{14} = 1 + 0.011 C_{popa} = 1 + 0.011 \cdot 10 = 1.11, \quad (14.68)$$

$$L_R = L_{WL} \cdot (1 - C_P + 0.06 \cdot C_P \cdot lcb / (4 \cdot C_P - 1)) = 78.87 \text{ [m]}, \quad (14.69)$$

$$1+k_1 = 0.93+0.487118 \cdot C_{14} \cdot (B/L_{WL})^{1.06806} \cdot (T/L_{WL})^{0.46106} \cdot (L_{WL}^3/\nabla)^{0.36486} \cdot (1-C_p)^{0.36486} = 1.4. \quad (14.70)$$

Resistencia de apéndices

$$(1+k_2)_{eq} = \frac{\sum S_{APP,i} \cdot (1+k_2)_i}{\sum S_{APP,i}} = \frac{147.32 \cdot 1.4 + 180 \cdot 1.4}{147.32 + 180.9} = 1.4, \quad (14.71)$$

$$S_{APP} = S_{timón} + S_{quillote} = 147.32 + 180 = 327.32 \text{ [m}^2\text{]}. \quad (14.72)$$

Se calcula la resistencia por apéndices en Ecuación (14.71).

$$R_{APP} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_F \cdot S_{APP} \cdot V^2 \cdot (1+k_2)_{eq} \\ = \frac{1}{2} \cdot 1.025 \cdot 1.3805 \cdot 10^3 \cdot 327.32 \cdot (16 \cdot 0.5144)^2 \cdot 1.4 = 21.97 \text{ [kN]}. \quad (14.73)$$

Resistencia por formación de olas

$$F_n = \frac{V}{\sqrt{g \cdot L_{WL}}} = \frac{16 \cdot 0.5144}{\sqrt{9.81 \cdot 324.95}} = 0.1458. \quad (14.74)$$

Como en este caso $F_n < 0.4$, se calcula la resistencia por formación de olas para bajas velocidades.

$$I_E = 1 + 89e^{\left\{ \begin{array}{l} -\left(\frac{L_{WL}}{B}\right)^{0.80856} \\ \cdot (1-C_{wp})^{0.30484} \cdot (1-C_p - 0.0225 lcb)^{0.6367} \\ \cdot \left(\frac{LR}{B}\right)^{0.34574} \cdot \left(\frac{100V}{L_{WL}}\right)^{0.16302} \end{array} \right\}} = 52.35^\circ. \quad (14.75)$$

El coeficiente C_1 se calcula mediante la Ecuación (14.74).

$$C_1 = 2,223,105 \cdot C_7^{3.78613} \cdot (T/B)^{1.07961} \cdot (90 - i_E)^{-1.37565} = 7.903, \quad (14.76)$$

$$C_3 = 0.56 \cdot A_{BT}^{1.5} / (B \cdot (T \cdot \sqrt{A_{BT}} + T_F - h_B)) = 0.0829. \quad (14.77)$$

El coeficiente C_2 se calcula a continuación.

$$C_2 = e^{-1.8 \cdot \sqrt{C_3}} = 0.5803. \quad (14.78)$$

Por último, se calculan C_5 , m_1 y m_4 :

$$C_5 = 1 - 0.8A_T / (B \cdot T + C_M) = 0.3876, \quad (14.79)$$

$$\text{Como } 0.8 \leq C_p; \quad C_{16} = 1.73014 - 0.7067 \cdot C_p = 1.15, \quad (14.80)$$

$$m_1 = 0.0140407 \cdot L_{WL}/T - 1.75254 \cdot \nabla^{1/3}/L_{WL} \\ - 4.79323 \cdot B/L_{WL} - C_{16} = -2.1779, \quad (14.81)$$

$$m_4 = C_{15} \cdot 0.4 \cdot e^{-0.034 \cdot Fn^{-3.29}} = -3.155 \cdot 10^{-9}. \quad (14.82)$$

En donde,

$$\text{Como } L_{WL}^3/\nabla < 512 ; C_{15} = -1.69385,$$

$$\text{Además } L_{WL}/B < 12; \lambda = 1.446C_P - 0.03 \cdot L_{WL}/B = 1.024468. \quad (14.83)$$

Finalmente se obtiene la resistencia por formación de olas.

$$\begin{aligned} R_w &= \rho \cdot g \cdot \nabla \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot C_5 \cdot \exp(m_1 F_n^d + m_4 \cdot \cos(\lambda \cdot F_n^{-2})) \\ R_w &= 26.334 \text{ [kN]}. \end{aligned} \quad (14.84)$$

Resistencia adicional de presión por bulbo

$$P_B = 0.56 \cdot \sqrt{A_{BT}} / (T_F - 1.5 \cdot h_B) = 2.0557, \quad (14.85)$$

$$F_{ni} = V / \sqrt{g(T_F - h_B - 0.25 \cdot \sqrt{A_{BT}}) + 0.15 \cdot V^2} = 0.97522, \quad (14.86)$$

$$R_B = 0.11 \cdot e^{-3 \cdot P_B^2} F_{ni}^3 \cdot A_{BT}^{1.5} \cdot \rho \cdot g / (1 + F_{ni}^2) = 675.444 \text{ [kN]}. \quad (14.87)$$

Esta resistencia es bastante grande en comparación con la resistencia de fricción. Por tanto, es posible que esta resistencia no esté ajustada a nuestro buque. Teniendo en cuenta las investigaciones recientes sobre este tipo de resistencia añadido, se va a asumir como cero en esta ocasión.

$$R_B = 0 \text{ [kN]}. \quad (14.88)$$

Resistencia adicional por inmersión del espejo de popa

$$F_{nT} = V / \sqrt{2 \cdot g \cdot A_T / (B + B \cdot C_{WP})} = 0.6294, \quad (14.89)$$

$$C_6 = 0.2 \cdot (1 - 0.2 \cdot F_{nT}) = 0.1748, \quad (14.90)$$

$$R_{TR} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_6 \cdot A_T \cdot V^2 = 5,868.0927 \text{ [kN]}. \quad (14.91)$$

Esta resistencia también es bastante grande en comparación con la resistencia de fricción. Como en el caso anterior, se considerará nula.

$$R_{TR} = 0 \text{ [kN]}. \quad (14.92)$$

Resistencia por correlación de modelo-buque

Como $0.04 \leq T_F/L_{WL}$, $C_4 = 0.04$,

$$\begin{aligned} C_A &= 0.006 \cdot (L_{WL} + 100)^{-0.16} - 0.00205 + 0.003 \cdot \sqrt{L_{WL}/7.5} \cdot C_B^4 \\ &\cdot C_2 \cdot (0.04 \cdot C_4) = 2.283 \cdot 10^{-4}, \end{aligned} \quad (14.93)$$

$$R_A = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_A \cdot S_{BH} \cdot V^2 = 226.754 \text{ [kN]}. \quad (14.94)$$

Resistencia total

$$R_T = R_F \cdot (1+k_1) + R_{APP} + R_W + R_B + R_{TR} + R_A = 2,176.478 \text{ [kN]}. \quad (14.95)$$

Entonces, la resistencia total del buque de diseño ($R_{T,diseño}$) puede estimarse utilizando la siguiente suposición en función del modelo del buque base.

$$R_{T,diseño} = R_{T,diseño,Holtrop\&Mennen} \cdot \frac{R_{T,base,modelo}}{R_{T,base,Holtrop\&Mennen}} = 1,937.0657 \text{ [kN]}. \quad (14.96)$$

14.1.5. Predicción de potencia

$$EHP = R_T \cdot V = 15,942.825 \text{ [kW]}, \quad (14.97)$$

$$DHP = \frac{THP}{\eta_o \cdot \eta_R} = 22,322.51 \text{ [kW]}, \quad (14.98)$$

$$BHP = \frac{DHP}{\eta_T} = 22,547.979 \text{ [kW]}, \quad (14.99)$$

$$NCR = BHP_{calmwater} \cdot \left(1 + \frac{\text{margen de mar}}{100}\right) = 34,772.885 \text{ [bhp]}, \quad (14.100)$$

$$MCR = \frac{NCR}{\text{EngineMargin}} = 38,636.539 \text{ [bhp]}, \quad (14.101)$$

$$NMCR = \frac{MCR}{\text{Derating Ratio}} = 43,985.132 \text{ [bhp]}. \quad (14.102)$$

14.1.6. Selección de motor principal

Tras la predicción de potencia, el NMCR del buque diseño es superior a la potencia del motor instalado en el buque diseño, por lo que tendremos que seleccionar un motor diferente.

Engine type	No of cylinders	L_1 (NMCR, kW)	Speed (rpm/min)	L_{min} (mm)	Dry weight (ton)	SFOC (g/kw-h) at MCR
S80MC-C7	7 (parent ship)	27,160	76	12,653	981	167
	8	31,040	76	14,077	1,088	167
S80MC-C8	7	29,260	78	12,653	981	171
	8	33,440	78	14,077	1,088	171
S80ME-C9	7	31,570	78	12,034	910	168
	8 (design ship)	36,080	78	13,368	1,020	168

Figura 14-6. Características motor seleccionado. Fuente: [1].

Estimación de la velocidad del motor

$$n_{MCR} = n_{NMCR} \cdot \frac{n_{MCR-base}}{n_{NMCR-base}} = 76 \text{ [1/rpm]}, \quad (14.103)$$

$$c_3 = \frac{MCR}{n_{NMCR}^3} = 0.0881. \quad (14.104)$$

Ahora, ya podemos estimar la velocidad del motor con la siguiente igualdad.

$$n_{MCR} = \sqrt[3]{\frac{NCR}{c_3}} = 73.3263. \quad (14.105)$$

Estimación del consumo diario de Fuel Oil

$$DFOC = NCR \cdot SFOC \cdot 24 \cdot 10^{-6} = 140.204 \text{ [ton/día]}. \quad (14.106)$$

Estimación de la capacidad necesaria para los tanques de Fuel Oil

$$W_{HFO} = DFOC \cdot \frac{\text{Autonomía}}{V_s} + \text{Margin}_{HFO} = 7601 \text{ [ton]}. \quad (14.107)$$

$$V_{HFO} = \frac{W_{HFO}}{\rho_{HFO}} = 7,677.8 \text{ [m}^3\text{]}. \quad (14.108)$$

14.1.7. Determinación de dimensiones de la hélice

En primer lugar, se parte como punto de inicio para el diseño de la hélice con los datos de potencia deliberada y velocidad estimados.

	Parámetro	Descripción
Conocidos	P_E	Potencia deliberada por el motor a la hélice (NCR)
	n_E	Velocidad motor (n_{MCR})
	z	Número de palas (4 en este caso)
	R_T	Resistencia a la velocidad de servicio
	V_s	Velocidad del buque
Encontrar	D_p	Diámetro hélice
	P_i	Paso de la hélice
	A_E/A_O	Radio de área expandida

Figura 14-7. Datos de entrada para el dimensionamiento de la hélice.

Un método habitual es, para la velocidad dada, asumir un valor para el radio de área expandido A_E/A_O . De este modo entramos en los diagramas de Wageningen, (Figura 14-8) y obtenemos por intersección los puntos K_T , K_Q , J y P_i/D_p . A partir de ellos, se puede estimar D_p y P_i . Tras esto, se comprueba si se cumple la ecuación de par y el requisito para la no cavitación. Normalmente es necesario realizar varias iteraciones, probando con diferentes radios de área expandida, hasta encontrar la solución que maximiza el rendimiento de la hélice.

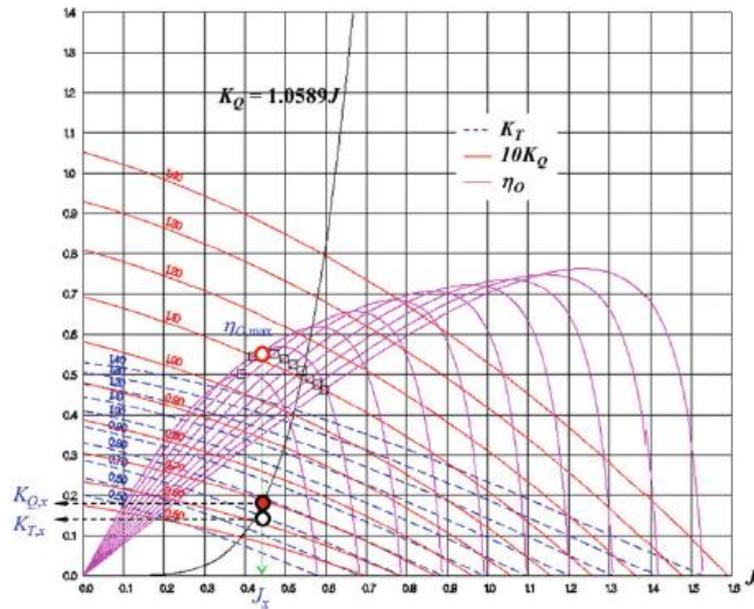


Figura 14-8. Determinación de la relación de avance para la máxima eficiencia de la hélice. Fuente: [1].

Parámetro	
V_{\max}	16.24
D_p	10 m
P_i	7.22 m
P_i/D_p	0.72
A_E/A_O	0.5800
η_o	0.5589

Tabla 14-5. Dimensiones de la hélice en el buque diseño.

14.2. Dimensionamiento en Software

Abrimos el software, seleccionamos el tipo de buque petrolero, e introducimos los datos del buque base y buque diseño. En la Figura 14-9 se muestra la realización de este paso.

Una vez introducidos los datos, seleccionamos “Calcular”. Se obtienen los datos de salida de la Figura 14-10.

Datos de entrada

Parámetros obligatorios

Buque base:

DWT (tn) <input type="text" value="279500.000"/>	Tdiseño (m) <input type="text" value="20.900"/>	Ws (tn) <input type="text" value="36400.000"/>
LWT (tn) <input type="text" value="41000.000"/>	Tescantillonado (m) <input type="text" value="22.200"/>	Wo (tn) <input type="text" value="2700.000"/>
Lpp (m) <input type="text" value="314.000"/>	Francobordo (m) <input type="text" value="4.790"/>	Wm (tn) <input type="text" value="1900.000"/>
B (m) <input type="text" value="58.000"/>	Derating Ratio <input type="text" value="0.878"/>	Cps (\$/tn) <input type="text" value="2230.000"/>
D (m) <input type="text" value="31.000"/>	Coef. Almiraztango <input type="text" value="548.824"/>	Cpo (\$/tn) <input type="text" value="4834.500"/>
Df (m) <input type="text" value="31.000"/>	Margen de mar (%) <input type="text" value="15.000"/>	Cpm (\$/tn) <input type="text" value="17177.000"/>
Cb <input type="text" value="0.821"/>	Engine Margin <input type="text" value="0.900"/>	NMCR (hp) <input type="text" value="36429.000"/>
VCH (m3) <input type="text" value="345000.000"/>		

Buque diseño:

DWT (tn) <input type="text" value="297000.000"/>	Tmax (m) <input type="text" value="21.500"/>
VCH (m3) <input type="text" value="360000.000"/>	Vs (kn) <input type="text" value="16.000"/>

Parámetros opcionales

¿Requisitos de diseño?

Lpp (m) <input type="text" value="0.000"/>	D (m) <input type="text" value="0.000"/>
B (m) <input type="text" value="0.000"/>	Cb <input type="text" value="0.000"/>

Figura 14-9. Introducción de datos de entrada para el dimensionamiento de un VLCC.

Datos de salida

Tdiseño (m)	<input type="text" value="21.500"/>
Tescantillonado (m)	<input type="text" value="22.837"/>
Lpp (m)	<input type="text" value="320.745"/>
B (m)	<input type="text" value="57.264"/>
D (m)	<input type="text" value="32.075"/>
Cb	<input type="text" value="0.840"/>
Coste de construcción (\$)	<input type="text" value="144712523.213"/>

Figura 14-10. Datos de salida para el dimensionamiento de un VLCC.

A continuación, seleccionamos “Dimensionar hélice”. Introducimos los datos requeridos (ver Figura 14-11).

Dimensionamiento de la hélice

Datos de entrada

Buque base:

LWL (m)	320.200	HB (m)	11.700	AE/AO	0.487		
ATB (m ²)	184.800	AT (m ²)	926.000	Dp (m)	9.930		
Cm	0.998	nMCR (rpm)	74.000	Pi	7.399		
Cwp	0.885	nNMCR (rpm)	76.000	η_o	0.603	w	0.305
Cp	0.823	Alt Eje (m)	5.300	η_r	1.030	t	0.201
Lcb (%)	3.050	CHM	0.890	η_t	0.990		

Buque diseño:

Apéndices:	Superficie (m ²)	(1+k ²)
Timón (1 hélice)	147.320	1.400
Timón (2 hélices)	0.000	0.000
Timón y quillote	0.000	0.000
Solo quillote	0.000	0.000
Henchimientos protectores	0.000	0.000
Henchimientos integrados	0.000	0.000
Ejes	0.000	0.000
Aletas estabilizadoras	0.000	0.000
Domo	0.000	0.000
Quillas de balance	180.000	1.400
Arbotantes	0.000	0.000

Forma cuaderna de popa:

- Forma en U
- Forma en V
- Forma Normal
- Forma de Góndola

Requisitos motor y propulsor:

Margen mar (%)	15.000
Engine Margin	0.900
Autonomía (NM)	26500.000

Número de palas de la hélice (z):

- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7

Borrar Calcular Ayuda

Figura 14-11. Introducción de datos de entrada para el dimensionamiento de la hélice.

Una vez introducidos los datos, presionamos con el curso el botón “Calcular”, y nos aparece en el panel de la Etapa 1 la predicción de resistencia y potencia del buque. (ver Figura 14-12).

Etapa 1

Selección del motor principal

Resistencia y Potencia requerida:

Rtotal (kN)	1916.396
NMCR (kW)	32472.422

Figura 14-12. Predicción de resistencia y potencia.

A partir de la predicción, seleccionamos un motor principal. En este caso se ha tomado el mismo motor que en el dimensionamiento manual, pues también cubre las necesidades de potencia del buque. Se procede a introducir los datos correspondientes del mismo en el panel “Introduzca el motor seleccionado” de la Etapa 1, así como a seleccionar el número de hélices a instalar en el buque (ver Figura 14-13).

Introduzca el motor seleccionado:

NMCR (kW)

nNMCR (rpm)

SFOC a MCR (g-kw/h)

Número de hélices:

1 2

Continuar a Etapa 2

Figura 14-13. Selección del motor principal y el número de hélices.

A continuación, cursamos el botón “Continuar a Etapa 2”. Tras esperar unos minutos tal y como indica el mensaje informativo que aparece en pantalla (Figura 14-14), se obtienen los resultados en el panel de la Etapa 2 (ver Figura 14-15).

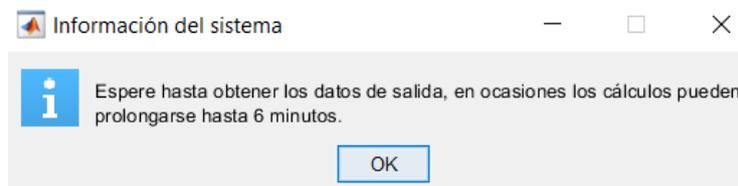


Figura 14-14. Mensaje informativo en el dimensionamiento de la hélice.

Etapa 2

Dimensionamiento de la hélice

VHFO (m3)

nNCR (rpm)

V (kn)

AE/AO

Dp (m)

Pi/Dp

η_o

Borrar resultados

Figura 14-15. Resultado de las dimensiones principales de la hélice.

14.3. Comparación de resultados

14.3.1. Dimensionamiento del buque

<i>Resultados dimensionamiento buque</i>		
	<i>Cálculo manual</i>	<i>Cálculo software</i>
L	318.65 [m]	320.837 [m]
D	31.35 [m]	32.075 [m]
B	58.87 [m]	57.264 [m]
C_B	0.8213	0.840
Coste de construcción	144,853,308.1728 \$	144,712,523.213 \$

Tabla 14-6. Comparativa resultados dimensiones principales buque calculados mediante el método de optimización presentado en Referencia [1]; a la izquierda de forma manual y a la derecha mediante el software diseñado.

Podemos observar en la tabla de resultados que se ha conseguido una minimización de los costes con el dimensionamiento calculado por el software. Esto se debe a que, en el dimensionamiento manual entramos en la ecuación de peso suponiendo relaciones adimensionales L/B y B/D análogas a las del buque base. Sin embargo, en el software no se impone esta condición, aunque si se mantienen restricciones de mínimos y máximos en los rangos de esas relaciones adimensionales. De este modo se ha conseguido reducir la Ecuación (8.12) de coste de construcción, debido a que, por ejemplo, la partida de coste unitario por tonelada de equipo (C_{po}) tiene una mayor influencia en el coste total que la generada por la estructura (C_{ps}) para el caso estudiado; esta partida es proporcional al producto $L \cdot B$, y en el buque calculado por el software se presenta una disminución de este productor con respecto a las dimensiones calculadas manualmente.

14.3.2. Dimensionamiento de la hélice

<i>Resultados dimensionamiento hélice</i>			
	<i>Cálculo manual</i>	<i>Cálculo software – Iteración 1 SQP</i>	<i>Cálculo software- Iteración 2 GA</i>
D_p	10 m	10 m	9.693 m
P_i	7.22 m	7.07 m	7.357 m
P_i / D_p	0.722	0.707	0.759
A_E / A_O	0.5800	0.566	0.545
η_o	0.5589	0.558	0.559

Tabla 14-7. Comparativa resultados dimensiones principales hélice calculados mediante el método de optimización presentado en Referencia [1]; a la izquierda de forma manual y a la derecha mediante el software diseñado.

En este caso los resultados obtenidos para el dimensionamiento de la hélice son muy similares. Podemos observar en la Tabla 14-7 la ventaja de utilizar de forma simultánea el método GA y el método SQP, ya que, en la primera iteración que se realizó por el software, el rendimiento más elevado obtenido fue por el método SQP, mientras que en la segunda iteración, el rendimiento más optimizado fue encontrado por el método GA. Esto se debe a la aleatoriedad numérica a la que se ve sujeta este último método.

15. Conclusión

El algoritmo genético es una herramienta de gran flexibilidad con capacidad de aplicación en cualquier campo de la ingeniería. Debido a su gran versatilidad, podemos encontrarlos en cualquier sector que tenga problemas computables: diseño automatizado de equipamiento industrial, diseño de redes en el sector informático, problemas de optimización de distribución de energía eléctrica, e incluso diseño automatizado para sistemas de comercio en el sector financiero (Referencia [40]).

En muchos casos, los resultados que se obtienen de la aplicación de este método en comparación con los resultados que se obtienen por métodos tradicionales de cálculo presentan una solución más optimizada al aproximarse al máximo global (Referencia [23]). La inconveniencia que presenta la aplicación práctica del algoritmo en un caso real, es su aleatoriedad y la capacidad de automatización que tenga dicho problema. Como hemos podido comprobar, las configuraciones en las restricciones, límites, y generaciones, juegan un papel fundamental sobre los resultados del programa, por lo que para desarrollar el sistema se necesitan probar diferentes programaciones, escogiendo aquella que más se ajuste a la naturaleza de nuestro problema.

El problema de optimización de las dimensiones del buque se considera un problema de alta complejidad debido al amplio rango de valores que pueden tomar las dimensiones de una embarcación, lo que genera una gran cantidad de posibles soluciones. Durante la realización de este trabajo, hemos podido comprobar que es fundamental para el desarrollo del proyecto aumentar el número de restricciones impuestas en el problema genérico planteado en Referencia [1], ya que las soluciones sin estas restricciones, si bien cumplen con las ecuaciones de peso, volumen y francobordo, no se ajustan a las dimensiones reales de buques. Por tanto, estas restricciones son necesarias para ajustar las soluciones del problema, pero, por contrapartida, este aumento en las restricciones provoca un aumento en el tiempo de búsqueda del programa, debido al grado de complejidad. Debido a esto, se ha considerado muy beneficioso el apoyo en otro método de optimización (SQP) para contrastar los resultados. Este método local ha sido especialmente necesario para el dimensionamiento de buques cuando se restringen dos o más variables de diseño, pues, en ocasiones, el usuario puede imponer unos valores que restringen las generaciones de forma drástica, aumentando el grado de dificultad en la búsqueda de la solución global, mientras que, en el método local, estas restricciones se usan como punto de inicio, lo que le permite converger a un óptimo cercano de manera más rápida.

Otra de las problemáticas encontradas es la automatización de dimensionamiento de buques Portacontenedor, Ro-ro, y Ro-pax. Las variables de estos buques son proporcionales a las dimensiones de la carga que transportan, lo que provoca saltos numéricos bruscos que pueden conducir a los métodos matemáticos a puntos no factibles (Anexo C.). Para poder automatizar de manera más ajustada este proceso, se necesitarían estudios para la creación de, por ejemplo, regresiones polinómicas (como las publicadas por Referencia [38]), pero en las que se tengan en consideración todas las variables del

problema de optimización, de manera que estas regresiones puedan sustituir las ecuaciones de peso y volumen actuales.

En conclusión, la aplicación de métodos de optimización en el dimensionamiento de buques es una herramienta en ocasiones compleja, pero de gran utilidad para un astillero, pues a partir de las bases de datos propias históricas, se puede aumentar el rendimiento reduciendo las horas de ingeniería en la fase de diseño conceptual, así como garantizando una optimización en los costes de construcción.

Bibliografía

1. Kyu-Yeul Lee & Myung-II Roh. (2018). *Computational Ship Design*. Seoul, Korea (Republic of): Springer.
2. Apostolos Papanikolaou. (2014). *Ship Design. Methodologies of Preliminary Design*. Zografou (Athens): Springer.
3. Prof. Kyu Yeul Lee. (2011). *Computer Aided Ship Design*. Naval Architecture and Ocean Engineering. Seoul National University of College of Engineering: SNU open courseware.
Disponible en:
https://ocw.snu.ac.kr/department_detail?field_c_deptidx_tid=26
4. Prof. Kyu Yeul Lee. (2006). *Computer-Aided Ship Design*. Department Naval Architecture and Ocean Engineering. Seoul National University of College of Engineering.
Disponible en: <https://ocw.snu.ac.kr/node/10650>
5. Prof. Kim, Taewan. (2011). *Computer Aided Ship Design Lecture Note, Optimization Method*. Department Naval Architecture and Ocean Engineering. Seoul National University of College of Engineering.
Disponible en: <https://ocw.snu.ac.kr/node/14815>
6. Prof. Kyu-Yeul Lee. (September, 2009). *Constrained Nonlinear Optimization method; Sequential Quadratic Programming (SQP)*. Department Naval Architecture and Ocean Engineering. Seoul National University of College of Engineering.
Disponible en: <https://ocw.snu.ac.kr/node/14081>
7. Prof. Kyu-Yeul Lee. (September, 2009). *Optimization method; Heuristic algorithm*. Department Naval Architecture and Ocean Engineering. Seoul National University of College of Engineering.
Disponible en: <https://ocw.snu.ac.kr/node/14084>
8. Alvariño Castro Ricardo, Azpíroz Azpíroz Juan José, Meizoso Fernández Manuel. (1997). *El proyecto básico del buque mercante*. Arganda del Rey, Madrid: Fondo editorial de Ingeniería Naval del Colegio Oficial de Ingenieros Navales.
9. Prof. Legaz Almansa María José. *Proyectos*, apuntes de la asignatura. (2022). Cartagena: Escuela Técnica Superior de Ingeniería Naval y Oceánica, Universidad Politécnica de Cartagena.
10. Prof. Legaz Almansa María José. *Hidrodinámica, resistencia y propulsión*, apuntes de la asignatura. (2022). Escuela Técnica Superior de Ingeniería Naval y Oceánica, Universidad Politécnica de Cartagena.
11. Prof. Busquier Sáez Sonia y Prof. Ruiz Álvarez Juan. *Métodos numéricos avanzados*, apuntes de la asignatura. (2019). Cartagena: Escuela Técnica Superior de Ingeniería Naval y Oceánica, Universidad Politécnica de Cartagena.
12. Prof. Antonio de Querol Sahagún. *Proyectos de Arquitectura Nava*, apuntes de la asignatura. (2018). Cádiz: Escuela de Ingeniería Naval y Oceánica, Universidad de Cádiz.
13. Librería sobre fundamentos de Algoritmo Genético (GA) en Matlab.

- Disponible en:
<https://www.mathworks.com/help/gads/how-the-genetic-algorithm-works.html>
14. Librería sobre programación de Algoritmo Genético (GA) en Matlab.
 Disponible en:
- http://cda.psych.uiuc.edu/matlab_pdf/gads_tb.pdf
 - <https://www.mathworks.com/help/gads/ga.html>
 - <https://www.mathworks.com/help/gads/options-in-genetic-algorithm.html>
 - <https://www.mathworks.com/help/gads/using-a-hybrid-function.html>
 - <https://www.mathworks.com/help/gads/reproducing-your-results-1.html>
 - <https://www.mathworks.com/videos/tips-and-tricks-getting-started-using-optimization-with-matlab-81594.html>
 - <https://www.mathworks.com/help/optim/ug/when-the-solver-fails.html#br44i73>
 - <https://www.mathworks.com/help/optim/ug/optimvar.html>
15. Tomasz Cepowski, Paweł Chorab. (2021). Determination of design formulas for container ships at the preliminary design stage using artificial neural network and multiple nonlinear regression. Article: Ocean Engineering 238 (2021) 109727.
 Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0029801821010969>
16. Librería sobre programación de Método Cuadrático Secuencial (SQP) en Matlab.
 Disponible en:
- <https://www.mathworks.com/help/optim/ug/fmincon.html>
 - <https://www.mathworks.com/help/optim/ug/when-the-solver-fails.html#br44i73>
 - <https://www.mathworks.com/help/optim/ug/constrained-nonlinear-optimization-algorithms.html#bsgppl4>
17. M.M.Bernitsas, D. Ray, P.Kinley. (1981). K_T , K_Q and Efficiency Curves for the Wageningen B-series Propellers. Report No.237. Michigan: Department of Naval Architecture and Marine Engineering, College of Engineering, The University of Michigan.
 Disponible en: <http://kashti.ir/files/ENBOOKS/B-series%20propeller.pdf>
18. M.M. Gaafary , H.S. El-Kilani, M.M. Moustafa. (2019).Article: Optimum design of B-series marine propellers.Egipto: Naval Architecture and Marine Eng. Dept., Faculty of Engineering, Port Said University.
 Disponible en:
https://www.researchgate.net/publication/338104101_Optimum_design_of_B-series_marine_propellers
19. Jyh-bin Suen, Jen-shiang Kouh. (1999). Genetic algorithms for optimal series propeller design. Taiwan: Despartment of Naval Architecture and Ocean Engineering, National Taiwan University.
 Disponible en:
<https://www.witpress.com/Secure/elibrary/papers/MT99/MT99025FU.pdf>

20. Prof. Kyu Yeul Lee. (2008). Determination of Propeller Dimension. Department Naval Architecture and Ocean Engineering. Seoul National University of College of Engineering.
Disponible en: <https://ocw.snu.ac.kr/sites/default/files/NOTE/4658.pdf>
21. Aulia Windyandari , Gunawan Dwi Haryadi, Suharto SuhartoDesing. (2018). Article: Design and performance analysis of B-Series propeller for traditional purse seine boat in the north coastal región of central Java Indonesia. Indonesia: Diponegoro University, Journal of Applied Engineering Science Vol. 16. No. 4.
Disponible en: <http://www.engineeringscience.rs/images/pdf/558-18506.pdf>
22. Artículo: ITTC – Recommended Procedures and Guidelines.International Towing Tank Conference. (2008). Model Manufacture Ship Models.
Disponible en: <https://ittc.info/media/1557/75-01-01-01.pdf>
23. Elkin Yesid Veslin Díaz. Artículo: Aplicación de algoritmos genéticos en problemas de Ingeniería. (2013). Colombia: Grupo de Investigación GIMAC, Universidad de Boyacá.
Disponible en:
https://www.researchgate.net/publication/317576458_Aplicacion_de_algoritmos_geneticos_en_problemas_de_Ingenieria
24. Simple Example Apps for App designer. Documentation.
Disponible en:
https://lost-contact.mit.edu/afs/inf.ed.ac.uk/group/teaching/matlab-help/R2016b/matlab/creating_guis/simple-app-designer-example-apps.html
25. UI Figure (App Designer) Properties. Contents
Disponible en:
<https://lost-contact.mit.edu/afs/inf.ed.ac.uk/group/teaching/matlab-help/R2016b/matlab/ref/uifigureappdesigner-properties.html>
26. Lay Out Apps in App Designer Design View. Documentation.
Disponible en:
https://www.mathworks.com/help/matlab/creating_guis/lay-out-apps-in-app-designer.html
27. Create Miltiwindow Apps in App Designer. Documentation.
Disponible en:
https://www.mathworks.com/help/matlab/creating_guis/creating-multiwindow-apps-in-app-designer.html
28. Share Data in Multiwindow Apps. Documentation.
Disponible en:
https://www.mathworks.com/help/matlab/creating_guis/multiwindow-app-gui-in-app-designer.html
29. Solve a Constrained Nonlinear Problem, Solver-Based. Documentation.
Disponible en:
<https://www.mathworks.com/help/optim/ug/example-nonlinear-constrained-minimization.html>
30. Cachaza Vázquez, Lucía. (2018). Trabajo fin de máster, Buque Bulkcarrier de 44,500 Tn. Universidad da Coruña.
Disponible en: <https://ruc.udc.es/dspace/handle/2183/21188>
31. Cavanillas Álvarez, Cristina y Moral Llorente, Estefanía. (2008). Trabajo fin de grado, Petrolero de crudo 435,000 tpm. E.T.S.I. Navales (UPM).

- Disponible en: <https://oa.upm.es/1186/>
32. González Llorente, José Antonio. (2017). Trabajo fin de máster, Anteproyecto petrolero de 80.000 T.P.M. Universidad da Coruña. Disponible en: <https://ruc.udc.es/dspace/handle/2183/21164>
 33. Dopico Torrón, Enrique .(2012). Trabajo fin de grado, Buque LNG con tanques tipo membrana. E.T.S.I. Navales (UPM), Madrid. Disponible en: <https://oa.upm.es/13769/>
 34. Arrazola Méndez, Francisco José. (2015). Trabajo fin de grado, Buque costero de carga general. Universidad Politécnica de Cartagena. Disponible en: <https://repositorio.upct.es/handle/10317/4867>
 35. Conde Alonso, Nadia. (2016). Trabajo fin de grado, Buque portacontenedores post-Panamax 9000 TEU S. Universidad da Coruña. Disponible en: <https://ruc.udc.es/dspace/handle/2183/17738?locale-attribute=es>
 36. Aguiló Pórtulas, Borja y Bartolomé Robles, Matías. (2011). Trabajo fin de grado, Buque CON-RO-RO 1400 m lineales. E.T.S.I. Navales (UPM), Madrid. Disponible en: <https://oa.upm.es/9653/>
 37. Martínez Barrios, Israel. (2010). Trabajo fin de grado, Ropax 3400 DWT 1300 ml. E.T.S.I. Navales (UPM), Madrid. Disponible en: <https://oa.upm.es/4605/>
 38. Hans Otto Kristensen. (2010). Determination of Regression Formulas for Main Dimensions of Container Ships based on IHS Fairplay Data. Technical University of Denmark. Disponible en: <http://docplayer.net/50727912-Statistical-analysis-and-determination-of-regression-formulas-for-main-dimensions-of-container-ships-based-on-ihs-fairplay-data.html>
 39. Mina Tadros, Manuel Ventura, Carlos Guedes Soares. (2021). Article: Design of Propeller Series Optimizing Fuel Consumption and Propeller Efficiency. Academic Editor: Dracos Vassalos. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/355952077_Design_of_Propeller_Series_Optimizing_Fuel_Consumption_and_Propeller_Efficiency
 40. Algoritmo genético. (2022). Wikipedia. Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Algoritmo_gen%C3%A9tico

Anexo A. Correcciones por el francobordo tabular

Length of ship (m)	Freeboard (mm)								
24	200	93	1,029	162	2,155	231	2,880	300	3,262
25	208	94	1,044	163	2,169	232	2,888	301	3,266
26	217	95	1,059	164	2,184	233	2,895	302	3,270
27	225	96	1,074	165	2,198	234	2,903	303	3,274
28	233	97	1,089	166	2,212	235	2,910	304	3,278
29	242	98	1,105	167	2,226	236	2,918	305	3,281
30	250	99	1,120	168	2,240	237	2,925	306	3,285
31	258	100	1,135	169	2,254	238	2,932	307	3,288
32	267	101	1,151	170	2,268	239	2,939	308	3,292
33	275	102	1,166	171	2,281	240	2,946	309	3,295
34	283	103	1,181	172	2,294	241	2,953	310	3,298
35	292	104	1,196	173	2,307	242	2,959	311	3,302
36	300	105	1,212	174	2,320	243	2,966	312	3,305
37	308	106	1,228	175	2,332	244	2,973	313	3,308
38	316	107	1,244	176	2,345	245	2,979	314	3,312
39	325	108	1,260	177	2,357	246	2,986	315	3,315
40	334	109	1,276	178	2,369	247	2,993	316	3,318
41	344	110	1,293	179	2,381	248	3,000	317	3,322
42	354	111	1,309	180	2,393	249	3,006	318	3,325
43	364	112	1,326	181	2,405	250	3,012	319	3,328
44	374	113	1,342	182	2,416	251	3,018	320	3,331
45	385	114	1,359	183	2,428	252	3,024	321	3,334
46	396	115	1,376	184	2,440	253	3,030	322	3,337
47	408	116	1,392	185	2,451	254	3,036	323	3,339

Length of ship (m)	Freeboard (mm)								
48	420	117	1,409	186	2,463	255	3,042	324	3,342
49	432	118	1,426	187	2,474	256	3,048	325	3,345
50	443	119	1,442	188	2,486	257	3,054	326	3,347
51	455	120	1,459	189	2,497	258	3,060	327	3,350
52	467	121	1,476	190	2,508	259	3,066	328	3,353
53	478	122	1,494	191	2,519	260	3,072	329	3,355
54	490	123	1,511	192	2,530	261	3,078	330	3,358
55	503	124	1,528	193	2,541	262	3,084	331	3,361
56	516	125	1,546	194	2,552	263	3,089	332	3,363
57	530	126	1,563	195	2,562	264	3,095	333	3,366
58	544	127	1,580	196	2,572	265	3,101	334	3,368
59	559	128	1,598	197	2,582	266	3,106	335	3,371
60	573	129	1,615	198	2,592	267	3,112	336	3,373
61	587	130	1,632	199	2,602	268	3,117	337	3,375
62	600	131	1,650	200	2,612	269	3,123	338	3,378
63	613	132	1,667	201	2,622	270	3,128	339	3,380
64	626	133	1,684	202	2,632	271	3,133	340	3,382
65	639	134	1,702	203	2,641	272	3,138	341	3,385
66	653	135	1,719	204	2,650	273	3,143	342	3,387
67	666	136	1,736	205	2,659	274	3,148	343	3,389
68	680	137	1,753	206	2,669	275	3,153	345	3,392
69	693	138	1,770	207	2,678	276	3,158	346	3,394
70	706	139	1,787	208	2,687	277	3,163	347	3,396
71	720	140	1,803	209	2,696	278	3,167	348	3,399
72	733	141	1,820	210	2,705	279	3,172	349	3,401

73	746	142	1,837	211	2,714	280	3,176	350	3,403
74	760	143	1,853	212	2,723	281	3,181	351	3,406
75	773	144	1,870	213	2,732	282	3,185	352	3,408
76	786	145	1,886	214	2,741	283	3,189	353	3,410
77	800	146	1,903	215	2,749	284	3,194	354	3,412
78	814	147	1,919	216	2,758	285	3,198	355	3,414
79	828	148	1,935	217	2,767	286	3,202	356	3,416
80	841	149	1,952	218	2,775	287	3,207	357	3,418
81	855	150	1,968	219	2,784	288	3,211	358	3,420
82	869	151	1,984	220	2,792	289	3,215	359	3,422
83	883	152	2,000	221	2,801	290	3,220	360	3,423
84	897	153	2,016	222	2,809	291	3,224	361	3,425
85	911	154	2,032	223	2,817	292	3,228	362	3,427
86	926	155	2,048	224	2,825	293	3,233	362	3,428
87	940	156	2,064	225	2,833	294	3,237	363	3,430
88	955	157	2,080	226	2,841	295	3,241	364	3,432
89	969	158	2,096	227	2,849	296	3,246	365	3,433
90	984	159	2,111	228	2,857	297	3,250		
91	999	160	2,126	229	2,865	298	3,254		
92	1,014	161	2,141	230	2,872	299	3,258		

Figura AnexoA-0-1. Francobordo tabular para buques tipo A. Fuente [1].

Length of ship (m)	Freeboard (mm)								
24	200	93	1,135	162	2,560	231	3,750	300	4,630
25	208	94	1,154	163	2,580	232	3,765	301	4,642
26	217	95	1,172	164	2,600	233	3,780	302	4,654
27	225	96	1,190	165	2,620	234	3,795	303	4,665
28	233	97	1,209	166	2,640	235	3,808	304	4,676
29	242	98	1,229	167	2,660	236	3,821	305	4,686
30	250	99	1,250	168	2,680	237	3,835	306	4,695
31	258	100	1,271	169	2,698	238	3,849	307	4,704
32	267	101	1,293	170	2,716	239	3,864	308	4,714
33	275	102	1,315	171	2,735	240	3,880	309	4,725
34	283	103	1,337	172	2,754	241	3,893	310	4,736
35	292	104	1,359	173	2,774	242	3,906	311	4,748
36	300	105	1,380	174	2,795	243	3,920	312	4,757
37	308	106	1,401	175	2,815	244	3,934	313	4,768
38	316	107	1,421	176	2,835	245	3,949	314	4,779
39	325	108	1,440	177	2,855	246	3,965	315	4,790
40	334	109	1,459	178	2,875	247	3,978	316	4,801
41	344	110	1,479	179	2,895	248	3,992	317	4,812
42	354	111	1,500	180	2,915	249	4,005	318	4,823
43	364	112	1,521	181	2,933	250	4,018	319	4,834
44	374	113	1,543	182	2,952	251	4,032	320	4,844
45	385	114	1,565	183	2,970	252	4,045	321	4,855
46	396	115	1,587	184	2,988	253	4,058	322	4,866
47	408	116	1,609	185	3,007	254	4,072	323	4,878
48	420	117	1,630	186	3,025	255	4,085	324	4,890

49	432	118	1,651	187	3,044	256	4,098	325	4,899
50	443	119	1,671	188	3,062	257	4,112	326	4,909
51	455	120	1,690	189	3,080	258	4,125	327	4,920
52	467	121	1,709	190	3,098	259	4,139	328	4,931
53	478	122	1,729	191	3,116	260	4,152	329	4,943
54	490	123	1,750	192	3,134	261	4,165	330	4,955
55	503	124	1,771	193	3,151	262	4,177	331	4,965
56	516	125	1,793	194	3,167	263	4,189	332	4,975
57	530	126	1,815	195	3,185	264	4,201	333	4,985
58	544	127	1,837	196	3,202	265	4,214	334	4,995
59	559	128	1,859	197	3,219	266	4,227	335	5,005
60	573	129	1,880	198	3,235	267	4,240	336	5,015
61	587	130	1,901	199	3,249	268	4,252	337	5,025
62	601	131	1,921	200	3,264	269	4,264	338	5,035
63	615	132	1,940	201	3,280	270	4,276	339	5,045
64	629	133	1,959	202	3,296	271	4,289	340	5,055
65	644	134	1,979	203	3,313	272	4,302	341	5,065
66	659	135	2,000	204	3,330	273	4,315	342	5,075
67	674	136	2,021	205	3,347	274	4,327	343	5,086
68	689	137	2,043	206	3,363	275	4,339	345	5,097
69	705	138	2,065	207	3,380	276	4,350	346	5,108
70	721	139	2,087	208	3,397	277	4,362	347	5,119
71	738	140	2,109	209	3,413	278	4,373	348	5,130
72	754	141	2,130	210	3,430	279	4,385	349	5,140
73	769	142	2,151	211	3,445	280	4,397	350	5,150
74	784	143	2,171	212	3,460	281	4,408	351	5,160
75	800	144	2,190	213	3,475	282	4,420	352	5,170

Length of ship (m)	Freeboard (mm)								
76	816	145	2,209	214	3,490	283	4,432	353	5,180
77	833	146	2,229	215	3,505	284	4,443	354	5,190
78	850	147	2,250	216	3,520	285	4,455	355	5,200
79	868	148	2,271	217	3,537	286	4,467	356	5,210
80	887	149	2,293	218	3,554	287	4,478	357	5,220
81	905	150	2,315	219	3,570	288	4,490	358	5,230
82	923	151	2,334	220	3,586	289	4,502	359	5,240
83	942	152	2,354	221	3,601	290	4,513	360	5,250
84	960	153	2,375	222	3,615	291	4,525	361	5,260
85	978	154	2,396	223	3,630	292	4,537	362	5,268
86	996	155	2,418	224	3,645	293	4,548	362	5,276
87	1,015	156	2,440	225	3,660	294	4,560	363	5,285
88	1,034	157	2,460	226	3,675	295	4,572	364	5,294
89	1,054	158	2,480	227	3,690	296	4,583	365	5,303
90	1,075	159	2,500	228	3,705	297	4,595		
91	1,096	160	2,520	229	3,720	298	4,607		
92	1,116	161	2,540	230	3,735	299	4,618		

Figura AnexoA-0-2. Francobordo tabular para buques tipo B. Fuente [1].

Anexo B. Índices en polinomio de series- B Wageningen

K_T					K_Q				
	s	t	u	v		s	t	u	v
$C_{s,t,u,v}$	(J)	(P_d/DP)	(A_E/A_O)	(z)	$C_{s,t,u,v}$	(J)	(P_d/DP)	(A_E/A_O)	(z)
+0.00880496	0	0	0	0	+0.00379368	0	0	0	0
-0.204554	1	0	0	0	+0.00886523	2	0	0	0
+0.166351	0	1	0	0	-0.032241	1	1	0	0
+0.158114	0	2	0	0	+0.00344778	0	2	0	0
-0.147581	2	0	1	0	-0.0408811	0	1	1	0
-0.481497	1	1	1	0	-0.108009	1	1	1	0
+0.415437	0	2	1	0	-0.0885381	2	1	1	0
+0.0144043	0	0	0	1	+0.188561	0	2	1	0
-0.0530054	2	0	0	1	-0.00370871	1	0	0	1
+0.0143481	0	1	0	1	+0.00513696	0	1	0	1
+0.0606826	1	1	0	1	+0.0209449	1	1	0	1
-0.0125894	0	0	1	1	+0.00474319	2	1	0	1
+0.0109689	1	0	1	1	-0.00723408	2	0	1	1
-0.133698	0	3	0	0	+0.00438388	1	1	1	1
+0.00638407	0	6	0	0	-0.0269403	0	2	1	1
-0.00132718	2	6	0	0	+0.0558082	3	0	1	0
+0.168496	3	0	1	0	+0.0161886	0	3	1	0
-0.0507214	0	0	2	0	+0.00318086	1	3	1	0
+0.0854559	2	0	2	0	+0.015896	0	0	2	0
-0.0504475	3	0	2	0	+0.0471729	1	0	2	0
+0.010465	1	6	2	0	+0.0196283	3	0	2	0
-0.00648272	2	6	2	0	-0.0502782	0	1	2	0
-0.00841728	0	3	0	1	-0.030055	3	1	2	0
+0.0168424	1	3	0	1	+0.0417122	2	2	2	0
-0.00102296	3	3	0	1	-0.0397722	0	3	2	0
-0.0317791	0	3	1	1	-0.00350024	0	6	2	0
+0.018604	1	0	2	1	-0.0106854	3	0	0	1
-0.00410798	0	2	2	1	+0.00110903	3	3	0	1
-0.000606848	0	0	0	2	-0.000313912	0	6	0	1
-0.0049819	1	0	0	2	+0.0035985	3	0	1	1
+0.0025983	2	0	0	2	-0.00142121	0	6	1	1
-0.000560528	3	0	0	2	-0.00383637	1	0	2	1
-0.00163652	1	2	0	2	+0.0126803	0	2	2	1
-0.000328787	1	6	0	2	-0.00318278	2	3	2	1
+0.000116502	2	6	0	2	+0.00334268	0	6	2	1
+0.000690904	0	0	1	2	-0.00183491	1	1	0	2
+0.00421749	0	3	1	2	+0.000112451	3	2	0	2
+0.0000565229	3	6	1	2	-0.0000297228	3	6	0	2
-0.00146564	0	3	2	2	+0.000269551	1	0	1	2

K_T				K_Q					
	s	t	u	v		s	t	u	v
$C_{s,t,u,v}$	(J)	($P_i/$ D_P)	($A_E/$ A_O)	(z)	$C_{s,t,u,v}$	(J)	($P_i/$ D_P)	($A_E/$ A_O)	(z)
					+0.00083265	2	0	1	2
					+0.00155334	0	2	1	2
					+0.000302683	0	6	1	2
					-0.0001843	0	0	2	2
					-0.000425399	0	3	2	2
					+0.0000869243	3	3	2	2
					-0.0004659	0	6	2	2
					+0.0000554194	1	6	2	2

Figura AnexoB-0-1. Valores de índices en regresiones polinómicas de la serie-B de Wageningen. Fuente: [1].

Anexo C. Pruebas durante la configuración del método GA

Para dar validez a los resultados obtenidos por el algoritmo genético, se han realizado numerosas pruebas mediante diferentes iteraciones variando algunos de los parámetros que rigen este método matemático en Matlab.

En primer lugar, se han añadido las ecuaciones de entrada para el cálculo dimensional detallado en el Capítulo 7: función de costes, ecuación de peso, ecuación de volumen y ecuación de francobordo. Se ha comprobado si los resultados obtenidos a partir de estas ecuaciones son valores típicos de un buque mercante, o si es necesario la inclusión de mayores restricciones para ajustar el dimensionamiento.

En segundo lugar, se ha estudiado la influencia de los límites superiores e inferiores a imponer en cada una de las variables de la función objetivo (L , B , D y C_B). Como se comentaba en el Capítulo 12, lo aconsejable es fijar un rango en el que se estime que los resultados se encontrarán en el punto medio del mismo. Esto puede ser algo difícil de ajustar a priori en este caso particular.

En tercer lugar, se ha estudiado la influencia de las medidas de parada de cálculo del algoritmo, indicados también en el Capítulo 12.

En cuarto lugar, se ha testeado la influencia del punto de inicio para el comienzo del cálculo del algoritmo genético.

Estos dos últimos pasos se han realizado primeramente en dos buques extraídos de la Referencia [1] y Referencia [3] en los que se muestran los resultados de su proceso de dimensionamiento, lo que nos permite contrastar con los calculados en nuestro programa. Una vez determinada una conclusión a partir de los resultados, se ha seleccionado la configuración que mejor se ajusta para resolver este problema de optimización, y se ha implementado en el software.

Por último, se ha testeado en diversos tipos de buques mercantes y en un diferente rango de tamaños de embarcaciones, para comprobar su funcionamiento. Cabe recordar la dificultad para encontrar todos los detalles de un buque base, pues algunos son datos propios del astillero, como el ensayo de resistencia en el modelo o el coste de construcción. Entonces, hemos recurrido a trabajos fin de grado/máster de anteproyectos de buques, pues en estos podemos encontrar la mayoría de los datos que necesitamos. En estos anteproyectos encontramos el coste de construcción, aunque no el coste unitario por tonelada de cada componente. Para poder hacer una correcta división del coste por partidas, se ha estimado en función de los porcentajes recomendados en la Referencia [2], mostrados en la Figura AnexoC-0-1.

Weight group	Total building costs (%)
Steel structure (main hull)	24–35
Main engine	8–13
Other elements (superstructures, other machineries, accommodation, and equipment/outfitting)	50–60

Figura AnexoC-0-1. Porcentajes de coste de construcción total por grupos. Fuente: [2].

A continuación, se muestran todas las pruebas realizadas en uno de los buques mencionados de la referencia.

Bulkcarrier 160,000 tpm.

Se utiliza como buque base un granelero de 150,960 toneladas de peso muerto ($L=264$ m, $B=45$ m, $D=23.2$ m, $T=16.9$ m, $C_B=0.8214$) con las características mostradas en la Figura AnexoC0-2 y en la Figura AnexoC0-3. El armador desea mantener la manga como la del buque base, por lo que nos encontramos en un problema de optimización de 3 variables.

항목		실적선	설계선	비고
주요 제 원	L_{OA}	abt. 274.00 m	max. 284.00 m 이내	
	L_{BP}	264.00 m		
	B_{mld}	45.00 m	45.00 m	
	D_{mld}	23.20 m		
	T_{mld}	16.90 m	17.20 m	
	T_{scant}	16.90 m	17.20 m	
Deadweight		150,960 ton	160,000 ton	at 17.20 m
Speed		13.5 kts	13.5 kts	90 % MCR (with 20 % SM)
M / E	TYPE	B&W 5S70MC		
	NMCR	17,450 HP × 88.0 RPM		Derating Ratio = 0.9
	DMCR	15,450 HP × 77.9 RPM		E.M = 0.9
	NCR	13,910 HP × 75.2 RPM		
F O C	SFOC	126.0 g/HP.H		
	TON/DAY	41.6		NCR 기준
Cruising Range		28,000 N/M	26,000 N/M	
중앙 단면 형상		Single Hull Double Bottom/Hopper /Top Side Wing Tank	Single Hull Double Bottom/Hopper /Top Side Wing Tank	
Capacity	Cargo	abt. 169,380 m ³	abt. 179,000 m ³	Hatch Coaming 포함
	Fuel Oil	abt. 3,960 m ³		Total
	Fuel Oil	abt. 3,850 m ³		Bunker Tank Only
	Ballast	abt. 48,360 m ³		F.P 및 A.P Tank 포함

Figura AnexoC0-2. Características buque base y requisitos buque diseño (Bulkcarrier). Fuente: [1].

항목	값
경하 중량(LWT)	18,269 ton
선각 중량(W_s)	15,289 ton
의장부 중량(W_o)	1,694 ton
기관부 중량(W_m)	1,281 ton
건현(F_b)	6.996 m
방형 계수(C_b)	0.8214
Admiralty 계수(C_{ad})	644.4139
선각 강재비 관련 계수(C_{FS})	972.80
의장부 비용 관련 계수(C_{FO})	20,256
기관부 비용 관련 계수(C_{FM})	7,760

Figura AnexoC0-3. Características buque base (Bulkcarrier). Fuente: [1].

1.Revisión de restricciones.

Comenzamos con el primer paso: comprobación de las restricciones impuestas.

Las propiedades del Algoritmo genético en Matlab por defecto son las mostradas en la siguiente figura:

```

Default properties:
    ConstraintTolerance: 1.0000e-03
    CreationFcn: @gacreationuniform
    CrossoverFcn: @crossovergathered
    CrossoverFraction: 0.8000
    Display: 'final'
    EliteCount: '0.05*PopulationSize'
    FitnessLimit: -Inf
    FitnessScalingFcn: @fitscalingrank
    FunctionTolerance: 1.0000e-06
    HybridFcn: []
    InitialPopulationMatrix: []
    InitialPopulationRange: []
    InitialScoresMatrix: []
    MaxGenerations: '100*numberOfVariables'
    MaxStallGenerations: 50
    MaxStallTime: Inf
    MaxTime: Inf
    MutationFcn: {@mutationgaussian [1] [1]}
    NonlinearConstraintAlgorithm: 'auglag'
    OutputFcn: []
    PlotFcn: []
    PopulationSize: '50 when numberOfVariables <= 5, else 200'
    PopulationType: 'doubleVector'
    SelectionFcn: @selectionstochunif
    UseParallel: 0
    UseVectorized: 0

```

Figura Anexo C-0-4. Propiedades por defecto de GA en Matlab.

a) Cálculo 1. Ecuación de peso, ecuación de Francobordo y ecuación de volumen.

Límite inferior variables = [0.001 0.001 0.001],

Límite superior variables = [inf inf inf].

El programa ha calculado las siguientes generaciones:

Generation	Func-count	Best f(x)	Max Constraint	Stall Generations
1	2650	1,66E+12	1,19E+08	0
2	5850	1,15E+12	1596	0
3	10200	1,15E+11	15.98	0
4	25250	1,15E+12	8.858	0
5	40300	1,15E+12	8.316	0
6	55350	1,15E+12	7.424	0
7	70400	1,15E+12	6.69	0
8	85450	1,15E+11	6.595	0
9	100500	1,16E+11	6.119	0
10	115550	1,16E+12	5.656	0
11	130600	1,16E+12	5.291	0
12	145650	1,16E+12	5.133	0
13	160700	1,16E+12	4.964	0
14	175750	1,16E+12	4.89	0

15	190800	1,16E+12	4.718	0
16	205850	1,16E+12	4.642	0
17	220900	1,16E+11	4.587	0
18	235950	1,16E+12	4.565	0
19	251000	1,16E+12	4.496	0
20	266050	1,16E+12	4.464	0
21	281100	1,16E+12	4.46	0
22	296150	1,16E+11	4.418	0
23	311200	1,16E+12	4.415	0
24	326250	1,16E+12	4.347	0
25	341300	1,16E+12	4.21	0
26	356350	1,16E+12	4.181	0
27	371400	1,16E+12	4.124	0
28	386450	1,16E+12	4.057	0
29	401500	1,16E+12	4.032	0
30	416550	1,16E+12	4.014	0
31	431600	1,16E+12	3.973	0
32	446650	1,16E+12	3.938	0
33	461700	1,16E+12	3.885	0
34	476750	1,16E+12	3.81	0
35	491800	1,16E+12	3.76	0
36	506850	1,16E+12	3.74	0
37	521900	1,16E+12	3.681	0
38	536950	1,16E+12	3.594	0
39	552000	1,16E+12	3.589	0
40	567050	1,16E+12	3.568	0
41	582100	1,17E+12	3.532	0
42	597150	1,17E+12	3.516	0
43	612200	1,17E+12	3.484	0
44	627250	1,17E+12	3.445	0
45	642300	1,17E+12	3.44	0
46	657350	1,17E+12	3.381	0
47	672400	1,17E+12	3.372	0
48	687450	1,17E+12	3.362	0
49	702500	1,17E+12	3.357	0
50	717550	1,17E+12	3.334	0
51	732600	1,17E+12	3.299	0
52	747650	1,17E+12	3.274	0
53	762700	1,17E+12	3.256	0
54	777750	1,17E+11	3.248	0
55	792800	1,17E+12	3.242	0
56	807850	1,17E+12	3.232	0
57	822900	1,17E+12	3.166	0
58	837950	1,17E+12	3.156	0
59	853000	1,17E+12	3.154	0
60	868050	1,17E+12	3.12	0

61	883100	1,17E+12	3.112	0
62	898150	1,17E+12	3.106	0
63	913200	1,17E+12	3.091	0
64	928250	1,17E+12	3.068	0
65	943300	1,17E+12	3.065	0
66	958350	1,17E+12	3.063	0
67	973400	1,17E+11	3.011	0
68	988450	1,17E+11	3.009	0
69	1003500	1,17E+12	3.008	0
70	1018550	1,17E+11	2.99	0
71	1033600	1,17E+12	2.971	0
72	1048650	1,17E+12	2.969	0
73	1063700	1,17E+12	2.964	0
74	1078750	1,17E+12	2.96	0
75	1093800	1,17E+12	2.943	0
76	1108850	1,17E+12	2.936	0
77	1123900	1,17E+12	2.932	0
78	1138950	1,17E+12	2.923	0
79	1154000	1,17E+11	2.922	0
80	1169050	1,17E+12	2.917	0
81	1184100	1,17E+12	2.893	0
82	1199150	1,17E+12	2.888	0
83	1214200	1,17E+12	2.884	0
84	1229250	1,17E+12	2.882	0
85	1244300	1,17E+12	2.875	0
86	1259350	1,17E+12	2.851	0
87	1274400	1,17E+12	2.847	0
88	1289450	1,17E+12	2.796	0
89	1304500	1,17E+12	2.773	0
90	1319550	1,17E+12	2.749	0
91	1334600	1,17E+12	2.749	0
92	1349650	1,17E+12	2.743	0
93	1364700	1,17E+12	2.74	0
94	1379750	1,17E+12	2.732	0
95	1394800	1,17E+12	2.723	0
96	1409850	1,17E+12	2.707	0
97	1424900	1,17E+12	2.699	0
98	1439950	1,17E+12	2.662	0
99	1455000	1,17E+12	2.623	0
100	1470050	1,17E+12	2.615	0
101	1485100	1,17E+12	2.613	0
102	1500150	1,17E+12	2.607	0
103	1515200	1,17E+12	2.598	0
104	1530250	1,17E+12	2.571	0
105	1545300	1,17E+12	2.567	0
106	1560350	1,17E+12	2.53	0

107	1575400	1,17E+12	2.516	0
108	1590450	1,17E+12	2.515	0
109	1605500	1,17E+11	2.481	0
110	1620550	1,17E+12	2.468	0
111	1635600	1,17E+12	2.461	0
112	1650650	1,17E+12	2.454	0
113	1665700	1,17E+12	2.454	0
114	1680750	1,17E+12	2.43	0
115	1695800	1,17E+12	2.394	0
116	1710850	1,17E+12	2.391	0
117	1725900	1,17E+11	2.379	0
118	1740950	1,17E+12	2.373	0
119	1756000	1,17E+12	2.319	0
120	1771050	1,17E+12	2.316	0
121	1786100	1,17E+12	2.308	0
122	1801150	1,17E+12	2.271	0
123	1816200	1,17E+12	2.255	0
124	1831250	1,17E+12	2.241	0
125	1846300	1,17E+12	2.234	0
126	1861350	1,17E+12	2.232	0
127	1876400	1,17E+12	2.229	0
128	1891450	1,17E+12	2.228	0
129	1906500	1,17E+12	2.221	0
130	1921550	1,17E+12	2.215	0
131	1936600	1,17E+12	2.204	0
132	1951650	1,17E+12	2.202	0
133	1966700	1,17E+12	2.197	0
134	1981750	1,17E+12	2.194	0
135	1996800	1,17E+12	2.17	0
136	2011850	1,17E+12	2.168	0
137	2026900	1,17E+12	2.154	0
138	2041950	1,17E+12	2.145	0
139	2057000	1,17E+12	2.144	0
140	2072050	1,17E+12	2.143	0
141	2087100	1,17E+12	2.115	0
142	2102150	1,17E+12	2.105	0
143	2117200	1,17E+12	2.103	0
144	2132250	1,17E+12	2.1	0
145	2147300	1,17E+12	2.097	0
146	2162350	1,17E+12	2.096	0
147	2177400	1,17E+11	2.089	0
148	2192450	1,17E+12	2.087	0
149	2207500	1,17E+12	2.085	0
150	2222550	1,17E+12	2.073	0
151	2237600	1,17E+12	2.071	0
152	2252650	1,17E+12	2.062	0

153	2267700	1,17E+12	2.06	0
154	2270300	1,17E+12	2.059	0
155	2272950	1,17E+12	2.059	1
156	2275600	1,17E+12	2.059	2
157	2278250	1,17E+12	2.059	3
158	2280900	1,17E+12	2.059	4
159	2283550	1,17E+12	2.059	5
160	2286200	1,17E+12	2.059	6
161	2288850	1,17E+12	2.059	7
162	2291500	1,17E+12	2.059	8
163	2294150	1,17E+12	2.059	9
164	2296800	1,17E+12	2.059	10
165	2299450	1,17E+12	2.059	11
166	2302100	1,17E+12	2.059	12
167	2304750	1,17E+12	2.059	13
168	2307400	1,17E+12	2.059	14
169	2310050	1,17E+12	2.059	15
170	2312700	1,17E+12	2.059	16
171	2315350	1,17E+12	2.059	17
172	2318000	1,17E+12	2.059	18
173	2320650	1,17E+12	2.059	19
174	2323300	1,17E+12	2.059	20
175	2325950	1,17E+12	2.059	21
176	2328600	1,17E+12	2.059	22
177	2331250	1,17E+12	2.059	23
178	2333900	1,17E+12	2.059	24
179	2336550	1,17E+12	2.059	25
180	2339200	1,17E+12	2.059	26
181	2341850	1,17E+12	2.059	27
182	2344500	1,17E+12	2.059	28
183	2347150	1,17E+12	2.059	29
184	2349800	1,17E+12	2.059	30
185	2352450	1,17E+12	2.059	31
186	2355100	1,17E+12	2.059	32
187	2357750	1,17E+12	2.059	33
188	2360400	1,17E+12	2.059	34
189	2363050	1,17E+12	2.059	35
190	2365700	1,17E+12	2.059	36
191	2368350	1,17E+12	2.059	37
192	2371000	1,17E+12	2.059	38
193	2373650	1,17E+12	2.059	39
194	2376300	1,17E+12	2.059	40
195	2378950	1,17E+12	2.059	41
196	2381600	1,17E+12	2.059	42
197	2384250	1,17E+12	2.059	43
198	2386900	1,17E+12	2.059	44

199	2389550	1,17E+12	2.059	45
200	2392200	1,17E+12	2.059	46
201	2394850	1,17E+12	2.059	47
202	2397500	1,17E+12	2.059	48
203	2400150	1,17E+12	2.059	49
204	2402800	1,17E+12	2.059	50
205	2405450	1,17E+12	2.059	51

Tabla AnexoC-0-1. Generaciones del Algoritmo Genético cálculo 1 en Matlab.

Motivo de finalización: “*Optimization terminated: stall generations limit exceeded but constraints are not satisfied*”. Quizá, esto podría solucionarse solo aumentando el límite de generaciones, pero el programa ha tardado más de 4 minutos en realizar estos cálculos, por lo que se necesitaría mucho tiempo más para que el algoritmo llegase a converger.

Además, se ha podido observar que los resultados obtenidos distan mucho de las dimensiones reales de un buque.

L	14.4508 [m]
D	102.9648 [m]
B	45 [m]
C _B	14.0834
Coste de construcción	11,748,641.901 \$

Tabla AnexoC-0-2. Resultados de variables en cálculo 1.

El puntal toma un valor demasiado elevado, mientras que la eslora un valor muy pequeño; esto se debe a que en la función de coste de construcción la eslora tiene un mayor impacto.

Pero, como se muestra en la Tabla AnexoC-0-2, los resultados distan mucho de las dimensiones de buques reales, por lo que se ha procedido a añadir nuevas restricciones al problema de optimización para que el algoritmo sea capaz de reconocer los rangos de las relaciones adimensionales de un buque.

Por un lado, se han añadido dos ecuaciones para controlar el coeficiente de bloque, pues este nunca podrá exceder de 1.

-Formula empírica para el coeficiente de bloque por Watson & Gilfillan:

$$C_B \leq 0.7 + 0.125 \cdot \tan^{-1} \cdot ((23 - 100F_n)/4).$$

-En el aspecto de la maniobrabilidad, se recomienda que la siguiente relación del coeficiente de bloque con la eslora entre perpendiculares y la manga, tome el siguiente valor:

$$\frac{C_B}{L/B} \leq 0.15.$$

Por otro lado, se ha tomado en consideración la estabilidad inicial requerida en buques mercantes, para poder controlar el valor que toman el calado y el puntal, así como la manga y el coeficiente de bloque. Para buques mercantes, el actual criterio de estabilidad exigido por la administración española determina que la altura metacéntrica, GM, sea mayor o igual de 0.04B. (Referencia [3]).

$$GM = T \cdot (0.9 - 0.3 \cdot C_M - 0.1 \cdot C_B) + B \left(\frac{0.08}{\sqrt{C_M}} \cdot \frac{B}{T} \right) - D \cdot \left(\frac{1.6}{L^{0.2}} \right) \geq 0.04B.$$

En esta ecuación aparece el coeficiente de la maestra, un coeficiente desconocido, por lo que este se ha escrito en función del coeficiente de bloque, conforme la siguiente fórmula empírica publicada por Kerlen (Referencia [8]):

$$C_M = 1.006 - 0.0056 \cdot C_B^{-3.56}.$$

Una vez introducidas estas tres ecuaciones como restricciones en el problema de optimización, se ha procedido a comprobar los nuevos resultados en el programa. Se muestran a continuación.

b) Cálculo 2. Ecuación de peso, ecuación de francobordo, ecuación de volumen, ecuaciones de coeficiente de bloque y ecuación de estabilidad inicial.

Generation	Func-count	Best f(x)	Max Constraint	Stall Generations
1	2926	5.75122e+07	0.008814	0
2	9726	5.80712e+07	1600	0
3	13226	5.74548e+07	16	0
4	16601	5.97726e+07	2.232e-07	0
5	20051	5.97726e+07	0.001601	0
6	23651	5.97726e+07	1.603e-05	0
7	27651	5.97726e+07	1.643e-07	0

Optimization terminated: average change in the fitness value less than options.FunctionTolerance and constraint violation is less than options.ConstraintTolerance.

Figura AnexoC0-5. Generaciones del algoritmo genético cálculo 2 en Matlab.

L	262.8377 [m]
D	24.6261 [m]
B	45 [m]
C _B	0.8553
Coste de construcción	59,772,573.252 \$

Tabla AnexoC0-3. Resultados de variables en cálculo 2.

c) Cálculo 3. Ecuación de peso, ecuación de francobordo, ecuación de volumen, ecuaciones de coeficiente de bloque y ecuación de estabilidad inicial.

Generation	Func-count	Best f(x)	Max Constraint	Stall Generations
1	2937	5.75092e+07	0.008831	0
2	6237	5.78376e+07	1600	0
3	9187	5.77838e+07	15.98	0
4	12967	5.9089e+07	2.066e-08	0
5	17617	5.90889e+07	0.0016	0
6	20417	5.90889e+07	1.595e-05	0

Optimization terminated: average change in the fitness value less than options.FunctionTolerance and constraint violation is less than options.ConstraintTolerance.

Figura AnexoC0-6. Generaciones algoritmo genético cálculo 3 en Matlab.

L	259.4935 [m]
D	24.9434 [m]
B	45 [m]
C _B	0.8650
Coste de construcción	59,088,935.481 \$

Tabla AnexoC 0-4. Resultados variables en cálculo 3.

d) Cálculo 4. Ecuación de peso, ecuación de francobordo, ecuación de volumen, ecuaciones de coeficiente de bloque y ecuación de estabilidad inicial.

Generation	Func-count	Best f(x)	Max Constraint	Stall Generations
1	2940	5.75387e+07	0.008658	0
2	7440	5.81406e+07	1602	0
3	10590	5.80941e+07	15.98	0
4	13720	5.9089e+07	1.947e-08	0
5	17570	5.9089e+07	0.0016	0
6	21070	5.9089e+07	1.603e-05	0

Optimization terminated: average change in the fitness value less than options.FunctionTolerance and constraint violation is less than options.ConstraintTolerance.

Figura AnexoC0-7. Generaciones del algoritmo genético cálculo 4 en Matlab.

L	259.4936 [m]
D	24.9435 [m]
B	45 [m]
C _B	0.8650
Coste de construcción	59,088,967.056 \$

Tabla AnexoC0-5. Resultados variables en cálculo 4.

Después de haber realizado el cálculo en numerosas ocasiones, se ha podido comprobar que los resultados obtenidos, tras añadir las nuevas ecuaciones, sí se ajustan a las dimensiones reales de un buque, además de que satisfacen las ecuaciones requeridas de peso, francobordo y capacidad de carga, así como con las restricciones impuestas de estabilidad.

<i>Resultados</i>				
	Cálculo 1	Cálculo 2	Cálculo 3	Cálculo 4
L	14.4508 [m]	262.8377 [m]	259.4935 [m]	259.4936 [m]
D	102.9648 [m]	24.6261 [m]	24.9434 [m]	24.9435 [m]
B	45 [m]	45 [m]	45 [m]	45 [m]
C _B	14.0834	0.8553	0.8650	0.8650
Coste (\$)	11,748,641.901	59,772,573.252	59,088,935.481	59,088,967.056
Tiempo CPU	T > 3 min.	T < 3 min.	T < 3 min.	T < 3 min.
¿Restricciones cumplen tolerancia?	No	Si	Si	Si

Tabla AnexoC0-6. Comparativa de resultados en diferentes cálculos mediante cambio de ecuaciones de restricción.

2. Influencia de los límites.

Al introducirse las ecuaciones de estabilidad en el apartado anterior, el coeficiente de bloque se encuentra en un producto dentro de una raíz cuadrada, por lo que el límite inferior del valor de este parámetro tuvo que modificarse, ya que no se obtendrían soluciones reales partiendo del mínimo 0.001. Es por ello que se ha re-ajustado el límite inferior a 0.3.

$$\text{Límite inferior variables} = [0.001 \ 0.001 \ 0.3],$$

$$\text{Límite superior variables} = [\text{inf} \ \text{inf} \ \text{inf}].$$

En este paso se ha buscado determinar cómo influyen los límites tomados para el cálculo del algoritmo, ya que se recomienda imponer un rango de tal modo que el valor de la solución del problema se pueda encontrar en el punto medio del mismo.

Esto no siempre es necesario, ya que en ocasiones el algoritmo es capaz de encontrar de todos modos la solución óptima. Puesto que el buque de diseño tendrá una gran similitud con el buque base, se pueden estimar los límites de cálculo en función de las dimensiones de este, ya conocidas. A continuación, se muestran algunos de los resultados obtenidos variando el rango de estudio.

a) Cálculo 1. Límite superior e inferior al 50% de las dimensiones de entrada del buque base.

$$\begin{aligned} \text{Límite inferior variables} &= [L_{\text{base}}-50\%L_{\text{base}} \quad B_{\text{base}}-50\%B_{\text{base}} \quad C_{\text{Bbase}}-50\%C_{\text{Bbase}}], \\ \text{Límite superior variables} &= [L_{\text{base}}+50\%L_{\text{base}} \quad B_{\text{base}}+50\%B_{\text{base}} \quad C_{\text{Bbase}}+50\%C_{\text{Bbase}}]. \end{aligned}$$

Generation	Func-count	Best f(x)	Max Constraint	Stall Generations
1	2650	9,47E+12	8,57E+07	0
2	6050	9,29E+12	1242	0
3	9000	9,29E+11	12.4	0
4	11850	9,29E+12	0.2687	0
5	14900	9,29E+12	0.2687	0
6	17800	9,29E+12	0.2687	0
7	32850	9,29E+12	0.2687	0
8	47900	9,29E+12	0.2687	0
9	62950	9,29E+12	0.2687	0
10	78000	9,29E+12	0.2687	0
11	93050	9,29E+12	0.2687	0
12	107900	9,29E+12	0.2687	0
13	122950	9,29E+12	0.2687	0
14	138000	9,29E+12	0.2687	0
15	140600	9,29E+12	0.2687	1
16	155650	9,29E+12	0.2687	0
17	170700	9,29E+12	0.2687	0
18	185750	9,29E+12	0.2687	0
19	188350	9,29E+12	0.2687	1
20	203400	9,29E+12	0.2687	0
21	218450	9,29E+12	0.2687	0
22	233500	9,29E+11	0.2687	0
23	242550	9,29E+11	0.2687	0
24	245150	9,29E+11	0.2687	1
25	260200	9,29E+11	0.2687	0
26	275250	9,29E+12	0.2687	0
27	290300	9,29E+12	0.2687	0
28	305350	9,29E+12	0.2687	0
29	320400	9,29E+12	0.2687	0
30	335450	9,29E+12	0.2687	0
31	350500	9,29E+12	0.2687	0
32	353350	9,29E+12	0.2687	0
33	359850	9,29E+12	0.2687	0
34	365000	9,29E+12	0.2687	0

35	380050	9,29E+12	0.2687	0
36	383350	9,29E+12	0.2687	0
37	398400	9,29E+12	0.2687	0
38	401000	9,29E+12	0.2687	0
39	416050	9,29E+12	0.2687	0
40	423000	9,29E+12	0.2687	0
41	432200	9,29E+12	0.2687	0
42	447250	9,29E+12	0.2687	0
43	455450	9,29E+12	0.2687	0
44	460850	9,29E+12	0.2687	0
45	475900	9,29E+11	0.2687	0
46	490950	9,29E+11	0.2687	0
47	495500	9,29E+11	0.2687	0
48	498100	9,29E+11	0.2687	1
49	505600	9,29E+11	0.2687	0
50	520650	9,29E+11	0.2687	0
51	528850	9,29E+11	0.2687	0
52	543900	9,29E+12	0.2687	0
53	558150	9,29E+12	0.2687	0
54	560750	9,29E+12	0.2687	1
55	575800	9,29E+12	0.2683	0
56	590850	9,29E+12	0.2683	0
57	605900	9,29E+12	0.2683	0
58	620950	9,29E+12	0.2683	0
59	624900	9,29E+12	0.2683	0
60	628250	9,29E+12	0.2683	0
61	643300	9,29E+12	0.2683	0
62	646850	9,29E+12	0.2683	0
63	661900	9,29E+12	0.2683	0
64	674000	9,29E+12	0.2683	0
65	682000	9,29E+12	0.2683	0
66	686000	9,29E+12	0.2683	0
67	699500	9,29E+12	0.2683	0
68	704450	9,29E+12	0.2683	0
69	708400	9,29E+12	0.2683	0
70	723450	9,29E+12	0.2683	0
71	738100	9,29E+12	0.2683	0
72	740700	9,29E+12	0.2683	1
73	743300	9,29E+12	0.2683	2
74	758350	9,29E+12	0.2683	0
75	760950	9,29E+12	0.2683	1
76	768000	9,29E+12	0.2683	0
77	771950	9,29E+12	0.2683	0
78	782700	9,29E+12	0.2683	0
79	797750	9,29E+12	0.2683	0
80	800350	9,29E+12	0.2683	0

81	806650	9,29E+12	0.2683	0
82	821700	9,29E+10	0.2683	0
83	836750	9,29E+12	0.2683	0
84	845100	9,29E+12	0.2683	0
85	860150	9,29E+12	0.2683	0
86	875200	9,29E+12	0.2683	0
87	890250	9,29E+12	0.2683	0
88	905300	9,29E+12	0.2683	0
89	920350	9,29E+12	0.2683	0
90	931650	9,29E+12	0.2683	0
91	946700	9,29E+12	0.2683	0
92	952900	9,29E+12	0.2683	0
93	962800	9,29E+12	0.2683	0
94	977850	9,29E+12	0.2683	0
95	992900	9,29E+12	0.2683	0
96	995500	9,29E+12	0.2683	0
97	1010550	9,29E+12	0.2683	0
98	1025600	9,29E+12	0.2683	0
99	1040650	9,29E+12	0.2683	0
100	1055700	9,29E+12	0.2683	0
101	1070750	9,29E+12	0.2683	0
102	1085800	9,29E+12	0.2683	0
103	1098250	9,29E+12	0.2683	0
104	1113300	9,29E+12	0.2683	0
105	1125800	9,29E+12	0.2683	0
106	1128400	9,29E+12	0.2683	1
107	1143450	9,29E+12	0.2682	0
108	1158500	9,29E+12	0.2682	0
109	1173550	9,29E+12	0.2682	0
110	1176750	9,29E+12	0.2682	0
111	1183350	9,29E+12	0.2682	0
112	1198400	9,29E+12	0.2682	0
113	1204050	9,29E+12	0.2682	0
114	1219100	9,29E+12	0.2682	0
115	1234150	9,29E+12	0.2682	0
116	1240850	9,29E+12	0.2682	0
117	1243450	9,29E+12	0.2682	1
118	1258500	9,29E+11	0.2682	0
119	1264300	9,29E+11	0.2682	0
120	1276600	9,29E+12	0.2682	0
121	1291650	9,29E+12	0.2682	0
122	1306700	9,29E+12	0.2682	0
123	1310100	9,29E+12	0.2682	0
124	1325150	9,29E+12	0.2682	0
125	1328650	9,29E+12	0.2682	0
126	1343700	9,29E+12	0.2682	0

127	1358750	9,29E+12	0.2682	0
128	1373800	9,29E+12	0.2682	0
129	1376400	9,29E+12	0.2682	0
130	1391450	9,29E+11	0.2682	0
131	1406500	9,29E+12	0.2682	0
132	1409100	9,29E+12	0.2682	0
133	1424150	9,28E+12	0.2671	0
134	1439200	9,28E+12	0.2671	0
135	1442650	9,28E+12	0.2671	0
136	1447500	9,28E+12	0.2671	0
137	1451050	9,28E+12	0.2671	0
138	1464400	9,28E+12	0.2671	0
139	1479450	9,28E+12	0.2671	0
140	1494500	9,28E+12	0.2671	0
141	1509550	9,28E+12	0.2671	0
142	1524600	9,28E+12	0.2671	0
143	1527200	9,28E+12	0.2671	1
144	1542250	9,28E+12	0.2671	0
145	1557300	9,28E+12	0.2671	0
146	1561050	9,28E+12	0.2671	0
147	1563650	9,28E+12	0.2671	1
148	1578700	9,28E+12	0.2667	0
149	1593750	9,28E+12	0.2667	0
150	1608800	9,28E+12	0.2667	0
151	1623850	9,28E+12	0.2667	0
152	1637600	9,28E+12	0.2667	0
153	1652650	9,28E+12	0.2667	0
154	1667700	9,28E+12	0.2667	0
155	1670350	9,28E+12	0.2667	1
156	1673000	9,28E+12	0.2667	2
157	1675650	9,28E+12	0.2667	3
158	1678300	9,28E+12	0.2667	4
159	1680950	9,28E+12	0.2667	5
160	1683600	9,28E+12	0.2667	6
161	1686250	9,28E+12	0.2667	7
162	1688900	9,28E+12	0.2667	8
163	1691550	9,28E+12	0.2667	9
164	1694200	9,28E+12	0.2667	10
165	1696850	9,28E+12	0.2667	11
166	1699500	9,28E+12	0.2667	12
167	1702150	9,28E+12	0.2667	13
168	1704800	9,28E+12	0.2667	14
169	1707450	9,28E+12	0.2667	15
170	1710100	9,28E+12	0.2667	16
171	1712750	9,28E+12	0.2667	17
172	1715400	9,28E+12	0.2667	18

173	1718050	9,28E+12	0.2667	19
174	1720700	9,28E+12	0.2667	20
175	1723350	9,28E+12	0.2667	21
176	1726000	9,28E+12	0.2667	22
177	1728650	9,28E+12	0.2667	23
178	1731300	9,28E+12	0.2667	24
179	1733950	9,28E+12	0.2667	25
180	1736600	9,28E+12	0.2667	26
181	1739250	9,28E+12	0.2667	27
182	1741900	9,28E+12	0.2667	28
183	1744550	9,28E+12	0.2667	29
184	1747200	9,28E+12	0.2667	30
185	1749850	9,28E+12	0.2667	31
186	1752500	9,28E+12	0.2667	32
187	1755150	9,28E+12	0.2667	33
188	1757800	9,28E+12	0.2667	34
189	1760450	9,28E+12	0.2667	35
190	1763100	9,28E+12	0.2667	36
191	1765750	9,28E+12	0.2667	37
192	1768400	9,28E+12	0.2667	38
193	1771050	9,28E+12	0.2667	39
194	1773700	9,28E+12	0.2667	40
195	1776350	9,28E+12	0.2667	41
196	1779000	9,28E+12	0.2667	42
197	1781650	9,28E+12	0.2667	43
198	1784300	9,28E+12	0.2667	44
199	1786950	9,28E+12	0.2667	45
200	1789600	9,28E+12	0.2667	46
201	1792250	9,28E+12	0.2667	47
202	1794900	9,28E+12	0.2667	48
203	1797550	9,28E+12	0.2667	49
204	1800200	9,28E+12	0.2667	50
205	1802850	9,28E+12	0.2667	51

Tabla AnexoC 0-7. Generaciones de algoritmo genético en cálculo 1 en Matlab.

“Optimization terminated: stall generations limit exceeded but constraints are not satisfied.”

L	392.8372 [m]
D	29.1135 [m]
B	45 [m]
C _B	0.6262
Coste de construcción	92,770,194.734 \$

Tabla AnexoC0-8. Resultados variables de algoritmo genético en cálculo 1.

En este caso, el programa ha tardado varios minutos en generar una solución, que no cumple con las restricciones del programa, ya que se ha excedido el límite de generaciones predeterminadas por Matlab (50). Se podría pensar en modificar ese límite,

pero supondría muchos minutos más de cálculo, mientras que, en el caso del epígrafe 1, los resultados fueron obtenidos en cuestión de segundos. Es por ello que se concluye que los límites tomados en esta ocasión no son los adecuados. En el siguiente punto se ha vuelto a recalcular reduciendo más el rango de los límites.

b) Cálculo 2. Límite superior e inferior al 20% de las dimensiones de entrada del buque base.

En este caso se establece el límite inferior y superior para el cálculo de las dimensiones con un margen del 20% de variabilidad con respecto a las del buque base, como se muestra a continuación:

$$\begin{aligned} \text{Límite inferior variables} &= [L_{\text{base}}-20\%L_{\text{base}} \quad B_{\text{base}}-20\%B_{\text{base}} \quad C_{\text{Bbase}}-20\%C_{\text{Bbase}}], \\ \text{Límite superior variables} &= [L_{\text{base}}+20\%L_{\text{base}} \quad B_{\text{base}}+20\%B_{\text{base}} \quad C_{\text{Bbase}}+20\%C_{\text{Bbase}}]. \end{aligned}$$

Con estos límites fijados, el algoritmo genético realiza las generaciones mostradas en la Figura AnexoC0-8.

```

      Generation  Func-count      Best          Max          Stall
                    f(x)      Constraint  Generations
    201         1931450  7.22136e+07      0.1458         47
    202         1934100  7.22136e+07      0.1458         48
    203         1936750  7.22136e+07      0.1458         49
    204         1939400  7.22136e+07      0.1458         50
    205         1942050  7.22136e+07      0.1458         51
Optimization terminated: stall generations limit exceeded
but constraints are not satisfied.
  
```

Figura AnexoC0-8. Generaciones del algoritmo genético en cálculo 2 en Matlab.

Posteriormente, se han obtenido los resultados mostrados en la Tabla AnexoC0-9.

L	313.5160 [m]
D	27.0660 [m]
B	45 [m]
C _B	0.7416
Coste de construcción	72,213,635.189 \$

Tabla AnexoC0-9. Resultados variables de algoritmo genético en cálculo 2.

De nuevo, como en el caso anterior, el programa ha tardado varios minutos en generar una solución, que no cumple con las restricciones y se ha excedido el límite de generaciones predeterminadas por Matlab. A pesar de ser un rango más cerrado, el programa no converge, por lo que se concluye que los límites tomados en esta ocasión tampoco son los adecuados. En el siguiente punto se ha vuelto a recalcular reduciendo más el rango de los límites. Se han realizado más cálculos con la misma configuración, y se ha comprobado que es difícil encontrar un límite a priori que además pueda ajustarse a cualquier tipo y tamaño de buque.

c) Cálculo 3. Límite superior e inferior al 10% de las dimensiones de entrada del buque base.

En este tercer epígrafe se establece el límite inferior y superior para el cálculo de las dimensiones con un margen del 10% de variabilidad con respecto a las del buque base, como se muestra a continuación:

$$\begin{aligned} \text{Límite inferior variables} &= [L_{\text{base}}-10\%L_{\text{base}} \quad B_{\text{base}}-10\%B_{\text{base}} \quad C_{B_{\text{base}}}-10\%C_{B_{\text{base}}}], \\ \text{Límite superior variables} &= [L_{\text{base}}+10\%L_{\text{base}} \quad B_{\text{base}}+10\%B_{\text{base}} \quad C_{B_{\text{base}}}+10\%C_{B_{\text{base}}}], \end{aligned}$$

Con estos límites fijados, el algoritmo genético realiza las generaciones mostradas en la Figura AnexoC0-9.

```

      Best      Max      Stall
Generation Func-count f(x) Constraint Generations
  201      1761950 6.48036e+07 0.05728 47
  202      1764600 6.48036e+07 0.05728 48
  203      1767250 6.48036e+07 0.05728 49
  204      1769900 6.48036e+07 0.05728 50
  205      1772550 6.48036e+07 0.05728 51
Optimization terminated: stall generations limit exceeded
but constraints are not satisfied.

```

Figura AnexoC0-9. Generaciones del algoritmo genético en cálculo 3 en Matlab.

Posteriormente, se han obtenido los resultados mostrados en la Tabla AnexoC0-10.

L	284.3657 [m]
D	25.1013[m]
B	45 [m]
C _B	0.8009
Coste de construcción	64,803,566.631 \$

Tabla AnexoC0-10. Resultados de variables del algoritmo genético en cálculo 3.

Se observa un resultado más coherente, pero las tolerancias impuestas en las restricciones siguen sin cumplirse.

Sin embargo, se ha vuelto a realizar otro cálculo con la misma configuración, y al comenzar el algoritmo desde otro punto, sí es capaz de encontrar el valor de las variables que satisfacen las restricciones (ver Figura AnexoC0-10).

```

      Best      Max      Stall
Generation Func-count f(x) Constraint Generations
  1          2680 5.97727e+07 1.164e-10 0
  2          5430 5.99346e+07 365.3 0
  3          8280 5.97888e+07 3.65 0
  4         11380 5.97887e+07 0.0362 0
  5         14230 5.97887e+07 0.0005947 0
Optimization terminated: average change in the fitness value less than options.FunctionTolerance
and constraint violation is less than options.ConstraintTolerance.

```

Figura AnexoC0-10. Generaciones del algoritmo genético en cálculo 3 secundario en Matlab.

d) Cálculo 4. Límites de cero a infinito.

Por último, se han establecido los límites de las variables para el cálculo de las dimensiones con un margen de variabilidad “total” en el campo numérico positivo, como se muestra a continuación:

Límite inferior variables = [0.001 0.001 0.3],
 Límite superior variables = [inf inf inf].

Con estos límites fijados, el algoritmo genético realiza las generaciones mostradas en la Figura AnexoC0-11.

Generation	Func-count	Best f(x)	Max Constraint	Stall Generations
1	2924	5.75192e+07	0.008773	0
2	8474	5.80076e+07	1600	0
3	11824	5.75218e+07	16.01	0
4	15604	5.9089e+07	2.91e-09	0
5	19954	5.9089e+07	0.0016	0
6	23254	5.9089e+07	1.593e-05	0

Optimization terminated: average change in the fitness value less than options.FunctionTolerance and constraint violation is less than options.ConstraintTolerance.

Figura AnexoC0-11. Generaciones del algoritmo genético en cálculo 4 en Matlab.

Finalmente, se han obtenido los resultados mostrados en la Tabla AnexoC0-11.

L	259.4936 [m]
D	24.9434 [m]
B	45 [m]
C _B	0.8650
Coste de construcción	59,088,950.798 \$

Tabla AnexoC0-11. Resultados de variables del algoritmo genético en cálculo 4.

Se ha comprobado que, ajustando un rango amplio, “sin límites”, el programa es capaz de optimizar el problema (ver Cálculo 4 - Tabla AnexoC0-12). De esta forma, se consigue un rango aplicable para cualquier tipo de buque, evitando de este modo los fallos derivados de la dificultad para ajustar bien los límites, tal y como se ha mostrado en los apartados a), b) y c) (ver Cálculo 1, 2 y 3 - Tabla AnexoC0-12).

Resultados				
	Cálculo 1	Cálculo 2	Cálculo 3	Cálculo 4
Límite inferior	dim - 50%dim	dim - 20%dim	dim - 10%dim	[0.001 0.001 0.3]
Límite superior	dim + 50%dim	dim + 20%dim	dim + 10%dim	[inf inf inf]
L	392.8372 [m]	313.5160 [m]	284.3657 [m]	259.4936 [m]
D	29.1135 [m]	27.0660 [m]	25.1013[m]	24.9434 [m]
B	45 [m]	45 [m]	45 [m]	45 [m]
CB	0.6262	0.7416	0.8009	0.8650
Coste \$	92,770,194.734	72,213,635.189	64,803,566.631	59,088,950.798
Tiempo CPU	T > 3 min.	T > 3 min.	T > 3 min.	T < 3 min.
¿Restricciones cumplen tolerancia?	No	No	No	Si

Tabla AnexoC0-12. Comparativa de resultados en diferentes cálculos mediante cambio de límites inferior y superiores de variables.

3. Parámetros de parada del algoritmo.

a) Cálculo 1. Se disminuye la tolerancia en la función objetivo y las restricciones.

Aún habiendo disminuido la tolerancia en la función objetivo y las restricciones, tal y como se muestra en la Figura AnexoC0-12, el algoritmo es capaz de encontrar una solución.

```
ga options:

Set properties:
    ConstraintTolerance: 1.0000e-06
    Display: 'iter'
    FunctionTolerance: 1.0000e-12

Default properties:
    CreationFcn: @gacreationuniform
    CrossoverFcn: @crossoverScattered
    CrossoverFraction: 0.8000
    EliteCount: '0.05*PopulationSize'
    FitnessLimit: -Inf
    FitnessScalingFcn: @fitscalingrank
    HybridFcn: []
    InitialPopulationMatrix: []
    InitialPopulationRange: []
    InitialScoresMatrix: []
    MaxGenerations: '100*numberOfVariables'
    MaxStallGenerations: 50
    MaxStallTime: Inf
    MaxTime: Inf
    MutationFcn: {@mutationgaussian [1] [1]}
    NonlinearConstraintAlgorithm: 'auglag'
    OutputFcn: []
    PlotFcn: []
    PopulationSize: '50 when numberOfVariables <= 5, else 200'
    PopulationType: 'doubleVector'
    SelectionFcn: @selectionstochunif
    UseParallel: 0
    UseVectorized: 0
```

Figura AnexoC0-12. Propiedades del algoritmo genético en Matlab modificadas para el cálculo 1.

Con las nuevas tolerancias fijadas, el algoritmo genético realiza las generaciones mostradas en la Figura AnexoC0-13.

Generation	Func-count	Best f(x)	Max Constraint	Stall Generations
1	2935	5.75504e+07	0.00859	0
2	9285	5.79575e+07	1600	0
3	12035	5.78758e+07	16.01	0
4	15065	5.9089e+07	1.222e-08	0
5	19615	5.90889e+07	0.001599	0
6	22765	5.90889e+07	1.72e-05	0
7	27415	5.90889e+07	2.818e-07	0
8	30015	5.90889e+07	2.818e-07	1

Optimization terminated: average change in the fitness value less than options.FunctionTolerance and constraint violation is less than options.ConstraintTolerance.

Figura AnexoC0-13. Generaciones del algoritmo genético en cálculo 1 en Matlab.

Con estas generaciones, el algoritmo ha obtenido los resultados mostrados en la Tabla AnexoC0-13.

L	259.4936 [m]
D	24.9434 [m]
B	45 [m]
C _B	0.8650
Coste de construcción	59,088,950.798 \$

Tabla AnexoC0-13. Resultados variables de algoritmo genético en cálculo 1.

b) Cálculo 2. Se disminuye aún más la tolerancia en la función objetivo y las restricciones.

En este segundo cálculo se ha configurado de modo aún más restrictivo la tolerancia en las variables y la función objetivo, como se muestra en la Figura AnexoC0-14.

```
ga options:
Set properties:
ConstraintTolerance: 1.0000e-12
Display: 'iter'
FunctionTolerance: 1.0000e-24
```

Figura AnexoC0-14. Propiedades del algoritmo genético en Matlab modificadas para el cálculo 2.

Con las nuevas tolerancias fijadas, el algoritmo genético realiza las generaciones que se muestran en la Figura AnexoC0-15.

```

Best      Max      Stall
Generation Func-count f(x)      Constraint Generations
181      527843  5.90892e+07  2.033e-05  46
182      530493  5.90892e+07  2.033e-05  47
183      533143  5.90892e+07  2.033e-05  48
184      535793  5.90892e+07  2.033e-05  49
185      538443  5.90892e+07  2.033e-05  50
186      541093  5.90892e+07  2.033e-05  51
Optimization terminated: stall generations limit exceeded
but constraints are not satisfied.
```

Figura AnexoC0-15. Generaciones del algoritmo genético en cálculo 2 en Matlab.

Con estas generaciones, el algoritmo ha obtenido los resultados mostrados en la Tabla AnexoC0-14.

L	259.4939 [m]
D	24.9442 [m]
B	45 [m]
C _B	0.8650
Coste de construcción	59,089,200.825 \$

Tabla AnexoC0-14. Resultados variables del algoritmo genético en cálculo 2.

En este caso, al haber disminuido aún más las tolerancias, el algoritmo ya no es capaz de encontrar una solución que cumpla con las mismas. Por lo que disminuir las tolerancias demasiado no siempre aporta un beneficio al software, ya que puede dificultar la búsqueda de la solución en problemas de alta complejidad.

c) Cálculo 3. Aumento del número de generaciones cuando el cambio relativo medio en el valor de la función de aptitud sea inferior al valor preestablecido.

En esta ocasión, se ha aumentado a 100 (ver Figura AnexoC0-16) el número de generaciones cuando el cambio relativo medio en el valor de la función de aptitud sea inferior al valor preestablecido.

```
ga options:
Set properties:
    Display: 'iter'
    MaxStallGenerations: 100
```

Figura AnexoC0-16. Propiedades del algoritmo genético en Matlab modificadas para el cálculo 3.

Con esta nueva configuración, el algoritmo genético ha realizado las generaciones que se muestran en la Figura AnexoC0-17.

```

Generation  Func-count      Best          Max          Stall
           1          5397  5.76545e+07  0.007983    0
           2         11047  5.8047e+07  1600        0
           3         16697  5.75179e+07  15.99       0
           4         22127  5.9089e+07  1.167e-07   0
           5         28227  5.9089e+07  0.001601    0
           6         37927  5.9089e+07  1.601e-05   0
Optimization terminated: average change in the fitness value less than options.FunctionTolerance
and constraint violation is less than options.ConstraintTolerance.
```

Figura AnexoC0-17. Generaciones del algoritmo genético en cálculo 3 en Matlab.

A partir de estas generaciones, el algoritmo ha obtenido los resultados que se muestran en la Tabla AnexoC0-15.

L	259.4936 [m]
D	24.9435 [m]
B	45 [m]
C _B	0.8650
Coste de construcción	59,088,951.044 \$

Tabla AnexoC0-15. Resultados variables del algoritmo genético en cálculo 3.

En esta ocasión se puede observar que no ha tenido influencia el cambio realizado, ya que el algoritmo ha encontrado la solución con pocas generaciones.

d) Cálculo 4. Aumento del número de generaciones cuando el cambio relativo medio en el valor de la función de aptitud sea inferior al valor preestablecido, y añadiendo límite inferior y superior al 10% de las dimensiones de entrada del buque base.

En este cuarto cálculo se busca estudiar la influencia de un aumento del número de generaciones cuando el cambio relativo medio en el valor de la función de aptitud sea inferior al valor preestablecido si además se imponen unos límites más restrictivos en las variables. Las generaciones y límites utilizados se muestran a continuación:

$$\begin{aligned} & \text{MaxStallGenerations} = 100, \\ & \text{Límite inferior variables} = [L_{\text{base}} - 10\% L_{\text{base}} \quad B_{\text{base}} - 10\% B_{\text{base}} \quad C_{B_{\text{base}}} - 10\% C_{B_{\text{base}}}], \\ & \text{Límite superior variables} = [L_{\text{base}} + 10\% L_{\text{base}} \quad B_{\text{base}} + 10\% B_{\text{base}} \quad C_{B_{\text{base}}} + 10\% C_{B_{\text{base}}}], \end{aligned}$$

Con esta nueva configuración, el algoritmo genético ha realizado las generaciones que se muestran en la Figura AnexoC0-18.

```

Generation  Func-count      Best          Max          Stall
              f(x)      Constraint  Generations
1             5180  5.97727e+07  8.731e-11     0
2            10380  5.99278e+07    365.4        0
3            15730  5.97762e+07    3.739        0
4            21430  5.97752e+07    0.03669      0
5            26830  5.97752e+07    0.0005244    0
Optimization terminated: average change in the fitness value less than options.FunctionTolerance
and constraint violation is less than options.ConstraintTolerance.

```

Figura AnexoC0-18. Generaciones del algoritmo genético en cálculo 4 en Matlab.

A partir de estas generaciones, el algoritmo ha obtenido los resultados que se muestran en la Tabla AnexoC0-16.

L	262.8273 [m]
D	24.6481 [m]
B	45 [m]
C _B	0.8553
Coste de construcción	59,775,166.859 \$

Tabla AnexoC0-16. Resultados variables del algoritmo genético en cálculo 4.

En el caso anterior se ha visto como, a veces, el programa era capaz de encontrar una solución óptima en cuestión de segundos, mientras que otras veces no llegaba a converger, por lo que se ha vuelto a recalcular en varias ocasiones para conocer las diferentes situaciones que se pueden obtener. Se comparan los precios del coste de construcción (ver Tabla AnexoC0-16) con la solución anterior (ver Tabla AnexoC0-15) y, aunque es apto, la otra solución es más rápida y más minimizada.

Volviendo a iterar, nos encontramos con que, en esta ocasión, el algoritmo no es capaz de hallar la solución que cumpla las restricciones con la tolerancia predeterminada (ver Figura AnexoC0-19). Aún aumentando el número de generaciones, no es capaz de converger, y además el tiempo de computo se ha incrementado considerablemente.

```

Generation  Func-count      Best          Max          Stall
              f(x)      Constraint  Generations
241          2693330  5.99011e+07  0.001325     87
242          2698480  5.99011e+07  0.001325     88
243          2703630  5.99011e+07  0.001325     89
244          2708780  5.99011e+07  0.001325     90
245          2713930  5.99011e+07  0.001325     91
246          2719080  5.99011e+07  0.001325     92
247          2724230  5.99011e+07  0.001325     93
248          2729380  5.99011e+07  0.001325     94
249          2734530  5.99011e+07  0.001325     95
250          2739680  5.99011e+07  0.001325     96
251          2744830  5.99011e+07  0.001325     97
252          2749980  5.99011e+07  0.001325     98
253          2755130  5.99011e+07  0.001325     99
254          2760280  5.99011e+07  0.001325    100
255          2765430  5.99011e+07  0.001325    101
Optimization terminated: stall generations limit exceeded
but constraints are not satisfied.

```

Figura AnexoC0-19. Generaciones del algoritmo genético en cálculo 4 secundario en Matlab.

A partir de estas generaciones, el algoritmo ha obtenido los resultados que se muestran en la Tabla AnexoC0-17.

L	263.4071 [m]
D	24.6259 [m]
B	45 [m]
C _B	0.8537
Coste de construcción	59,901,100.061 \$

Tabla AnexoC0-17. Resultados variables del algoritmo genético en cálculo 4 secundario.

Con estas especificaciones el programa necesita mucho más tiempo de CPU y además no es capaz de converger, por lo que se concluye que no se va a optar para el diseño del software por una subida del número de generaciones cuando el cambio relativo medio en el valor de la función de aptitud sea inferior al valor preestablecido.

En la Tabla AnexoC0-18 podemos ver que los mejores resultados, es decir, la función de coste más minimizada, se han obtenido cuando no se imponen límites restrictivos en las variables. Además, para este problema tampoco es necesario un aumento en el número de generaciones para obtener una solución más optimizada.

Resultados				
	Cálculo 1	Cálculo 2	Cálculo 3	Cálculo 4
Límite inferior	[0.001 0.001 0.3]	[0.001 0.001 0.3]	[0.001 0.001 0.3]	dim - 10%dim
Límite superior	[inf inf inf]	[inf inf inf]	[inf inf inf]	dim + 10%dim
ConstraintTolerance	10 ⁻⁶	10 ⁻¹²	10 ⁻³	10 ⁻³
FunctionTolerance	10 ⁻¹²	10 ⁻²⁴	10 ⁻⁶	10 ⁻⁶
Stall Generation	50	50	100	100
L	259.4936 [m]	259.4939 [m]	259.4936 [m]	263.4071 [m]
D	24.9434 [m]	24.9442 [m]	24.9435 [m]	24.6259 [m]
B	45 [m]	45 [m]	45 [m]	45 [m]
CB	0.8650	0.8650	0.8650	0.8537
Coste \$	59,088,950.798	59,089,200.825	59,088,951.044	59,901,100.061
Tiempo CPU	< 3 min.	> 3 min.	< 3 min.	> 5 min.
¿Restricciones cumplen tolerancia?	Si	No	Si	No

Tabla AnexoC0-18. Comparativa de resultados en diferentes cálculos mediante cambio de parámetros del algoritmo.

4. Punto de inicio de la población.

a) Cálculo 1. Usando las dimensiones del buque base como punto de inicio de la población.

Ya que el buque de diseño tendrá unas dimensiones bastante similares a las del buque base, se ha propuesto como punto de inicio de la población los valores de las dimensiones del buque base al 90%, tal y como se muestra a continuación:

$$\text{Punto de inicio} = [90\%L_{\text{base}} \quad 90\%B_{\text{base}} \quad 90\%C_{\text{Bbase}}].$$

Con esta nueva configuración, el algoritmo genético ha realizado las generaciones que se muestran en la Figura AnexoC0-20. Y, con estas generaciones, se han obtenido los resultados que se muestran en la Tabla AnexoC0-19.

```

      Best      Max      Stall
Generation Func-count f(x)  Constraint Generations
1          2965  5.7605e+07  0.008272    0
2          8565  5.78455e+07  1600        0
3         12115  5.78607e+07  16.01       0
4         15190  5.9089e+07   2.628e-08   0
5         21890  5.90884e+07  0.0016      0
6         26940  5.90884e+07  2.072e-05   0
7         30290  5.90884e+07  2.073e-05   0
Optimization terminated: average change in the fitness value less than options.FunctionTolerance
and constraint violation is less than options.ConstraintTolerance.

```

Figura AnexoC0-20. Generaciones del algoritmo genético en cálculo 1 en Matlab.

L	259.49 [m]
D	24.9446 [m]
B	45 [m]
C _B	0.8650
Coste de construcción	59,088,444.496 \$

Tabla AnexoC0-19. Resultados variables del algoritmo genético en cálculo 1.

Se ha vuelto a calcular modificando el punto de inicio. Ya que el buque de diseño tendrá unas dimensiones bastante similares a las del buque base, se ha propuesto como punto de inicio directamente las dimensiones del buque.

$$\text{Punto de inicio} = [L_{\text{base}} \quad B_{\text{base}} \quad C_{B_{\text{base}}}]$$

A partir de este nuevo punto de inicio, el algoritmo genético ha realizado las generaciones que se muestran en la Figura AnexoC0-21.

```

      Best      Max      Stall
Generation Func-count f(x)  Constraint Generations
1          2935  5.75095e+07  0.008829    0
2          6435  5.79317e+07  1599        0
3          9335  5.78699e+07  16          0
4         12165  5.9089e+07   1.12e-08   0
5         16515  5.90889e+07  0.001598   0
6         21165  5.90889e+07  1.601e-05   0
Optimization terminated: average change in the fitness value less than options.FunctionTolerance
and constraint violation is less than options.ConstraintTolerance.

```

Figura AnexoC0-21. Generaciones del algoritmo genético en cálculo 1 secundario en Matlab.

Finalmente, para el punto de inicio anterior, se han obtenido los resultados que se muestran en la Tabla Anexo0-20.

L	259.4936 [m]
D	24.9434 [m]
B	45 [m]
C _B	0.8650
Coste de construcción	59,088,940.685 \$

Tabla Anexo0-20. Resultados variables del algoritmo genético en cálculo 1 secundario.

En ambos casos el algoritmo ha encontrado la solución. Por tanto, se tomará como punto de inicio para el software las dimensiones principales del buque base.

b) Cálculo 2. Dimensiones del buque base como punto de inicio de población, y límite superior e inferior al 50% de las dimensiones de entrada del buque base.

Para este segundo cálculo se toma la configuración inicial mostrada en las siguientes ecuaciones:

$$\begin{aligned} \text{Punto de inicio} &= [L_{\text{base}} \quad B_{\text{base}} \quad C_{\text{Bbase}}], \\ \text{Límite inferior variables} &= [L_{\text{base}}-50\%L_{\text{base}} \quad B_{\text{base}}-50\%B_{\text{base}} \quad C_{\text{Bbase}}-50\%C_{\text{Bbase}}], \\ \text{Límite superior variables} &= [L_{\text{base}}+50\%L_{\text{base}} \quad B_{\text{base}}+50\%B_{\text{base}} \quad C_{\text{Bbase}}+50\%C_{\text{Bbase}}]. \end{aligned}$$

En esta ocasión el algoritmo genético ha realizado las generaciones que se muestran en la Figura AnexoC0-21. Como vemos, para esta nueva configuración el algoritmo no converge hacia la solución.

```

Generation  Func-count      Best          Max          Stall
              f(x)          Constraint  Generations
201         1884700    9.17022e+07    0.3055       46
202         1887350    9.17022e+07    0.3055       47
203         1890000    9.17022e+07    0.3055       48
204         1892650    9.17022e+07    0.3055       49
205         1895300    9.17022e+07    0.3055       50
206         1897950    9.17022e+07    0.3055       51
Optimization terminated: stall generations limit exceeded
but constraints are not satisfied.

```

Figura AnexoC0-22. Generaciones del algoritmo genético en cálculo 2 en Matlab.

Los resultados que se han obtenido en este caso se muestran en la Tabla AnexoC0-21.

L	381.3731 [m]
D	33.7507 [m]
B	45 [m]
C _B	0.6460
Coste de construcción	91,702,236.0574 \$

Tabla AnexoC0-21. Resultados variables del algoritmo genético en cálculo 2.

c) Cálculo 3. Dimensiones del buque base como punto de inicio de la población, y límite superior e inferior al 20% de las dimensiones de entrada del buque base.

En este epígrafe se toma la configuración inicial mostrada en las siguientes ecuaciones:

$$\begin{aligned} \text{Punto de inicio} &= [L_{\text{base}} \quad B_{\text{base}} \quad C_{\text{Bbase}}], \\ \text{Límite inferior variables} &= [L_{\text{base}}-20\%L_{\text{base}} \quad B_{\text{base}}-20\%B_{\text{base}} \quad C_{\text{Bbase}}-20\%C_{\text{Bbase}}], \\ \text{Límite superior variables} &= [L_{\text{base}}+20\%L_{\text{base}} \quad B_{\text{base}}+20\%B_{\text{base}} \quad C_{\text{Bbase}}+20\%C_{\text{Bbase}}]. \end{aligned}$$

En esta ocasión el algoritmo genético ha realizado las generaciones que se muestran en la Figura AnexoC0-23. Como vemos, para esta nueva configuración el algoritmo si es capaz de converger.

```

Generation  Func-count      Best          Max          Stall
              f(x)          Constraint  Generations
21          256764    5.91286e+07    0.00606       0
22          271814    5.91287e+07    0.006045      0
23          286864    5.91288e+07    0.006037      0
24          301764    5.91895e+07    0.0009105     0
Optimization terminated: average change in the fitness value less than options.FunctionTolerance
and constraint violation is less than options.ConstraintTolerance.

```

Figura AnexoC0-23. Generaciones del algoritmo genético en cálculo 3 en Matlab.

Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla AnexoC0-22.

L	260.0258 [m]
D	24.8556 [m]
B	45 [m]
C _B	0.8634
Coste de construcción	59,189,494.361 \$

Tabla AnexoC0-22. Resultados variables del algoritmo genético en cálculo 3.

En este caso el algoritmo encuentra la solución en menor tiempo que en el apartado b). A continuación, se vuelve a iterar con las dimensiones del buque base al 90% como punto de inicio de población, y límite superior e inferior al 20% de las dimensiones de entrada del buque base.

$$\begin{aligned} \text{Punto de inicio} &= [90\%L_{\text{base}} \quad 90\%B_{\text{base}} \quad 90\%C_{\text{Bbase}}], \\ \text{Límite inferior variables} &= [L_{\text{base}}-20\%L_{\text{base}} \quad B_{\text{base}}-20\%B_{\text{base}} \quad C_{\text{Bbase}}-20\%C_{\text{Bbase}}], \\ \text{Límite superior variables} &= [L_{\text{base}}+20\%L_{\text{base}} \quad B_{\text{base}}+20\%B_{\text{base}} \quad C_{\text{Bbase}}+20\%C_{\text{Bbase}}]. \end{aligned}$$

En esta ocasión el algoritmo genético ha realizado las generaciones que se muestran en la Figura AnexoC0-24. Aumenta el tiempo de computación y no llega a converger.

```

      Best      Max      Stall
Generation  Func-count  f(x)  Constraint  Generations
  201         997913  5.92287e+07  0.002861    48
  202        1000563  5.92287e+07  0.002861    49
  203        1003213  5.92287e+07  0.002861    50
  204        1005863  5.92287e+07  0.002861    51
Optimization terminated: stall generations limit exceeded
but constraints are not satisfied.

```

Figura AnexoC0-24. Generaciones del algoritmo genético en cálculo 3 secundario en Matlab.

Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla AnexoC0-23.

L	260.0516 [m]
D	25.0063 [m]
B	45 [m]
C _B	0.8635
Coste de construcción	59,228,720.756 \$

Tabla AnexoC0-23. Resultados variables del algoritmo genético en cálculo 3 secundario.

d) Calculo 4. Dimensiones del buque base como punto de inicio de la población, y límite superior e inferior al 10% de las dimensiones de entrada del buque base.

En este punto se toma la configuración inicial mostrada en las siguientes ecuaciones:

$$\begin{aligned} \text{Punto de inicio} &= [L_{\text{base}} \quad B_{\text{base}} \quad C_{\text{Bbase}}], \\ \text{Límite inferior variables} &= [L_{\text{base}}-10\%L_{\text{base}} \quad B_{\text{base}}-10\%B_{\text{base}} \quad C_{\text{Bbase}}-10\%C_{\text{Bbase}}], \\ \text{Límite superior variables} &= [L_{\text{base}}+10\%L_{\text{base}} \quad B_{\text{base}}+10\%B_{\text{base}} \quad C_{\text{Bbase}}+10\%C_{\text{Bbase}}]. \end{aligned}$$

En esta ocasión el algoritmo genético ha realizado las generaciones que se muestran en la Figura AnexoC0-25.

```

Generation   Func-count      Best          Max          Stall
              1755300      6.5175e+07   0.05216     47
              1757950      6.5175e+07   0.05216     48
              1760600      6.5175e+07   0.05216     49
              1763250      6.5175e+07   0.05216     50
              1765900      6.5175e+07   0.05216     51
Optimization terminated: stall generations limit exceeded
but constraints are not satisfied.

```

Figura AnexoC0-25. Generaciones del algoritmo genético en cálculo 4 en Matlab.

Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla AnexoC0-24.

L	286.4276 [m]
D	24.6937 [m]
B	45 [m]
C _B	0.7957
Coste de construcción	65,174,989.082 \$

Tabla AnexoC0-24. Resultados variables del algoritmo genético en cálculo 4.

El programa no converge. Se vuelve a iterar con las dimensiones del buque base al 90% como punto de inicio de población, y límite superior e inferior al 10% de las dimensiones de entrada del buque base, pero no llega a converger en esta ocasión tampoco.

Finalmente, tras realizar los cuatro cálculos, podemos observar en la Tabla AnexoC0-25 que para obtener la función de coste más minimizada, es una buena estimación utilizar como punto de inicio las dimensiones del buque base. Además, se vuelve a verificar, como en la Tabla AnexoC0-12, que el programa es capaz de optimizar el problema de manera más eficaz configurando un rango amplio para los límites de las variables.

Resultados				
	Cálculo 1	Cálculo 2	Cálculo 3	Cálculo 4
Punto de inicio	[0.9L 0.9D 0.9C _B] _{base}	[L D C _B] _{base}	[L D C _B] _{base}	[L D C _B] _{base}
Límite inferior	[0.001 0.001 0.3]	dim - 50%dim	dim-20%dim	dim - 10%dim
Límite superior	[inf inf inf]	dim + 50%dim	dim+20%dim	dim + 10%dim
ConstraintTolerance	10 ⁻³	10 ⁻³	10 ⁻³	10 ⁻³
FunctionTolerance	10 ⁻⁶	10 ⁻⁶	10 ⁻⁶	10 ⁻⁶
Stall Generation	50	50	50	50
L	259.4936 [m]	381.3731 [m]	260.0258 [m]	263.3991 [m]
D	24.9434 [m]	33.7507 [m]	24.8556 [m]	24.7778 [m]
B	45 [m]	45 [m]	45 [m]	45 [m]
CB	0.8650	0.6460	0.8634	0.8539
Coste de construcción	59,088,940.685	91,702,236.057	59,189,494.361	59,933,632.395
Tiempo CPU	< 3 min.	> 3 min.	< 3 min.	> 3 min.
¿Restricciones cumplen tolerancia?	Si	No	Si	No

Tabla AnexoC0-25. Comparativa de resultados en diferentes cálculos mediante cambio de parámetros del algoritmo.

Portacontenedor 9,000 TEU (Referencia [35])

A continuación, se muestra otra alternativa para resolver la problemática en buques Portacontenedores, Ro-ro y Ro-pax. Como sabemos, en estos buques la manga y el puntal sufren saltos numéricos proporcionales al número de TEU o número de carriles. Esto reduce de manera drástica el número de generaciones posibles en los algoritmos empleados en el software para el problema de optimización empleado.

En Referencia [3] se recomienda, en este tipo de buques, realizar de forma manual una previsión de las dimensiones en función del buque base y la capacidad de carga del buque diseño. Una vez estimadas, entrar por prueba/error en las ecuaciones de peso y volumen hasta encontrar la solución adecuada.

Llevando este caso al software, tras probar el dimensionamiento del portacontenedor por el método implantado, no es capaz de converger. Esto es debido al alto grado de dificultad de la ecuación de volumen y peso por la brusca variabilidad en manga y puntal. Es por ello, que como alternativa y aplicación práctica a las recomendaciones en Referencia [3], se ha fijado la manga del buque diseño a la del buque base considerando que deseamos las mismas filas de contenedores. Después, para realizar prueba/error y estimar puntal y/o eslora, entramos en la ventana de buques de carga general, lo que nos permite dimensionar a partir del volumen de las bodegas y no mediante TEU que provoca ese salto numérico. Introducimos los datos de entrada como se muestra en la Figura AnexoC0-26 y fijamos la manga deseada para el buque diseño (en este caso, por ejemplo, se ha estimado análoga a la del buque base).

Datos de entrada					
Parámetros obligatorios					
Buque base:					
DWT (tn)	98888.250	Tdiseño (m)	15.000	Ws (tn)	33185.580
LWT (tn)	45305.750	Tescantillonado (m)	15.300	Wo (tn)	3912.380
Lpp (m)	318.400	Francobordo (m)	7.390	Wm (tn)	8207.790
B (m)	44.230	Derating Ratio	0.880	Cps (\$/tn)	1167.523
D (m)	26.410	Coef. Almiraztango	443.980	Cpo (\$/tn)	22091.678
Df (m)	26.440	Margen de mar (%)	10.000	Cpm (\$/tn)	2904.930
Cb	0.670	Engine Margin	0.850	NMCR (hp)	106090.000
		VCH (m3)	186383.000		
Buque diseño:					
DWT (tn)	100000.000	Tmax (m)	15.800		
VCH (m3)	187000.000	Vs (kn)	26.000		

Figura AnexoC0-26. Introducción de datos de entrada de un portacontenedor mediante volumen de la bodega de carga.

Se obtienen las dimensiones optimizadas para el puntal y la eslora tal y como podemos ver en la Figura AnexoC0-27.

Datos de salida	
Tdiseño (m)	15.800
Tescantillonado (m)	16.116
Lpp (m)	289.005
B (m)	44.230
D (m)	29.192
Cb	0.707
Coste de construcción (\$)	149001379.634
<input type="button" value="Borrar resultados"/> <input type="button" value="Dimensionar hélice"/>	

Figura AnexoC0-27. Resultados variables restringiendo la manga.

Como conclusión, en caso de no encontrar una convergencia por TEU (o ml. en el caso de los buques Ro-ro, Ro-pax), se recomienda estimar propiamente la manga y el puntal, usando estos valores como fijos para realizar las pruebas de testeo en ecuaciones de peso y volumen mediante el software.

Anexo D. Código de interfaz

1. Pantalla de Inicio.

```
classdef Inicio < matlab.apps.AppBase
    % Properties that correspond to app components
    properties (Access = public)
        InicioUIFigure    matlab.ui.Figure
        Fondo              matlab.ui.control.UIAxes
        SalirButton        matlab.ui.control.Button
        ContinuarButton    matlab.ui.control.Button
        Titulo1            matlab.ui.control.Label
        Autor              matlab.ui.control.Label
        Titulo2            matlab.ui.control.Label
        AutorLabel         matlab.ui.control.Label
    end
    methods (Access = private)
        % Code that executes after component creation
        function startupFcn(app)
            % Eliminar titulo y ejes de la grafica
            title(app.Fondo, []);
            xlabel(app.Fondo, []);
            ylabel(app.Fondo, []);
            app.Fondo.XAxis.TickLabels = {};
            app.Fondo.YAxis.TickLabels = {};
            % Poner imagen de fondo
            F=imshow('Fondo.png', 'parent', app.Fondo);
            % Limites de ejes
            app.Fondo.XLim = [0 F.XData(2)];
            app.Fondo.YLim = [0 F.YData(2)];
            screenSize=get(0, 'ScreenSize');
            % Posicionar interfaz en el centro de pantalla
            position=get(app.InicioUIFigure, 'Position');
            position(1)=(screenSize(3)-position(3))/2;
            position(2)=(screenSize(4)-position(4))/2;
            set(app.InicioUIFigure, 'Position', position);
        end
        % Button pushed function: SalirButton
        function SalirButtonPushed(app, event)
            close(gcf);
        end
        % Button pushed function: ContinuarButton
        function ContinuarButtonPushed(app, event)
            Seleccion;
            delete(app)
        end
    end
end
% App initialization and construction
methods (Access = private)
    % Create UIFigure and components
```

```

function createComponents(app)
    % Create InicioUIFigure
    app.InicioUIFigure = uifigure;
    app.InicioUIFigure.Position = [100 100 640 480];
    app.InicioUIFigure.Name = 'Inicio';
    % Create Fondo
    app.Fondo = uiaxes(app.InicioUIFigure);
    app.Fondo.FontSize = 8;
    app.Fondo.Position = [1 1 640 480];
    % Create SalirButton
    app.SalirButton = uibutton(app.InicioUIFigure, 'push');
    app.SalirButton.ButtonPushedFcn = createCallbackFcn(app,
@SalirButtonPushed, true);
    app.SalirButton.FontWeight = 'bold';
    app.SalirButton.FontColor = [0 0.451 0.7412];
    app.SalirButton.Position = [176 142 100 22];
    app.SalirButton.Text = 'Salir';
    % Create ContinuarButton
    app.ContinuarButton = uibutton(app.InicioUIFigure, 'push');
    app.ContinuarButton.ButtonPushedFcn = createCallbackFcn(app,
@ContinuarButtonPushed, true);
    app.ContinuarButton.FontWeight = 'bold';
    app.ContinuarButton.FontColor = [0 0.451 0.7412];
    app.ContinuarButton.Position = [394 142 100 22];
    app.ContinuarButton.Text = 'Continuar';
    % Create Titulo1
    app.Titulo1 = uilabel(app.InicioUIFigure);
    app.Titulo1.FontSize = 20;
    app.Titulo1.FontWeight = 'bold';
    app.Titulo1.FontColor = [1 1 1];
    app.Titulo1.Position = [54 389 572 29];
    app.Titulo1.Text = 'Creación de una herramienta de software
para calcular las';
    % Create Autor
    app.Autor = uilabel(app.InicioUIFigure);
    app.Autor.HorizontalAlignment = 'center';
    app.Autor.VerticalAlignment = 'center';
    app.Autor.FontSize = 14;
    app.Autor.FontAngle = 'italic';
    app.Autor.FontColor = [1 1 1];
    app.Autor.Position = [176 48 318 31];
    app.Autor.Text = 'María Paz Montalvo Martín de Almagro';
    % Create Titulo2
    app.Titulo2 = uilabel(app.InicioUIFigure);
    app.Titulo2.FontSize = 20;
    app.Titulo2.FontWeight = 'bold';
    app.Titulo2.FontColor = [1 1 1];
    app.Titulo2.Position = [147 354 375 26];
    app.Titulo2.Text = 'dimensiones principales de un buque.';
    % Create AutorLabel
    app.AutorLabel = uilabel(app.InicioUIFigure);
    app.AutorLabel.FontSize = 14;
    app.AutorLabel.FontAngle = 'italic';
    app.AutorLabel.FontColor = [1 1 1];

```

```

        app.AutorLabel.Position = [313 86 43 18];
        app.AutorLabel.Text = 'Autor: ';
    end
end
methods (Access = public)
    % Construct app
    function app = Inicio
        % Create and configure components
        createComponents(app)
        % Register the app with App Designer
        registerApp(app, app.InicioUIFigure)
        % Execute the startup function
        runStartupFcn(app, @startupFcn)
        if nargin == 0
            clear app
        end
    end
end
    % Code that executes before app deletion
    function delete(app)
        % Delete UIFigure when app is deleted
        delete(app.InicioUIFigure)
    end
end
end
end

```

2. Pantalla de Selección.

```

classdef Seleccion < matlab.apps.AppBase
    % Properties that correspond to app components
    properties (Access = public)
        SeleccindebuqueUIFigure    matlab.ui.Figure
        Fondo                      matlab.ui.control.UIAxes
        Seleccion_buque            matlab.ui.container.ButtonGroup
        BulkcarrierButton          matlab.ui.control.RadioButton
        BuquedecargageneralButton  matlab.ui.control.RadioButton
        PetroleroButton            matlab.ui.control.RadioButton
        LNGLPGButton               matlab.ui.control.RadioButton
        QuimiqueroButton           matlab.ui.control.RadioButton
        RoroButton_2                matlab.ui.control.RadioButton
        RopaxButton_2              matlab.ui.control.RadioButton
        PortacontenedorButton      matlab.ui.control.RadioButton
        AtrasButton                matlab.ui.control.Button
        ContinuarButton             matlab.ui.control.Button
    end
    properties (Access = private)
        Dimensionamiento
        tipodebuque
    end
    methods (Access = private)
        % Code that executes after component creation
        function startupFcn(app)
            % Eliminar titulo y ejes de la grafica
            title(app.Fondo, []);
        end
    end
end

```

```

xlabel(app.Fondo, []);
ylabel(app.Fondo, []);
app.Fondo.XAxis.TickLabels = {};
app.Fondo.YAxis.TickLabels = {};
% Poner imagen de fondo
F=imshow('Fondo.png','parent',app.Fondo);
% Limites de ejes
app.Fondo.XLim = [0 F.XData(2)];
app.Fondo.YLim = [0 F.YData(2)];
screenSize=get(0,'ScreenSize');
% Posicionar interfaz en el centro de pantalla
position=get(app.SeleccindebuqueUIFigure,'Position');
position(1)=(screenSize(3)-position(3))/2;
position(2)=(screenSize(4)-position(4))/2;
set(app.SeleccindebuqueUIFigure,'Position',position);
end
% Button pushed function: AtrasButton
function AtrasButtonPushed(app, event)
    Inicio;
    delete(app)
end
% Button pushed function: ContinuarButton
function ContinuarButtonPushed(app, event)
    app.tipodebuque=0;
    if app.Seleccion_buque.SelectedObject==app.BulkcarrierButton
        app.tipodebuque=1;
    elseif
app.Seleccion_buque.SelectedObject==app.BuquedecargageneralButton
        app.tipodebuque=3;
    elseif app.Seleccion_buque.SelectedObject==app.PetroleroButton
        app.tipodebuque=2;
    elseif app.Seleccion_buque.SelectedObject==app.LNGLPGButton
        app.tipodebuque=4;
    elseif app.Seleccion_buque.SelectedObject==app.QuimiqueroButton
        app.tipodebuque=5;
    elseif app.Seleccion_buque.SelectedObject==app.RoroButton_2
        app.tipodebuque=6;
    elseif app.Seleccion_buque.SelectedObject==app.RopaxButton_2
        app.tipodebuque=7;
    elseif
app.Seleccion_buque.SelectedObject==app.PortacontenedorButton
        app.tipodebuque=8;
    end
    app.Dimensionamiento=Dimensionamiento(app,app.tipodebuque);
    delete(app)
end
% Selection changed function: Seleccion_buque
function Seleccion_buqueSelectionChanged(app, event)
    selectedButton = app.Seleccion_buque.SelectedObject;
end
end
% App initialization and construction
methods (Access = private)
    % Create UIFigure and components

```

```

function createComponents(app)
    % Create SeleccindebuqueUIFigure
    app.SeleccindebuqueUIFigure = uifigure;
    app.SeleccindebuqueUIFigure.Position = [100 100 640 480];
    app.SeleccindebuqueUIFigure.Name = 'Selección de buque';
    % Create Fondo
    app.Fondo = uiaxes(app.SeleccindebuqueUIFigure);
    app.Fondo.Position = [1 1 640 480];
    % Create Seleccion_buque
    app.Seleccion_buque =
uibuttongroup(app.SeleccindebuqueUIFigure);
    app.Seleccion_buque.SelectionChangedFcn =
createCallbackFcn(app, @Seleccion_buqueSelectionChanged, true);
    app.Seleccion_buque.ForegroundColor = [0 0.451 0.7412];
    app.Seleccion_buque.TitlePosition = 'centertop';
    app.Seleccion_buque.Title = 'Seleccione el tipo de buque: ';
    app.Seleccion_buque.FontWeight = 'bold';
    app.Seleccion_buque.FontSize = 16;
    app.Seleccion_buque.Position = [190 149 284 253];
    % Create BulkcarrierButton
    app.BulkcarrierButton = uiradiobutton(app.Seleccion_buque);
    app.BulkcarrierButton.Text = 'Bulkcarrier';
    app.BulkcarrierButton.Position = [24 200 81 15];
    app.BulkcarrierButton.Value = true;
    % Create BuquedecargageneralButton
    app.BuquedecargageneralButton =
uiradiobutton(app.Seleccion_buque);
    app.BuquedecargageneralButton.Text = 'Buque de carga general';
    app.BuquedecargageneralButton.Position = [24 146 154 15];
    % Create PetroleroButton
    app.PetroleroButton = uiradiobutton(app.Seleccion_buque);
    app.PetroleroButton.Text = 'Petrolero';
    app.PetroleroButton.Position = [24 173 72 15];
    % Create LNGLPGButton
    app.LNGLPGButton = uiradiobutton(app.Seleccion_buque);
    app.LNGLPGButton.Text = 'LNG/LPG';
    app.LNGLPGButton.Position = [24 119 74 15];
    % Create QuimiqueroButton
    app.QuimiqueroButton = uiradiobutton(app.Seleccion_buque);
    app.QuimiqueroButton.Text = 'Quimiquero';
    app.QuimiqueroButton.Position = [24 92 86 15];
    % Create RoroButton_2
    app.RoroButton_2 = uiradiobutton(app.Seleccion_buque);
    app.RoroButton_2.Text = 'Ro-ro';
    app.RoroButton_2.Position = [24 66 53 15];
    % Create RopaxButton_2
    app.RopaxButton_2 = uiradiobutton(app.Seleccion_buque);
    app.RopaxButton_2.Text = 'Ro-pax';
    app.RopaxButton_2.Position = [24 40 62 15];
    % Create PortacontenedorButton
    app.PortacontenedorButton = uiradiobutton(app.Seleccion_buque);
    app.PortacontenedorButton.Text = 'Portacontenedor';
    app.PortacontenedorButton.Position = [24 14 113 15];
    % Create AtrasButton

```

```

        app.AtrasButton = uibutton(app.SeleccindebuqueUIFigure,
'push');
        app.AtrasButton.ButtonPushedFcn = createCallbackFcn(app,
@AtrasButtonPushed, true);
        app.AtrasButton.FontWeight = 'bold';
        app.AtrasButton.FontColor = [0 0.451 0.7412];
        app.AtrasButton.Position = [190 99 100 22];
        app.AtrasButton.Text = 'Atrás';
        % Create ContinuarButton
        app.ContinuarButton = uibutton(app.SeleccindebuqueUIFigure,
'push');
        app.ContinuarButton.ButtonPushedFcn = createCallbackFcn(app,
@ContinuarButtonPushed, true);
        app.ContinuarButton.FontWeight = 'bold';
        app.ContinuarButton.FontColor = [0 0.451 0.7412];
        app.ContinuarButton.Position = [380 99 100 22];
        app.ContinuarButton.Text = 'Continuar';
    end
end
methods (Access = public)
    % Construct app
    function app = Seleccion
        % Create and configure components
        createComponents(app)
        % Register the app with App Designer
        registerApp(app, app.SeleccindebuqueUIFigure)
        % Execute the startup function
        runStartupFcn(app, @startupFcn)
        if nargin == 0
            clear app
        end
    end
    % Code that executes before app deletion
    function delete(app)
        % Delete UIFigure when app is deleted
        delete(app.SeleccindebuqueUIFigure)
    end
end
end
end

```

3. Pantalla de Dimensionamiento de buque.

```

classdef Dimensionamiento < matlab.apps.AppBase
    % Properties that correspond to app components
    properties (Access = public)
        Fondo                                matlab.ui.Figure
        DatosdesalidaPanel                    matlab.ui.container.Panel
        DimensionarhliceButton                matlab.ui.control.StateButton
        LppmEditField_3Label                  matlab.ui.control.Label
        LppmEditField_3                       matlab.ui.control.NumericEditField
        BmEditField_3Label                    matlab.ui.control.Label
        BmEditField_3                         matlab.ui.control.NumericEditField
    end
end

```

DmEditField_3Label	matlab.ui.control.Label
DmEditField_3	matlab.ui.control.NumericEditField
CbEditField_3Label	matlab.ui.control.Label
CbEditField_3	matlab.ui.control.NumericEditField
CostedeconstruccinEditFieldLabel	matlab.ui.control.Label
CostedeconstruccinEditField	matlab.ui.control.NumericEditField
BorrarresultadosButton	matlab.ui.control.StateButton
TdiseomEditField_2Label_2	matlab.ui.control.Label
TdiseomEditField_2	matlab.ui.control.NumericEditField
TescantillonadomEditField_2Label	matlab.ui.control.Label
TescantillonadomEditField_2	matlab.ui.control.NumericEditField
Foto_buque	matlab.ui.control.UIAxes
DatosdeentradaPanel	matlab.ui.container.Panel
ParmetrosobligatoriosPanel_2	matlab.ui.container.Panel
BuquebasePanel	matlab.ui.container.Panel
DWTtnEditFieldLabel	matlab.ui.control.Label
DWTtnEditField	matlab.ui.control.NumericEditField
LWTtnEditFieldLabel	matlab.ui.control.Label
LWTtnEditField	matlab.ui.control.NumericEditField
LppmEditFieldLabel	matlab.ui.control.Label
LppmEditField	matlab.ui.control.NumericEditField
BmEditFieldLabel	matlab.ui.control.Label
BmEditField	matlab.ui.control.NumericEditField
DmEditFieldLabel	matlab.ui.control.Label
DmEditField	matlab.ui.control.NumericEditField
DfmEditFieldLabel	matlab.ui.control.Label
DfmEditField	matlab.ui.control.NumericEditField
CbEditField_4Label	matlab.ui.control.Label
CbEditField	matlab.ui.control.NumericEditField
NMCRhpEditField_2Label	matlab.ui.control.Label
NMCRhpEditField	matlab.ui.control.NumericEditField
WstnEditFieldLabel	matlab.ui.control.Label
WstnEditField	matlab.ui.control.NumericEditField
WotnEditFieldLabel	matlab.ui.control.Label
WotnEditField	matlab.ui.control.NumericEditField
WmtnEditFieldLabel	matlab.ui.control.Label
WmtnEditField	matlab.ui.control.NumericEditField
TdiseomEditField_2Label	matlab.ui.control.Label
TdiseomEditField	matlab.ui.control.NumericEditField
FrancobordomEditField_3Label	matlab.ui.control.Label
FrancobordomEditField	matlab.ui.control.NumericEditField
CpstnEditFieldLabel	matlab.ui.control.Label
CpstnEditField	matlab.ui.control.NumericEditField
CpotnEditFieldLabel	matlab.ui.control.Label
CpotnEditField	matlab.ui.control.NumericEditField
CpmtnEditFieldLabel	matlab.ui.control.Label
CpmtnEditField	matlab.ui.control.NumericEditField
DeratingRatioEditFieldLabel	matlab.ui.control.Label
DeratingRatioEditField	matlab.ui.control.NumericEditField
CoefAlmiraztangoEditFieldLabel	matlab.ui.control.Label
CoefAlmiraztangoEditField	matlab.ui.control.NumericEditField
MargendemarEditFieldLabel	matlab.ui.control.Label
MargendemarEditField	matlab.ui.control.NumericEditField
EngineMarginEditFieldLabel	matlab.ui.control.Label

```

EngineMarginEditField      matlab.ui.control.NumericEditField
TextArea                   matlab.ui.control.TextArea
VCHm3EditField             matlab.ui.control.NumericEditField
TescantillonadomEditFieldLabel matlab.ui.control.Label
TescantillonadomEditField  matlab.ui.control.NumericEditField
TextArea_3                 matlab.ui.control.TextArea
Dpasaje                    matlab.ui.control.NumericEditField
Dpasaje_2                  matlab.ui.control.NumericEditField
BuquediseoPanel           matlab.ui.container.Panel
DWTtnEditField_2Label     matlab.ui.control.Label
DWTtnEditField_2          matlab.ui.control.NumericEditField
VCHm3EditField_2          matlab.ui.control.NumericEditField
TmaxmEditFieldLabel       matlab.ui.control.Label
TmaxmEditField             matlab.ui.control.NumericEditField
VsknEditFieldLabel        matlab.ui.control.Label
VsknEditField              matlab.ui.control.NumericEditField
TextArea_2                 matlab.ui.control.TextArea
TipodevehiculosButtonGroup matlab.ui.container.ButtonGroup
CocheButton                 matlab.ui.control.RadioButton
TrailerButton               matlab.ui.control.RadioButton
MixtoButton                 matlab.ui.control.RadioButton
ParmetrosopcionalesPanel  matlab.ui.container.Panel
RequisitosdediseoPanel    matlab.ui.container.Panel
LppmEditField_2Label      matlab.ui.control.Label
LppmEditField_2           matlab.ui.control.NumericEditField
BmEditField_2Label        matlab.ui.control.Label
BmEditField_2              matlab.ui.control.NumericEditField
DmEditField_2Label        matlab.ui.control.Label
DmEditField_2              matlab.ui.control.NumericEditField
CbEditField_2Label        matlab.ui.control.Label
CbEditField_2              matlab.ui.control.NumericEditField
AtrsButton                  matlab.ui.control.Button
CalcularButton              matlab.ui.control.Button
AyudaButton                 matlab.ui.control.Button
BorrarButton                matlab.ui.control.Button
Titulo                       matlab.ui.control.TextArea
end

```

```

properties (Access = public)
    L0=optimvar('L0')
    B0=optimvar('B0')
    D0=optimvar('D0')
    CB0=optimvar('CB0')
    x=optimvar('x',4)
    x3=optimvar('x3',3)
    x2=optimvar('x2',2)
    x1=optimvar('x1',1)
    tipobuque %propiedad para codificar tipo de buque
    tipovehiculo %propiedad para codificar tipo de vehiculo a
transportar
    %%Datos de entrada
    %%Variables de entrada del buque base
    DWT_B

```

```

LWT_B
LBP_B
B_B
D_B
Df_B
D_pasaje
Td_B
Ts_B
CB_B
WS_B
WO_B
WM_B
NMCR_B_hp
NMCR_B
Cad_B
VCH_B
FB_B
CPS_B
CPO_B
CPM_B
Seamargin
DeratingRatio
EM
%Variables de entrada del buque de diseño
DWT
Vs
VCH
Tmax
%Variables de entrada de restricciones del buque de diseño
L_restriccion
B_restriccion
D_restriccion
CB_restriccion
%%Estimaciones en función del buque base
%Variables en ecuacion de peso
alpha
CS
CO
CMA
c1
%Variables en ecuación de volumen
CCH
%Variables en restriccion francobordo
CFB
CoefDf
Ts
end

properties (Access = private)
    Propulsor %propiedad para llevar datos a ventana 'Propulsor'
    CallingApp %propiedad para llamar ventana
end

methods (Access = public)

```

```

%%Función-error ventana para comprobar que todas las variables de
entrada se han introducido
function Er=error(app)
    texto1=sprintf('Rellene todos los Parámetros Obligatorios. ');
    errordlg(texto1,'Aviso del sistema');
end
%%Función-info ventana para comienzo del cálculo
function Inf=info(app)
    aviso=sprintf('Espere hasta obtener los datos de salida, en
ocasiones los cálculos pueden prolongarse hasta 6 minutos. ');
    helpdlg(aviso,'Información del sistema');
end
%%Función-error ventana para avisar de la no convergencia
function Er2=error2(app)
    texto=sprintf('No se encuentra un punto de convergencia. Revise
los datos de entrada del buque base y las restricciones en el buque de
diseño. Se muestran en la ventana de salida los resultados obtenidos en la
última generación. ');
    errordlg(texto,'Aviso del sistema');
end
%%Función-error ventana para comprobar que están las variables
necesarias para pasar a la siguiente ventana
function Er5=error5(app)
    texto5=sprintf('Se necesitan los Datos de Salida y ciertos
Parámetros Obligatorios para dimensionar el propulsor. ');
    errordlg(texto5,'Aviso del sistema');
end
%%Función de optimización y funciones de restricción
%%FUNCIONES SIN RESTRICCIONES DE DISEÑO
%Función a optimizar
function C = coste (app,x)
    %Variables de optimización
    app.L0=x(1);
    app.D0=x(2);
    app.CB0=x(3);
    app.B0=x(4);
    L=app.L0;
    D=app.D0;
    CB=app.CB0;
    B=app.B0;
    %Función de coste
    if app.tipobuque==6 %Ro-Ro
    if app.tipovehiculo==1 %coche
        app.D0=double(int64(x(2)))*2.3+1.5;
        app.B0=double(int64(x(4)))*2+5.5;
        D=app.D0;
        B=app.B0;
    else %trailer o mixto
        app.D0=double(int64(x(2)))*5.5+1.5;
        app.B0=double(int64(x(4)))*3+5.5;
        D=app.D0;
        B=app.B0;
    end
    elseif app.tipobuque==7 %Ro-Pax

```

```

if app.tipovehiculo==1 %coche
    app.D0=double(int64(x(2)))*2.3+1.5+app.D_B+app.D_pasaje;
    app.B0=double(int64(x(4)))*2+5.5;
    D=app.D0;
    B=app.B0;
else %trailer o mixto
    app.D0=double(int64(x(2)))*5.5+1.5+app.D_B+app.D_pasaje;
    app.B0=double(int64(x(4)))*3+5.5;
    D=app.D0;
    B=app.B0;
end
elseif app.tipobuque==8 %Portacontenedor
    app.D0=double(int64(x(2)))*2.64+2.3;
    app.B0=double(int64(x(4)))*2.45+1;
    D=app.D0;
    B=app.B0;
end

C=app.CPS_B*app.CS*(L^(1.6))*(B+D)+app.CPO_B*app.CO*L*B+app.CPM_B*app.CMA*(
app.c1*((1.025*L*B*CB*app.Tmax*(app.alpha))^(2/3))*((app.Vs^3)/app.Cad_B)
);

end
%Función de restricciones
function [c,ceq]=Restricciones(app,x)
    %Variables de optimización
    app.L0=x(1);
    app.D0=x(2);
    app.CB0=x(3);
    app.B0=x(4);
    L=app.L0;
    D=app.D0;
    CB=app.CB0;
    B=app.B0;
    %Funciones de igualdad y desigualdad no lineales
    c(1)=CB-0.7-0.125*(atan(23-
100*((0.5144*app.Vs)/(L*9.81)^(1/2))/4));
    c(2)=CB/(L/B)-0.15;
    c(3)=- (app.Tmax*(0.9-0.3*(1.006-0.0056*CB^-3.56)-
0.1*CB)+B*0.08*B/(app.Tmax*((1.006-0.0056*CB^(-3.56))^(1/2)))-
D*1.6/(L^0.2))+0.04*B;

ceq(1)=app.CS*(L^1.6)*(B+D)+app.CO*(L*B)+app.CMA*(app.c1/app.Cad_B)*(((1.02
5*L*B*CB*app.Tmax*(app.alpha))^(2/3))*((app.Vs^3))+app.DWT-
(1.025*L*B*CB*app.Tmax*(app.alpha)));
    if app.tipobuque==1 %Bulkcarrier
        c(4)=- (L/D)+10.5;
        c(5)=(L/B)-7.1;
        c(6)=- (L/B)+5;
        ceq(2)=(app.VCH/(L*B*D))-app.CCH;
    elseif app.tipobuque==2 %Petrolero
        c(4)=- (L/D)+10;
        c(5)=(L/B)-6.8;
        c(6)=- (L/B)+5;
        ceq(2)=(app.VCH/(L*B*D))-app.CCH;
    end
end

```

```

elseif app.tipobuque==3 %Carguero
    c(4)=-(L/D)+9.9;
    c(5)=(L/B)-7.8;
    c(6)=-(L/B)+4.5;
    ceq(2)=(app.VCH/(L*B*D))-app.CCH;
elseif app.tipobuque==4 %LNG/LPG
    c(4)=-(L/D)+10;
    c(5)=(L/B)-7;
    c(6)=-(L/B)+4.5;
    ceq(2)=(app.VCH/(L*B*D))-app.CCH;
elseif app.tipobuque==5 %Quimiquero
    c(4)=-(L/D)+10;
    c(5)=(L/B)-6.8;
    c(6)=-(L/B)+5;
    ceq(2)=(app.VCH/(L*B*D))-app.CCH;
elseif app.tipobuque==6 %Ro-Ro
    if app.tipovehiculo==1 %coche
        app.D0=double(int64(x(2)))*2.3+1.5;
        app.B0=double(int64(x(4)))*2+5.5;
        D=app.D0;
        B=app.B0;
    else %trailer o mixto
        app.D0=double(int64(x(2)))*5.5+1.5;
        app.B0=double(int64(x(4)))*3+5.5;
        D=app.D0;
        B=app.B0;
    end
    c(4)=-(L/D)+9.9;
    c(5)=(L/B)-6.2;
    c(6)=-(L/B)+5.2;
    ceq(2)=(app.VCH/(L*B*D))-app.CCH;
elseif app.tipobuque==7 %Ro-Pax
    if app.tipovehiculo==1 %coche

app.D0=double(int64(x(2)))*2.3+1.5+app.D_B+app.D_pasaje;
        app.B0=double(int64(x(4)))*2+5.5;
        D=app.D0;
        B=app.B0;
    else %trailer o mixto

app.D0=double(int64(x(2)))*5.5+1.5+app.D_B+app.D_pasaje;
        app.B0=double(int64(x(4)))*3+5.5;
        D=app.D0;
        B=app.B0;
    end
    c(4)=-(L/D)+8.6;
    c(5)=(L/B)-6.2;
    c(6)=-(L/B)+5.2;
    ceq(2)=(app.VCH/(L*B*D))-app.CCH;
elseif app.tipobuque==8 %Portacontenedor
    app.D0=double(int64(x(2)))*2.64+2.3;
    app.B0=double(int64(x(4)))*2.45+1;
    D=app.D0;
    B=app.B0;

```

```

c(2)=CB/(L/B)-0.15;
c(3)=-(app.Tmax*(0.9-0.3*(1.006-0.0056*CB^-3.56))-
0.1*CB)+B*0.08*B/(app.Tmax*((1.006-0.0056*CB^(-3.56))^(1/2)))-
D*1.6/(L^0.2))+0.04*B;

ceq(1)=app.CS*(L^1.6)*(B+D)+app.CO*(L*B)+app.CMA*(app.c1/app.Cad_B)*(((1.02
5*L*B*CB*app.Tmax*(app.alpha))^(2/3))*(app.Vs^3))+app.DWT-
(1.025*L*B*CB*app.Tmax*(app.alpha));
c(4)=-(L/(D*2.64+2.3))+9.9;
c(5)=(L/(B*2.45+1))-7.8;
c(6)=-(L/(B*2.45+1))+5.5;
ceq(2)=((app.VCH*38.54)/(L*B*D))-app.CCH*38.54;

end
end

```

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

```

%%FUNCIONES PARA COEFICIENTE DE BLOQUE RESTRINGIDO

```

```

%Función a optimizar

```

```

function C = coste_CB (app,x3)

```

```

    %Variables de optimización

```

```

    app.L0=x3(1);

```

```

    app.D0=x3(2);

```

```

    app.B0=x3(3);

```

```

    L=app.L0;

```

```

    D=app.D0;

```

```

    B=app.B0;

```

```

    CB=app.CB_restriccion;

```

```

    %Función de coste

```

```

    if app.tipobuque==6 %Ro-Ro

```

```

        if app.tipovehiculo==1 %coche

```

```

            app.D0=double(int64(x3(2)))*2.3+1.5;

```

```

            app.B0=double(int64(x3(3)))*2+5.5;

```

```

            D=app.D0;

```

```

            B=app.B0;

```

```

        else %trailer o mixto

```

```

            app.D0=double(int64(x3(2)))*5.5+1.5;

```

```

            app.B0=double(int64(x3(3)))*3+5.5;

```

```

            D=app.D0;

```

```

            B=app.B0;

```

```

        end

```

```

    elseif app.tipobuque==7 %Ro-Pax

```

```

        if app.tipovehiculo==1 %coche

```

```

            app.D0=double(int64(x3(2)))*2.3+1.5+app.D_B+app.D_pasaje;

```

```

            app.B0=double(int64(x3(3)))*2+5.5;

```

```

            D=app.D0;

```

```

            B=app.B0;

```

```

            else %trailer o mixto

```

```

            app.D0=double(int64(x3(2)))*5.5+1.5+app.D_B+app.D_pasaje;

```

```

            app.B0=double(int64(x3(3)))*3+5.5;

```

```

            D=app.D0;

```

```

            B=app.B0;

```

```

        end

```

```

elseif app.tipobuque==8 %Portacontenedor
app.D0=double(int64(x3(2)))*2.64+2.3;
app.B0=double(int64(x3(3)))*2.45+1;
D=app.D0;
B=app.B0;
end

C=app.CPS_B*app.CS*(L^(1.6))*(B+D)+app.CPO_B*app.CO*L*B+app.CPM_B*app.CMA*(
app.c1*((1.025*L*B*CB*app.Tmax*(app.alpha))^(2/3))*((app.Vs)^3)/app.Cad_B)
);

end
%Función de restricciones
function [c,ceq]=Restricciones_CB(app,x3)
%Variables de optimización
app.L0=x3(1);
app.D0=x3(2);
app.B0=x3(3);
L=app.L0;
D=app.D0;
B=app.B0;
CB=app.CB_restriccion;
%Funciones de igualdad y desigualdad no lineales
c(1)=CB-0.7-0.125*(atan(23-
100*((0.5144*app.Vs)/(L*9.81)^(1/2))/4));
c(2)=CB/(L/B)-0.15;
c(3)=- (app.Tmax*(0.9-0.3*(1.006-0.0056*CB^-3.56)-
0.1*CB)+B*0.08*B/(app.Tmax*((1.006-0.0056*CB^(-3.56))^(1/2))))-
D*1.6/(L^0.2))+0.04*B;

ceq(1)=app.CS*(L^1.6)*(B+D)+app.CO*(L*B)+app.CMA*(app.c1/app.Cad_B)*(((1.02
5*L*B*CB*app.Tmax*(app.alpha))^(2/3))*((app.Vs^3))+app.DWT-
(1.025*L*B*CB*app.Tmax*(app.alpha)));
if app.tipobuque==1 %Bulkcarrier
c(4)=- (L/D)+10.5;
c(5)=(L/B)-7.1;
c(6)=- (L/B)+5;
ceq(2)=(app.VCH/(L*B*D))-app.CCH;
elseif app.tipobuque==2 %Petrolero
c(4)=- (L/D)+10;
c(5)=(L/B)-6.8;
c(6)=- (L/B)+5;
ceq(2)=(app.VCH/(L*B*D))-app.CCH;
elseif app.tipobuque==3 %Carguero
c(4)=- (L/D)+9.9;
c(5)=(L/B)-7.8;
c(6)=- (L/B)+4.5;
ceq(2)=(app.VCH/(L*B*D))-app.CCH;
elseif app.tipobuque==4 %LNG/LPG
c(4)=- (L/D)+10;
c(5)=(L/B)-7;
c(6)=- (L/B)+4.5;
ceq(2)=(app.VCH/(L*B*D))-app.CCH;
elseif app.tipobuque==5 %Quimiquero
c(4)=- (L/D)+10;

```

```

c(5)=(L/B)-6.8;
c(6)=-(L/B)+5;
ceq(2)=(app.VCH/(L*B*D))-app.CCH;
elseif app.tipobuque==6 %Ro-Ro
    if app.tipovehiculo==1 %coche
        app.D0=double(int64(x3(2)))*2.3+1.5;
        app.B0=double(int64(x3(3)))*2+5.5;
        D=app.D0;
        B=app.B0;
    else %trailer o mixto
        app.D0=double(int64(x3(2)))*5.5+1.5;
        app.B0=double(int64(x3(3)))*3+5.5;
        D=app.D0;
        B=app.B0;
    end
c(4)=-(L/D)+9.9;
c(5)=(L/B)-6.2;
c(6)=-(L/B)+5.2;
ceq(2)=(app.VCH/(L*B*D))-app.CCH;
elseif app.tipobuque==7 %Ro-Pax
    if app.tipovehiculo==1 %coche

app.D0=double(int64(x3(2)))*2.3+1.5+app.D_B+app.D_pasaje;
        app.B0=double(int64(x3(3)))*2+5.5;
        D=app.D0;
        B=app.B0;
    else %trailer o mixto

app.D0=double(int64(x3(2)))*5.5+1.5+app.D_B+app.D_pasaje;
        app.B0=double(int64(x3(3)))*3+5.5;
        D=app.D0;
        B=app.B0;
    end
c(4)=-(L/D)+8.6;
c(5)=(L/B)-6.2;
c(6)=-(L/B)+5.2;
ceq(2)=(app.VCH/(L*B*D))-app.CCH;
elseif app.tipobuque==8 %Portacontenedor
    app.D0=double(int64(x3(2)))*2.64+2.3;
    app.B0=double(int64(x3(3)))*2.45+1;
    D=app.D0;
    B=app.B0;
    c(2)=CB/(L/B)-0.15;
    c(3)=-(app.Tmax*(0.9-0.3*(1.006-0.0056*CB^-3.56))-
0.1*CB)+B*0.08*B/(app.Tmax*((1.006-0.0056*CB^(-3.56))^(1/2)))-
D*1.6/(L^0.2))+0.04*B;

ceq(1)=app.CS*(L^1.6)*(B+D)+app.CO*(L*B)+app.CMA*(app.c1/app.Cad_B)*(((1.02
5*L*B*CB*app.Tmax*(app.alpha))^(2/3))*(app.Vs^3))+app.DWT-
(1.025*L*B*CB*app.Tmax*(app.alpha));
        c(4)=-(L/(D*2.64+2.3))+9.9;
        c(5)=(L/(B*2.45+1))-7.8;
        c(6)=-(L/(B*2.45+1))+5.5;
        ceq(2)=((app.VCH*38.54)/(L*B*D))-app.CCH*38.54;

```

```

end
end

```

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

```

%%FUNCIONES PARA PUNTAL RESTRINGIDO

```

```

%Función a optimizar

```

```

function C = coste_D (app,x3)

```

```

    %Variables de optimización

```

```

    app.L0=x3(1);

```

```

    app.B0=x3(2);

```

```

    app.CB0=x3(3);

```

```

    L=app.L0;

```

```

    B=app.B0;

```

```

    CB=app.CB0;

```

```

    D=app.D_restriccion;

```

```

    %Función de coste

```

```

    if app.tipobuque==6 %Ro-Ro

```

```

        if app.tipovehiculo==1 %coche

```

```

            app.B0=double(int64(x3(2)))*2+5.5;

```

```

            B=app.B0;

```

```

        else %trailer o mixto

```

```

            app.B0=double(int64(x3(2)))*3+5.5;

```

```

            B=app.B0;

```

```

        end

```

```

    elseif app.tipobuque==7 %Ro-Pax

```

```

        if app.tipovehiculo==1 %coche

```

```

            app.B0=double(int64(x3(2)))*2+5.5;

```

```

            B=app.B0;

```

```

        else %trailer o mixto

```

```

            app.B0=double(int64(x3(2)))*3+5.5;

```

```

            B=app.B0;

```

```

        end

```

```

    elseif app.tipobuque==8 %Portacontenedor

```

```

        app.B0=double(int64(x3(2)))*2.45+1;

```

```

        B=app.B0;

```

```

    end

```

```

C=app.CPS_B*app.CS*(L^(1.6))*(B+D)+app.CPO_B*app.CO*L*B+app.CPM_B*app.CMA*(
app.c1*(((1.025*L*B*CB*app.Tmax*(app.alpha))^(2/3))*((app.Vs)^3)/app.Cad_B)
);

```

```

end

```

```

%Función de restricciones

```

```

function [c,ceq]=Restricciones_D(app,x3)

```

```

    %Variables de optimización

```

```

    app.L0=x3(1);

```

```

    app.B0=x3(2);

```

```

    app.CB0=x3(3);

```

```

    L=app.L0;

```

```

    B=app.B0;

```

```

    CB=app.CB0;

```

```

    D=app.D_restriccion;

```

```

    %Funciones de igualdad y desigualdad no lineales

```

```

c(1)=CB-0.7-0.125*(atan(23-
100*((0.5144*app.Vs)/(L*9.81)^(1/2))/4));
c(2)=CB/(L/B)-0.15;
c(3)=- (app.Tmax*(0.9-0.3*(1.006-0.0056*CB^-3.56)-
0.1*CB)+B*0.08*B/(app.Tmax*((1.006-0.0056*CB^(-3.56))^(1/2)))-
D*1.6/(L^0.2))+0.04*B;

ceq(1)=app.CS*(L^1.6)*(B+D)+app.CO*(L*B)+app.CMA*(app.c1/app.Cad_B)*(((1.02
5*L*B*CB*app.Tmax*(app.alpha))^(2/3))*(app.Vs^3))+app.DWT-
(1.025*L*B*CB*app.Tmax*(app.alpha));
if app.tipobuque==1 %Bulkcarrier
c(4)=- (L/D)+10.5;
c(5)=(L/B)-7.1;
c(6)=- (L/B)+5;
ceq(2)=(app.VCH/(L*B*D))-app.CCH;
elseif app.tipobuque==2 %Petrolero
c(4)=- (L/D)+10;
c(5)=(L/B)-6.8;
c(6)=- (L/B)+5;
ceq(2)=(app.VCH/(L*B*D))-app.CCH;
elseif app.tipobuque==3 %Canguero
c(4)=- (L/D)+9.9;
c(5)=(L/B)-7.8;
c(6)=- (L/B)+4.5;
ceq(2)=(app.VCH/(L*B*D))-app.CCH;
elseif app.tipobuque==4 %LNG/LPG
c(4)=- (L/D)+10;
c(5)=(L/B)-7;
c(6)=- (L/B)+4.5;
ceq(2)=(app.VCH/(L*B*D))-app.CCH;
elseif app.tipobuque==5 %Quimiquero
c(4)=- (L/D)+10;
c(5)=(L/B)-6.8;
c(6)=- (L/B)+5;
ceq(2)=(app.VCH/(L*B*D))-app.CCH;
elseif app.tipobuque==6 %Ro-Ro
if app.tipovehiculo==1 %coche
app.B0=double(int64(x3(2)))*2+5.5;
B=app.B0;
else %trailer o mixto
app.B0=double(int64(x3(2)))*3+5.5;
B=app.B0;
end
c(4)=- (L/D)+9.9;
c(5)=(L/B)-6.2;
c(6)=- (L/B)+5.2;
ceq(2)=(app.VCH/(L*B*D))-app.CCH;
elseif app.tipobuque==7 %Ro-Pax
if app.tipovehiculo==1 %coche
app.B0=double(int64(x3(2)))*2+5.5;
B=app.B0;
else %trailer o mixto
app.B0=double(int64(x3(2)))*3+5.5;
B=app.B0;

```

```

end
c(4)=- (L/D)+8.6;
c(5)=(L/B)-6.2;
c(6)=- (L/B)+5.2;
ceq(2)=(app.VCH/(L*B*D))-app.CCH;
elseif app.tipobuque==8 %Portacontenedor
app.B0=double(int64(x3(2)))*2.45+1;
B=app.B0;
c(2)=CB/(L/B)-0.15;
c(3)=- (app.Tmax*(0.9-0.3*(1.006-0.0056*CB^-3.56)-
0.1*CB)+B*0.08*B/(app.Tmax*((1.006-0.0056*CB^(-3.56))^(1/2))))-
D*1.6/(L^0.2))+0.04*B;

ceq(1)=app.CS*(L^1.6)*(B+D)+app.CO*(L*B)+app.CMA*(app.c1/app.Cad_B)*(((1.02
5*L*B*CB*app.Tmax*(app.alpha))^(2/3))*(app.Vs^3))+app.DWT-
(1.025*L*B*CB*app.Tmax*(app.alpha));
c(4)=- (L/(D*2.64+2.3))+9.9;
c(5)=(L/(B*2.45+1))-7.8;
c(6)=- (L/(B*2.45+1))+5.5;
ceq(2)=((app.VCH*38.54)/(L*B*D))-app.CCH*38.54;
end
end

```

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

```

%%FUNCIONES PARA ESLORA RESTRINGIDA

```

```

%Función a optimizar

```

```

function C = coste_L (app,x3)

```

```

%Variables de optimización

```

```

app.B0=x3(1);

```

```

app.D0=x3(2);

```

```

app.CB0=x3(3);

```

```

B=app.B0;

```

```

D=app.D0;

```

```

CB=app.CB0;

```

```

L=app.L_restriccion;

```

```

%Función de coste

```

```

if app.tipobuque==6 %Ro-Ro

```

```

if app.tipovehiculo==1 %coche

```

```

app.D0=double(int64(x3(2)))*2.3+1.5;

```

```

app.B0=double(int64(x3(1)))*2+5.5;

```

```

D=app.D0;

```

```

B=app.B0;

```

```

else %trailer o mixto

```

```

app.D0=double(int64(x3(2)))*5.5+1.5;

```

```

app.B0=double(int64(x3(1)))*3+5.5;

```

```

D=app.D0;

```

```

B=app.B0;

```

```

end

```

```

elseif app.tipobuque==7 %Ro-Pax

```

```

if app.tipovehiculo==1 %coche

```

```

app.D0=double(int64(x3(2)))*2.3+1.5+app.D_B+app.D_pasaje;

```

```

app.B0=double(int64(x3(1)))*2+5.5;

```

```

        D=app.D0;
        B=app.B0;
    else %trailer o mixto
        app.D0=double(int64(x3(2)))*5.5+1.5+app.D_B+app.D_pasaje;
        app.B0=double(int64(x3(1)))*3+5.5;
        D=app.D0;
        B=app.B0;
    end
    elseif app.tipobuque==8 %Portacontenedor
        app.D0=double(int64(x3(2)))*2.64+2.3;
        app.B0=double(int64(x3(1)))*2.45+1;
        D=app.D0;
        B=app.B0;
    end

C=app.CPS_B*app.CS*(L^(1.6))*(B+D)+app.CPO_B*app.CO*L*B+app.CPM_B*app.CMA*(
app.c1*((1.025*L*B*CB*app.Tmax*(app.alpha))^(2/3))*((app.Vs)^3)/app.Cad_B)
);
end
%Función de restricciones
function [c,ceq]=Restricciones_L(app,x3)
    %Variables de optimización
    app.B0=x3(1);
    app.D0=x3(2);
    app.CB0=x3(3);
    B=app.B0;
    D=app.D0;
    CB=app.CB0;
    L=app.L_restriccion;
    %Funciones de igualdad y desigualdad no lineales
    c(1)=CB-0.7-0.125*(atan(23-
100*((0.5144*app.Vs)/(L*9.81)^(1/2))/4));
    c(2)=CB/(L/B)-0.15;
    c(3)=- (app.Tmax*(0.9-0.3*(1.006-0.0056*CB^-3.56)-
0.1*CB)+B*0.08*B/(app.Tmax*((1.006-0.0056*CB^(-3.56))^(1/2))))-
D*1.6/(L^0.2))+0.04*B;

ceq(1)=app.CS*(L^1.6)*(B+D)+app.CO*(L*B)+app.CMA*(app.c1/app.Cad_B)*(((1.02
5*L*B*CB*app.Tmax*(app.alpha))^(2/3))*((app.Vs^3))+app.DWT-
(1.025*L*B*CB*app.Tmax*(app.alpha)));
    if app.tipobuque==1 %Bulkcarrier
        c(4)=-(L/D)+10.5;
        c(5)=(L/B)-7.1;
        c(6)=-(L/B)+5;
        ceq(2)=(app.VCH/(L*B*D))-app.CCH;
    elseif app.tipobuque==2 %Petrolero
        c(4)=-(L/D)+10;
        c(5)=(L/B)-6.8;
        c(6)=-(L/B)+5;
        ceq(2)=(app.VCH/(L*B*D))-app.CCH;
    elseif app.tipobuque==3 %Carguero
        c(4)=-(L/D)+9.9;
        c(5)=(L/B)-7.8;
        c(6)=-(L/B)+4.5;

```

```

        ceq(2)=(app.VCH/(L*B*D))-app.CCH;
elseif app.tipobuque==4 %LNG/LPG
    c(4)=-(L/D)+10;
    c(5)=(L/B)-7;
    c(6)=-(L/B)+4.5;
    ceq(2)=(app.VCH/(L*B*D))-app.CCH;
elseif app.tipobuque==5 %Quimiquero
    c(4)=-(L/D)+10;
    c(5)=(L/B)-6.8;
    c(6)=-(L/B)+5;
    ceq(2)=(app.VCH/(L*B*D))-app.CCH;
elseif app.tipobuque==6 %Ro-Ro
    if app.tipovehiculo==1 %coche
        app.D0=double(int64(x3(2)))*2.3+1.5;
        app.B0=double(int64(x3(1)))*2+5.5;
        D=app.D0;
        B=app.B0;
    else %trailer o mixto
        app.D0=double(int64(x3(2)))*5.5+1.5;
        app.B0=double(int64(x3(1)))*3+5.5;
        D=app.D0;
        B=app.B0;
    end
    c(4)=-(L/D)+9.9;
    c(5)=(L/B)-6.2;
    c(6)=-(L/B)+5.2;
    ceq(2)=(app.VCH/(L*B*D))-app.CCH;
elseif app.tipobuque==7 %Ro-Pax
    if app.tipovehiculo==1 %coche

app.D0=double(int64(x3(2)))*2.3+1.5+app.D_B+app.D_pasaje;
        app.B0=double(int64(x3(1)))*2+5.5;
        D=app.D0;
        B=app.B0;
    else %trailer o mixto

app.D0=double(int64(x3(2)))*5.5+1.5+app.D_B+app.D_pasaje;
        app.B0=double(int64(x3(1)))*3+5.5;
        D=app.D0;
        B=app.B0;
    end
    c(4)=-(L/D)+8.6;
    c(5)=(L/B)-6.2;
    c(6)=-(L/B)+5.2;
    ceq(2)=(app.VCH/(L*B*D))-app.CCH;
elseif app.tipobuque==8 %Portacontenedor
    app.D0=double(int64(x3(2)))*2.64+2.3;
    app.B0=double(int64(x3(1)))*2.45+1;
    D=app.D0;
    B=app.B0;
    c(2)=CB/(L/B)-0.15;
    c(3)=-(app.Tmax*(0.9-0.3*(1.006-0.0056*CB^-3.56))-
0.1*CB)+B*0.08*B/(app.Tmax*((1.006-0.0056*CB^(-3.56))^(1/2)))-
D*1.6/(L^0.2))+0.04*B;

```

```

ceq(1)=app.CS*(L^1.6)*(B+D)+app.CO*(L*B)+app.CMA*(app.c1/app.Cad_B)*(((1.02
5*L*B*CB*app.Tmax*(app.alpha))^(2/3))*(app.Vs^3))+app.DWT-
(1.025*L*B*CB*app.Tmax*(app.alpha));
    c(4)=-(L/(D*2.64+2.3))+9.9;
    c(5)=(L/(B*2.45+1))-7.8;
    c(6)=-(L/(B*2.45+1))+5.5;
    ceq(2)=((app.VCH*38.54)/(L*B*D))-app.CCH*38.54;
end
end

```

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

```

%%FUNCIONES PARA ESLORA Y MANGA RESTRINGIDOS

```

```

%Función a optimizar

```

```

function C = coste_L_B (app,x2)

```

```

    %Variables de optimización

```

```

    app.D0=x2(1);

```

```

    app.CB0=x2(2);

```

```

    D=app.D0;

```

```

    CB=app.CB0;

```

```

    B=app.B_restriccion;

```

```

    L=app.L_restriccion;

```

```

    %Función de coste

```

```

    if app.tipobuque==6 %Ro-Ro

```

```

        if app.tipovehiculo==1 %coche

```

```

            app.D0=double(int64(x2(1)))*2.3+1.5;

```

```

            D=app.D0;

```

```

        else %trailer o mixto

```

```

            app.D0=double(int64(x2(1)))*5.5+1.5;

```

```

            D=app.D0;

```

```

        end

```

```

    elseif app.tipobuque==7 %Ro-Pax

```

```

        if app.tipovehiculo==1 %coche

```

```

            app.D0=double(int64(x2(1)))*2.3+1.5+app.D_B+app.D_pasaje;

```

```

            D=app.D0;

```

```

        else %trailer o mixto

```

```

            app.D0=double(int64(x2(1)))*5.5+1.5+app.D_B+app.D_pasaje;

```

```

            D=app.D0;

```

```

        end

```

```

    elseif app.tipobuque==8 %Portacontenedor

```

```

        app.D0=double(int64(x2(1)))*2.64+2.3;

```

```

        D=app.D0;

```

```

    end

```

```

C=app.CPS_B*app.CS*(L^(1.6))*(B+D)+app.CPO_B*app.CO*L*B+app.CPM_B*app.CMA*(
app.c1*(((1.025*L*B*CB*app.Tmax*(app.alpha))^(2/3))*((app.Vs^3)/app.Cad_B)
);

```

```

end

```

```

%Función de restricciones

```

```

function [c,ceq]=Restricciones_L_B(app,x2)

```

```

    %Variables de optimización

```

```

    app.D0=x2(1);

```

```

app.CB0=x2(2);
D=app.D0;
CB=app.CB0;
B=app.B_restriccion;
L=app.L_restriccion;
%Funciones de igualdad y desigualdad no lineales
c(1)=CB-0.7-0.125*(atan(23-
100*((0.5144*app.Vs)/(L*9.81)^(1/2))/4));
c(2)=CB/(L/B)-0.15;
c(3)=-(app.Tmax*(0.9-0.3*(1.006-0.0056*CB^-3.56)-
0.1*CB)+B*0.08*B/(app.Tmax*((1.006-0.0056*CB^(-3.56))^(1/2)))-
D*1.6/(L^0.2))+0.04*B;

ceq(1)=app.CS*(L^1.6)*(B+D)+app.CO*(L*B)+app.CMA*(app.c1/app.Cad_B)*(((1.02
5*L*B*CB*app.Tmax*(app.alpha))^(2/3))*(app.Vs^3))+app.DWT-
(1.025*L*B*CB*app.Tmax*(app.alpha));
if app.tipobuque==1 %Bulkcarrier
    c(4)=-(L/D)+10.5;
    c(5)=(L/B)-7.1;
    c(6)=-(L/B)+5;
    ceq(2)=(app.VCH/(L*B*D))-app.CCH;
elseif app.tipobuque==2 %Petrolero
    c(4)=-(L/D)+10;
    c(5)=(L/B)-6.8;
    c(6)=-(L/B)+5;
    ceq(2)=(app.VCH/(L*B*D))-app.CCH;
elseif app.tipobuque==3 %Canguero
    c(4)=-(L/D)+9.9;
    c(5)=(L/B)-7.8;
    c(6)=-(L/B)+4.5;
    ceq(2)=(app.VCH/(L*B*D))-app.CCH;
elseif app.tipobuque==4 %LNG/LPG
    c(4)=-(L/D)+10;
    c(5)=(L/B)-7;
    c(6)=-(L/B)+4.5;
    ceq(2)=(app.VCH/(L*B*D))-app.CCH;
elseif app.tipobuque==5 %Quimiquero
    c(4)=-(L/D)+10;
    c(5)=(L/B)-6.8;
    c(6)=-(L/B)+5;
    ceq(2)=(app.VCH/(L*B*D))-app.CCH;
elseif app.tipobuque==6 %Ro-Ro
    if app.tipovehiculo==1 %coche
        app.D0=double(int64(x2(1)))*2.3+1.5;
        D=app.D0;
    else %trailer o mixto
        app.D0=double(int64(x2(1)))*5.5+1.5;
        D=app.D0;
    end
    c(4)=-(L/D)+9.9;
    c(5)=(L/B)-6.2;
    c(6)=-(L/B)+5.2;
    ceq(2)=(app.VCH/(L*B*D))-app.CCH;
elseif app.tipobuque==7 %Ro-Pax

```



```

if app.tipovehiculo==1 %coche
    app.B0=double(int64(x2(1)))*2+5.5;
    B=app.B0;
else %trailer o mixto
    app.B0=double(int64(x2(1)))*3+5.5;
    B=app.B0;
end
elseif app.tipobuque==8 %Portacontenedor
    app.B0=double(int64(x2(1)))*2.45+1;
    B=app.B0;
end

C=app.CPS_B*app.CS*(L^(1.6))*(B+D)+app.CPO_B*app.CO*L*B+app.CPM_B*app.CMA*(
app.c1*((1.025*L*B*CB*app.Tmax*(app.alpha))^(2/3))*((app.Vs)^3)/app.Cad_B
);

end
%Funcion de restricciones
function [c,ceq]=Restricciones_L_D(app,x2)
    %Variables de optimización
    app.B0=x2(1);
    app.CB0=x2(2);
    B=app.B0;
    CB=app.CB0;
    D= app.D_restriccion;
    L= app.L_restriccion;
    %Funciones de igualdad y desigualdad no lineales
    c(1)=CB-0.7-0.125*(atan(23-
100*((0.5144*app.Vs)/(L*9.81)^(1/2))/4));
    c(2)=CB/(L/B)-0.15;
    c(3)=- (app.Tmax*(0.9-0.3*(1.006-0.0056*CB^-3.56)-
0.1*CB)+B*0.08*B/(app.Tmax*((1.006-0.0056*CB^(-3.56))^(1/2))))-
D*1.6/(L^0.2))+0.04*B;

ceq(1)=app.CS*(L^1.6)*(B+D)+app.CO*(L*B)+app.CMA*(app.c1/app.Cad_B)*(((1.02
5*L*B*CB*app.Tmax*(app.alpha))^(2/3))*((app.Vs^3))+app.DWT-
(1.025*L*B*CB*app.Tmax*(app.alpha)));
    if app.tipobuque==1 %Bulkcarrier
        c(4)=-(L/D)+10.5;
        c(5)=(L/B)-7.1;
        c(6)=-(L/B)+5;
        ceq(2)=(app.VCH/(L*B*D))-app.CCH;
    elseif app.tipobuque==2 %Petrolero
        c(4)=-(L/D)+10;
        c(5)=(L/B)-6.8;
        c(6)=-(L/B)+5;
        ceq(2)=(app.VCH/(L*B*D))-app.CCH;
    elseif app.tipobuque==3 %Canguero
        c(4)=-(L/D)+9.9;
        c(5)=(L/B)-7.8;
        c(6)=-(L/B)+4.5;
        ceq(2)=(app.VCH/(L*B*D))-app.CCH;
    elseif app.tipobuque==4 %LNG/LPG
        c(4)=-(L/D)+10;
        c(5)=(L/B)-7;

```

```

        c(6)=- (L/B)+4.5;
        ceq(2)=(app.VCH/(L*B*D))-app.CCH;
elseif app.tipobuque==5 %Quimiquero
    c(4)=- (L/D)+10;
    c(5)=(L/B)-6.8;
    c(6)=- (L/B)+5;
    ceq(2)=(app.VCH/(L*B*D))-app.CCH;
elseif app.tipobuque==6 %Ro-Ro
    if app.tipovehiculo==1 %coche
        app.B0=double(int64(x2(1)))*2+5.5;
        B=app.B0;
    else %trailer o mixto
        app.B0=double(int64(x2(1)))*3+5.5;
        B=app.B0;
    end
    c(4)=- (L/D)+9.9;
    c(5)=(L/B)-6.2;
    c(6)=- (L/B)+5.2;
    ceq(2)=(app.VCH/(L*B*D))-app.CCH;
elseif app.tipobuque==7 %Ro-Pax
    if app.tipovehiculo==1 %coche
        app.B0=double(int64(x2(1)))*2+5.5;
        B=app.B0;
    else %trailer o mixto
        app.B0=double(int64(x2(1)))*3+5.5;
        B=app.B0;
    end
    c(4)=- (L/D)+8.6;
    c(5)=(L/B)-6.2;
    c(6)=- (L/B)+5.2;
    ceq(2)=(app.VCH/(L*B*D))-app.CCH;
elseif app.tipobuque==8 %Portacontenedor
    app.B0=double(int64(x2(1)))*2.45+1;
    B=app.B0;
    c(2)=CB/(L/B)-0.15;
    c(3)=- (app.Tmax*(0.9-0.3*(1.006-0.0056*CB^-3.56))-
0.1*CB)+B*0.08*B/(app.Tmax*((1.006-0.0056*CB^(-3.56))^(1/2)))-
D*1.6/(L^0.2))+0.04*B;

ceq(1)=app.CS*(L^1.6)*(B+D)+app.CO*(L*B)+app.CMA*(app.c1/app.Cad_B)*(((1.02
5*L*B*CB*app.Tmax*(app.alpha))^(2/3))*(app.Vs^3))+app.DWT-
(1.025*L*B*CB*app.Tmax*(app.alpha));
    c(4)=- (L/(D*2.64+2.3))+9.9;
    c(5)=(L/(B*2.45+1))-7.8;
    c(6)=- (L/(B*2.45+1))+5.5;
    ceq(2)=((app.VCH*38.54)/(L*B*D))-app.CCH*38.54;
end
end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%FUNCIONES PARA ESLORA Y COEFICIENTE DE BLOQUE RESTRINGIDO
%Función a optimizar

```

```

function C = coste_L_CB (app,x2)
    %Variables de optimización
    app.B0=x2(1);
    app.D0=x2(2);
    B=app.B0;
    D=app.D0;
    CB=app.CB_restriccion;
    L=app.L_restriccion;
    %Función de coste
    if app.tipobuque==6 %Ro-Ro
    if app.tipovehiculo==1 %coche
        app.D0=double(int64(x2(2)))*2.3+1.5;
        app.B0=double(int64(x2(1)))*2+5.5;
        D=app.D0;
        B=app.B0;
    else %trailer o mixto
        app.D0=double(int64(x2(2)))*5.5+1.5;
        app.B0=double(int64(x2(1)))*3+5.5;
        D=app.D0;
        B=app.B0;
    end
    elseif app.tipobuque==7 %Ro-Pax
    if app.tipovehiculo==1 %coche
        app.D0=double(int64(x2(2)))*2.3+1.5+app.D_B+app.D_pasaje;
        app.B0=double(int64(x2(1)))*2+5.5;
        D=app.D0;
        B=app.B0;
    else %trailer o mixto
        app.D0=double(int64(x2(2)))*5.5+1.5+app.D_B+app.D_pasaje;
        app.B0=double(int64(x2(1)))*3+5.5;
        D=app.D0;
        B=app.B0;
    end
    elseif app.tipobuque==8 %Portacontenedor
        app.D0=double(int64(x2(2)))*2.64+2.3;
        app.B0=double(int64(x2(1)))*2.45+1;
        D=app.D0;
        B=app.B0;
    end

C=app.CPS_B*app.CS*(L^(1.6))*(B+D)+app.CPO_B*app.CO*L*B+app.CPM_B*app.CMA*(
app.c1*(((1.025*L*B*CB*app.Tmax*(app.alpha))^(2/3))*((app.Vs)^3)/app.Cad_B)
);

end
%Función de restricciones
function [c,ceq]=Restricciones_L_CB(app,x2)
    %Variables de optimización
    app.B0=x2(1);
    app.D0=x2(2);
    B=app.B0;
    D=app.D0;
    CB= app.CB_restriccion;
    L= app.L_restriccion;
    %Funciones de igualdad y desigualdad no lineales

```

```

c(1)=CB-0.7-0.125*(atan(23-
100*((0.5144*app.Vs)/(L*9.81)^(1/2))/4));
c(2)=CB/(L/B)-0.15;
c(3)=- (app.Tmax*(0.9-0.3*(1.006-0.0056*CB^-3.56)-
0.1*CB)+B*0.08*B/(app.Tmax*((1.006-0.0056*CB^(-3.56))^(1/2)))-
D*1.6/(L^0.2))+0.04*B;

ceq(1)=app.CS*(L^1.6)*(B+D)+app.CO*(L*B)+app.CMA*(app.c1/app.Cad_B)*(((1.02
5*L*B*CB*app.Tmax*(app.alpha))^(2/3))*(app.Vs^3))+app.DWT-
(1.025*L*B*CB*app.Tmax*(app.alpha));
if app.tipobuque==1 %Bulkcarrier
c(4)=- (L/D)+10.5;
c(5)=(L/B)-7.1;
c(6)=- (L/B)+5;
ceq(2)=(app.VCH/(L*B*D))-app.CCH;
elseif app.tipobuque==2 %Petrolero
c(4)=- (L/D)+10;
c(5)=(L/B)-6.8;
c(6)=- (L/B)+5;
ceq(2)=(app.VCH/(L*B*D))-app.CCH;
elseif app.tipobuque==3 %Canguero
c(4)=- (L/D)+9.9;
c(5)=(L/B)-7.8;
c(6)=- (L/B)+4.5;
ceq(2)=(app.VCH/(L*B*D))-app.CCH;
elseif app.tipobuque==4 %LNG/LPG
c(4)=- (L/D)+10;
c(5)=(L/B)-7;
c(6)=- (L/B)+4.5;
ceq(2)=(app.VCH/(L*B*D))-app.CCH;
elseif app.tipobuque==5 %Quimiquero
c(4)=- (L/D)+10;
c(5)=(L/B)-6.8;
c(6)=- (L/B)+5;
ceq(2)=(app.VCH/(L*B*D))-app.CCH;
elseif app.tipobuque==6 %Ro-Ro
if app.tipovehiculo==1 %coche
app.D0=double(int64(x2(2)))*2.3+1.5;
app.B0=double(int64(x2(1)))*2+5.5;
D=app.D0;
B=app.B0;
else %trailer o mixto
app.D0=double(int64(x2(2)))*5.5+1.5;
app.B0=double(int64(x2(1)))*3+5.5;
D=app.D0;
B=app.B0;
end
c(4)=- (L/D)+9.9;
c(5)=(L/B)-6.2;
c(6)=- (L/B)+5.2;
ceq(2)=(app.VCH/(L*B*D))-app.CCH;
elseif app.tipobuque==7 %Ro-Pax
if app.tipovehiculo==1 %coche

```

```

app.D0=double(int64(x2(2)))*2.3+1.5+app.D_B+app.D_pasaje;
    app.B0=double(int64(x2(1)))*2+5.5;
    D=app.D0;
    B=app.B0;
    else %trailer o mixto

app.D0=double(int64(x2(2)))*5.5+1.5+app.D_B+app.D_pasaje;
    app.B0=double(int64(x2(1)))*3+5.5;
    D=app.D0;
    B=app.B0;
    end
    c(4)=-(L/D)+8.6;
    c(5)=(L/B)-6.2;
    c(6)=-(L/B)+5.2;
    ceq(2)=(app.VCH/(L*B*D))-app.CCH;
elseif app.tipobuque==8 %Portacontenedor
    app.D0=double(int64(x2(2)))*2.64+2.3;
    app.B0=double(int64(x2(1)))*2.45+1;
    D=app.D0;
    B=app.B0;
    c(2)=CB/(L/B)-0.15;
    c(3)=-(app.Tmax*(0.9-0.3*(1.006-0.0056*CB^-3.56))-
0.1*CB)+B*0.08*B/(app.Tmax*((1.006-0.0056*CB^(-3.56))^(1/2)))-
D*1.6/(L^0.2))+0.04*B;

ceq(1)=app.CS*(L^1.6)*(B+D)+app.CO*(L*B)+app.CMA*(app.c1/app.Cad_B)*(((1.02
5*L*B*CB*app.Tmax*(app.alpha))^(2/3))*(app.Vs^3))+app.DWT-
(1.025*L*B*CB*app.Tmax*(app.alpha));
    c(4)=-(L/(D*2.64+2.3))+9.9;
    c(5)=(L/(B*2.45+1))-7.8;
    c(6)=-(L/(B*2.45+1))+5.5;
    ceq(2)=((app.VCH*38.54)/(L*B*D))-app.CCH*38.54;
    end
end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%FUNCIONES PARA MANGA Y PUNTAL RESTRINGIDOS
%Función a optimizar
function C = coste_B_D (app,x2)
    %Variables de optimización
    app.L0=x2(1);
    app.CB0=x2(2);
    L=app.L0;
    CB=app.CB0;
    B= app.B_restriccion;
    D= app.D_restriccion;
    %Función de coste

C=app.CPS_B*app.CS*(L^(1.6))*(B+D)+app.CPO_B*app.CO*L*B+app.CPM_B*app.CMA*(
app.c1*(((1.025*L*B*CB*app.Tmax*(app.alpha))^(2/3))*((app.Vs)^3)/app.Cad_B)
);

```

```

end
%Función de restricciones
function [c,ceq]=Restricciones_B_D(app,x2)
    %Variables de optimización
    app.L0=x2(1);
    app.CB0=x2(2);
    L=app.L0;
    CB=app.CB0;
    B= app.B_restriccion;
    D= app.D_restriccion;
    %Funciones de igualdad y desigualdad no lineales
    c(1)=CB-0.7-0.125*(atan(23-
100*((0.5144*app.Vs)/(L*9.81)^(1/2))/4));
    c(2)=CB/(L/B)-0.15;
    c(3)=- (app.Tmax*(0.9-0.3*(1.006-0.0056*CB^-3.56)-
0.1*CB)+B*0.08*B/(app.Tmax*((1.006-0.0056*CB^(-3.56))^(1/2))))-
D*1.6/(L^0.2))+0.04*B;

ceq(1)=app.CS*(L^1.6)*(B+D)+app.CO*(L*B)+app.CMA*(app.c1/app.Cad_B)*(((1.02
5*L*B*CB*app.Tmax*(app.alpha))^(2/3))*(app.Vs^3))+app.DWT-
(1.025*L*B*CB*app.Tmax*(app.alpha));
    if app.tipobuque==1 %Bulkcarrier
        c(4)=- (L/D)+10.5;
        c(5)=(L/B)-7.1;
        c(6)=- (L/B)+5;
        ceq(2)=(app.VCH/(L*B*D))-app.CCH;
    elseif app.tipobuque==2 %Petrolero
        c(4)=- (L/D)+10;
        c(5)=(L/B)-6.8;
        c(6)=- (L/B)+5;
        ceq(2)=(app.VCH/(L*B*D))-app.CCH;
    elseif app.tipobuque==3 %Carguero
        c(4)=- (L/D)+9.9;
        c(5)=(L/B)-7.8;
        c(6)=- (L/B)+4.5;
        ceq(2)=(app.VCH/(L*B*D))-app.CCH;
    elseif app.tipobuque==4 %LNG/LPG
        c(4)=- (L/D)+10;
        c(5)=(L/B)-7;
        c(6)=- (L/B)+4.5;
        ceq(2)=(app.VCH/(L*B*D))-app.CCH;
    elseif app.tipobuque==5 %Quimiquero
        c(4)=- (L/D)+10;
        c(5)=(L/B)-6.8;
        c(6)=- (L/B)+5;
        ceq(2)=(app.VCH/(L*B*D))-app.CCH;
    elseif app.tipobuque==6 %Ro-Ro
        c(4)=- (L/D)+9.9;
        c(5)=(L/B)-6.2;
        c(6)=- (L/B)+5.2;
        ceq(2)=(app.VCH/(L*B*D))-app.CCH;
    elseif app.tipobuque==7 %Ro-Pax
        c(4)=- (L/D)+8.6;
        c(5)=(L/B)-6.2;

```

```

        c(6)=- (L/B)+5.2;
        ceq(2)=(app.VCH/(L*B*D)) -app.CCH;
    elseif app.tipobuque==8 %Portacontenedor
        c(2)=CB/(L/B)-0.15;
        c(3)=- (app.Tmax*(0.9-0.3*(1.006-0.0056*CB^-3.56)-
0.1*CB)+B*0.08*B/(app.Tmax*((1.006-0.0056*CB^(-3.56))^(1/2))))-
D*1.6/(L^0.2))+0.04*B;

ceq(1)=app.CS*(L^1.6)*(B+D)+app.CO*(L*B)+app.CMA*(app.c1/app.Cad_B)*(((1.02
5*L*B*CB*app.Tmax*(app.alpha))^(2/3))*(app.Vs^3))+app.DWT-
(1.025*L*B*CB*app.Tmax*(app.alpha));
        c(4)=- (L/(D*2.64+2.3))+9.9;
        c(5)=(L/(B*2.45+1))-7.8;
        c(6)=- (L/(B*2.45+1))+5.5;
        ceq(2)=((app.VCH*38.54)/(L*B*D)) -app.CCH*38.54;
    end
end
end

```

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

```

%%FUNCIONES PARA MANGA Y COEFICIENTE DE BLOQUE RESTRINGIDOS

```

```

%Función a optimizar

```

```

function C = coste_B_CB (app,x2)

```

```

    %Variables de optimización

```

```

    app.L0=x2(1);

```

```

    app.D0=x2(2);

```

```

    L=app.L0;

```

```

    D=app.D0;

```

```

    CB=app.CB_restriccion;

```

```

    B=app.B_restriccion;

```

```

    %Función de coste

```

```

    if app.tipobuque==6 %Ro-Ro

```

```

        if app.tipovehiculo==1 %coche

```

```

            app.D0=double(int64(x2(2)))*2.3+1.5;

```

```

            D=app.D0;

```

```

        else %trailer o mixto

```

```

            app.D0=double(int64(x2(2)))*5.5+1.5;

```

```

            D=app.D0;

```

```

        end

```

```

    elseif app.tipobuque==7 %Ro-Pax

```

```

        if app.tipovehiculo==1 %coche

```

```

            app.D0=double(int64(x2(2)))*2.3+1.5+app.D_B+app.D_pasaje;

```

```

            D=app.D0;

```

```

        else %trailer o mixto

```

```

            app.D0=double(int64(x2(2)))*5.5+1.5+app.D_B+app.D_pasaje;

```

```

            D=app.D0;

```

```

        end

```

```

    elseif app.tipobuque==8 %Portacontenedor

```

```

        app.D0=double(int64(x2(2)))*2.64+2.3;

```

```

        D=app.D0;

```

```

    end

```

```

C=app.CPS_B*app.CS*(L^(1.6))*(B+D)+app.CPO_B*app.CO*L*B+app.CPM_B*app.CMA*(

```

```

app.c1*(((1.025*L*B*CB*app.Tmax*(app.alpha))^(2/3))*((app.Vs)^3)/app.Cad_B)
);
end
%Funcion de restricciones
function [c,ceq]=Restricciones_B_CB(app,x2)
    %Variables de optimización
    app.L0=x2(1);
    app.D0=x2(2);
    L=app.L0;
    D=app.D0;
    CB= app.CB_restriccion;
    B= app.B_restriccion;
    %Funciones de igualdad y desigualdad no lineales
    c(1)=CB-0.7-0.125*(atan(23-
100*((0.5144*app.Vs)/(L*9.81)^(1/2))/4));
    c(2)=CB/(L/B)-0.15;
    c(3)=- (app.Tmax*(0.9-0.3*(1.006-0.0056*CB^-3.56)-
0.1*CB)+B*0.08*B/(app.Tmax*((1.006-0.0056*CB^(-3.56))^(1/2))))-
D*1.6/(L^0.2))+0.04*B;

ceq(1)=app.CS*(L^1.6)*(B+D)+app.CO*(L*B)+app.CMA*(app.c1/app.Cad_B)*(((1.02
5*L*B*CB*app.Tmax*(app.alpha))^(2/3))*((app.Vs^3))+app.DWT-
(1.025*L*B*CB*app.Tmax*(app.alpha)));
    if app.tipobuque==1 %Bulkcarrier
        c(4)=- (L/D)+10.5;
        c(5)=(L/B)-7.1;
        c(6)=- (L/B)+5;
        ceq(2)=(app.VCH/(L*B*D))-app.CCH;
    elseif app.tipobuque==2 %Petrolero
        c(4)=- (L/D)+10;
        c(5)=(L/B)-6.8;
        c(6)=- (L/B)+5;
        ceq(2)=(app.VCH/(L*B*D))-app.CCH;
    elseif app.tipobuque==3 %Carguero
        c(4)=- (L/D)+9.9;
        c(5)=(L/B)-7.8;
        c(6)=- (L/B)+4.5;
        ceq(2)=(app.VCH/(L*B*D))-app.CCH;
    elseif app.tipobuque==4 %LNG/LPG
        c(4)=- (L/D)+10;
        c(5)=(L/B)-7;
        c(6)=- (L/B)+4.5;
        ceq(2)=(app.VCH/(L*B*D))-app.CCH;
    elseif app.tipobuque==5 %Quimiquero
        c(4)=- (L/D)+10;
        c(5)=(L/B)-6.8;
        c(6)=- (L/B)+5;
        ceq(2)=(app.VCH/(L*B*D))-app.CCH;
    elseif app.tipobuque==6 %Ro-Ro
        if app.tipovehiculo==1 %coche
            app.D0=double(int64(x2(2)))*2.3+1.5;
            D=app.D0;
        else %trailer o mixto
            app.D0=double(int64(x2(2)))*5.5+1.5;

```

```

        D=app.D0;
    end
    c(4)=- (L/D)+9.9;
    c(5)=(L/B)-6.2;
    c(6)=- (L/B)+5.2;
    ceq(2)=(app.VCH/(L*B*D))-app.CCH;
elseif app.tipobuque==7 %Ro-Pax
    if app.tipovehiculo==1 %coche

app.D0=double(int64(x2(2)))*2.3+1.5+app.D_B+app.D_pasaje;
        D=app.D0;
        else %trailer o mixto

app.D0=double(int64(x2(2)))*5.5+1.5+app.D_B+app.D_pasaje;
        D=app.D0;
    end
    c(4)=- (L/D)+8.6;
    c(5)=(L/B)-6.2;
    c(6)=- (L/B)+5.2;
    ceq(2)=(app.VCH/(L*B*D))-app.CCH;
elseif app.tipobuque==8 %Portacontenedor
    app.D0=double(int64(x2(2)))*2.64+2.3;
    D=app.D0;
    c(2)=CB/(L/B)-0.15;
    c(3)=- (app.Tmax*(0.9-0.3*(1.006-0.0056*CB^-3.56))-
0.1*CB)+B*0.08*B/(app.Tmax*((1.006-0.0056*CB^(-3.56))^(1/2)))-
D*1.6/(L^0.2))+0.04*B;

ceq(1)=app.CS*(L^1.6)*(B+D)+app.CO*(L*B)+app.CMA*(app.c1/app.Cad_B)*(((1.02
5*L*B*CB*app.Tmax*(app.alpha))^(2/3))*(app.Vs^3))+app.DWT-
(1.025*L*B*CB*app.Tmax*(app.alpha));
    c(4)=- (L/(D*2.64+2.3))+9.9;
    c(5)=(L/(B*2.45+1))-7.8;
    c(6)=- (L/(B*2.45+1))+5.5;
    ceq(2)=((app.VCH*38.54)/(L*B*D))-app.CCH*38.54;
    end
end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%FUNCIONES PARA PUNTAL Y COEFICIENTE DE BLOQUE RESTRINGIDO
%Funcion a optimizar
function C = coste_D_CB(app,x2)
    %Variables de optimización
    app.L0=x2(1);
    app.B0=x2(2);
    L=app.L0;
    B=app.B0;
    D=app.D_restriccion;
    CB=app.CB_restriccion;
    %Función de coste
    if app.tipobuque==6 %Ro-Ro
    if app.tipovehiculo==1 %coche
        app.B0=double(int64(x2(2)))*2+5.5;

```

```

        B=app.B0;
    else %trailer o mixto
        app.B0=double(int64(x2(2)))*3+5.5;
        B=app.B0;
    end
    elseif app.tipobuque==7 %Ro-Pax
    if app.tipovehiculo==1 %coche
        app.B0=double(int64(x2(2)))*2+5.5;
        B=app.B0;
    else %trailer o mixto
        app.B0=double(int64(x2(2)))*3+5.5;
        B=app.B0;
    end
    elseif app.tipobuque==8 %Portacontenedor
    app.B0=double(int64(x2(2)))*2.54+1;
    B=app.B0;
    end

C=app.CPS_B*app.CS*(L^(1.6))*(B+D)+app.CPO_B*app.CO*L*B+app.CPM_B*app.CMA*(
app.c1*((1.025*L*B*CB*app.Tmax*(app.alpha))^(2/3))*((app.Vs)^3)/app.Cad_B
);

    end
    %Funcion de restricciones
    function [c,ceq]=Restricciones_D_CB(app,x2)
        %Variables de optimización
        app.L0=x2(1);
        app.B0=x2(2);
        L=app.L0;
        B=app.B0;
        D=app.D_restriccion;
        CB=app.CB_restriccion;
        %Funciones de igualdad y desigualdad no lineales
        c(1)=CB-0.7-0.125*(atan(23-
100*((0.5144*app.Vs)/(L*9.81)^(1/2))/4));
        c(2)=CB/(L/B)-0.15;
        c(3)=- (app.Tmax*(0.9-0.3*(1.006-0.0056*CB^-3.56)-
0.1*CB)+B*0.08*B/(app.Tmax*((1.006-0.0056*CB^(-3.56))^(1/2))))-
D*1.6/(L^0.2))+0.04*B;

ceq(1)=app.CS*(L^1.6)*(B+D)+app.CO*(L*B)+app.CMA*(app.c1/app.Cad_B)*(((1.02
5*L*B*CB*app.Tmax*(app.alpha))^(2/3))*((app.Vs^3))+app.DWT-
(1.025*L*B*CB*app.Tmax*(app.alpha)));
    if app.tipobuque==1 %Bulkcarrier
        c(4)=- (L/D)+10.5;
        c(5)=(L/B)-7.1;
        c(6)=- (L/B)+5;
        ceq(2)=(app.VCH/(L*B*D))-app.CCH;
    elseif app.tipobuque==2 %Petrolero
        c(4)=- (L/D)+10;
        c(5)=(L/B)-6.8;
        c(6)=- (L/B)+5;
        ceq(2)=(app.VCH/(L*B*D))-app.CCH;
    elseif app.tipobuque==3 %Canguero
        c(4)=- (L/D)+9.9;

```

```

        c(5)=(L/B)-7.8;
        c(6)=- (L/B)+4.5;
        ceq(2)=(app.VCH/(L*B*D))-app.CCH;
elseif app.tipobuque==4 %LNG/LPG
        c(4)=- (L/D)+10;
        c(5)=(L/B)-7;
        c(6)=- (L/B)+4.5;
        ceq(2)=(app.VCH/(L*B*D))-app.CCH;
elseif app.tipobuque==5 %Quimiquero
        c(4)=- (L/D)+10;
        c(5)=(L/B)-6.8;
        c(6)=- (L/B)+5;
        ceq(2)=(app.VCH/(L*B*D))-app.CCH;
elseif app.tipobuque==6 %Ro-Ro
        if app.tipovehiculo==1 %coche
                app.B0=double(int64(x2(2)))*2+5.5;
                B=app.B0;
        else %trailer o mixto
                app.B0=double(int64(x2(2)))*3+5.5;
                B=app.B0;
        end
        c(4)=- (L/D)+9.9;
        c(5)=(L/B)-6.2;
        c(6)=- (L/B)+5.2;
        ceq(2)=(app.VCH/(L*B*D))-app.CCH;
elseif app.tipobuque==7 %Ro-Pax
        if app.tipovehiculo==1 %coche
                app.B0=double(int64(x2(2)))*2+5.5;
                B=app.B0;
        else %trailer o mixto
                app.B0=double(int64(x2(2)))*3+5.5;
                B=app.B0;
        end
        c(4)=- (L/D)+8.6;
        c(5)=(L/B)-6.2;
        c(6)=- (L/B)+5.2;
        ceq(2)=(app.VCH/(L*B*D))-app.CCH;
elseif app.tipobuque==8 %Portacontenedor
        app.B0=double(int64(x2(2)))*2.45+1;
        B=app.B0;
        c(2)=CB/(L/B)-0.15;
        c(3)=- (app.Tmax*(0.9-0.3*(1.006-0.0056*CB^-3.56))-
0.1*CB)+B*0.08*B/(app.Tmax*((1.006-0.0056*CB^(-3.56))^(1/2)))-
D*1.6/(L^0.2))+0.04*B;

ceq(1)=app.CS*(L^1.6)*(B+D)+app.CO*(L*B)+app.CMA*(app.c1/app.Cad_B)*(((1.02
5*L*B*CB*app.Tmax*(app.alpha))^(2/3))*(app.Vs^3))+app.DWT-
(1.025*L*B*CB*app.Tmax*(app.alpha));
        c(4)=- (L/(D*2.64+2.3))+9.9;
        c(5)=(L/(B*2.45+1))-7.8;
        c(6)=- (L/(B*2.45+1))+5.5;
        ceq(2)=((app.VCH*38.54)/(L*B*D))-app.CCH*38.54;
end
end

```

```

%%FUncIONES PARA ESLORA, MANGA Y PUNTAL RESTRINGIDOS
%Función a optimizar
function C = coste_L_B_D (app,x1)
    %Variables de optimización
    app.CB0=x1(1);
    CB=app.CB0;
    B= app.B_restriccion;
    L= app.L_restriccion;
    D= app.D_restriccion;
    %Función de coste

C=app.CPS_B*app.CS*(L^(1.6))*(B+D)+app.CPO_B*app.CO*L*B+app.CPM_B*app.CMA*(
app.c1*((1.025*L*B*CB*app.Tmax*(app.alpha))^(2/3))*((app.Vs)^3)/app.Cad_B
);

end
%Funcion de restricciones
function [c,ceq]=Restricciones_L_B_D(app,x1)
    %Variables de optimización
    app.CB0=x1(1);
    CB=app.CB0;
    B= app.B_restriccion;
    L= app.L_restriccion;
    D= app.D_restriccion;
    %Funciones de igualdad y desigualdad no lineales
    c(1)=CB-0.7-0.125*(atan(23-
100*((0.5144*app.Vs)/(L*9.81)^(1/2))/4));
    c(2)=CB/(L/B)-0.15;
    c(3)=- (app.Tmax*(0.9-0.3*(1.006-0.0056*CB^-3.56)-
0.1*CB)+B*0.08*B/(app.Tmax*((1.006-0.0056*CB^(-3.56))^(1/2))))-
D*1.6/(L^0.2))+0.04*B;

ceq(1)=app.CS*(L^1.6)*(B+D)+app.CO*(L*B)+app.CMA*(app.c1/app.Cad_B)*(((1.02
5*L*B*CB*app.Tmax*(app.alpha))^(2/3))*((app.Vs^3))+app.DWT-
(1.025*L*B*CB*app.Tmax*(app.alpha)));
    if app.tipobuque==1 %Bulkcarrier
        c(4)=-(L/D)+10.5;
        c(5)=(L/B)-7.1;
        c(6)=-(L/B)+5;
        ceq(2)=(app.VCH/(L*B*D))-app.CCH;
    elseif app.tipobuque==2 %Petrolero
        c(4)=-(L/D)+10;
        c(5)=(L/B)-6.8;
        c(6)=-(L/B)+5;
        ceq(2)=(app.VCH/(L*B*D))-app.CCH;
    elseif app.tipobuque==3 %Carguero
        c(4)=-(L/D)+9.9;
        c(5)=(L/B)-7.8;
        c(6)=-(L/B)+4.5;
        ceq(2)=(app.VCH/(L*B*D))-app.CCH;
    elseif app.tipobuque==4 %LNG/LPG

```

```

        c(4)=- (L/D)+10;
        c(5)=(L/B)-7;
        c(6)=- (L/B)+4.5;
        ceq(2)=(app.VCH/(L*B*D))-app.CCH;
elseif app.tipobuque==5 %Quimiquero
        c(4)=- (L/D)+10;
        c(5)=(L/B)-6.8;
        c(6)=- (L/B)+5;
        ceq(2)=(app.VCH/(L*B*D))-app.CCH;
elseif app.tipobuque==6 %Ro-Ro
        c(4)=- (L/D)+9.9;
        c(5)=(L/B)-6.2;
        c(6)=- (L/B)+5.2;
        ceq(2)=(app.VCH/(L*B*D))-app.CCH;
elseif app.tipobuque==7 %Ro-Pax
        c(4)=- (L/D)+8.6;
        c(5)=(L/B)-6.2;
        c(6)=- (L/B)+5.2;
        ceq(2)=(app.VCH/(L*B*D))-app.CCH;
elseif app.tipobuque==8 %Portacontenedor
        c(2)=CB/(L/B)-0.15;
        c(3)=- (app.Tmax*(0.9-0.3*(1.006-0.0056*CB^-3.56)-
0.1*CB)+B*0.08*B/(app.Tmax*((1.006-0.0056*CB^(-3.56))^(1/2))))-
D*1.6/(L^0.2))+0.04*B;

ceq(1)=app.CS*(L^1.6)*(B+D)+app.CO*(L*B)+app.CMA*(app.c1/app.Cad_B)*(((1.02
5*L*B*CB*app.Tmax*(app.alpha))^(2/3))*(app.Vs^3))+app.DWT-
(1.025*L*B*CB*app.Tmax*(app.alpha));
        c(4)=- (L/(D*2.64+2.3))+9.9;
        c(5)=(L/(B*2.45+1))-7.8;
        c(6)=- (L/(B*2.45+1))+5.5;
        ceq(2)=((app.VCH*38.54)/(L*B*D))-app.CCH*38.54;
end
end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%FUNCIONES PARA ESLORA, MANGA Y COEFICIENTE DE BLOQUE RESTRINGIDOS
%Funcion a optimizar
function C = coste_L_B_CB (app,x1)
    %Variables de optimización
    app.D0=x1(1);
    D=app.D0;
    L= app.L_restriccion;
    B= app.B_restriccion;
    CB= app.CB_restriccion;
    %Función de coste
    if app.tipobuque==6 %Ro-Ro
    if app.tipovehiculo==1 %coche
        app.D0=double(int64(x1(1)))*2.3+1.5;
        D=app.D0;
    else %trailer o mixto
        app.D0=double(int64(x1(1)))*5.5+1.5;

```

```

        D=app.D0;
    end
    elseif app.tipobuque==7 %Ro-Pax
    if app.tipovehiculo==1 %coche
        app.D0=double(int64(x1(1)))*2.3+1.5+app.D_B+app.D_pasaje;
        D=app.D0;
    else %trailer o mixto
        app.D0=double(int64(x1(1)))*5.5+1.5+app.D_B+app.D_pasaje;
        D=app.D0;
    end
    elseif app.tipobuque==8 %Portacontenedor
    app.D0=double(int64(x1(1)))*2.64+2.3;
    D=app.D0;
    end

C=app.CPS_B*app.CS*(L^(1.6))*(B+D)+app.CPO_B*app.CO*L*B+app.CPM_B*app.CMA*(
app.c1*((1.025*L*B*CB*app.Tmax*(app.alpha))^(2/3))*((app.Vs)^3)/app.Cad_B)
);
end
%Funcion de restricciones
function [c,ceq]=Restricciones_L_B_CB(app,x1)
    %Variables de optimización
    app.D0=x1(1);
    D=app.D0;
    L=app.L_restriccion;
    B=app.B_restriccion;
    CB=app.CB_restriccion;
    %Funciones de igualdad y desigualdad no lineales
    c(1)=CB-0.7-0.125*(atan(23-
100*((0.5144*app.Vs)/(L*9.81)^(1/2))/4));
    c(2)=CB/(L/B)-0.15;
    c(3)=- (app.Tmax*(0.9-0.3*(1.006-0.0056*CB^-3.56)-
0.1*CB)+B*0.08*B/(app.Tmax*((1.006-0.0056*CB^(-3.56))^(1/2))))-
D*1.6/(L^0.2))+0.04*B;

ceq(1)=app.CS*(L^1.6)*(B+D)+app.CO*(L*B)+app.CMA*(app.c1/app.Cad_B)*(((1.02
5*L*B*CB*app.Tmax*(app.alpha))^(2/3))*((app.Vs^3))+app.DWT-
(1.025*L*B*CB*app.Tmax*(app.alpha)));
    if app.tipobuque==1 %Bulkcarrier
        c(4)=-(L/D)+10.5
        c(5)=(L/B)-7.1;
        c(6)=-(L/B)+5;
        ceq(2)=(app.VCH/(L*B*D))-app.CCH;
    elseif app.tipobuque==2 %Petrolero
        c(4)=-(L/D)+10;
        c(5)=(L/B)-6.8;
        c(6)=-(L/B)+5;
        ceq(2)=(app.VCH/(L*B*D))-app.CCH;
    elseif app.tipobuque==3 %Carguero
        c(4)=-(L/D)+9.9;
        c(5)=(L/B)-7.8;
        c(6)=-(L/B)+4.5;
        ceq(2)=(app.VCH/(L*B*D))-app.CCH;
    elseif app.tipobuque==4 %LNG/LPG

```

```

        c(4)=-(L/D)+10;
        c(5)=(L/B)-7;
        c(6)=-(L/B)+4.5;
        ceq(2)=(app.VCH/(L*B*D))-app.CCH;
elseif app.tipobuque==5 %Quimiquero
        c(4)=-(L/D)+10;
        c(5)=(L/B)-6.8;
        c(6)=-(L/B)+5;
        ceq(2)=(app.VCH/(L*B*D))-app.CCH;
elseif app.tipobuque==6 %Ro-Ro
        if app.tipovehiculo==1 %coche
                app.D0=double(int64(x1(1)))*2.3+1.5;
                D=app.D0;
        else %trailer o mixto
                app.D0=double(int64(x1(1)))*5.5+1.5;
                D=app.D0;
        end
        c(4)=-(L/D)+9.9;
        c(5)=(L/B)-6.2;
        c(6)=-(L/B)+5.2;
        ceq(2)=(app.VCH/(L*B*D))-app.CCH;
elseif app.tipobuque==7 %Ro-Pax
        if app.tipovehiculo==1 %coche

app.D0=double(int64(x1(1)))*2.3+1.5+app.D_B+app.D_pasaje;
        D=app.D0;
        else %trailer o mixto

app.D0=double(int64(x1(1)))*5.5+1.5+app.D_B+app.D_pasaje;
        D=app.D0;
        end
        c(4)=-(L/D)+8.6;
        c(5)=(L/B)-6.2;
        c(6)=-(L/B)+5.2;
        ceq(2)=(app.VCH/(L*B*D))-app.CCH;
elseif app.tipobuque==8 %Portacontenedor
        app.D0=double(int64(x1(1)))*2.64+2.3;
        D=app.D0;
        c(2)=CB/(L/B)-0.15;
        c(3)=- (app.Tmax*(0.9-0.3*(1.006-0.0056*CB^-3.56)-
0.1*CB)+B*0.08*B/(app.Tmax*((1.006-0.0056*CB^(-3.56))^(1/2))))-
D*1.6/(L^0.2))+0.04*B;

ceq(1)=app.CS*(L^1.6)*(B+D)+app.CO*(L*B)+app.CMA*(app.c1/app.Cad_B)*(((1.02
5*L*B*CB*app.Tmax*(app.alpha))^(2/3))*(app.Vs^3))+app.DWT-
(1.025*L*B*CB*app.Tmax*(app.alpha));
        c(4)=-(L/(D*2.64+2.3))+9.9;
        c(5)=(L/(B*2.45+1))-7.8;
        c(6)=-(L/(B*2.45+1))+5.5;
        ceq(2)=((app.VCH*38.54)/(L*B*D))-app.CCH*38.54;
end
end

```

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

```

%%FUNCIONES PARA ESLORA, PUNTAL Y COEFICIENTE DE BLOQUE

```

```

RESTRINGIDOS

```

```

%Función a optimizar

```

```

function C = coste_L_D_CB (app,x1)

```

```

%Variables de optimización

```

```

app.B0=x1(1);

```

```

B=app.B0;

```

```

L= app.L_restriccion;

```

```

D= app.D_restriccion;

```

```

CB= app.CB_restriccion;

```

```

%Función de coste

```

```

if app.tipobuque==6 %Ro-Ro

```

```

if app.tipovehiculo==1 %coche

```

```

    app.B0=double(int64(x1(1)))*2+5.5;

```

```

    B=app.B0;

```

```

else %trailer o mixto

```

```

    app.B0=double(int64(x1(1)))*3+5.5;

```

```

    B=app.B0;

```

```

end

```

```

elseif app.tipobuque==7 %Ro-Pax

```

```

if app.tipovehiculo==1 %coche

```

```

    app.B0=double(int64(x1(1)))*2+5.5;

```

```

    B=app.B0;

```

```

else %trailer o mixto

```

```

    app.B0=double(int64(x1(1)))*3+5.5;

```

```

    B=app.B0;

```

```

end

```

```

elseif app.tipobuque==8 %Portacontenedor

```

```

app.B0=double(int64(x1(1)))*2.45+1;

```

```

B=app.B0;

```

```

end

```

```

C=app.CPS_B*app.CS*(L^(1.6))*(B+D)+app.CPO_B*app.CO*L*B+app.CPM_B*app.CMA*(
app.c1*((1.025*L*B*CB*app.Tmax*(app.alpha))^(2/3))*((app.Vs)^3)/app.Cad_B
);

```

```

end

```

```

%Función de restricciones

```

```

function [c,ceq]=Restricciones_L_D_CB(app,x1)

```

```

%Variables de optimización

```

```

app.B0=x1(1);

```

```

B=app.B0;

```

```

L= app.L_restriccion;

```

```

D= app.D_restriccion;

```

```

CB= app.CB_restriccion;

```

```

%Funciones de igualdad y desigualdad no lineales

```

```

c(1)=CB-0.7-0.125*(atan(23-
100*((0.5144*app.Vs)/(L*9.81)^(1/2))/4));

```

```

c(2)=CB/(L/B)-0.15;

```

```

c(3)=- (app.Tmax*(0.9-0.3*(1.006-0.0056*CB^-3.56)-
0.1*CB)+B*0.08*B/(app.Tmax*((1.006-0.0056*CB^(-3.56))^(1/2))))-
D*1.6/(L^0.2))+0.04*B;

```

```

ceq(1)=app.CS*(L^1.6)*(B+D)+app.CO*(L*B)+app.CMA*(app.c1/app.Cad_B)*(((1.02
5*L*B*CB*app.Tmax*(app.alpha))^(2/3))*(app.Vs^3))+app.DWT-
(1.025*L*B*CB*app.Tmax*(app.alpha));
    if app.tipobuque==1 %Bulkcarrier
        c(4)=-(L/D)+10.5;
        c(5)=(L/B)-7.1;
        c(6)=-(L/B)+5;
        ceq(2)=(app.VCH/(L*B*D))-app.CCH;
    elseif app.tipobuque==2 %Petrolero
        c(4)=-(L/D)+10;
        c(5)=(L/B)-6.8;
        c(6)=-(L/B)+5;
        ceq(2)=(app.VCH/(L*B*D))-app.CCH;
    elseif app.tipobuque==3 %Carguero
        c(4)=-(L/D)+9.9;
        c(5)=(L/B)-7.8;
        c(6)=-(L/B)+4.5;
        ceq(2)=(app.VCH/(L*B*D))-app.CCH;
    elseif app.tipobuque==4 %LNG/LPG
        c(4)=-(L/D)+10;
        c(5)=(L/B)-7;
        c(6)=-(L/B)+4.5;
        ceq(2)=(app.VCH/(L*B*D))-app.CCH;
    elseif app.tipobuque==5 %Quimiquero
        c(4)=-(L/D)+10;
        c(5)=(L/B)-6.8;
        c(6)=-(L/B)+5;
        ceq(2)=(app.VCH/(L*B*D))-app.CCH;
    elseif app.tipobuque==6 %Ro-Ro
        if app.tipovehiculo==1 %coche
            app.B0=double(int64(x1(1)))*2+5.5;
            B=app.B0;
        else %trailer o mixto
            app.B0=double(int64(x1(1)))*3+5.5;
            B=app.B0;
        end
        c(4)=-(L/D)+9.9;
        c(5)=(L/B)-6.2;
        c(6)=-(L/B)+5.2;
        ceq(2)=(app.VCH/(L*B*D))-app.CCH;
    elseif app.tipobuque==7 %Ro-Pax
        if app.tipovehiculo==1 %coche
            app.B0=double(int64(x1(1)))*2+5.5;
            B=app.B0;
        else %trailer o mixto
            app.B0=double(int64(x1(1)))*3+5.5;
            B=app.B0;
        end
        c(4)=-(L/D)+8.6;
        c(5)=(L/B)-6.2;
        c(6)=-(L/B)+5.2;
        ceq(2)=(app.VCH/(L*B*D))-app.CCH;
    elseif app.tipobuque==8 %Portacontenedor

```

```

        app.B0=double(int64(x1(1)))*2.45+1;
        B=app.B0;
        c(2)=CB/(L/B)-0.15;
        c(3)=-(app.Tmax*(0.9-0.3*(1.006-0.0056*CB^-3.56)-
0.1*CB)+B*0.08*B/(app.Tmax*((1.006-0.0056*CB^(-3.56))^(1/2)))-
D*1.6/(L^0.2))+0.04*B;

ceq(1)=app.CS*(L^1.6)*(B+D)+app.CO*(L*B)+app.CMA*(app.c1/app.Cad_B)*(((1.02
5*L*B*CB*app.Tmax*(app.alpha))^(2/3))*(app.Vs^3))+app.DWT-
(1.025*L*B*CB*app.Tmax*(app.alpha));
        c(4)=-(L/(D*2.64+2.3))+9.9;
        c(5)=(L/(B*2.45+1))-7.8;
        c(6)=-(L/(B*2.45+1))+5.5;
        ceq(2)=((app.VCH*38.54)/(L*B*D))-app.CCH*38.54;
    end
end

```

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

%%FUNCIONES PARA MANGA RESTRINGIDA

%%Función a optimizar

function C = coste_B (app,x3)

%%Variables de optimización

app.L0=x3(1);

app.D0=x3(2);

app.CB0=x3(3);

L=app.L0;

D=app.D0;

CB=app.CB0;

B=app.B_restriccion;

%%Función de coste

if app.tipobuque==6 %Ro-Ro

if app.tipovehiculo==1 %coche

app.D0=double(int64(x3(2)))*2.3+1.5;

D=app.D0;

else %trailer o mixto

app.D0=double(int64(x3(2)))*5.5+1.5;

D=app.D0;

end

elseif app.tipobuque==7 %Ro-Pax

if app.tipovehiculo==1 %coche

app.D0=double(int64(x3(2)))*2.3+1.5+app.D_B+app.D_pasaje;

D=app.D0;

else %trailer o mixto

app.D0=double(int64(x3(2)))*5.5+1.5+app.D_B+app.D_pasaje;

D=app.D0;

end

elseif app.tipobuque==8 %Portacontenedor

app.D0=double(int64(x3(2)))*2.64+2.3;

D=app.D0;

end

C=app.CPS_B*app.CS*(L^(1.6))*(B+D)+app.CPO_B*app.CO*L*B+app.CPM_B*app.CMA*(

```

app.c1*(((1.025*L*B*CB*app.Tmax*(app.alpha))^(2/3))*((app.Vs)^3)/app.Cad_B)
);
end
%Funcion de restricciones
function [c,ceq]=Restricciones_B(app,x3)
%Variables de optimización
app.L0=x3(1);
app.D0=x3(2);
app.CB0=x3(3);
L=app.L0;
D=app.D0;
CB=app.CB0;
B= app.B_restriccion;
%Funciones de igualdad y desigualdad no lineales
c(1)=CB-0.7-0.125*(atan(23-
100*((0.5144*app.Vs)/(L*9.81)^(1/2))/4));
c(2)=CB/(L/B)-0.15;
c(3)=- (app.Tmax*(0.9-0.3*(1.006-0.0056*CB^-3.56)-
0.1*CB)+B*0.08*B/(app.Tmax*((1.006-0.0056*CB^(-3.56))^(1/2))))-
D*1.6/(L^0.2))+0.04*B;

ceq(1)=app.CS*(L^1.6)*(B+D)+app.CO*(L*B)+app.CMA*(app.c1/app.Cad_B)*(((1.02
5*L*B*CB*app.Tmax*(app.alpha))^(2/3))*((app.Vs^3))+app.DWT-
(1.025*L*B*CB*app.Tmax*(app.alpha)));
if app.tipobuque==1 %Bulkcarrier
c(4)=- (L/D)+10.5;
c(5)=(L/B)-7.1;
c(6)=- (L/B)+5;
ceq(2)=(app.VCH/(L*B*D))-app.CCH;
elseif app.tipobuque==2 %Petrolero
c(4)=- (L/D)+10;
c(5)=(L/B)-6.8;
c(6)=- (L/B)+5;
ceq(2)=(app.VCH/(L*B*D))-app.CCH;
elseif app.tipobuque==3 %Carguero
c(4)=- (L/D)+9.9;
c(5)=(L/B)-7.8;
c(6)=- (L/B)+4.5;
ceq(2)=(app.VCH/(L*B*D))-app.CCH;
elseif app.tipobuque==4 %LNG/LPG
c(4)=- (L/D)+10;
c(5)=(L/B)-7;
c(6)=- (L/B)+4.5;
ceq(2)=(app.VCH/(L*B*D))-app.CCH;
elseif app.tipobuque==5 %Quimiquero
c(4)=- (L/D)+10;
c(5)=(L/B)-6.8;
c(6)=- (L/B)+5;
ceq(2)=(app.VCH/(L*B*D))-app.CCH;
elseif app.tipobuque==6 %Ro-Ro
if app.tipovehiculo==1 %coche
app.D0=double(int64(x3(2)))*2.3+1.5;
D=app.D0;
else %trailer o mixto

```

```

        app.D0=double(int64(x3(2)))*5.5+1.5;
        D=app.D0;
    end
    c(4)=-(L/D)+9.9;
    c(5)=(L/B)-6.2;
    c(6)=-(L/B)+5.2;
    ceq(2)=(app.VCH/(L*B*D))-app.CCH;
elseif app.tipobuque==7 %Ro-Pax
    if app.tipovehiculo==1 %coche

app.D0=double(int64(x3(2)))*2.3+1.5+app.D_B+app.D_pasaje;
        D=app.D0;
        else %trailer o mixto

app.D0=double(int64(x3(2)))*5.5+1.5+app.D_B+app.D_pasaje;
        D=app.D0;
    end
    c(4)=-(L/D)+8.6;
    c(5)=(L/B)-6.2;
    c(6)=-(L/B)+5.2;
    ceq(2)=(app.VCH/(L*B*D))-app.CCH;
elseif app.tipobuque==8 %Portacontenedor
    app.D0=double(int64(x3(2)))*2.64+2.3;
    D=app.D0;
    c(2)=CB/(L/B)-0.15;
    c(3)=-(app.Tmax*(0.9-0.3*(1.006-0.0056*CB^-3.56))-
0.1*CB)+B*0.08*B/(app.Tmax*((1.006-0.0056*CB^(-3.56))^(1/2)))-
D*1.6/(L^0.2))+0.04*B;

ceq(1)=app.CS*(L^1.6)*(B+D)+app.CO*(L*B)+app.CMA*(app.c1/app.Cad_B)*(((1.02
5*L*B*CB*app.Tmax*(app.alpha))^(2/3))*(app.Vs^3))+app.DWT-
(1.025*L*B*CB*app.Tmax*(app.alpha));
    c(4)=-(L/(D*2.64+2.3))+9.9;
    c(5)=(L/(B*2.45+1))-7.8;
    c(6)=-(L/(B*2.45+1))+5.5;
    ceq(2)=((app.VCH*38.54)/(L*B*D))-app.CCH*38.54;
end
end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%FUNCIONES PARA MANGA, PUNTAL Y COEFICIENTE DE BLOQUE RESTRINGIDO
%Función a optimizar
function C = coste_B_D_CB (app,x1)
    %Variables de optimización
    app.L0=x1(1);
    L=app.L0;
    B= app.B_restriccion;
    D= app.D_restriccion;
    CB= app.CB_restriccion;
    %Función de coste

C=app.CPS_B*app.CS*(L^(1.6))*(B+D)+app.CPO_B*app.CO*L*B+app.CPM_B*app.CMA*(

```

```

app.c1*(((1.025*L*B*CB*app.Tmax*(app.alpha))^(2/3))*((app.Vs)^3)/app.Cad_B)
);
end
%Funcion de restricciones
function [c,ceq]=Restricciones_B_D_CB(app,x1)
    %Variables de optimización
    app.L0=x1(1);
    L=app.L0;
    B= app.B_restriccion;
    D= app.D_restriccion;
    CB= app.CB_restriccion;
    %Funciones de igualdad y desigualdad no lineales
    c(1)=CB-0.7-0.125*(atan(23-
100*((0.5144*app.Vs)/(L*9.81)^(1/2))/4));
    c(2)=CB/(L/B)-0.15;
    c(3)=- (app.Tmax*(0.9-0.3*(1.006-0.0056*CB^-3.56)-
0.1*CB)+B*0.08*B/(app.Tmax*((1.006-0.0056*CB^(-3.56))^(1/2))))-
D*1.6/(L^0.2))+0.04*B;

ceq(1)=app.CS*(L^1.6)*(B+D)+app.CO*(L*B)+app.CMA*(app.c1/app.Cad_B)*(((1.02
5*L*B*CB*app.Tmax*(app.alpha))^(2/3))*((app.Vs^3))+app.DWT-
(1.025*L*B*CB*app.Tmax*(app.alpha)));
    if app.tipobuque==1 %Bulkcarrier
        c(4)=- (L/D)+10.5;
        c(5)=(L/B)-7.1;
        c(6)=- (L/B)+5;
        ceq(2)=(app.VCH/(L*B*D))-app.CCH;
    elseif app.tipobuque==2 %Petrolero
        c(4)=- (L/D)+10;
        c(5)=(L/B)-6.8;
        c(6)=- (L/B)+5;
        ceq(2)=(app.VCH/(L*B*D))-app.CCH;
    elseif app.tipobuque==3 %Carguero
        c(4)=- (L/D)+9.9;
        c(5)=(L/B)-7.8;
        c(6)=- (L/B)+4.5;
        ceq(2)=(app.VCH/(L*B*D))-app.CCH;
    elseif app.tipobuque==4 %LNG/LPG
        c(4)=- (L/D)+10;
        c(5)=CB-0.72;
        c(6)=(L/B)-7;
        c(7)=- (L/B)+4.5;
        ceq(2)=(app.VCH/(L*B*D))-app.CCH;
    elseif app.tipobuque==5 %Quimiquero
        c(4)=- (L/D)+10;
        c(5)=(L/B)-6.8;
        c(6)=- (L/B)+5;
        ceq(2)=(app.VCH/(L*B*D))-app.CCH;
    elseif app.tipobuque==6 %Ro-Ro
        c(4)=- (L/D)+9.9;
        c(5)=(L/B)-6.2;
        c(6)=- (L/B)+5.2;
        ceq(2)=(app.VCH/(L*B*D))-app.CCH;
    elseif app.tipobuque==7 %Ro-Pax

```

```

        c(4)=-(L/D)+8.6;
        c(5)=(L/B)-6.2;
        c(6)=-(L/B)+5.2;
        ceq(2)=(app.VCH/(L*B*D))-app.CCH;
    elseif app.tipobuque==8 %Portacontenedor
        c(2)=CB/(L/B)-0.15;
        c(3)=-(app.Tmax*(0.9-0.3*(1.006-0.0056*CB^-3.56)-
0.1*CB)+B*0.08*B/(app.Tmax*((1.006-0.0056*CB^(-3.56))^(1/2))))-
D*1.6/(L^0.2))+0.04*B;

ceq(1)=app.CS*(L^1.6)*(B+D)+app.CO*(L*B)+app.CMA*(app.c1/app.Cad_B)*(((1.02
5*L*B*CB*app.Tmax*(app.alpha))^(2/3))*(app.Vs^3))+app.DWT-
(1.025*L*B*CB*app.Tmax*(app.alpha));
        c(4)=-(L/(D*2.64+2.3))+9.9;
        c(5)=(L/(B*2.45+1))-7.8;
        c(6)=-(L/(B*2.45+1))+5.5;
        ceq(2)=((app.VCH*38.54)/(L*B*D))-app.CCH*38.54;
    end
end
end
methods (Access = private)
    % Code that executes after component creation
    function startupFcn(app, Seleccion, tipodebuque)
        %Llamar dato tipo de buque de ventana 'Seleccion'
        app.CallingApp=Seleccion;
        app.tipobuque=tipodebuque;
        % Eliminar titulo y ejes de la grafica
        title(app.Foto_buque, []);
        xlabel(app.Foto_buque, []);
        ylabel(app.Foto_buque, []);
        app.Foto_buque.XAxis.TickLabels = {};
        app.Foto_buque.YAxis.TickLabels = {};
        % Poner imagen de fondo y título. Modificar en función de
        buque.
        if app.tipobuque==1 %Bulkcarrier
            F=imshow('bulkcarrier.jpg','parent',app.Foto_buque);
            app.Titulo.Value='BULKCARRIER';
            delete(app.TipodevehiculosButtonGroup);
            app.Dpasaje.BackgroundColor=[0.94,0.94,0.94];
            app.Dpasaje.FontColor=[0.94,0.94,0.94];
            app.Dpasaje_2.BackgroundColor=[0.94,0.94,0.94];
            app.Dpasaje_2.FontColor=[0.94,0.94,0.94];
            delete(app.TextArea_3);
        elseif app.tipobuque==2 %Petrolero
            F=imshow('Petrolero.jpg','parent',app.Foto_buque);
            app.Titulo.Value='PETROLERO';
            app.Dpasaje.BackgroundColor=[0.94,0.94,0.94];
            app.Dpasaje.FontColor=[0.94,0.94,0.94];
            app.Dpasaje_2.BackgroundColor=[0.94,0.94,0.94];
            app.Dpasaje_2.FontColor=[0.94,0.94,0.94];
            delete(app.TipodevehiculosButtonGroup);
            delete(app.TextArea_3);
        elseif app.tipobuque==3 %Carguero
            F=imshow('Carguero.jpg','parent',app.Foto_buque);

```

```

app.Titulo.Value='CARGUERO';
delete(app.TipodevehiculosButtonGroup);
app.Dpasaje.BackgroundColor=[0.94,0.94,0.94];
app.Dpasaje.FontColor=[0.94,0.94,0.94];
app.Dpasaje_2.BackgroundColor=[0.94,0.94,0.94];
app.Dpasaje_2.FontColor=[0.94,0.94,0.94];
delete(app.TextArea_3);
elseif app.tipobuque==4 %LNG/LPG
F=imshow('LNGLPG.jpg','parent',app.Foto_buque);
app.Titulo.Value='LNG/LPG';
delete(app.TipodevehiculosButtonGroup);
app.Dpasaje.BackgroundColor=[0.94,0.94,0.94];
app.Dpasaje.FontColor=[0.94,0.94,0.94];
app.Dpasaje_2.BackgroundColor=[0.94,0.94,0.94];
app.Dpasaje_2.FontColor=[0.94,0.94,0.94];
delete(app.TextArea_3);
elseif app.tipobuque==5 %Quimiquero
F=imshow('Quimiquero.jpg','parent',app.Foto_buque);
app.Titulo.Value='QUIMIQUERO';
delete(app.TipodevehiculosButtonGroup);
app.Dpasaje.BackgroundColor=[0.94,0.94,0.94];
app.Dpasaje.FontColor=[0.94,0.94,0.94];
app.Dpasaje_2.BackgroundColor=[0.94,0.94,0.94];
app.Dpasaje_2.FontColor=[0.94,0.94,0.94];
delete(app.TextArea_3);
elseif app.tipobuque==6 %Ro-Ro
F=imshow('Roro.jpg','parent',app.Foto_buque);
app.Titulo.Value='RORO';
app.TextArea.Value='ml.';
app.TextArea_2.Value='ml.';
app.Dpasaje.BackgroundColor=[0.94,0.94,0.94];
app.Dpasaje.FontColor=[0.94,0.94,0.94];
app.Dpasaje_2.BackgroundColor=[0.94,0.94,0.94];
app.Dpasaje_2.FontColor=[0.94,0.94,0.94];
delete(app.TextArea_3);
elseif app.tipobuque==7 %Ro-Pax
F=imshow('Ropax.jpg','parent',app.Foto_buque);
app.Titulo.Value='ROPAX';
app.TextArea.Value='ml.';
app.TextArea_2.Value='ml.';
app.Dpasaje_2.BackgroundColor=[0.94,0.94,0.94];
app.Dpasaje_2.FontColor=[0.94,0.94,0.94];
elseif app.tipobuque==8 %Portacontenedor
F=imshow('Portacontenedor.jpg','parent',app.Foto_buque);
app.Titulo.Value='PORTACONTENEDOR';
app.TextArea.Value='TEUbodega';
app.TextArea_2.Value='TEUbodega';
delete(app.TipodevehiculosButtonGroup);
app.Dpasaje.BackgroundColor=[0.94,0.94,0.94];
app.Dpasaje.FontColor=[0.94,0.94,0.94];
app.Dpasaje_2.BackgroundColor=[0.94,0.94,0.94];
app.Dpasaje_2.FontColor=[0.94,0.94,0.94];
delete(app.TextArea_3);
end

```

```

% Limites de ejes
app.Foto_buque.XLim = [0 F.XData(2)];
app.Foto_buque.YLim = [0 F.YData(2)];
screenSize=get(0, 'ScreenSize');
% Posicionar interfaz en el centro de pantalla
position=get(app.Fondo, 'Position');
position(1)=(screenSize(3)-position(3))/2;
position(2)=(screenSize(4)-position(4))/2;
set(app.Fondo, 'Position', position);
end
% Button pushed function: AtrsButton
function AtrsButtonPushed(app, event)
    Seleccion;
    delete(app)
end
% Button pushed function: CalcularButton
function CalcularButtonPushed(app, event)
    %Primero se asegura que todas las casillas de parámetros
obligatorios han sido rellenadas
    if app.LppmEditField_2.Value~=0 && app.BmEditField_2.Value~=0
&& app.DmEditField_2.Value~=0 && app.CbEditField_2.Value~=0
        error_inicial=sprintf('Si restringe todas las variables, no
se puede optimizar el dimensionamiento. ');
        errordlg(error_inicial, 'Aviso del sistema');
    else
        if app.DWTtnEditField.Value==0
            error(app);
        elseif app.LWTtnEditField.Value==0
            error(app);
        elseif app.LppmEditField.Value==0
            error(app);
        elseif app.BmEditField.Value==0
            error(app);
        elseif app.DmEditField.Value==0
            error(app);
        elseif app.DfmEditField.Value==0
            error(app);
        elseif app.TdiseomEditField.Value==0
            error(app);
        elseif app.CbEditField.Value==0
            error(app);
        elseif app.WstnEditField.Value==0
            error(app);
        elseif app.WotnEditField.Value==0
            error(app);
        elseif app.WmtnEditField.Value==0
            error(app);
        elseif app.NMCRhpEditField.Value==0
            error(app);
        elseif app.CoefAlmiraztangoEditField.Value==0
            error(app);
        elseif app.VCHm3EditField.Value==0
            error(app);
        elseif app.FrancobordomEditField.Value==0

```

```

        error(app);
elseif app.CpstnEditField.Value==0
    error(app);
elseif app.CpotnEditField.Value==0
    error(app);
elseif app.CpmtnEditField.Value==0
    error(app);
elseif app.MargendemarEditField.Value==0
    error(app);
elseif app.DeratingRatioEditField.Value==0
    error(app);
elseif app.EngineMarginEditField.Value==0
    error(app);
elseif app.DWTtnEditField_2.Value==0
    error(app);
elseif app.VCHm3EditField_2.Value==0
    error(app);
elseif app.VsknEditField.Value==0
    error(app);
elseif app.TmaxmEditField.Value==0
    error(app);
elseif app.TescantillonadomEditField.Value==0
    error(app);
elseif app.tipobuque==7 && app.Dpasaje.Value==0
    error(app);
else
%%Datos de entrada
%%Variables de entrada del buque base
app.DWT_B=app.DWTtnEditField.Value; %peso muerto
app.LWT_B=app.LWTtnEditField.Value; %peso en rosca
app.LBP_B=app.LppmEditField.Value; %eslora entre perpendiculares
app.B_B=app.BmEditField.Value; %manga
app.D_B=app.DmEditField.Value; %puntal
app.Df_B=app.DfmEditField.Value; %puntal de francobordo
app.Td_B=app.TdiseomEditField.Value; %calado de diseño
app.Ts_B=app.TescantillonadomEditField.Value; %calado de
escantillonado
app.CB_B=app.CbEditField.Value; %coef.de bloque
app.WS_B=app.WstnEditField.Value; %peso estructura
app.WO_B=app.WotnEditField.Value; %peso equipos
app.WM_B=app.WmtnEditField.Value; %peso maquinaria
app.NMCR_B_hp=app.NMCRhpEditField.Value; %HP
app.NMCR_B=app.NMCR_B_hp/0.9863; %Unidades a PS
app.Cad_B=app.CofAlmiraztangoEditField.Value; %coef. almiraztango
app.VCH_B=app.VCHm3EditField.Value; %volumen bodegas de carga (m3)
app.FB_B=app.FrancobordomEditField.Value; %francobordo
app.CPS_B=app.CpstnEditField.Value; %Coste por tonelada de
estructura
app.CPO_B=app.CpotnEditField.Value; %Coste por tonelada de equipos
app.CPM_B=app.CpmtnEditField.Value; %Coste por tonelada de maquinas
app.Seamargin=app.MargendemarEditField.Value; %Margen de mar (%)
app.DeratingRatio=app.DeratingRatioEditField.Value;
app.EM=app.EngineMarginEditField.Value;
app.D_pasaje=app.Dpasaje.Value;

```

```

%Variables de entrada del buque de diseño
app.DWT=app.DWTnEditField_2.Value; %peso muerto
app.Vs=app.VsknEditField.Value; %(kn)
app.VCH=app.VCHm3EditField_2.Value; %volumen bodegas carga (m3)
app.Tmax=app.TmaxmEditField.Value; %calado diseño
%Variables de entrada de restricciones del buque de diseño
app.L_restriccion=app.LppmEditField_2.Value;
app.B_restriccion=app.BmEditField_2.Value;
app.D_restriccion=app.DmEditField_2.Value;
app.CB_restriccion=app.CbEditField_2.Value;
%%Estimaciones en función del buque base
%Variables en ecuacion de peso
app.alpha=(app.LWT_B+ app.DWT_B)/(1.025* app.LBP_B* app.B_B*
app.Td_B* app.CB_B);
app.CS=app.WS_B/((app.LBP_B^1.6)*(app.B_B+app.D_B));
app.CO=app.WO_B/(app.LBP_B*app.B_B);
app.CMA=app.WM_B/app.NMCR_B;
app.c1=(1/(app.DeratingRatio*app.EM))*(1+
app.Seamargin/100)*(1/0.99);
%Variables en ecuación de volumen
app.CCH=app.VCH_B/(app.LBP_B*app.B_B*app.D_B);
%Variables en restriccion francobordo
app.CFB=app.FB_B/app.D_B;
app.CoeffDf=app.Df_B/app.D_B;
app.Ts=app.Tmax*(app.Ts_B/app.Td_B);
if app.tipobuque==6 || app.tipobuque==7
if app.TipodevehiculosButtonGroup.SelectedObject==app.CocheButton
app.tipovehiculo=1;
else
app.tipovehiculo=2;
end
end

%%AVISO DE ENTRADA
info(app);

%%ALGORITMO GENETICO + METODO LOCAL

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%ALGORITMO SIN RESTRICCIONES DE DISEÑO
if (app.L_restriccion + app.B_restriccion +
app.D_restriccion + app.CB_restriccion)==0
options=optimoptions('ga','Display','iter');
x0=[app.LBP_B app.D_B app.CB_B app.B_B]; % Punto de
partida

options.InitialPopulationMatrix = x0;
LB=[0.001 0.001 0.3 0.001];
UB=[inf inf inf inf];
A=[0 app.CFB-app.CoeffDf 0 0]; %Desigualdad francobordo
b=[-app.Ts];
contador=1;
exitflagx=0;
while exitflagx~=1 && contador<=2

```

```
[app.x,fvalx,exitflagx]=ga(@(x)coste(app,x),4,A,b,[],[],LB,UB,@(x)Restricciones(app,x),options);
```

```
    contador=contador+1;
end
if exitflagx==1
    app.LppmEditField_3.Value=app.L0;
    app.DmEditField_3.Value=app.D0;
    app.CbEditField_3.Value=app.CB0;
    app.BmEditField_3.Value=app.B0;
    app.CostedeconstruccinEditField.Value=fvalx;
else
```

```
optionsy=optimoptions('fmincon','Display','iter','Algorithm','sqp');
```

```
[app.x,fvaly,exitflagy]=fmincon(@(x)coste(app,x),x0,A,b,[],[],LB,UB,@(x)Restricciones(app,x),optionsy);
```

```
    if exitflagy==1
        app.LppmEditField_3.Value=app.L0;
        app.DmEditField_3.Value=app.D0;
        app.CbEditField_3.Value=app.CB0;
        app.BmEditField_3.Value=app.B0;
        app.CostedeconstruccinEditField.Value=fvaly;
    else
```

```
optionsy=optimoptions('fmincon','Display','iter','Algorithm','sqp');
```

```
optionsy.MaxIterations=100000;
optionsy.MaxFunctionEvaluations=50000;
```

```
[app.x,fvaly,exitflagy]=fmincon(@(x)coste(app,x),x0,A,b,[],[],LB,UB,@(x)Restricciones(app,x),optionsy);
```

```
    if exitflagy~=1
        error2(app);
    end
    app.LppmEditField_3.Value=app.L0;
    app.DmEditField_3.Value=app.D0;
    app.CbEditField_3.Value=app.CB0;
    app.BmEditField_3.Value=app.B0;
    app.CostedeconstruccinEditField.Value=fvaly;
end
end
end
```

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

```
%%ALGORITMO CON MANGA RESTRINGIDA
```

```
if [(app.L_restriccion + app.D_restriccion +
app.CB_restriccion)==0] && app.B_restriccion>0
    options=optimoptions('ga','Display','iter');
    x0=[app.LBP_B app.D_B app.CB_B]; % Punto de partida
    options.InitialPopulationMatrix = x0;
    LB=[0.001 0.001 0.3];
    UB=[inf inf inf];
```

```

A=[0 app.CFB-app.CoeffDf 0]; %Desigualdad francobordo
b=[-app.Ts];
contador=1;
exitflagx=0;
while exitflagx~=1 && contador<=2

[app.x3,fvalx,exitflagx]=ga(@(x3)coste_B(app,x3),3,A,b,[],[],LB,UB,@(x3)Res
tricciones_B(app,x3),options);
    contador=contador+1;
end
if exitflagx==1
    app.LppmEditField_3.Value=app.L0;
    app.DmEditField_3.Value=app.D0;
    app.CbEditField_3.Value=app.CB0;
    app.BmEditField_3.Value=app.B_restriccion;
    app.CostedeconstruccinEditField.Value=fvalx;
else

optionsy=optimoptions('fmincon','Display','iter','Algorithm','sqp');

[app.x3,fvaly,exitflagy]=fmincon(@(x3)coste_B(app,x3),x0,A,b,[],[],LB,UB,@(
x3)Restricciones_B(app,x3),optionsy);
    if exitflagy==1
        app.LppmEditField_3.Value=app.L0;
        app.DmEditField_3.Value=app.D0;
        app.CbEditField_3.Value=app.CB0;
        app.BmEditField_3.Value=app.B_restriccion;
        app.CostedeconstruccinEditField.Value=fvaly;
    else

optionsy=optimoptions('fmincon','Display','iter','Algorithm','sqp');
    optionsy.MaxIterations=10000;
    optionsy.MaxFunctionEvaluations=50000;

[app.x3,fvaly,exitflagy]=fmincon(@(x3)coste_B(app,x3),x0,A,b,[],[],LB,UB,@(
x3)Restricciones_B(app,x3),optionsy);
    if exitflagy~=1
        error2(app);
    end
    app.LppmEditField_3.Value=app.L0;
    app.DmEditField_3.Value=app.D0;
    app.CbEditField_3.Value=app.CB0;
    app.BmEditField_3.Value=app.B_restriccion;
    app.CostedeconstruccinEditField.Value=fvaly;
end
end
end

%%ALGORITMO CON COEFICIENTE DE BLOQUE RESTRINGIDO
if [(app.L_restriccion + app.D_restriccion +
app.B_restriccion)==0] && app.CB_restriccion>0

```

```

options=optimoptions('ga','Display','iter');
x0=[app.LBP_B app.D_B app.B_B]; % Punto de partida
options.InitialPopulationMatrix = x0;
LB=[0.001 0.001 0.001];
UB=[inf inf inf];
A=[0 app.CFB-app.CoeffDf 0]; %Desigualdad francobordo
b=[-app.Ts];
contador=1;
exitflagx=0;
while exitflagx~=1 && contador<=2

[app.x3,fvalx,exitflagx]=ga(@(x3)coste_CB(app,x3),3,A,b,[],[],LB,UB,@(x3)Re
stricciones_CB(app,x3),options);
contador=contador+1;
end
if exitflagx==1
app.LppmEditField_3.Value=app.L0;
app.DmEditField_3.Value=app.D0;
app.BmEditField_3.Value=app.B0;
app.CbEditField_3.Value=app.CB_restriccion;
app.CostedeconstruccinEditField.Value=fvalx;
else

optionsy=optimoptions('fmincon','Display','iter','Algorithm','sqp');

[app.x3,fvaly,exitflagy]=fmincon(@(x3)coste_CB(app,x3),x0,A,b,[],[],LB,UB,@
(x3)Restricciones_CB(app,x3),optionsy);
if exitflagy==1
app.LppmEditField_3.Value=app.L0;
app.DmEditField_3.Value=app.D0;
app.BmEditField_3.Value=app.B0;
app.CbEditField_3.Value=app.CB_restriccion;
app.CostedeconstruccinEditField.Value=fvaly;
else

optionsy=optimoptions('fmincon','Display','iter','Algorithm','sqp');
optionsy.MaxIterations=10000;
optionsy.MaxFunctionEvaluations=50000;

[app.x3,fvaly,exitflagy]=fmincon(@(x3)coste_CB(app,x3),x0,A,b,[],[],LB,UB,@
(x3)Restricciones_CB(app,x3),optionsy);
if exitflagy~=1
error2(app);
end
app.LppmEditField_3.Value=app.L0;
app.DmEditField_3.Value=app.D0;
app.BmEditField_3.Value=app.B0;
app.CbEditField_3.Value=app.CB_restriccion;
app.CostedeconstruccinEditField.Value=fvaly;
end
end
end
end

```



```

end
    app.BmEditField_3.Value=app.B0;
    app.DmEditField_3.Value=app.D0;
    app.CbEditField_3.Value=app.CB0;
    app.LppmEditField_3.Value= app.L_restriccion;
    app.CostedeconstruccinEditField.Value=fvaly;
end
end
end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%ALGORITMO CON ESLORA Y MANGA RESTRINGIDAS
    if [(app.D_restriccion + app.CB_restriccion)==0] &&
[app.L_restriccion>0 && app.B_restriccion>0]
        options=optimoptions('ga','Display','iter');
        x0=[ app.D_B app.CB_B]; % Punto de partida
        options.InitialPopulationMatrix = x0;
        LB=[0.001 0.3];
        UB=[inf inf];
        A=[ app.CFB- app.CoeffDf 0]; %Desigualdad francobordo
        b=[- app.Ts];
        contador=1;
        exitflagx=0;
        while exitflagx~=1 && contador<=2

[app.x2,fvalx,exitflagx]=ga(@(x2)coste_L_B(app,x2),2,A,b,[],[],LB,UB,@(x2)R
estricciones_L_B(app,x2),options);
            contador=contador+1;
        end
        if exitflagx==1
            app.DmEditField_3.Value=app.D0;
            app.CbEditField_3.Value=app.CB0;
            app.BmEditField_3.Value= app.B_restriccion;
            app.LppmEditField_3.Value= app.L_restriccion;
            app.CostedeconstruccinEditField.Value=fvalx;
        else

optionsy=optimoptions('fmincon','Display','iter','Algorithm','sqp');

[app.x2,fvaly,exitflagy]=fmincon(@(x2)coste_L_B(app,x2),x0,A,b,[],[],LB,UB,
@(x2)Restricciones_L_B(app,x2),optionsy);
            if exitflagy==1
                app.DmEditField_3.Value=app.D0;
                app.CbEditField_3.Value=app.CB0;
                app.BmEditField_3.Value= app.B_restriccion;
                app.LppmEditField_3.Value= app.L_restriccion;
                app.CostedeconstruccinEditField.Value=fvaly;
            else
                x0=[D1 CB1];

optionsy=optimoptions('fmincon','Display','iter','Algorithm','sqp');
            optionsy.MaxIterations=10000;

```

```

optionsy.MaxFunctionEvaluations=50000;

[app.x2,fvaly,exitflagy]=fmincon(@(x2)coste_L_B(app,x2),x0,A,b,[],[],LB,UB,
@(x2)Restricciones_L_B(app,x2),optionsy);
    if exitflagy~=1
        error2(app);
    end
    app.DmEditField_3.Value=app.D0;
    app.CbEditField_3.Value=app.CB0;
    app.BmEditField_3.Value= app.B_restriccion;
    app.LppmEditField_3.Value= app.L_restriccion;
    app.CostedeconstruccinEditField.Value=fvaly;
end
end
end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%ALGORITMO CON ESLORA Y PUNTAL RESTRINGIDOS
    if [(app.B_restriccion + app.CB_restriccion)==0] &&
[app.L_restriccion>0 && app.D_restriccion>0]
        options=optimoptions('ga','Display','iter');
        x0=[app.B_B app.CB_B]; % Punto de partida
        options.InitialPopulationMatrix = x0;
        LB=[0.001 0.3];
        UB=[inf inf];
        A=[];
        b=[];
        contador=1;
        exitflagx=0;
        while exitflagx~=1 && contador<=2

[app.x2,fvalx,exitflagx]=ga(@(x2)coste_L_D(app,x2),2,A,b,[],[],LB,UB,@(x2)R
estricciones_L_D(app,x2),options);
            contador=contador+1;
        end
        if exitflagx==1
            app.BmEditField_3.Value=app.B0;
            app.CbEditField_3.Value=app.CB0;
            app.DmEditField_3.Value=app.D_restriccion;
            app.LppmEditField_3.Value=app.L_restriccion;
            app.CostedeconstruccinEditField.Value=fvalx;
        else

optionsy=optimoptions('fmincon','Display','iter','Algorithm','sqp');

[app.x2,fvaly,exitflagy]=fmincon(@(x2)coste_L_D(app,x2),x0,A,b,[],[],LB,UB,
@(x2)Restricciones_L_D(app,x2),optionsy);
    if exitflagy==1
        app.BmEditField_3.Value=app.B0;
        app.CbEditField_3.Value=app.CB0;
        app.DmEditField_3.Value= app.D_restriccion;
        app.LppmEditField_3.Value= app.L_restriccion;

```

```

        app.CostedeconstruccinEditField.Value=fvaly;
    else

optionsy=optimoptions('fmincon','Display','iter','Algorithm','sqp');
optionsy.MaxIterations=10000;
optionsy.MaxFunctionEvaluations=50000;

[app.x2,fvaly,exitflagy]=fmincon(@(x2)coste_L_D(app,x2),x0,A,b,[],[],LB,UB,
@(x2)Restricciones_L_D(app,x2),optionsy);
    if exitflagy~=1
        error2(app);
    end
    app.BmEditField_3.Value=app.B0;
    app.CbEditField_3.Value=app.CB0;
    app.DmEditField_3.Value= app.D_restriccion;
    app.LppmEditField_3.Value= app.L_restriccion;
    app.CostedeconstruccinEditField.Value=fvaly;
end
end
end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%ALGORITMO CON ESLORA Y COEFICIENTE DE BLOQUE RESTRINGIDOS
    if [(app.D_restriccion + app.B_restriccion)==0] &&
[app.L_restriccion>0 && app.CB_restriccion>0]
        options=optimoptions('ga','Display','iter');
        x0=[ app.B_B app.D_B]; % Punto de partida
        options.InitialPopulationMatrix = x0;
        LB=[0.001 0.001];
        UB=[inf inf];
        A=[0 app.CFB- app.CoeffDf]; %Desigualdad francobordo
        b=[- app.Ts];
        contador=1;
        exitflagx=0;
        while exitflagx~=1 && contador<=2

[app.x2,fvalx,exitflagx]=ga(@(x2)coste_L_CB(app,x2),2,A,b,[],[],LB,UB,@(x2)
Restricciones_L_CB(app,x2),options);
            contador=contador+1;
        end
        if exitflagx==1
            app.BmEditField_3.Value=app.B0;
            app.DmEditField_3.Value=app.D0;
            app.CbEditField_3.Value= app.CB_restriccion;
            app.LppmEditField_3.Value= app.L_restriccion;
            app.CostedeconstruccinEditField.Value=fvalx;
        else

optionsy=optimoptions('fmincon','Display','iter','Algorithm','sqp');

[app.x2,fvaly,exitflagy]=fmincon(@(x2)coste_L_CB(app,x2),x0,A,b,[],[],LB,UB
,@(x2)Restricciones_L_CB(app,x2),optionsy);

```

```

        if exitflagy==1
            app.BmEditField_3.Value=app.B0;
            app.DmEditField_3.Value=app.D0;
            app.CbEditField_3.Value= app.CB_restriccion;
            app.LppmEditField_3.Value= app.L_restriccion;
            app.CostedeconstruccinEditField.Value=fvaly;
        else

optionsy=optimoptions('fmincon','Display','iter','Algorithm','sqp');
optionsy.MaxIterations=10000;
optionsy.MaxFunctionEvaluations=50000;

[app.x2,fvaly,exitflagy]=fmincon(@(x2)coste_L_CB(app,x2),x0,A,b,[],[],LB,UB
,@(x2)Restricciones_L_CB(app,x2),optionsy);
        if exitflagy~=1
            error2(app);
        end
        app.BmEditField_3.Value=app.B0;
        app.DmEditField_3.Value=app.D0;
        app.CbEditField_3.Value= app.CB_restriccion;
        app.LppmEditField_3.Value= app.L_restriccion;
        app.CostedeconstruccinEditField.Value=fvaly;
    end
end
end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%ALGORITMO CON MANGA Y PUNTAL RESTRINGIDOS
    if [(app.L_restriccion + app.CB_restriccion)==0] &&
[app.B_restriccion>0 && app.D_restriccion>0]
        options=optimoptions('ga','Display','iter');
        x0=[ app.LBP_B app.CB_B]; % Punto de partida
        options.InitialPopulationMatrix = x0;
        LB=[0.001 0.3];
        UB=[inf inf];
        A=[];
        b=[];
        contador=1;
        exitflagx=0;
        while exitflagx~=1 && contador<=2

[app.x2,fvalx,exitflagx]=ga(@(x2)coste_B_D(app,x2),2,A,b,[],[],LB,UB,@(x2)R
estricciones_B_D(app,x2),options);
            contador=contador+1;
        end
        if exitflagx==1
            app.LppmEditField_3.Value=app.L0;
            app.CbEditField_3.Value=app.CB0;
            app.BmEditField_3.Value= app.B_restriccion;
            app.DmEditField_3.Value= app.D_restriccion;
            app.CostedeconstruccinEditField.Value=fvalx;
        else

```



```

        app.DmEditField_3.Value=app.D0;
        app.BmEditField_3.Value= app.B_restriccion;
        app.CbEditField_3.Value= app.CB_restriccion;
        app.CostedeconstruccinEditField.Value=fvalx;
    else

optionsy=optimoptions('fmincon','Display','iter','Algorithm','sqp');

[app.x2,fvaly,exitflagy]=fmincon(@(x2)coste_B_CB(app,x2),x0,A,b,[],[],LB,UB
,@(x2)Restricciones_B_CB(app,x2),optionsy);
    if exitflagy==1
        app.LppmEditField_3.Value=app.L0;
        app.DmEditField_3.Value=app.D0;
        app.BmEditField_3.Value= app.B_restriccion;
        app.CbEditField_3.Value= app.CB_restriccion;
        app.CostedeconstruccinEditField.Value=fvaly;
    else

optionsy=optimoptions('fmincon','Display','iter','Algorithm','sqp');
    optionsy.MaxIterations=10000;
    optionsy.MaxFunctionEvaluations=50000;

[app.x2,fvaly,exitflagy]=fmincon(@(x2)coste_B_CB(app,x2),x0,A,b,[],[],LB,UB
,@(x2)Restricciones_B_CB(app,x2),optionsy);
    if exitflagy~=1
        error2(app);
    end
    app.LppmEditField_3.Value=app.L0;
    app.DmEditField_3.Value=app.D0;
    app.BmEditField_3.Value= app.B_restriccion;
    app.CbEditField_3.Value= app.CB_restriccion;
    app.CostedeconstruccinEditField.Value=fvaly;
end
end
end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
    %%ALGORITMO CON PUNTAL Y COEFICIENTE DE BLOQUE RESTRINGIDOS
    if [(app.L_restriccion + app.B_restriccion)==0] &&
[app.D_restriccion>0 && app.CB_restriccion>0]
        options=optimoptions('ga','Display','iter');
        x0=[ app.LBP_B app.B_B]; % Punto de partida
        options.InitialPopulationMatrix = x0;
        LB=[0.001 0.001];
        UB=[inf inf];
        A=[]; %Desigualdad francobordo
        b=[];
        contador=1;
        exitflagx=0;
        while exitflagx~=1 && contador<=2

```

```

[app.x2,fvalx,exitflagx]=ga(@(x2)coste_D_CB(app,x2),2,A,b,[],[],LB,UB,@(x2)
Restricciones_D_CB(app,x2),options);
    contador=contador+1;
end
if exitflagx==1
    app.LppmEditField_3.Value=app.L0;
    app.BmEditField_3.Value=app.B0;
    app.DmEditField_3.Value= app.D_restriccion;
    app.CbEditField_3.Value= app.CB_restriccion;
    app.CostedeconstruccinEditField.Value=fvalx;
else

optionsy=optimoptions('fmincon','Display','iter','Algorithm','sqp');

[app.x2,fvaly,exitflagy]=fmincon(@(x2)coste_D_CB(app,x2),x0,A,b,[],[],LB,UB
,@(x2)Restricciones_D_CB(app,x2),optionsy);
    if exitflagy==1
        App.LppmEditField_3.Value=app.L0;
        app.BmEditField_3.Value=app.B0;
        app.DmEditField_3.Value= app.D_restriccion;
        app.CbEditField_3.Value= app.CB_restriccion;
        app.CostedeconstruccinEditField.Value=fvaly;
    else

optionsy=optimoptions('fmincon','Display','iter','Algorithm','sqp');
    optionsy.MaxIterations=10000;
    optionsy.MaxFunctionEvaluations=50000;

[app.x2,fvaly,exitflagy]=fmincon(@(x2)coste_D_CB(app,x2),x0,A,b,[],[],LB,UB
,@(x2)Restricciones_D_CB(app,x2),optionsy);
    if exitflagy~=1
        error2(app);
    end
    app.LppmEditField_3.Value=app.L0;
    app.BmEditField_3.Value=app.B0;
    app.DmEditField_3.Value= app.D_restriccion;
    app.CbEditField_3.Value= app.CB_restriccion;
    app.CostedeconstruccinEditField.Value=fvaly;
end
end
end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%ALGORITMO CON ESLORA, MANGA Y PUNTAL RESTRINGIDOS
if [app.CB_restriccion==0] && [app.L_restriccion>0 &&
app.B_restriccion>0 && app.D_restriccion>0]
    options=optimoptions('ga','Display','iter');
    x0=[ app.CB_B]; % Punto de partida
    options.InitialPopulationMatrix = x0;
    LB=[0.3];
    UB=[inf];

```



```

        if [app.D_restriccion==0] && [app.L_restriccion>0 &&
app.B_restriccion>0 && app.CB_restriccion>0]
            options=optimoptions('ga','Display','iter');
            x0=[ app.D_B]; % Punto de partida
            options.InitialPopulationMatrix = x0;
            LB=[0.001];
            UB=[inf];
            A=[app.CFB-app.CofDf]; %Desigualdad francobordo
            b=[-app.Ts];
            contador=1;
            exitflagx=0;
            while exitflagx~=1 && contador<=2

[app.x1,fvalx,exitflagx]=ga(@(x1)coste_L_B_CB(app,x1),1,A,b,[],[],LB,UB,@(x
1)Restricciones_L_B_CB(app,x1),options);
            contador=contador+1;
            end
            if exitflagx==1
                app.DmEditField_3.Value=app.D0;
                app.LppmEditField_3.Value= app.L_restriccion;
                app.BmEditField_3.Value= app.B_restriccion;
                app.CbEditField_3.Value= app.CB_restriccion;
                app.CostedeconstruccinEditField.Value=fvalx;
            else

optionsy=optimoptions('fmincon','Display','iter','Algorithm','sqp');

[app.x1,fvaly,exitflagy]=fmincon(@(x1)coste_L_B_CB(app,x1),x0,A,b,[],[],LB,
UB,@(x1)Restricciones_L_B_CB(app,x1),optionsy);
                if exitflagy==1
                    app.DmEditField_3.Value=app.D0;
                    app.LppmEditField_3.Value= app.L_restriccion;
                    app.BmEditField_3.Value= app.B_restriccion;
                    app.CbEditField_3.Value= app.CB_restriccion;
                    app.CostedeconstruccinEditField.Value=fvaly;
                else

optionsy=optimoptions('fmincon','Display','iter','Algorithm','sqp');
                    optionsy.MaxIterations=10000;
                    optionsy.MaxFunctionEvaluations=50000;

[app.x1,fvaly,exitflagy]=fmincon(@(x1)coste_L_B_CB(app,x1),x0,A,b,[],[],LB,
UB,@(x1)Restricciones_L_B_CB(app,x1),optionsy);
                        if exitflagy~=1
                            error2(app);
                        end
                        app.DmEditField_3.Value=app.D0;
                        app.LppmEditField_3.Value= app.L_restriccion;
                        app.BmEditField_3.Value= app.B_restriccion;
                        app.CbEditField_3.Value= app.CB_restriccion;
                        app.CostedeconstruccinEditField.Value=fvaly;
                    end
                end
            end
end
end
end

```

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

```

%%ALGORITMO CON ESLORA, PUNTAL Y COEFICIENTE DE BLOQUE

```

```

RESTRINGIDOS

```

```

    if [app.B_restriccion==0] && [app.L_restriccion>0 &&
app.CB_restriccion>0 && app.D_restriccion>0]
        options=optimoptions('ga','Display','iter');
        x0=[ app.B_B]; % Punto de partida
        options.InitialPopulationMatrix = x0;
        LB=[0.001];
        UB=[inf];
        A=[]; %Desigualdad francobordo
        b=[];
        contador=1;
        exitflagx=0;
        while exitflagx~=1 && contador<=2

[app.x1,fvalx,exitflagx]=ga(@(x1)coste_L_D_CB(app,x1),1,A,b,[],[],LB,UB,@(x
1)Restricciones_L_D_CB(app,x1),options);
            contador=contador+1;
        end
        if exitflagx==1
            app.BmEditField_3.Value=app.B0;
            app.LppmEditField_3.Value= app.L_restriccion;
            app.DmEditField_3.Value= app.D_restriccion;
            app.CbEditField_3.Value= app.CB_restriccion;
            app.CostedeconstruccinEditField.Value=fvalx;
        else

optionsy=optimoptions('fmincon','Display','iter','Algorithm','sqp');

[app.x1,fvaly,exitflagy]=fmincon(@(x1)coste_L_D_CB(app,x1),x0,A,b,[],[],LB,
UB,@(x1)Restricciones_L_D_CB(app,x1),optionsy);
            if exitflagy==1
                app.BmEditField_3.Value=app.B0;
                app.LppmEditField_3.Value= app.L_restriccion;
                app.DmEditField_3.Value= app.D_restriccion;
                app.CbEditField_3.Value= app.CB_restriccion;
                app.CostedeconstruccinEditField.Value=fvaly;
            else

optionsy=optimoptions('fmincon','Display','iter','Algorithm','sqp');
                optionsy.MaxIterations=10000;
                optionsy.MaxFunctionEvaluations=50000;

[app.x1,fvaly,exitflagy]=fmincon(@(x1)coste_L_D_CB(app,x1),x0,A,b,[],[],LB,
UB,@(x1)Restricciones_L_D_CB(app,x1),optionsy);
                    if exitflagy~=1
                        error2(app);
                    end
                    app.BmEditField_3.Value=app.B0;
                    app.LppmEditField_3.Value= app.L_restriccion;

```



```

[app.x1,fvaly,exitflagy]=fmincon(@(x1)coste_B_D_CB(app,x1),x0,A,b,[],[],LB,
UB,@(x1)Restricciones_B_D_CB(app,x1),optionsy);
    if exitflagy~=1
        error2(app);
    end
    app.LppmEditField_3.Value=app.L0;
    app.BmEditField_3.Value= app.B_restriccion;
    app.DmEditField_3.Value= app.D_restriccion;
    app.CbEditField_3.Value= app.CB_restriccion;
    app.CostedeconstruccinEditField.Value=fvaly;
end
end
end
end
end
app.TdiseomEditField_2.Value=app.Tmax;
app.TescantillonadomEditField_2.Value=app.Ts;
end
% Value changed function: BorrarresultadosButton
function BorrarresultadosButtonValueChanged(app, event)
    value = app.BorrarresultadosButton.Value;
    app.LppmEditField_3.Value=0;
    app.BmEditField_3.Value=0;
    app.DmEditField_3.Value=0;
    app.CbEditField_3.Value=0;
    app.CostedeconstruccinEditField.Value=0;
    app.TdiseomEditField_2.Value=0;
    app.TescantillonadomEditField_2.Value=0;
end
% Button pushed function: AyudaButton
function AyudaButtonPushed(app, event)
    winopen('Ayuda.pdf')
end
% Value changed function: DimensionarhliceButton
function DimensionarhliceButtonValueChanged(app, event)
    %Primero se asegura que todas las casillas de parámetros
obligatorios han sido rellenas
    if app.LppmEditField.Value==0
        error5(app);
    elseif app.LWTtnEditField.Value==0
        error5(app);
    elseif app.BmEditField.Value==0
        error5(app);
    elseif app.DmEditField.Value==0
        error5(app);
    elseif app.TdiseomEditField.Value==0
        error5(app);
    elseif app.CbEditField.Value==0
        error5(app);
    elseif app.DWTtnEditField.Value==0
        error5(app);
    elseif app.DeratingRatioEditField.Value==0
        error5(app);

```

```

elseif app.VsknEditField.Value==0
    error5(app);
elseif app.TmaxmEditField.Value==0
    error5(app);
elseif app.LppmEditField_3.Value==0
    error5(app);
elseif app.BmEditField_3.Value==0
    error5(app);
elseif app.DmEditField_3.Value==0
    error5(app);
elseif app.CbEditField_3.Value==0
    error5(app);
else
    %Llevamos los datos de esta ventana a la ventana 'Propulsor'

app.Propulsor=Propulsor(app,app.LppmEditField_3.Value,app.BmEditField_3.Val
ue,app.DmEditField_3.Value,app.CbEditField_3.Value,app.TmaxmEditField.Value
,app.VsknEditField.Value,app.DeratingRatioEditField.Value,app.TdiseomEditFi
eld.Value,app.DmEditField.Value,app.BmEditField.Value,app.LppmEditField.Val
ue,app.DWTtnEditField.Value,app.LWTtnEditField.Value,app.CbEditField.Value)
;
    end
end
% Value changed function: LppmEditField_3
function LppmEditField_3ValueChanged(app, event)
    value = app.LppmEditField_3.Value; %función para llevar dato a
otra ventana
end
% Value changed function: BmEditField_3
function BmEditField_3ValueChanged(app, event)
    value = app.BmEditField_3.Value; %función para llevar dato a
otra ventana
end
% Value changed function: DmEditField_3
function DmEditField_3ValueChanged(app, event)
    value = app.DmEditField_3.Value; %función para llevar dato a
otra ventana
end
% Value changed function: CbEditField_3
function CbEditField_3ValueChanged(app, event)
    value = app.CbEditField_3.Value; %función para llevar dato a
otra ventana
end
% Value changed function: TmaxmEditField
function TmaxmEditFieldValueChanged(app, event)
    value = app.TmaxmEditField.Value; %función para llevar dato a
otra ventana
end
% Value changed function: VsknEditField
function VsknEditFieldValueChanged(app, event)
    value = app.VsknEditField.Value; %función para llevar dato a
otra ventana
end
% Value changed function: DeratingRatioEditField

```

```

function DeratingRatioEditFieldValueChanged(app, event)
    value = app.DeratingRatioEditField.Value; %función para llevar
dato a otra ventana
end
% Value changed function: TdiseomEditField
function TdiseomEditFieldValueChanged(app, event)
    value = app.TdiseomEditField.Value; %función para llevar dato a
otra ventana
end
% Value changed function: DmEditField
function DmEditFieldValueChanged(app, event)
    value = app.DmEditField.Value; %función para llevar dato a otra
ventana
end
% Value changed function: BmEditField
function BmEditFieldValueChanged(app, event)
    value = app.BmEditField.Value; %función para llevar dato a otra
ventana
end
% Value changed function: LppmEditField
function LppmEditFieldValueChanged(app, event)
    value = app.LppmEditField.Value; %función para llevar dato a
otra ventana
end
% Value changed function: DWTtnEditField
function DWTtnEditFieldValueChanged(app, event)
    value = app.DWTtnEditField.Value; %función para llevar dato a
otra ventana
end
% Value changed function: LWTtnEditField
function LWTtnEditFieldValueChanged(app, event)
    value = app.LWTtnEditField.Value; %función para llevar dato a
otra ventana
end
% Value changed function: Titulo
function TituloValueChanged(app, event)
    value = app.Titulo.Value;
end
% Value changed function: TextArea
function TextAreaValueChanged(app, event)
    value = app.TextArea.Value; %función para cambiar texto
parámetro en función tipo de buque
end
% Value changed function: TextArea_2
function TextArea_2ValueChanged(app, event)
    value = app.TextArea_2.Value; %función para cambiar texto
parámetro en función tipo de buque
end
% Selection changed function: TipodevehiculosButtonGroup
function TipodevehiculosButtonGroupSelectionChanged(app, event)
    selectedButton = app.TipodevehiculosButtonGroup.SelectedObject;
%función para borrar grupo en función tipo de buque
end
% Button pushed function: BorrarButton

```

```

function BorrBarButtonPushed(app, event)
    app.DWTtnEditField.Value=0;
    app.LWTtnEditField.Value=0;
    app.LppmEditField.Value=0;
    app.BmEditField.Value=0;
    app.DmEditField.Value=0;
    app.DfmEditField.Value=0;
    app.TdiseomEditField.Value=0;
    app.CbEditField.Value=0;
    app.WstnEditField.Value=0;
    app.WotnEditField.Value=0;
    app.WmtnEditField.Value=0;
    app.NMCRhpEditField.Value=0;
    app.CoefAlmiraztangoEditField.Value=0;
    app.VCHm3EditField.Value=0;
    app.FrancobordomEditField.Value=0;
    app.CpstnEditField.Value=0;
    app.CpotnEditField.Value=0;
    app.CpmtnEditField.Value=0;
    app.MargendemarEditField.Value=0;
    app.DeratingRatioEditField.Value=0;
    app.EngineMarginEditField.Value=0;
    app.DWTtnEditField_2.Value=0;
    app.VsknEditField.Value=0;
    app.VCHm3EditField_2.Value=0;
    app.TmaxmEditField.Value=0;
    app.LppmEditField_2.Value=0;
    app.BmEditField_2.Value=0;
    app.DmEditField_2.Value=0;
    app.CbEditField_2.Value=0;
    app.TescantillonadomEditField.Value=0;
    app.Dpasaje.Value=0;
end
% Callback function
function CbEditField_4ValueChanged(app, event)
    value = app.CbEditField_4.Value;
end
% Value changed function: TextArea_3
function TextArea_3ValueChanged(app, event)
    value = app.TextArea_3.Value;
end
% Value changed function: Dpasaje
function DpasajeValueChanged(app, event)
    value = app.Dpasaje.Value;
end
end
% App initialization and construction
methods (Access = private)
% Create UIFigure and components
function createComponents(app)
    % Create Fondo
    app.Fondo = uifigure;
    app.Fondo.Color = [0.9412 0.9412 0.9412];
    app.Fondo.Position = [100 100 1238 720];

```

```

app.Fondo.Name = 'Cálculo de las dimensiones principales';
% Create DatosdesalidaPanel
app.DatosdesalidaPanel = uipanel(app.Fondo);
app.DatosdesalidaPanel.TitlePosition = 'centertop';
app.DatosdesalidaPanel.Title = 'Datos de salida';
app.DatosdesalidaPanel.BackgroundColor = [1 1 1];
app.DatosdesalidaPanel.FontWeight = 'bold';
app.DatosdesalidaPanel.FontSize = 14;
app.DatosdesalidaPanel.Position = [799 19 385 357];
% Create DimensionarhliceButton
app.DimensionarhliceButton = uibutton(app.DatosdesalidaPanel,
'state');
app.DimensionarhliceButton.ValueChangedFcn =
createCallbackFcn(app, @DimensionarhliceButtonValueChanged, true);
app.DimensionarhliceButton.Text = 'Dimensionar hélice';
app.DimensionarhliceButton.FontWeight = 'bold';
app.DimensionarhliceButton.FontColor = [0 0.451 0.7412];
app.DimensionarhliceButton.Position = [203 17 158 22];
% Create LppmEditField_3Label
app.LppmEditField_3Label = uilabel(app.DatosdesalidaPanel);
app.LppmEditField_3Label.HorizontalAlignment = 'right';
app.LppmEditField_3Label.VerticalAlignment = 'center';
app.LppmEditField_3Label.FontSize = 14;
app.LppmEditField_3Label.Position = [131 219 55 18];
app.LppmEditField_3Label.Text = 'Lpp (m)';
% Create LppmEditField_3
app.LppmEditField_3 = uieditfield(app.DatosdesalidaPanel,
'numeric');
app.LppmEditField_3.Limits = [0 Inf];
app.LppmEditField_3.ValueDisplayFormat = '%.3f';
app.LppmEditField_3.ValueChangedFcn = createCallbackFcn(app,
@LppmEditField_3ValueChanged, true);
app.LppmEditField_3.FontSize = 14;
app.LppmEditField_3.Position = [201 218 160 22];
% Create BmEditField_3Label
app.BmEditField_3Label = uilabel(app.DatosdesalidaPanel);
app.BmEditField_3Label.HorizontalAlignment = 'right';
app.BmEditField_3Label.FontSize = 14;
app.BmEditField_3Label.Position = [146 179 40 18];
app.BmEditField_3Label.Text = 'B (m)';
% Create BmEditField_3
app.BmEditField_3 = uieditfield(app.DatosdesalidaPanel,
'numeric');
app.BmEditField_3.Limits = [0 Inf];
app.BmEditField_3.ValueDisplayFormat = '%.3f';
app.BmEditField_3.ValueChangedFcn = createCallbackFcn(app,
@BmEditField_3ValueChanged, true);
app.BmEditField_3.FontSize = 14;
app.BmEditField_3.Position = [201 178 160 22];
% Create DmEditField_3Label
app.DmEditField_3Label = uilabel(app.DatosdesalidaPanel);
app.DmEditField_3Label.HorizontalAlignment = 'right';
app.DmEditField_3Label.FontSize = 14;
app.DmEditField_3Label.Position = [146 139 41 18];

```

```

        app.DmEditField_3Label.Text = 'D (m)';
        % Create DmEditField_3
        app.DmEditField_3 = uieditfield(app.DatosdesalidaPanel,
'numeric');
        app.DmEditField_3.Limits = [0 Inf];
        app.DmEditField_3.ValueDisplayFormat = '%.3f';
        app.DmEditField_3.ValueChangedFcn = createCallbackFcn(app,
@DmEditField_3ValueChanged, true);
        app.DmEditField_3.FontSize = 14;
        app.DmEditField_3.Position = [202 138 159 22];
        % Create CbEditField_3Label
        app.CbEditField_3Label = uilabel(app.DatosdesalidaPanel);
        app.CbEditField_3Label.HorizontalAlignment = 'right';
        app.CbEditField_3Label.FontSize = 14;
        app.CbEditField_3Label.Position = [161 99 25 18];
        app.CbEditField_3Label.Text = 'Cb';
        % Create CbEditField_3
        app.CbEditField_3 = uieditfield(app.DatosdesalidaPanel,
'numeric');
        app.CbEditField_3.Limits = [0 Inf];
        app.CbEditField_3.ValueDisplayFormat = '%.3f';
        app.CbEditField_3.ValueChangedFcn = createCallbackFcn(app,
@CbEditField_3ValueChanged, true);
        app.CbEditField_3.FontSize = 14;
        app.CbEditField_3.Position = [201 98 160 22];
        % Create CostedeconstruccinEditFieldLabel
        app.CostedeconstruccinEditFieldLabel =
uilabel(app.DatosdesalidaPanel);
        app.CostedeconstruccinEditFieldLabel.HorizontalAlignment =
'right';
        app.CostedeconstruccinEditFieldLabel.FontSize = 14;
        app.CostedeconstruccinEditFieldLabel.Position = [17 59 170 18];
        app.CostedeconstruccinEditFieldLabel.Text = 'Coste de
construcción ($)';
        % Create CostedeconstruccinEditField
        app.CostedeconstruccinEditField =
uieditfield(app.DatosdesalidaPanel, 'numeric');
        app.CostedeconstruccinEditField.Limits = [0 Inf];
        app.CostedeconstruccinEditField.ValueDisplayFormat = '%.3f';
        app.CostedeconstruccinEditField.FontSize = 14;
        app.CostedeconstruccinEditField.Position = [200 58 161 22];
        % Create BorrarResultadosButton
        app.BorrarResultadosButton = uibutton(app.DatosdesalidaPanel,
'state');
        app.BorrarResultadosButton.ValueChangedFcn =
createCallbackFcn(app, @BorrarResultadosButtonValueChanged, true);
        app.BorrarResultadosButton.Text = 'Borrar resultados';
        app.BorrarResultadosButton.FontWeight = 'bold';
        app.BorrarResultadosButton.FontColor = [0 0.451 0.7412];
        app.BorrarResultadosButton.Position = [24 17 123 22];
        % Create TdiseomEditField_2Label_2
        app.TdiseomEditField_2Label_2 =
uilabel(app.DatosdesalidaPanel);
        app.TdiseomEditField_2Label_2.HorizontalAlignment = 'right';

```

```

app.TdiseomEditField_2Label_2.VerticalAlignment = 'center';
app.TdiseomEditField_2Label_2.FontSize = 14;
app.TdiseomEditField_2Label_2.Position = [104 299 82 18];
app.TdiseomEditField_2Label_2.Text = 'Tdiseño (m)';
% Create TdiseomEditField_2
app.TdiseomEditField_2 = uicontrol(app.DatosdesalidaPanel,
'numeric');
app.TdiseomEditField_2.Limits = [0 Inf];
app.TdiseomEditField_2.ValueDisplayFormat = '%.3f';
app.TdiseomEditField_2.FontSize = 14;
app.TdiseomEditField_2.Position = [201 298 160 22];
% Create TescantillonadomEditField_2Label
app.TescantillonadomEditField_2Label =
uilabel(app.DatosdesalidaPanel);
app.TescantillonadomEditField_2Label.HorizontalAlignment =
'right';
app.TescantillonadomEditField_2Label.VerticalAlignment =
'center';
app.TescantillonadomEditField_2Label.FontSize = 14;
app.TescantillonadomEditField_2Label.Position = [56 259 130
18];
app.TescantillonadomEditField_2Label.Text = 'Tescantillonado
(m)';
% Create TescantillonadomEditField_2
app.TescantillonadomEditField_2 =
uicontrol(app.DatosdesalidaPanel, 'numeric');
app.TescantillonadomEditField_2.Limits = [0 Inf];
app.TescantillonadomEditField_2.ValueDisplayFormat = '%.3f';
app.TescantillonadomEditField_2.FontSize = 14;
app.TescantillonadomEditField_2.Position = [201 258 160 22];
% Create Foto_buque
app.Foto_buque = uiaxes(app.Fondo);
app.Foto_buque.Position = [754 396 468 250];
% Create DatosdeentradaPanel
app.DatosdeentradaPanel = uipanel(app.Fondo);
app.DatosdeentradaPanel.ForegroundColor = [0.149 0.149 0.149];
app.DatosdeentradaPanel.TitlePosition = 'centertop';
app.DatosdeentradaPanel.Title = 'Datos de entrada';
app.DatosdeentradaPanel.BackgroundColor = [1 1 1];
app.DatosdeentradaPanel.FontWeight = 'bold';
app.DatosdeentradaPanel.FontSize = 14;
app.DatosdeentradaPanel.Position = [12 19 720 693];
% Create ParmetrosobligatoriosPanel_2
app.ParmetrosobligatoriosPanel_2 =
uipanel(app.DatosdeentradaPanel);
app.ParmetrosobligatoriosPanel_2.Title = 'Parámetros
obligatorios';
app.ParmetrosobligatoriosPanel_2.BackgroundColor = [0.9412
0.9412 0.9412];
app.ParmetrosobligatoriosPanel_2.FontSize = 14;
app.ParmetrosobligatoriosPanel_2.Position = [20 211 676 444];
% Create BuquebasePanel
app.BuquebasePanel = uipanel(app.ParmetrosobligatoriosPanel_2);
app.BuquebasePanel.Title = 'Buque base: ';

```

```

app.BuquebasePanel.FontAngle = 'italic';
app.BuquebasePanel.Position = [15 117 644 288];
% Create DWTtnEditFieldLabel
app.DWTtnEditFieldLabel = uilabel(app.BuquebasePanel);
app.DWTtnEditFieldLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.DWTtnEditFieldLabel.Position = [12 238 53 15];
app.DWTtnEditFieldLabel.Text = 'DWT (tn)';
% Create DWTtnEditField
app.DWTtnEditField = uieditfield(app.BuquebasePanel,
'numeric');
app.DWTtnEditField.Limits = [0 Inf];
app.DWTtnEditField.ValueDisplayFormat = '%.3f';
app.DWTtnEditField.ValueChangedFcn = createCallbackFcn(app,
@DWTtnEditFieldValueChanged, true);
app.DWTtnEditField.Position = [77 235 100 22];
% Create LWTtnEditFieldLabel
app.LWTtnEditFieldLabel = uilabel(app.BuquebasePanel);
app.LWTtnEditFieldLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.LWTtnEditFieldLabel.Position = [13 207 51 15];
app.LWTtnEditFieldLabel.Text = 'LWT (tn)';
% Create LWTtnEditField
app.LWTtnEditField = uieditfield(app.BuquebasePanel,
'numeric');
app.LWTtnEditField.Limits = [0 Inf];
app.LWTtnEditField.ValueDisplayFormat = '%.3f';
app.LWTtnEditField.ValueChangedFcn = createCallbackFcn(app,
@LWTtnEditFieldValueChanged, true);
app.LWTtnEditField.Position = [79 203 100 22];
% Create LppmEditFieldLabel
app.LppmEditFieldLabel = uilabel(app.BuquebasePanel);
app.LppmEditFieldLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.LppmEditFieldLabel.Position = [15 175 47 15];
app.LppmEditFieldLabel.Text = 'Lpp (m)';
% Create LppmEditField
app.LppmEditField = uieditfield(app.BuquebasePanel, 'numeric');
app.LppmEditField.Limits = [0 Inf];
app.LppmEditField.ValueDisplayFormat = '%.3f';
app.LppmEditField.ValueChangedFcn = createCallbackFcn(app,
@LppmEditFieldValueChanged, true);
app.LppmEditField.Position = [77 171 100 22];
% Create BmEditFieldLabel
app.BmEditFieldLabel = uilabel(app.BuquebasePanel);
app.BmEditFieldLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.BmEditFieldLabel.Position = [28 143 34 15];
app.BmEditFieldLabel.Text = 'B (m)';
% Create BmEditField
app.BmEditField = uieditfield(app.BuquebasePanel, 'numeric');
app.BmEditField.Limits = [0 Inf];
app.BmEditField.ValueDisplayFormat = '%.3f';
app.BmEditField.ValueChangedFcn = createCallbackFcn(app,
@BmEditFieldValueChanged, true);
app.BmEditField.Position = [77 139 100 22];
% Create DmEditFieldLabel
app.DmEditFieldLabel = uilabel(app.BuquebasePanel);

```

```

app.DmEditFieldLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.DmEditFieldLabel.Position = [27 111 35 15];
app.DmEditFieldLabel.Text = 'D (m)';
% Create DmEditField
app.DmEditField = uieditfield(app.BuquebasePanel, 'numeric');
app.DmEditField.Limits = [0 Inf];
app.DmEditField.ValueDisplayFormat = '%.3f';
app.DmEditField.ValueChangedFcn = createCallbackFcn(app,
@DmEditFieldValueChanged, true);
app.DmEditField.Position = [77 107 100 22];
% Create DfmEditFieldLabel
app.DfmEditFieldLabel = uilabel(app.BuquebasePanel);
app.DfmEditFieldLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.DfmEditFieldLabel.Position = [24 79 38 15];
app.DfmEditFieldLabel.Text = 'Df (m)';
% Create DfmEditField
app.DfmEditField = uieditfield(app.BuquebasePanel, 'numeric');
app.DfmEditField.Limits = [0 Inf];
app.DfmEditField.ValueDisplayFormat = '%.3f';
app.DfmEditField.Position = [77 75 100 22];
% Create CbEditField_4Label
app.CbEditField_4Label = uilabel(app.BuquebasePanel);
app.CbEditField_4Label.HorizontalAlignment = 'right';
app.CbEditField_4Label.Position = [37 47 25 15];
app.CbEditField_4Label.Text = 'Cb';
% Create CbEditField
app.CbEditField = uieditfield(app.BuquebasePanel, 'numeric');
app.CbEditField.Limits = [0 1];
app.CbEditField.ValueDisplayFormat = '%.3f';
app.CbEditField.Position = [77 43 100 22];
% Create NMCRhpEditField_2Label
app.NMCRhpEditField_2Label = uilabel(app.BuquebasePanel);
app.NMCRhpEditField_2Label.HorizontalAlignment = 'right';
app.NMCRhpEditField_2Label.Position = [439 47 67 15];
app.NMCRhpEditField_2Label.Text = 'NMCR (hp)';
% Create NMCRhpEditField
app.NMCRhpEditField = uieditfield(app.BuquebasePanel,
'numeric');
app.NMCRhpEditField.Limits = [0 Inf];
app.NMCRhpEditField.ValueDisplayFormat = '%.3f';
app.NMCRhpEditField.Position = [519 43 100 22];
% Create WstnEditFieldLabel
app.WstnEditFieldLabel = uilabel(app.BuquebasePanel);
app.WstnEditFieldLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.WstnEditFieldLabel.Position = [461 239 43 15];
app.WstnEditFieldLabel.Text = 'Ws (tn)';
% Create WstnEditField
app.WstnEditField = uieditfield(app.BuquebasePanel, 'numeric');
app.WstnEditField.Limits = [0 Inf];
app.WstnEditField.ValueDisplayFormat = '%.3f';
app.WstnEditField.Position = [519 235 100 22];
% Create WotnEditFieldLabel
app.WotnEditFieldLabel = uilabel(app.BuquebasePanel);
app.WotnEditFieldLabel.HorizontalAlignment = 'right';

```

```

app.WotnEditFieldLabel.Position = [460 207 44 15];
app.WotnEditFieldLabel.Text = 'Wo (tn)';
% Create WotnEditField
app.WotnEditField = uieditfield(app.BuquebasePanel, 'numeric');
app.WotnEditField.Limits = [0 Inf];
app.WotnEditField.ValueDisplayFormat = '%.3f';
app.WotnEditField.Position = [519 203 100 22];
% Create WmtnEditFieldLabel
app.WmtnEditFieldLabel = uilabel(app.BuquebasePanel);
app.WmtnEditFieldLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.WmtnEditFieldLabel.Position = [457 175 47 15];
app.WmtnEditFieldLabel.Text = 'Wm (tn)';
% Create WmtnEditField
app.WmtnEditField = uieditfield(app.BuquebasePanel, 'numeric');
app.WmtnEditField.Limits = [0 Inf];
app.WmtnEditField.ValueDisplayFormat = '%.3f';
app.WmtnEditField.Position = [519 171 100 22];
% Create TdiseomEditField_2Label
app.TdiseomEditField_2Label = uilabel(app.BuquebasePanel);
app.TdiseomEditField_2Label.HorizontalAlignment = 'right';
app.TdiseomEditField_2Label.Position = [238 239 70 15];
app.TdiseomEditField_2Label.Text = 'Tdiseño (m)';
% Create TdiseomEditField
app.TdiseomEditField = uieditfield(app.BuquebasePanel,
'numeric');
app.TdiseomEditField.Limits = [0 Inf];
app.TdiseomEditField.ValueDisplayFormat = '%.3f';
app.TdiseomEditField.ValueChangedFcn = createCallbackFcn(app,
@TdiseomEditFieldValueChanged, true);
app.TdiseomEditField.Position = [323 235 100 22];
% Create FrancobordomEditField_3Label
app.FrancobordomEditField_3Label = uilabel(app.BuquebasePanel);
app.FrancobordomEditField_3Label.HorizontalAlignment = 'right';
app.FrancobordomEditField_3Label.Position = [208 173 96 15];
app.FrancobordomEditField_3Label.Text = 'Francobordo (m)';
% Create FrancobordomEditField
app.FrancobordomEditField = uieditfield(app.BuquebasePanel,
'numeric');
app.FrancobordomEditField.Limits = [0 Inf];
app.FrancobordomEditField.ValueDisplayFormat = '%.3f';
app.FrancobordomEditField.Position = [323 171 100 22];
% Create CpstnEditFieldLabel
app.CpstnEditFieldLabel = uilabel(app.BuquebasePanel);
app.CpstnEditFieldLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.CpstnEditFieldLabel.Position = [446 143 58 15];
app.CpstnEditFieldLabel.Text = 'Cps ($/tn)';
% Create CpstnEditField
app.CpstnEditField = uieditfield(app.BuquebasePanel,
'numeric');
app.CpstnEditField.Limits = [0 Inf];
app.CpstnEditField.ValueDisplayFormat = '%.3f';
app.CpstnEditField.Position = [519 139 100 22];
% Create CpotnEditFieldLabel
app.CpotnEditFieldLabel = uilabel(app.BuquebasePanel);

```

```

app.CpotnEditFieldLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.CpotnEditFieldLabel.Position = [445 111 59 15];
app.CpotnEditFieldLabel.Text = 'Cpo ($/tn)';
% Create CpotnEditField
app.CpotnEditField = uieditfield(app.BuquebasePanel,
'numeric');
app.CpotnEditField.Limits = [0 Inf];
app.CpotnEditField.ValueDisplayFormat = '%.3f';
app.CpotnEditField.Position = [519 107 100 22];
% Create CpmtnEditFieldLabel
app.CpmtnEditFieldLabel = uilabel(app.BuquebasePanel);
app.CpmtnEditFieldLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.CpmtnEditFieldLabel.Position = [442 79 62 15];
app.CpmtnEditFieldLabel.Text = 'Cpm ($/tn)';
% Create CpmtnEditField
app.CpmtnEditField = uieditfield(app.BuquebasePanel,
'numeric');
app.CpmtnEditField.Limits = [0 Inf];
app.CpmtnEditField.ValueDisplayFormat = '%.3f';
app.CpmtnEditField.Position = [519 75 100 22];
% Create DeratingRatioEditFieldLabel
app.DeratingRatioEditFieldLabel = uilabel(app.BuquebasePanel);
app.DeratingRatioEditFieldLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.DeratingRatioEditFieldLabel.Position = [224 142 84 15];
app.DeratingRatioEditFieldLabel.Text = 'Derating Ratio';
% Create DeratingRatioEditField
app.DeratingRatioEditField = uieditfield(app.BuquebasePanel,
'numeric');
app.DeratingRatioEditField.Limits = [0 1];
app.DeratingRatioEditField.ValueDisplayFormat = '%.3f';
app.DeratingRatioEditField.ValueChangedFcn =
createCallbackFcn(app, @DeratingRatioEditFieldValueChanged, true);
app.DeratingRatioEditField.Position = [323 139 100 22];
% Create CoefAlmiraztangoEditFieldLabel
app.CoeffAlmiraztangoEditFieldLabel =
uilabel(app.BuquebasePanel);
app.CoeffAlmiraztangoEditFieldLabel.HorizontalAlignment =
'right';
app.CoeffAlmiraztangoEditFieldLabel.Position = [199 111 109 15];
app.CoeffAlmiraztangoEditFieldLabel.Text = 'Coef. Almiraztango';
% Create CoefAlmiraztangoEditField
app.CoeffAlmiraztangoEditField = uieditfield(app.BuquebasePanel,
'numeric');
app.CoeffAlmiraztangoEditField.Limits = [0 Inf];
app.CoeffAlmiraztangoEditField.ValueDisplayFormat = '%.3f';
app.CoeffAlmiraztangoEditField.Position = [323 107 100 22];
% Create MargendemarEditFieldLabel
app.MargendemarEditFieldLabel = uilabel(app.BuquebasePanel);
app.MargendemarEditFieldLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.MargendemarEditFieldLabel.Position = [198 80 110 15];
app.MargendemarEditFieldLabel.Text = 'Margen de mar (%)';
% Create MargendemarEditField
app.MargendemarEditField = uieditfield(app.BuquebasePanel,
'numeric');

```

```

app.MargendemarEditField.Limits = [0 100];
app.MargendemarEditField.ValueDisplayFormat = '%.3f';
app.MargendemarEditField.Position = [323 75 100 22];
% Create EngineMarginEditFieldLabel
app.EngineMarginEditFieldLabel = uilabel(app.BuquebasePanel);
app.EngineMarginEditFieldLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.EngineMarginEditFieldLabel.Position = [223 49 85 15];
app.EngineMarginEditFieldLabel.Text = 'Engine Margin';
% Create EngineMarginEditField
app.EngineMarginEditField = uieditfield(app.BuquebasePanel,
'numeric');
app.EngineMarginEditField.Limits = [0 1];
app.EngineMarginEditField.ValueDisplayFormat = '%.3f';
app.EngineMarginEditField.Position = [323 43 100 22];
% Create TextArea
app.TextArea = uitextarea(app.BuquebasePanel);
app.TextArea.ValueChangedFcn = createCallbackFcn(app,
@TextAreaValueChanged, true);
app.TextArea.HorizontalAlignment = 'center';
app.TextArea.BackgroundColor = [0.9412 0.9412 0.9412];
app.TextArea.Position = [201 11 114 22];
app.TextArea.Value = {'VCH (m3)'};
% Create VCHm3EditField
app.VCHm3EditField = uieditfield(app.BuquebasePanel,
'numeric');
app.VCHm3EditField.Limits = [0 Inf];
app.VCHm3EditField.ValueDisplayFormat = '%.3f';
app.VCHm3EditField.Position = [323 11 100 22];
% Create TescantillonadomEditFieldLabel
app.TescantillonadomEditFieldLabel =
uilabel(app.BuquebasePanel);
app.TescantillonadomEditFieldLabel.HorizontalAlignment =
'right';
app.TescantillonadomEditFieldLabel.Position = [196 204 112 15];
app.TescantillonadomEditFieldLabel.Text = 'Tescantillonado
(m)';
% Create TescantillonadomEditField
app.TescantillonadomEditField = uieditfield(app.BuquebasePanel,
'numeric');
app.TescantillonadomEditField.Limits = [0 Inf];
app.TescantillonadomEditField.ValueDisplayFormat = '%.3f';
app.TescantillonadomEditField.Position = [323 203 100 22];
% Create TextArea_3
app.TextArea_3 = uitextarea(app.BuquebasePanel);
app.TextArea_3.ValueChangedFcn = createCallbackFcn(app,
@TextArea_3ValueChanged, true);
app.TextArea_3.BackgroundColor = [0.9412 0.9412 0.9412];
app.TextArea_3.Position = [433 11 84 22];
app.TextArea_3.Value = {'Dpasaje (m)'};
% Create Dpasaje
app.Dpasaje = uieditfield(app.BuquebasePanel, 'numeric');
app.Dpasaje.Limits = [0 Inf];
app.Dpasaje.ValueDisplayFormat = '%.3f';

```

```

        app.Dpasaje.ValueChangedFcn = createCallbackFcn(app,
@DpasajeValueChanged, true);
        app.Dpasaje.Position = [519 11 100 22];
        % Create Dpasaje_2
        app.Dpasaje_2 = uieditfield(app.BuquebasePanel, 'numeric');
        app.Dpasaje_2.Limits = [0 Inf];
        app.Dpasaje_2.ValueDisplayFormat = '%.3f';
        app.Dpasaje_2.Position = [77 11 100 22];
        % Create BuquediseoPanel
        app.BuquediseoPanel =
uipanel(app.ParmetrosobligatoriosPanel_2);
        app.BuquediseoPanel.Title = 'Buque diseño: ';
        app.BuquediseoPanel.FontAngle = 'italic';
        app.BuquediseoPanel.Position = [15 11 644 95];
        % Create DWTtnEditField_2Label
        app.DWTtnEditField_2Label = uilabel(app.BuquediseoPanel);
        app.DWTtnEditField_2Label.HorizontalAlignment = 'right';
        app.DWTtnEditField_2Label.Position = [31 47 53 15];
        app.DWTtnEditField_2Label.Text = 'DWT (tn)';
        % Create DWTtnEditField_2
        app.DWTtnEditField_2 = uieditfield(app.BuquediseoPanel,
'numeric');
        app.DWTtnEditField_2.Limits = [0 Inf];
        app.DWTtnEditField_2.ValueDisplayFormat = '%.3f';
        app.DWTtnEditField_2.Position = [99 43 100 22];
        % Create VCHm3EditField_2
        app.VCHm3EditField_2 = uieditfield(app.BuquediseoPanel,
'numeric');
        app.VCHm3EditField_2.Limits = [0 Inf];
        app.VCHm3EditField_2.ValueDisplayFormat = '%.3f';
        app.VCHm3EditField_2.Position = [99 14 100 22];
        % Create TmaxmEditFieldLabel
        app.TmaxmEditFieldLabel = uilabel(app.BuquediseoPanel);
        app.TmaxmEditFieldLabel.HorizontalAlignment = 'right';
        app.TmaxmEditFieldLabel.Position = [245 47 56 15];
        app.TmaxmEditFieldLabel.Text = 'Tmax (m)';
        % Create TmaxmEditField
        app.TmaxmEditField = uieditfield(app.BuquediseoPanel,
'numeric');
        app.TmaxmEditField.Limits = [0 Inf];
        app.TmaxmEditField.ValueDisplayFormat = '%.3f';
        app.TmaxmEditField.ValueChangedFcn = createCallbackFcn(app,
@TmaxmEditFieldValueChanged, true);
        app.TmaxmEditField.Position = [316 43 100 22];
        % Create VsknEditFieldLabel
        app.VsknEditFieldLabel = uilabel(app.BuquediseoPanel);
        app.VsknEditFieldLabel.HorizontalAlignment = 'right';
        app.VsknEditFieldLabel.Position = [258 18 43 15];
        app.VsknEditFieldLabel.Text = 'Vs (kn)';
        % Create VsknEditField
        app.VsknEditField = uieditfield(app.BuquediseoPanel,
'numeric');
        app.VsknEditField.Limits = [0 Inf];
        app.VsknEditField.ValueDisplayFormat = '%.3f';

```

```

        app.VsknEditField.ValueChangedFcn = createCallbackFcn(app,
@VsknEditFieldValueChanged, true);
        app.VsknEditField.Position = [316 14 100 22];
        % Create TextArea_2
        app.TextArea_2 = uitextarea(app.BuquediseoPanel);
        app.TextArea_2.ValueChangedFcn = createCallbackFcn(app,
@TextArea_2ValueChanged, true);
        app.TextArea_2.HorizontalAlignment = 'center';
        app.TextArea_2.BackgroundColor = [0.9412 0.9412 0.9412];
        app.TextArea_2.Position = [15 14 78 22];
        app.TextArea_2.Value = {'VCH (m3)'};
        % Create TipodevehiculosButtonGroup
        app.TipodevehiculosButtonGroup =
uibuttongroup(app.BuquediseoPanel);
        app.TipodevehiculosButtonGroup.SelectionChangedFcn =
createCallbackFcn(app, @TipodevehiculosButtonGroupSelectionChanged, true);
        app.TipodevehiculosButtonGroup.Title = 'Tipo de vehiculos:';
        app.TipodevehiculosButtonGroup.Position = [439 12 184 55];
        % Create CocheButton
        app.CocheButton =
uiradiobutton(app.TipodevehiculosButtonGroup);
        app.CocheButton.Text = 'Coche';
        app.CocheButton.Position = [11 17 58 15];
        app.CocheButton.Value = true;
        % Create TrailerButton
        app.TrailerButton =
uiradiobutton(app.TipodevehiculosButtonGroup);
        app.TrailerButton.Text = 'Trailer';
        app.TrailerButton.Position = [120 17 57 15];
        % Create MixtoButton
        app.MixtoButton =
uiradiobutton(app.TipodevehiculosButtonGroup);
        app.MixtoButton.Text = 'Mixto';
        app.MixtoButton.Position = [70 3 51 15];
        % Create ParmetrosopcionalesPanel
        app.ParmetrosopcionalesPanel =
uipanel(app.DatosdeentradaPanel);
        app.ParmetrosopcionalesPanel.Title = 'Parámetros opcionales';
        app.ParmetrosopcionalesPanel.BackgroundColor = [0.9412 0.9412
0.9412];
        app.ParmetrosopcionalesPanel.FontSize = 14;
        app.ParmetrosopcionalesPanel.Position = [20 56 676 138];
        % Create RequisitosdediseoPanel
        app.RequisitosdediseoPanel =
uipanel(app.ParmetrosopcionalesPanel);
        app.RequisitosdediseoPanel.Title = '¿Requisitos de diseño?';
        app.RequisitosdediseoPanel.FontAngle = 'italic';
        app.RequisitosdediseoPanel.Position = [17 15 644 92];
        % Create LppmEditField_2Label
        app.LppmEditField_2Label = uilabel(app.RequisitosdediseoPanel);
        app.LppmEditField_2Label.HorizontalAlignment = 'right';
        app.LppmEditField_2Label.Position = [36 43 47 15];
        app.LppmEditField_2Label.Text = 'Lpp (m)';
        % Create LppmEditField_2

```

```

    app.LppmEditField_2 = uieditfield(app.RequisitosdediseoPanel,
'numeric');
    app.LppmEditField_2.Limits = [0 Inf];
    app.LppmEditField_2.ValueDisplayFormat = '%.3f';
    app.LppmEditField_2.Position = [98 39 100 22];
    % Create BmEditField_2Label
    app.BmEditField_2Label = uilabel(app.RequisitosdediseoPanel);
    app.BmEditField_2Label.HorizontalAlignment = 'right';
    app.BmEditField_2Label.Position = [51 11 34 15];
    app.BmEditField_2Label.Text = 'B (m)';
    % Create BmEditField_2
    app.BmEditField_2 = uieditfield(app.RequisitosdediseoPanel,
'numeric');
    app.BmEditField_2.Limits = [0 Inf];
    app.BmEditField_2.ValueDisplayFormat = '%.3f';
    app.BmEditField_2.Position = [100 7 100 22];
    % Create DmEditField_2Label
    app.DmEditField_2Label = uilabel(app.RequisitosdediseoPanel);
    app.DmEditField_2Label.HorizontalAlignment = 'right';
    app.DmEditField_2Label.Position = [260 44 35 15];
    app.DmEditField_2Label.Text = 'D (m)';
    % Create DmEditField_2
    app.DmEditField_2 = uieditfield(app.RequisitosdediseoPanel,
'numeric');
    app.DmEditField_2.Limits = [0 Inf];
    app.DmEditField_2.ValueDisplayFormat = '%.3f';
    app.DmEditField_2.Position = [310 40 100 22];
    % Create CbEditField_2Label
    app.CbEditField_2Label = uilabel(app.RequisitosdediseoPanel);
    app.CbEditField_2Label.HorizontalAlignment = 'right';
    app.CbEditField_2Label.Position = [270 13 25 15];
    app.CbEditField_2Label.Text = 'Cb';
    % Create CbEditField_2
    app.CbEditField_2 = uieditfield(app.RequisitosdediseoPanel,
'numeric');
    app.CbEditField_2.Limits = [0 1];
    app.CbEditField_2.ValueDisplayFormat = '%.3f';
    app.CbEditField_2.Position = [310 8 100 22];
    % Create AtrsButton
    app.AtrsButton = uibutton(app.DatosdeentradaPanel, 'push');
    app.AtrsButton.ButtonPushedFcn = createCallbackFcn(app,
@AtrsButtonPushed, true);
    app.AtrsButton.BackgroundColor = [0.9412 0.9412 0.9412];
    app.AtrsButton.FontWeight = 'bold';
    app.AtrsButton.FontColor = [0 0.451 0.7412];
    app.AtrsButton.Position = [20 17 100 22];
    app.AtrsButton.Text = 'Atrás';
    % Create CalcularButton
    app.CalcularButton = uibutton(app.DatosdeentradaPanel, 'push');
    app.CalcularButton.ButtonPushedFcn = createCallbackFcn(app,
@CalcularButtonPushed, true);
    app.CalcularButton.BackgroundColor = [0.9412 0.9412 0.9412];
    app.CalcularButton.FontWeight = 'bold';
    app.CalcularButton.FontColor = [0 0.451 0.7412];

```

```

        app.CalcularButton.Position = [404 17 100 22];
        app.CalcularButton.Text = 'Calcular';
        % Create AyudaButton
        app.AyudaButton = uibutton(app.DatosdeentradaPanel, 'push');
        app.AyudaButton.ButtonPushedFcn = createCallbackFcn(app,
@AyudaButtonPushed, true);
        app.AyudaButton.BackgroundColor = [0.9412 0.9412 0.9412];
        app.AyudaButton.FontWeight = 'bold';
        app.AyudaButton.FontColor = [0 0.451 0.7412];
        app.AyudaButton.Position = [596 17 100 22];
        app.AyudaButton.Text = 'Ayuda';
        % Create BorrارButton
        app.BorrarButton = uibutton(app.DatosdeentradaPanel, 'push');
        app.BorrarButton.ButtonPushedFcn = createCallbackFcn(app,
@BorrarButtonPushed, true);
        app.BorrarButton.BackgroundColor = [0.9412 0.9412 0.9412];
        app.BorrarButton.FontWeight = 'bold';
        app.BorrarButton.FontColor = [0 0.451 0.7412];
        app.BorrarButton.Position = [212 17 100 22];
        app.BorrarButton.Text = 'Borrar';
        % Create Titulo
        app.Titulo = uitextarea(app.Fondo);
        app.Titulo.ValueChangedFcn = createCallbackFcn(app,
@TituloValueChanged, true);
        app.Titulo.Editable = 'off';
        app.Titulo.HorizontalAlignment = 'center';
        app.Titulo.FontSize = 16;
        app.Titulo.FontWeight = 'bold';
        app.Titulo.FontColor = [0 0.451 0.7412];
        app.Titulo.Position = [799 673 385 24];
        app.Titulo.Value = {'BULKCARRIER'};
    end
end
methods (Access = public)
    % Construct app
    function app = Dimensionamiento(varargin)
        % Create and configure components
        createComponents(app)
        % Register the app with App Designer
        registerApp(app, app.Fondo)
        % Execute the startup function
        runStartupFcn(app, @(app)startupFcn(app, varargin{:}))
        if nargin == 0
            clear app
        end
    end
    % Code that executes before app deletion
    function delete(app)
        % Delete UIFigure when app is deleted
        delete(app.Fondo)
    end
end
end
end

```

4. Pantalla de Dimensionamiento de hélice.

```
classdef Propulsor < matlab.apps.AppBase
% Properties that correspond to app components
properties (Access = public)
    Fondo matlab.ui.Figure
    DatosdesalidaPanel matlab.ui.container.Panel
    Etapa1Panel matlab.ui.container.Panel
    SeleccindelmotorprincipalLabel matlab.ui.control.Label
    ResistenciayPotenciarequeridaPanel matlab.ui.container.Panel
    RtotalkNEditFieldLabel matlab.ui.control.Label
    RtotalkNEditField matlab.ui.control.NumericEditField
    NMCRkWEditFieldLabel matlab.ui.control.Label
    NMCRkWEditField matlab.ui.control.NumericEditField
    IntroduzcaelmotorseleccionadoPanel matlab.ui.container.Panel
    NMCRkWEditField_2Label matlab.ui.control.Label
    NMCRkWEditField_2 matlab.ui.control.NumericEditField
    nNMCRrpmEditField_2Label matlab.ui.control.Label
    nNMCRrpmEditField_2 matlab.ui.control.NumericEditField
    SFOCaMCRgkwhLabel matlab.ui.control.Label
    SFOCaMCRgkwhEditField matlab.ui.control.NumericEditField
    NmerodehlicesButtonGroup matlab.ui.container.ButtonGroup
    Button_7 matlab.ui.control.RadioButton
    Button_8 matlab.ui.control.RadioButton
    ContinuaraEtapa2Button matlab.ui.control.StateButton
    Etapa2Panel matlab.ui.container.Panel
    AEAOEditFieldLabel matlab.ui.control.Label
    AEAOEditField matlab.ui.control.NumericEditField
    DpmEditFieldLabel matlab.ui.control.Label
    DpmEditField matlab.ui.control.NumericEditField
    PiDpEditFieldLabel matlab.ui.control.Label
    PiDpEditField matlab.ui.control.NumericEditField
    VknEditField_2Label matlab.ui.control.Label
    VknEditField_2 matlab.ui.control.NumericEditField
    oEditField_3Label matlab.ui.control.Label
    oEditField_3 matlab.ui.control.NumericEditField
    VHF0m3EditFieldLabel matlab.ui.control.Label
    VHF0m3EditField matlab.ui.control.NumericEditField
    nNCRrpmEditFieldLabel matlab.ui.control.Label
    nNCRrpmEditField matlab.ui.control.NumericEditField
    BorrarresultadosButton matlab.ui.control.StateButton
    DimensionamientodelahliceLabel matlab.ui.control.Label
    DatosdeentradaPanel matlab.ui.container.Panel
    Panel matlab.ui.container.Panel
    BuquebasePanel matlab.ui.container.Panel
    LWLmEditFieldLabel matlab.ui.control.Label
    LWLmEditField matlab.ui.control.NumericEditField
    ATBm2Label matlab.ui.control.Label
    ATBm2EditField matlab.ui.control.NumericEditField
    CmEditFieldLabel matlab.ui.control.Label
    CmEditField matlab.ui.control.NumericEditField
    CwpEditFieldLabel matlab.ui.control.Label
    CwpEditField matlab.ui.control.NumericEditField
end
```

CpEditFieldLabel	matlab.ui.control.Label
CpEditField	matlab.ui.control.NumericEditField
LcbEditFieldLabel	matlab.ui.control.Label
LcbEditField	matlab.ui.control.NumericEditField
ATm2EditFieldLabel	matlab.ui.control.Label
ATm2EditField	matlab.ui.control.NumericEditField
oEditFieldLabel	matlab.ui.control.Label
oEditField	matlab.ui.control.NumericEditField
nMCRrpmEditFieldLabel	matlab.ui.control.Label
nMCRrpmEditField	matlab.ui.control.NumericEditField
nNMCRrpmEditFieldLabel	matlab.ui.control.Label
nNMCRrpmEditField	matlab.ui.control.NumericEditField
HBmEditFieldLabel	matlab.ui.control.Label
HBmEditField	matlab.ui.control.NumericEditField
CHMEditFieldLabel	matlab.ui.control.Label
CHMEditField	matlab.ui.control.NumericEditField
rEditFieldLabel	matlab.ui.control.Label
rEditField	matlab.ui.control.NumericEditField
wEditFieldLabel	matlab.ui.control.Label
wEditField	matlab.ui.control.NumericEditField
AltEjemEditFieldLabel	matlab.ui.control.Label
AltEjemEditField	matlab.ui.control.NumericEditField
tEditField_2Label	matlab.ui.control.Label
tEditField_2	matlab.ui.control.NumericEditField
tEditFieldLabel	matlab.ui.control.Label
tEditField	matlab.ui.control.NumericEditField
AEAOEditField_3Label	matlab.ui.control.Label
AEAOEditField_3	matlab.ui.control.NumericEditField
DpmEditField_3Label	matlab.ui.control.Label
DpmEditField_3	matlab.ui.control.NumericEditField
PiEditField_3Label	matlab.ui.control.Label
PiEditField_3	matlab.ui.control.NumericEditField
BuquediseoPanel	matlab.ui.container.Panel
ApndicesPanel	matlab.ui.container.Panel
Timn1hliceEditFieldLabel	matlab.ui.control.Label
Timn1hliceEditField	matlab.ui.control.NumericEditField
Timn2hlicesEditFieldLabel	matlab.ui.control.Label
Timn2hlicesEditField	matlab.ui.control.NumericEditField
TimnyquilloteEditFieldLabel	matlab.ui.control.Label
TimnyquilloteEditField	matlab.ui.control.NumericEditField
SoloquilloteEditFieldLabel	matlab.ui.control.Label
SoloquilloteEditField	matlab.ui.control.NumericEditField
HenchimentosprotectoresEditFieldLabel	matlab.ui.control.Label
HenchimentosprotectoresEditField	
matlab.ui.control.NumericEditField	
HenchimientosintegradosEditFieldLabel	matlab.ui.control.Label
HenchimientosintegradosEditField	
matlab.ui.control.NumericEditField	
EjesEditFieldLabel	matlab.ui.control.Label
EjesEditField	matlab.ui.control.NumericEditField
AletasestabilizadorasEditFieldLabel	matlab.ui.control.Label
AletasestabilizadorasEditField	matlab.ui.control.NumericEditField
DomoEditFieldLabel	matlab.ui.control.Label
DomoEditField	matlab.ui.control.NumericEditField

```

    QuillasdebalanceEditFieldLabel    matlab.ui.control.Label
    QuillasdebalanceEditField         matlab.ui.control.NumericEditField
    Timn1hliceEditField_2             matlab.ui.control.NumericEditField
    Timn2hlicesEditField_2           matlab.ui.control.NumericEditField
    TimnyquilloteEditField_2         matlab.ui.control.NumericEditField
    SoloquilloteEditField_2          matlab.ui.control.NumericEditField
    HenchimentosprotectoresEditField_2
matlab.ui.control.NumericEditField
    HenchimientosintegradosEditField_2
matlab.ui.control.NumericEditField
    EjesEditField_2                   matlab.ui.control.NumericEditField
    AletasestabilizadorasEditField_2
matlab.ui.control.NumericEditField
    DomoEditField_2                   matlab.ui.control.NumericEditField
    QuillasdebalanceEditField_2      matlab.ui.control.NumericEditField
    k2Label                            matlab.ui.control.Label
    Superficiem2Label                 matlab.ui.control.Label
    ArbotantesEditField_2             matlab.ui.control.NumericEditField
    ArbotantesEditFieldLabel          matlab.ui.control.Label
    ArbotantesEditField               matlab.ui.control.NumericEditField
    RequisitosmotorypropulsorPanel    matlab.ui.container.Panel
    MargenmarEditFieldLabel           matlab.ui.control.Label
    MargenmarEditField                 matlab.ui.control.NumericEditField
    EngineMarginEditFieldLabel        matlab.ui.control.Label
    EngineMarginEditField              matlab.ui.control.NumericEditField
    AutonomaNMEditFieldLabel          matlab.ui.control.Label
    AutonomaNMEditField                matlab.ui.control.NumericEditField
    FormacuadernadepopaButtonGroup    matlab.ui.container.ButtonGroup
    FormaenUButton                     matlab.ui.control.RadioButton
    FormaenVButton                     matlab.ui.control.RadioButton
    FormaNormalButton                 matlab.ui.control.RadioButton
    FormadeGndolaButton                matlab.ui.control.RadioButton
    NmerodepalasdelahlicezButtonGroup matlab.ui.container.ButtonGroup
    Button                              matlab.ui.control.RadioButton
    Button_2                            matlab.ui.control.RadioButton
    Button_3                            matlab.ui.control.RadioButton
    Button_4                            matlab.ui.control.RadioButton
    Button_5                            matlab.ui.control.RadioButton
    Button_6                            matlab.ui.control.RadioButton
    CalcularButton                     matlab.ui.control.Button
    AyudaButton                         matlab.ui.control.Button
    BorrarButton                       matlab.ui.control.StateButton
    Foto                                matlab.ui.control.UIAxes
end

properties (Access = private)
    callingapp %Función para llamar a las variables de la ventana
'Dimensionamiento'
    L1
    B1
    D1
    CB1
    Tmax1
    Vs1

```

```

DeratingRatio1
Td_B1
D_B1
B_B1
LBP_B1
LWT_B1
DWT_B1
CB_B1
Cpopa %forma de popa
z %número de palas hélice
numpropulsor; %número de propulsores
kpropulsor; %coeficiente para propulsor
np
NCR
MCR
n_mcr_B
n_nmcr_B
n_t
n_r
w
t
Ts
hpropulsor
F1
n_o
Q
RTfinal
DHP
hshaft
Distance
J
KQ
KT
AEAO_y
Dp_y
PiDp_y
n_o_y
AEAO_x
Dp_x
PiDp_x
n_o_x
AEAO0=optimvar('AEA00')
P_i0=optimvar('B0')
Dp0=optimvar('D0')
y=optimvar('y',3)
end

methods (Access = private)
%%Función-error ventana para comprobar que todas las variables de
entrada se han introducido
function Er=error(app)
    texto1=sprintf('Rellene los Parámetros Obligatorios. ');
    errordlg(texto1,'Aviso del sistema');
end

```

```

%%Función-info ventana para comienzo del cálculo
function Inf=info(app)
    aviso=sprintf('Espere hasta obtener los datos de salida, en
ocasiones los cálculos pueden prolongarse hasta 6 minutos. ');
    helpdlg(aviso,'Información del sistema');
end
%%Función-error ventana para avisar de la no convergencia
function Er2=error2(app)
    texto=sprintf('No se encuentra un punto de convergencia para la
potencia motor y velocidad de servicio seleccionadas. ');
    errordlg(texto,'Aviso del sistema');
end
%%Función de optimización y funciones de restricción
function C=n_o_optimizada(app,y)
    %Variables de optimización
    app.AEA00=y(1);
    app.P_i0=y(2);
    app.Dp0=y(3);
    AEA0=app.AEA00;
    P_i= app.P_i0;
    Dp=app.Dp0;
    load('c_KQ.mat');
    load('c_KT.mat');
    load('s_KQ.mat');
    load('s_KT.mat');
    load('t_KQ.mat');
    load('t_KT.mat');
    load('u_KQ.mat');
    load('u_KT.mat');
    load('v_KQ.mat');
    load('v_KT.mat');
    app.J=((app.Vs1*0.5144*(1-app.w))/(app.np*Dp));

app.KQ=sum(c_KQ.*(app.J.^s_KQ).*((P_i/Dp).^t_KQ).*(AEA0.^u_KQ).*(app.z.^v_K
Q));

app.KT=sum(c_KT.*(app.J.^s_KT).*((P_i/Dp).^t_KT).*(AEA0.^u_KT).*(app.z.^v_K
T));

    %Función rendimiento
    C=-app.J*app.KT/(app.KQ*2*pi);
end
%Función de restricciones
function [c,ceq]=restriccion(app,y)
    %Variables de optimización
    app.AEA00=y(1);
    app.P_i0=y(2);
    app.Dp0=y(3);
    AEA0=app.AEA00;
    P_i= app.P_i0;
    Dp=app.Dp0;
    load('c_KQ.mat');
    load('c_KT.mat');
    load('s_KQ.mat');
    load('s_KT.mat');

```

```

        load('t_KQ.mat');
        load('t_KT.mat');
        load('u_KQ.mat');
        load('u_KT.mat');
        load('v_KQ.mat');
        load('v_KT.mat');
        app.J=((app.Vs1*0.5144*(1-app.w))/(app.np*Dp));

app.KQ=sum(c_KQ.*(app.J.^s_KQ).*((P_i/Dp).^t_KQ).*(AEAO.^u_KQ).*(app.z.^v_K
Q));

app.KT=sum(c_KT.*(app.J.^s_KT).*((P_i/Dp).^t_KT).*(AEAO.^u_KT).*(app.z.^v_K
T));

        ceq=-app.Ts+app.KT*(1.025*(app.np^2)*(Dp^4));
        c(1)=-
AEAO+app.kpropulsor+(1.3+0.3*app.z)*(app.KT*(1.025*(app.np^2)*(Dp^4)))/((Dp
^2)*(0.9947+1.025*9.81*app.hpropulsor));
        c(2)=app.KQ*10-1.6;
        c(3)=app.KT-1.6;
        c(4)=(P_i/Dp)-1.4;
        c(5)=-(P_i/Dp)+0.5;
        c(6)=app.J-1.5;
        c(7)=-app.J+0.05;
        %PE=BHP;
        %PP=2*pi*1.025*(np^3)*(Dp^5)*KQ;
        %c(8)=-PE+app.KQ*(1.025*(app.np^2)*(Dp^5));
    end
end
methods (Access = private)
    % Code that executes after component creation
    function startupFcn(app, Dimensionamiento, L, B, D, CB, Tmax, Vs,
DeratingRatio, Td_B, D_B, B_B, LBP_B, DWT_B, LWT_B, CB_B)
        % Eliminar titulo y ejes de la grafica
        title(app.Foto, []);
        xlabel(app.Foto, []);
        ylabel(app.Foto, []);
        app.Foto.XAxis.TickLabels = {};
        app.Foto.YAxis.TickLabels = {};
        % Poner imagen de fondo
        F=imshow('propulsor.jpg','parent',app.Foto);
        % Límites de ejes
        app.Foto.XLim = [0 F.XData(2)];
        app.Foto.YLim = [0 F.YData(2)];
        screenSize=get(0,'ScreenSize');
        % Posicionar interfaz en el centro de pantalla
        position=get(app.Fondo,'Position');
        position(1)=(screenSize(3)-position(3))/2;
        position(2)=(screenSize(4)-position(4))/2;
        set(app.Fondo,'Position',position);
        %Llamamos a las variables de la ventana 'Dimensionamiento'
        app.callingapp=Dimensionamiento;
        app.L1=L;
        app.B1=B;
        app.D1=D;

```

```

app.CB1=CB;
app.Tmax1=Tmax;
app.Vs1=Vs;
app.DeratingRatio1=DeratingRatio;
app.Td_B1=Td_B;
app.D_B1=D_B;
app.B_B1=B_B;
app.LBP_B1=LBP_B;
app.LWT_B1=LWT_B;
app.DWT_B1=DWT_B;
app.CB_B1=CB_B;
end
% Callback function
function AtrsButtonPushed(app, event)
    Dimensionamiento;
    delete(app)
end
% Button pushed function: CalcularButton
function CalcularButtonPushed(app, event)
    %Cambiar color casillas de apéndices
    if app.Timn1hliceEditField_2.Value~=0
        app.Timn1hliceEditField_2.BackgroundColor=[1,1,1];
    end
    if app.Timn2hlicesEditField_2.Value~=0
        app.Timn2hlicesEditField_2.BackgroundColor=[1,1,1];
    end
    if app.TimnyquilloteEditField_2.Value~=0
        app.TimnyquilloteEditField_2.BackgroundColor=[1,1,1];
    end
    if app.SoloquilloteEditField_2.Value~=0
        app.SoloquilloteEditField_2.BackgroundColor=[1,1,1];
    end
    if app.HenchimentosprotectoresEditField_2.Value~=0
        app.HenchimentosprotectoresEditField_2.BackgroundColor=[1,1,1];
    end
    if app.HenchimientosintegradosEditField_2.Value~=0
        app.HenchimientosintegradosEditField_2.BackgroundColor=[1,1,1];
    end
    if app.EjesEditField_2.Value~=0
        app.EjesEditField_2.BackgroundColor=[1,1,1];
    end
    if app.AletasestabilizadorasEditField_2.Value~=0
        app.AletasestabilizadorasEditField_2.BackgroundColor=[1,1,1];
    end
    if app.DomoEditField_2.Value~=0
        app.DomoEditField_2.BackgroundColor=[1,1,1];
    end
    if app.QuillasdebalanceEditField_2.Value~=0
        app.QuillasdebalanceEditField_2.BackgroundColor=[1,1,1];
    end
    if app.ArbotantesEditField_2.Value~=0

```

```

        app.ArbotantesEditField_2.BackgroundColor=[1,1,1];
    end
    if app.Timn1hliceEditField.Value~=0
        app.Timn1hliceEditField.BackgroundColor=[1,1,1];
    end
    if app.Timn2hlicesEditField.Value~=0
        app.Timn2hlicesEditField.BackgroundColor=[1,1,1];
    end
    if app.TimnyquilloteEditField.Value~=0
        app.TimnyquilloteEditField.BackgroundColor=[1,1,1];
    end
    if app.SoloquilloteEditField.Value~=0
        app.SoloquilloteEditField.BackgroundColor=[1,1,1];
    end
    if app.HenchimentosprotectoresEditField.Value~=0
        app.HenchimentosprotectoresEditField.BackgroundColor=[1,1,1];
    end
    if app.EjesEditField.Value~=0
        app.EjesEditField.BackgroundColor=[1,1,1];
    end
    if app.AletasestabilizadorasEditField.Value~=0
        app.AletasestabilizadorasEditField.BackgroundColor=[1,1,1];
    end
    if app.DomoEditField.Value~=0
        app.DomoEditField.BackgroundColor=[1,1,1];
    end
    if app.QuillasdebalanceEditField.Value~=0
        app.QuillasdebalanceEditField.BackgroundColor=[1,1,1];
    end
    if app.ArbotantesEditField.Value~=0
        app.ArbotantesEditField.BackgroundColor=[1,1,1];
    end
    if app.HenchimientosintegradosEditField.Value~=0
        app.HenchimientosintegradosEditField.BackgroundColor=[1,1,1];
    end
    %Primero se asegura que todas las casillas de parámetros
    obligatorios han sido rellenas
    if app.LWlMEditField.Value==0
        error(app);
    elseif app.ATBm2EditField.Value==0
        error(app);
    elseif app.CmEditField.Value==0
        error(app);
    elseif app.CwpEditField.Value==0
        error(app);
    elseif app.CpEditField.Value==0
        error(app);
    elseif app.LcbEditField.Value==0
        error(app);
    elseif app.HBmEditField.Value==0
        error(app);
    elseif app.ATm2EditField.Value==0

```

```

        error(app);
elseif app.tEditField.Value==0
    error(app);
elseif app.wEditField.Value==0
    error(app);
elseif app.AltEjemEditField.Value==0
    error(app);
elseif app.nMCRrpmEditField.Value==0
    error(app);
elseif app.nNMCRrpmEditField.Value==0
    error(app);
elseif app.oEditField.Value==0
    error(app);
elseif app.rEditField.Value==0
    error(app);
elseif app.CHMEditField.Value==0
    error(app);
elseif app.EngineMarginEditField.Value==0
    error(app);
elseif app.MargenmarEditField.Value==0
    error(app);
elseif app.PiEditField_3.Value==0
    error(app);
elseif app.AEAOEditField_3.Value==0
    error(app);
elseif app.DpmEditField_3.Value==0
    error(app);
elseif app.tEditField_2.Value==0
    error(app);
elseif app.AutonomaNMEditField.Value==0
    error(app);
else
    %%DATOS DE ENTRADA
    %%Variables de entrada del buque base
    LWL_B=app.LWlmEditField.Value; %eslora en la flotación
    ABT_B=app.ATBm2EditField.Value; %área transversal bulbo
(m2)
    CM_B=app.CmEditField.Value; %coeficiente de la maestra
    CWP_B=app.CwpEditField.Value; %coeficiente de la flotación
    CP_B=app.CpEditField.Value; %coeficiente prismático
    LCB_LWL_B=app.LcbEditField.Value; %posición longitudinal
centro de carena para eslora de flotación
    HB_B=app.HBmEditField.Value; %posición vertical del
centroide de ABT(m)
    AT_B=app.ATm2EditField.Value; %área sección transversal
(m2)
    tp_B=app.tEditField.Value; %coeficiente deducción empuje
    wp_B=app.wEditField.Value; %coeficiente fracción de estela
    n_h_B=(1-tp_B)/(1-wp_B);
    hshaft_B=app.AltEjemEditField.Value; %altura del centro del
eje (m)
    app.n_mcr_B=app.nMCRrpmEditField.Value; %velocidad motor a
MCR (rpm)

```

```

app.n_nmc_r_B=app.nNMCRRpmEditField.Value; %velocidad motor
a NMCr (rpm)
n_o_B=app.oEditField.Value; %rendimiento propulsor
n_r_B=app.rEditField.Value; %rendimiento rotativo
n_t_B=app.tEditField_2.Value; %rendimiento de transmisión
CHM_B=app.CHMEditField.Value; %factor de corrección para
resistencia total (RTmodelobase/RTbase)
%Variables de entrada del buque de diseño
app.Distance=app.AutonomiaNMEEditField.Value; %autonomía
S_rudderskeg=app.TimnyquilloteEditField.Value; %timon
quillote
S_rudderstern=app.Timn1hliceEditField.Value; %una hélice
S_balanced=app.Timn2hlicesEditField.Value; %dos hélices
S_shaft=app.ArbotantesEditField.Value; %arbotantes
S_skeg=app.SoloquilloteEditField.Value; %quillote
S_strutbossings=app.HenchimentosprotectoresEditField.Value;
%henchimientos protectores
S_hullbossings=app.HenchimientosintegradosEditField.Value;
%henchimientos integrados
S_shafts=app.EjesEditField.Value; %eje
S_stabilizer=app.AletasestabilizadorasEditField.Value;
%aletas estabilizadoras
S_dome=app.DomoEditField.Value; %domo
S_bilge=app.QuillasdebalanceEditField.Value; %quilla de
balance
S_total=S_rudderskeg+S_rudderstern+S_balanced+S_shaft+S_skeg+S_strutbossing
s+S_hullbossings+S_shafts+S_stabilizer+S_dome+S_bilge; %Superficie
apendices(m2)
k2_rudderskeg=app.TimnyquilloteEditField_2.Value; %timon
quillote
k2_rudderstern=app.Timn1hliceEditField_2.Value; %una hélice
k2_balanced=app.Timn2hlicesEditField_2.Value; %dos hélices
k2_shaft=app.ArbotantesEditField_2.Value; %arbotantes
k2_skeg=app.SoloquilloteEditField_2.Value; %quillote
k2_strutbossings=app.HenchimentosprotectoresEditField_2.Value;
%henchimientos protectores
k2_hullbossings=app.HenchimientosintegradosEditField_2.Value;
%henchimientos integrados
k2_shafts=app.EjesEditField_2.Value; %eje
k2_stabilizer=app.AletasestabilizadorasEditField_2.Value;
%aletas estabilizadoras
k2_dome=app.DomoEditField_2.Value; %domo
k2_bilge=app.QuillasdebalanceEditField_2.Value; %quilla de
balance
EngineMargin=app.EngineMarginEditField.Value;
SeaMargin=app.MargenmarEditField.Value;
%Entrada en los paneles de botones
if
app.NmerodepalasdelahlicezButtonGroup.SelectedObject==app.Button
app.z=double(2);

```

```

elseif
app.NmerodepalasdelahlicezButtonGroup.SelectedObject==app.Button_2
    app.z=double(3);
elseif
app.NmerodepalasdelahlicezButtonGroup.SelectedObject==app.Button_3
    app.z=double(4);
elseif
app.NmerodepalasdelahlicezButtonGroup.SelectedObject==app.Button_4
    app.z=double(5);
elseif
app.NmerodepalasdelahlicezButtonGroup.SelectedObject==app.Button_5
    app.z=double(6);
elseif
app.NmerodepalasdelahlicezButtonGroup.SelectedObject==app.Button_6
    app.z=double(7);
end
if
app.FormacuadernadepopaButtonGroup.SelectedObject==app.FormaenUButton
    app.Cpopa=double(10);
elseif
app.FormacuadernadepopaButtonGroup.SelectedObject==app.FormaenVButton
    app.Cpopa=double(-10);
elseif
app.FormacuadernadepopaButtonGroup.SelectedObject==app.FormaNormalButton
    app.Cpopa=double(0);
elseif
app.FormacuadernadepopaButtonGroup.SelectedObject==app.FormadeGndolaButton
    app.Cpopa=double(-25);
end
%Estimaciones a partir de buque base
LWL=app.L1*LWL_B/app.LBP_B1;
app.hshaft=hshaft_B;
app.t=tp_B;
app.w=wp_B;
TF=app.Tmax1; %Calado de proa
CM=CM_B;
CWP=CWP_B;
CP=CP_B;
lcb=LCB_LWL_B;
AT=AT_B*((app.B1*app.Tmax1)/(app.B_B1*app.Td_B1)); %Área
sección transversal (m2)
HB=HB_B*app.D1/app.D_B1; %Estimación altura vertical
centroide ABT (m2)
alpha=(app.LWT_B1+app.DWT_B1)/(1.025*app.LBP_B1*app.B_B1*app.Td_B1*app.CB_B
1);
Displ=1.025*app.L1*app.B1*app.Tmax1*app.CB1*alpha;
%Desplazamiento (tn)
Vol=Displ/1.025; %Volumen de carena (m3)
%Estimaciones a partir de los datos de entrada
%a) Cálculo de la resistencia total.
%1.Resistencia por apéndices.
visc=1.13902*10^-6; %Viscosidad
Rn=app.Vs1*0.5144*LWL/visc; %Num. Reynolds

```

```

Cfric=0.075/((log10(Rn)-2)^2); %Coef. fricción ITTC1957
ABT=ABT_B*((app.B1*app.D1)/(app.B_B1*app.D_B1)); %Área del
bulbo (m2)

SBH=LWL*(2*app.Tmax1+app.B1)*(sqrt(CM))*(0.453+0.4425*app.CB1-0.2862*CM-
0.003467*(app.B1/app.Tmax1)+0.3696*CWP)+2.38*ABT/app.CB1; %Área de
superficie mojada del casco (m2)
RF=0.5*1.025*Cfric*SBH*((app.Vs1*0.5144)^2); %Resistencia
de fricción (kN)
C14=1+0.011*app.Cpopa;
LR=LWL*(1-CP+0.06*CP*lcb/(4*CP-1)); %(m)

k1=0.93+0.487118*C14*((app.B1/LWL)^1.06806)*((app.Tmax1/LWL)^0.46106)*((LWL
/LR)^0.121563)*(((LWL^3)/(Vol))^0.36486)*((1-CP)^-0.60247); %Factor de
forma (1+k1)

k2=(S_rudderskeg*k2_rudderskeg+S_rudderstern*k2_rudderstern+S_balanced*k2_b
alanced+k2_shaft*S_shaft+S_skeg*k2_skeg+S_strutbossings*k2_strutbossings+S_
hullbossings*k2_hullbossings+S_shafts*k2_shafts+S_stabilizer*k2_stabilizer+
S_dome*k2_dome+k2_bilge*S_bilge)/S_total; %Factor de apéndices
SAPP=S_total;
RAPP=0.5*1.025*Cfric*SAPP*((app.Vs1*0.5144)^2)*k2;
%Resistencia por apéndices (kN)
%2.Resistencia por formación de olas.
Fn=(app.Vs1*0.5144)/(sqrt(9.81*LWL));
BLWL=app.B1/LWL; %relación
if BLWL<0.11
    C7=0.229577*((app.B1/LWL)^0.3333);
elseif BLWL<0.25
    C7=BLWL;
elseif BLWL>=0.25
    C7=0.5-0.0625*(1/BLWL);
end
IE=1+89*exp((-1/BLWL)^0.80856)*((1-CWP)^0.30484)*((1-CP-
0.0225*lcb)^0.6367)*((LR/app.B1)^0.34574)*((100*Vol/(LWL^3))^0.16302));
%Ángulo de entrada en flotación (°)
C3=(0.56*(ABT^1.5))/(app.B1*app.Tmax1*(0.31*sqrt(ABT)+TF-
HB));

C2=exp(-1.89*(sqrt(C3)));
C5=1-0.8*AT/(app.B1*app.Tmax1*CM);
C15_coef=(LWL^3)/Vol;
if C15_coef<512
    C15=-1.69385;
elseif C15_coef<=1726.91
    C15=-1.69385+(LWL/(Vol^(1/3))-8)/2.36;
elseif C15_coef>1726.91
    C15=0;
end
if (1/BLWL)<12
    landa=1.446*CP-0.03*LWL/app.B1;
else
    landa=1.446*CP-0.36;
end
m4=C15*0.4*exp(-0.034*(Fn^-3.29));

```

```

if CP<0.8
    C16=8.07981*CP-13.8673*(CP^2)+6.984388*(CP^3);
else
    C16=1.73014-0.7067*CP;
end
if Fn<0.4

C1=2223105*(C7^3.78613)*((app.Tmax1/app.B1)^1.07961)*((90-IE)^-1.37565);
    m1=0.0140407*LWL/app.Tmax1-1.75254*(Vol^(1/3))/LWL-
4.79323*(app.B1/LWL)-C16;
    RW=1.025*9.81*Vol*C1*C2*C5*exp(m1*(Fn^-
0.9)+m4*cos(landa*(Fn^-2))); %Rw (kN)
end
if Fn>=0.55
    C1=6919.3*(CM^-
1.3346)*((Displ/(LWL^3))^2.00977)*((LWL/app.B1-2)^1.40692);
    m1=-
7.2035*((app.B1/LWL)^0.326869)*((app.Tmax1/app.B1)^0.605375);
    RW=1.025*9.81*Vol*C1*C2*C5*exp(m1*(Fn^-
0.9)+m4*cos(landa*(Fn^-2))); %Rw (kN)
end
if Fn>=0.4 && Fn<0.55

C1_low=2223105*(C7^3.78613)*((app.Tmax1/app.B1)^1.07961)*((90-IE)^-
1.37565);
    m1_low=0.0140407*LWL/app.Tmax1-1.75254*(Vol^(1/3))/LWL-
4.79323*(app.B1/LWL)-C16;
    RW_low=1.025*9.81*Vol*C1_low*C2*C5*exp(m1_low*(Fn^-
0.9)+m4*cos(landa*(Fn^-2)));
    C1_high=6919.3*(CM^-
1.3346)*((Displ/(LWL^3))^2.00977)*((LWL/app.B1-2)^1.40692);
    m1_high=-
7.2035*((app.B1/LWL)^0.326869)*((app.Tmax1/app.B1)^0.605375);
    RW_high=1.025*9.81*Vol*C1_high*C2*C5*exp(m1_high*(Fn^-
0.9)+m4*cos(landa*(Fn^-2)));
    RW=RW_low+(10*Fn-4)*(RW_high-RW_low)/1.5; %Rw (kN)
end
%3.Cálculo de Resistencia de presión por bulbo.
PB=0.56*(sqrt(ABT))/(TF-1.5*HB);
Fni=(app.Vs1*0.5144)/(sqrt(9.81*(TF-HB-
0.25*sqrt(ABT))+0.15*(app.Vs1*0.5144)^2));
RB=0.11*exp(-3*PB^
2)*(Fni^3)*(ABT^1.5)*1.025*9.81/(1+(Fni^2)); %RB (kN)
%4.Cálculo de Resistencia de presión por inmersión del
espejo de popa.
FnT=(app.Vs1*0.5144)/(sqrt(2*9.81*AT/(app.B1+app.B1*CWP)));
if FnT<5
    C6=0.2*(1-0.2*FnT);
else
    C6=0;
end
RTR=0.5*1.025*C6*AT*((app.Vs1*0.5144)^2); %RTR (kN)
%5.Cálculo de Resistencia de correlación del modelo.
if (TF/LWL)<0.04

```

```

        C4=TF/LWL;
    else
        C4=0.04;
    end
    CA=0.006*((LWL+100)^-0.16)-
0.00205+0.003*sqrt(LWL/7.5)*(app.CB1^4)*C2*(0.04-C4);
    RA=0.5*1.025*CA*SBH*((app.Vs1*0.5144)^2); %RA (kN)
    %6.Cálculo de Resistencia Total.
    RT=RF*k1+RAPP+RW+RB+RTR+RA; %Resistencia por suma de
componentes
    if RB>RF
        RT=RF*k1+RAPP+RW+RTR+RA;
    elseif RTR>RF
        RT=RF*k1+RAPP+RW+RA;
    end
    app.RTfinal=RT*CHM_B; %Resistencia total de diseño a partir
de CHM en (kN)
    app.RtotalkNEditField.Value=app.RTfinal; %mandamos los
valores de salida de etapa 1
    %%b)Predicción de potencia.
    %1. Predicción de factores de propulsión.
    app.n_o=n_o_B;
    app.n_r=n_r_B;
    n_h=n_h_B;
    n_d=app.n_o*app.n_r*n_h;
    app.n_t=n_t_B;
    %2. Predicción de potencia.
    EHP=app.RTfinal*(app.Vs1*0.5144); %(kW)
    app.DHP=EHP/n_d; %(kW)
    BHP=app.DHP/app.n_t; %(kW)
    app.NCR=(BHP*(1+SeaMargin/100))*1.34102; %(BHP)
    app.MCR=app.NCR/EngineMargin; %(BHP)
    NMCR=app.MCR/app.DeratingRatio1; %(BHP)
    NMCRsalida=NMCR*0.7457; %(kW)
    app.NMCRkWEditField.Value=NMCRsalida; %mandamos los valores
de salida de etapa 1
    end
end
% Value changed function: BorrarButton
function BorrarButtonValueChanged(app, event)
    app.LWLmEditField.Value=0;
    app.ATBm2EditField.Value=0;
    app.CmEditField.Value=0;
    app.CwpEditField.Value=0;
    app.CpEditField.Value=0;
    app.LcbEditField.Value=0;
    app.HBmEditField.Value=0;
    app.ATm2EditField.Value=0;
    app.tEditField.Value=0;
    app.wEditField.Value=0;
    app.AltEjemEditField.Value=0;
    app.nMCRrpmEditField.Value=0;
    app.nNMCRrpmEditField.Value=0;
    app.oEditField.Value=0;

```

```

app.rEditField.Value=0;
app.CHMEditField.Value=0;
app.TimnyquilloteEditField.Value=0;
app.Timn1hliceEditField.Value=0;
app.Timn2hlicesEditField.Value=0;
app.ArbotantesEditField.Value=0;
app.SoloquilloteEditField.Value=0;
app.HenchimentosprotectoresEditField.Value=0;
app.HenchimientosintegradosEditField.Value=0;
app.EjesEditField.Value=0;
app.AletasestabilizadorasEditField.Value=0;
app.DomoEditField.Value=0;
app.QuillasdebalanceEditField.Value=0;
app.TimnyquilloteEditField_2.Value=0;
app.Timn1hliceEditField_2.Value=0;
app.Timn2hlicesEditField_2.Value=0;
app.ArbotantesEditField_2.Value=0;
app.SoloquilloteEditField_2.Value=0;
app.HenchimentosprotectoresEditField_2.Value=0;
app.HenchimientosintegradosEditField_2.Value=0;
app.EjesEditField_2.Value=0;
app.AletasestabilizadorasEditField_2.Value=0;
app.DomoEditField_2.Value=0;
app.QuillasdebalanceEditField_2.Value=0;
app.EngineMarginEditField.Value=0;
app.MargenmarEditField.Value=0;
app.AEAOEditField_3.Value=0;
app.DpmEditField_3.Value=0;
app.PiEditField_3.Value=0;
app.tEditField_2.Value=0;
app.AutonomaNMEditField.Value=0;
%Cambiar a color original casillas de apéndices
app.Timn1hliceEditField_2.BackgroundColor=[0.94,0.94,0.94];
app.Timn2hlicesEditField_2.BackgroundColor=[0.94,0.94,0.94];
app.TimnyquilloteEditField_2.BackgroundColor=[0.94,0.94,0.94];
app.SoloquilloteEditField_2.BackgroundColor=[0.94,0.94,0.94];

app.HenchimentosprotectoresEditField_2.BackgroundColor=[0.94,0.94,0.94];

app.HenchimientosintegradosEditField_2.BackgroundColor=[0.94,0.94,0.94];
app.EjesEditField_2.BackgroundColor=[0.94,0.94,0.94];

app.AletasestabilizadorasEditField_2.BackgroundColor=[0.94,0.94,0.94];
app.DomoEditField_2.BackgroundColor=[0.94,0.94,0.94];

app.QuillasdebalanceEditField_2.BackgroundColor=[0.94,0.94,0.94];
app.ArbotantesEditField_2.BackgroundColor=[0.94,0.94,0.94];
app.Timn1hliceEditField.BackgroundColor=[0.94,0.94,0.94];
app.Timn2hlicesEditField.BackgroundColor=[0.94,0.94,0.94];
app.TimnyquilloteEditField.BackgroundColor=[0.94,0.94,0.94];
app.SoloquilloteEditField.BackgroundColor=[0.94,0.94,0.94];

app.HenchimentosprotectoresEditField.BackgroundColor=[0.94,0.94,0.94];
app.EjesEditField.BackgroundColor=[0.94,0.94,0.94];

```

```

app.AletasestabilizadorasEditField.BackgroundColor=[0.94,0.94,0.94];
    app.DomoEditField.BackgroundColor=[0.94,0.94,0.94];
    app.QuillasdebalanceEditField.BackgroundColor=[0.94,0.94,0.94];
    app.ArbotantesEditField.BackgroundColor=[0.94,0.94,0.94];

app.HenchimientosintegradosEditField.BackgroundColor=[0.94,0.94,0.94];
    end
    % Button pushed function: AyudaButton
    function AyudaButtonPushed(app, event)
        winopen('Ayuda_helice.pdf')
    end
    % Selection changed function:
    % NmerodepalasdelahlicezButtonGroup
    function NmerodepalasdelahlicezButtonGroupSelectionChanged(app,
event)
        selectedButton =
app.NmerodepalasdelahlicezButtonGroup.SelectedObject;

        end
        % Selection changed function: FormacuadernadepopaButtonGroup
        function FormacuadernadepopaButtonGroupSelectionChanged(app, event)
            selectedButton =
app.FormacuadernadepopaButtonGroup.SelectedObject;
            end
            % Value changed function: ContinuaraEtapa2Button
            function ContinuaraEtapa2ButtonValueChanged(app, event)
                value = app.ContinuaraEtapa2Button.Value;
                if app.LWlMEditField.Value==0
                    error(app);
                elseif app.ATBm2EditField.Value==0
                    error(app);
                elseif app.CmEditField.Value==0
                    error(app);
                elseif app.CwpEditField.Value==0
                    error(app);
                elseif app.CpEditField.Value==0
                    error(app);
                elseif app.LcbEditField.Value==0
                    error(app);
                elseif app.HBmEditField.Value==0
                    error(app);
                elseif app.ATm2EditField.Value==0
                    error(app);
                elseif app.tEditField.Value==0
                    error(app);
                elseif app.wEditField.Value==0
                    error(app);
                elseif app.AltEjemEditField.Value==0
                    error(app);
                elseif app.nMCRrpmEditField.Value==0
                    error(app);
                elseif app.nNMCRrpmEditField.Value==0
                    error(app);
            end
        end
    end
end

```

```

elseif app.oEditField.Value==0
    error(app);
elseif app.rEditField.Value==0
    error(app);
elseif app.CHMEditField.Value==0
    error(app);
elseif app.EngineMarginEditField.Value==0
    error(app);
elseif app.MargenmarEditField.Value==0
    error(app);
elseif app.PiEditField_3.Value==0
    error(app);
elseif app.AEAOEditField_3.Value==0
    error(app);
elseif app.DpmEditField_3.Value==0
    error(app);
elseif app.tEditField_2.Value==0
    error(app);
elseif app.AutonomaNMEEditField.Value==0
    error(app);
elseif app.NMCRkWEditField_2.Value<app.NMCRkWEditField.Value
    aviso1=sprintf('El motor seleccionado debe satisfacer los
requisitos de potencia del buque. ');
    errordlg(aviso1,'Aviso del sistema');
else
    info(app);
    if
app.NmerodehlicesButtonGroup.SelectedObject==app.Button_7
        app.numpropulsor=double(1);
        app.kpropulsor=double(0.2);
        LB=[0.4 0.25 0.5];
        UB=[1 14 10];
        A=[0 0 1];
        b=[0.7*app.Tmax1];
    elseif
app.NmerodehlicesButtonGroup.SelectedObject==app.Button_8
        app.numpropulsor=double(2);
        app.kpropulsor=double(0.1);
        LB=[0.4 1.2 2.4];
        UB=[1 8.4 6];
        A=[0 0 1;0 0 -1];
        b=[0.73*app.Tmax1;-0.45*app.Tmax1];
    end
    %%c)Selección del motor principal.
    n_nmcra=app.nNMCRrpmEditField_2.Value; %velocidad motor a
NMCR (rpm)
    n_mcr=n_nmcra*(app.n_mcr_B/app.n_nmcra_B); %velocidad motor a
MCR (1/rpm)
    c3=app.MCR/(n_mcr^3);
    n_ncr=(app.NCR/c3)^(1/3); %velocidad motor a NCR
    SFOC=app.SFOCaMCRgkwhEditField.Value;
    DFOC=app.NCR*SFOC*24*10^-6; %consumo diario de fuel
(tn/día)

```

```

WHFO=(DFOC*(app.Distance/app.Vs1)*(1/24))/0.95; %peso de
fuel oil (tn)
VHFO=WHFO/0.99; %volumen tanque fuel oil (m3)
%d)Dimensionamiento del propulsor.
app.np=(n_mcr/60); %(rps)
PE=(app.NCR/1.34102); %(W)
app.np=(n_mcr/60); %(rps)
app.Ts=(app.RTfinal/(app.numpropulsor*(1-app.t))); %(de kN)
app.hpropulsor=app.Tmax1-app.hshaft;
app.Q=PE/(app.numpropulsor*2*pi*app.np);
Bp=((n_mcr)*((app.DHP*1.34102*app.n_r)^0.5))/((app.Vs1*(1-
app.w))^2.5));
app.F1=(app.n_r*(Bp^2)*((app.Vs1*(1-
app.w))^1.25))/(278.4*(10.18+app.hpropulsor*3.28084)^0.625);
%%Algoritmo genético + Método cuadrático SQP
AEA0_B=app.AEA0EditField_3.Value;
P_i_B=app.PiEditField_3.Value;
Dp_B=app.DpmEditField_3.Value;
options=optimoptions('ga','Display','iter');
x0=[AEA0_B P_i_B Dp_B]; % Start point
options.InitialPopulationMatrix = x0;
options.ConstraintTolerance=1*10^-1;
options.FunctionTolerance=1*10^-1;
contador=1;
exitflagx=0;
while exitflagx~=1 && contador<=2

[app.y,fvalx,exitflagx]=ga(@(y)n_o_optimizada(app,y),3,A,b,[],[],LB,UB,@(y)
restriccion(app,y),options);
    contador=contador+1;
end
if exitflagx==1
    app.AEA0_x=app.y(1);
    app.Dp_x=app.y(3);
    app.PiDp_x=app.y(2)/app.y(3);
    app.n_o_x=abs(fvalx);
end
contador=1;
exitflagy=0;
while exitflagy~=1 && contador<=2

optionsy=optimoptions('fmincon','Display','iter','Algorithm','sqp');

[app.y,fvaly,exitflagy]=fmincon(@(y)n_o_optimizada(app,y),x0,A,b,[],[],LB,U
B,@(y)restriccion(app,y),optionsy);
    contador=contador+1;
end
if exitflagy==1
    app.AEA0_y=app.y(1);
    app.Dp_y=app.y(3);
    app.PiDp_y=app.y(2)/app.y(3);
    app.n_o_y=abs(fvaly);
else

```

```

optionsy=optimoptions('fmincon','Display','iter','Algorithm','sqp');
optionsy.MaxIterations=10000;
optionsy.MaxFunctionEvaluations=50000;

[app.y,fvaly,exitflagy]=fmincon(@(y)n_o_optimizada(app,y),x0,A,b,[],[],LB,UB,@(y)restriccion(app,y),optionsy);
    if exitflagy==1
        app.AEAO_y=app.y(1);
        app.Dp_y=app.y(3);
        app.PiDp_y=app.y(2)/app.y(3);
        app.n_o_y=abs(fvaly);
    end
end
if exitflagx==1 && exitflagy==1
    if app.n_o_y>=app.n_o_x
        app.AEAOEditField.Value=app.AEAO_y;
        app.DpmEditField.Value= app.Dp_y;
        app.PiDpEditField.Value=app.PiDp_y;
        app.oEditField_3.Value=app.n_o_y;
        app.VknEditField_2.Value=app.Vs1;
        app.nNCRrpmEditField.Value=n_ncr;
        app.VHF0m3EditField.Value=VHF0;
    else
        app.AEAOEditField.Value=app.AEAO_x;
        app.DpmEditField.Value= app.Dp_x;
        app.PiDpEditField.Value=app.PiDp_x;
        app.oEditField_3.Value=app.n_o_x;
        app.VknEditField_2.Value=app.Vs1;
        app.nNCRrpmEditField.Value=n_ncr;
        app.VHF0m3EditField.Value=VHF0;
    end
end
if exitflagx==1 && exitflagy~=1
    app.AEAOEditField.Value=app.AEAO_x;
    app.DpmEditField.Value= app.Dp_x;
    app.PiDpEditField.Value=app.PiDp_x;
    app.oEditField_3.Value=app.n_o_x;
    app.VknEditField_2.Value=app.Vs1;
    app.nNCRrpmEditField.Value=n_ncr;
    app.VHF0m3EditField.Value=VHF0;
if exitflagy==1 && exitflagx~=1
    app.AEAOEditField.Value=app.AEAO_y;
    app.DpmEditField.Value= app.Dp_y;
    app.PiDpEditField.Value=app.PiDp_y;
    app.oEditField_3.Value=app.n_o_y;
    app.VknEditField_2.Value=app.Vs1;
    app.nNCRrpmEditField.Value=n_ncr;
    app.VHF0m3EditField.Value=VHF0;
else
    error2(app);
end
end
end
end

```

```

end
% Selection changed function: NmerodehlicesButtonGroup
function NmerodehlicesButtonGroupSelectionChanged(app, event)
    selectedButton = app.NmerodehlicesButtonGroup.SelectedObject;
end
% Value changed function: NMCRkWEditField_2
function NMCRkWEditField_2ValueChanged(app, event)
    value = app.NMCRkWEditField_2.Value;
end
% Value changed function: NMCRkWEditField
function NMCRkWEditFieldValueChanged(app, event)
    value = app.NMCRkWEditField.Value;
end
% Value changed function: BorrarResultadosButton
function BorrarResultadosButtonValueChanged(app, event)
    value = app.BorrarResultadosButton.Value;
    app.AEAOEditField.Value=0;
    app.DpmEditField.Value=0;
    app.PiDpEditField.Value=0;
    app.VknEditField_2.Value=0;
    app.oEditField_3.Value=0;
    app.VHF0m3EditField.Value=0;
    app.nNCRrpmEditField.Value=0;
end
end
% App initialization and construction
methods (Access = private)
% Create UIFigure and components
function createComponents(app)
    % Create Fondo
    app.Fondo = uifigure;
    app.Fondo.AutoResizeChildren = 'off';
    app.Fondo.Color = [0.9412 0.9412 0.9412];
    app.Fondo.Position = [100 100 1242 769];
    app.Fondo.Name = 'Dimensionamiento de la hélice';
    % Create DatosdesalidaPanel
    app.DatosdesalidaPanel = uipanel(app.Fondo);
    app.DatosdesalidaPanel.AutoResizeChildren = 'off';
    app.DatosdesalidaPanel.TitlePosition = 'centertop';
    app.DatosdesalidaPanel.Title = 'Datos de salida';
    app.DatosdesalidaPanel.BackgroundColor = [1 1 1];
    app.DatosdesalidaPanel.FontWeight = 'bold';
    app.DatosdesalidaPanel.FontSize = 14;
    app.DatosdesalidaPanel.Position = [667 10 565 427];
    % Create Etapa1Panel
    app.Etapa1Panel = uipanel(app.DatosdesalidaPanel);
    app.Etapa1Panel.AutoResizeChildren = 'off';
    app.Etapa1Panel.TitlePosition = 'centertop';
    app.Etapa1Panel.Title = 'Etapa 1';
    app.Etapa1Panel.BackgroundColor = [0.8627 0.8941 0.9765];
    app.Etapa1Panel.FontWeight = 'bold';
    app.Etapa1Panel.Position = [15 12 264 381];
    % Create SeleccindelmotorprincipalLabel
    app.SeleccindelmotorprincipalLabel = uilabel(app.Etapa1Panel);

```

```

        app.SeleccindelmotorprincipalLabel.FontWeight = 'bold';
        app.SeleccindelmotorprincipalLabel.FontAngle = 'italic';
        app.SeleccindelmotorprincipalLabel.FontColor = [0.149 0.149
0.149];
        app.SeleccindelmotorprincipalLabel.Position = [43 343 170 15];
        app.SeleccindelmotorprincipalLabel.Text = 'Selección del motor
principal';
        % Create ResistenciayPotenciarequeridaPanel
        app.ResistenciayPotenciarequeridaPanel =
uipanel(app.Etapa1Panel);
        app.ResistenciayPotenciarequeridaPanel.AutoResizeChildren =
'off';
        app.ResistenciayPotenciarequeridaPanel.Title = 'Resistencia y
Potencia requerida: ';
        app.ResistenciayPotenciarequeridaPanel.BackgroundColor = [1 1
1];
        app.ResistenciayPotenciarequeridaPanel.Position = [17 243 230
93];
        % Create RtotalkNEditFieldLabel
        app.RtotalkNEditFieldLabel =
uilabel(app.ResistenciayPotenciarequeridaPanel);
        app.RtotalkNEditFieldLabel.HorizontalAlignment = 'right';
        app.RtotalkNEditFieldLabel.VerticalAlignment = 'center';
        app.RtotalkNEditFieldLabel.Position = [14 45 63 15];
        app.RtotalkNEditFieldLabel.Text = 'Rtotal (kN)';
        % Create RtotalkNEditField
        app.RtotalkNEditField =
uieditfield(app.ResistenciayPotenciarequeridaPanel, 'numeric');
        app.RtotalkNEditField.ValueDisplayFormat = '%.3f';
        app.RtotalkNEditField.Position = [97 41 114 22];
        % Create NMCRkWEditFieldLabel
        app.NMCRkWEditFieldLabel =
uilabel(app.ResistenciayPotenciarequeridaPanel);
        app.NMCRkWEditFieldLabel.HorizontalAlignment = 'right';
        app.NMCRkWEditFieldLabel.Position = [11 13 70 15];
        app.NMCRkWEditFieldLabel.Text = 'NMCR (kW)';
        % Create NMCRkWEditField
        app.NMCRkWEditField =
uieditfield(app.ResistenciayPotenciarequeridaPanel, 'numeric');
        app.NMCRkWEditField.ValueDisplayFormat = '%.3f';
        app.NMCRkWEditField.ValueChangedFcn = createCallbackFcn(app,
@NMCRkWEditFieldValueChanged, true);
        app.NMCRkWEditField.Position = [96 9 115 22];
        % Create IntroduzcaelmotorseleccionadoPanel
        app.IntroduzcaelmotorseleccionadoPanel =
uipanel(app.Etapa1Panel);
        app.IntroduzcaelmotorseleccionadoPanel.AutoResizeChildren =
'off';
        app.IntroduzcaelmotorseleccionadoPanel.Title = 'Introduzca el
motor seleccionado: ';
        app.IntroduzcaelmotorseleccionadoPanel.Position = [13 43 234
192];
        % Create NMCRkWEditField_2Label

```

```

        app.NMCRkWEditField_2Label =
uilabel(app.IntroduzcaelmotorseleccionadoPanel);
        app.NMCRkWEditField_2Label.HorizontalAlignment = 'right';
        app.NMCRkWEditField_2Label.Position = [14 142 70 15];
        app.NMCRkWEditField_2Label.Text = 'NMCR (kw)';
        % Create NMCRkWEditField_2
        app.NMCRkWEditField_2 =
uieditfield(app.IntroduzcaelmotorseleccionadoPanel, 'numeric');
        app.NMCRkWEditField_2.Limits = [0 Inf];
        app.NMCRkWEditField_2.ValueDisplayFormat = '%.3f';
        app.NMCRkWEditField_2.ValueChangedFcn = createCallbackFcn(app,
@NMCRkWEditField_2ValueChanged, true);
        app.NMCRkWEditField_2.Position = [100 139 115 22];
        % Create nNMCRrpmEditField_2Label
        app.nNMCRrpmEditField_2Label =
uilabel(app.IntroduzcaelmotorseleccionadoPanel);
        app.nNMCRrpmEditField_2Label.HorizontalAlignment = 'right';
        app.nNMCRrpmEditField_2Label.Position = [14 108 81 15];
        app.nNMCRrpmEditField_2Label.Text = 'nNMCR (rpm)';
        % Create nNMCRrpmEditField_2
        app.nNMCRrpmEditField_2 =
uieditfield(app.IntroduzcaelmotorseleccionadoPanel, 'numeric');
        app.nNMCRrpmEditField_2.Limits = [0 Inf];
        app.nNMCRrpmEditField_2.ValueDisplayFormat = '%.3f';
        app.nNMCRrpmEditField_2.Position = [100 106 115 22];
        % Create SFOCaMCRgkwhLabel
        app.SFOCaMCRgkwhLabel =
uilabel(app.IntroduzcaelmotorseleccionadoPanel);
        app.SFOCaMCRgkwhLabel.HorizontalAlignment = 'right';
        app.SFOCaMCRgkwhLabel.Position = [14 73 124 18];
        app.SFOCaMCRgkwhLabel.Text = ' SFOC a MCR (g·kw/h)';
        % Create SFOCaMCRgkwhEditField
        app.SFOCaMCRgkwhEditField =
uieditfield(app.IntroduzcaelmotorseleccionadoPanel, 'numeric');
        app.SFOCaMCRgkwhEditField.Limits = [0 Inf];
        app.SFOCaMCRgkwhEditField.ValueDisplayFormat = '%.3f';
        app.SFOCaMCRgkwhEditField.Position = [145 73 70 22];
        % Create NmerodehlicesButtonGroup
        app.NmerodehlicesButtonGroup =
uibuttongroup(app.IntroduzcaelmotorseleccionadoPanel);
        app.NmerodehlicesButtonGroup.AutoResizeChildren = 'off';
        app.NmerodehlicesButtonGroup.SelectionChangedFcn =
createCallbackFcn(app, @NmerodehlicesButtonGroupSelectionChanged, true);
        app.NmerodehlicesButtonGroup.Title = 'Número de hélices: ';
        app.NmerodehlicesButtonGroup.Position = [23 8 192 54];
        % Create Button_7
        app.Button_7 = uiradiobutton(app.NmerodehlicesButtonGroup);
        app.Button_7.Text = '1';
        app.Button_7.Position = [40 11 29 15];
        app.Button_7.Value = true;
        % Create Button_8
        app.Button_8 = uiradiobutton(app.NmerodehlicesButtonGroup);
        app.Button_8.Text = '2';
        app.Button_8.Position = [126 11 29 15];

```

```

% Create ContinuaraEtapa2Button
app.ContinuaraEtapa2Button = uibutton(app.Etapa1Panel,
'state');
    app.ContinuaraEtapa2Button.ValueChangedFcn =
createCallbackFcn(app, @ContinuaraEtapa2ButtonValueChanged, true);
app.ContinuaraEtapa2Button.Text = 'Continuar a Etapa 2';
app.ContinuaraEtapa2Button.FontWeight = 'bold';
app.ContinuaraEtapa2Button.FontColor = [0 0.451 0.7412];
app.ContinuaraEtapa2Button.Position = [49 14 158 22];
% Create Etapa2Panel
app.Etapa2Panel = uipanel(app.DatosdesalidaPanel);
app.Etapa2Panel.AutoSizeChildren = 'off';
app.Etapa2Panel.TitlePosition = 'centertop';
app.Etapa2Panel.Title = 'Etapa 2';
app.Etapa2Panel.BackgroundColor = [0.6902 0.7608 0.949];
app.Etapa2Panel.FontWeight = 'bold';
app.Etapa2Panel.Position = [297 12 252 381];
% Create AEA0EditFieldLabel
app.AEA0EditFieldLabel = uilabel(app.Etapa2Panel);
app.AEA0EditFieldLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.AEA0EditFieldLabel.VerticalAlignment = 'center';
app.AEA0EditFieldLabel.FontSize = 14;
app.AEA0EditFieldLabel.Position = [44 182 47 18];
app.AEA0EditFieldLabel.Text = 'AE/AO';
% Create AEA0EditField
app.AEA0EditField = uieditfield(app.Etapa2Panel, 'numeric');
app.AEA0EditField.Limits = [0 Inf];
app.AEA0EditField.ValueDisplayFormat = '%.3f';
app.AEA0EditField.FontSize = 14;
app.AEA0EditField.Position = [107 181 117 22];
% Create DpmEditFieldLabel
app.DpmEditFieldLabel = uilabel(app.Etapa2Panel);
app.DpmEditFieldLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.DpmEditFieldLabel.VerticalAlignment = 'center';
app.DpmEditFieldLabel.FontSize = 14;
app.DpmEditFieldLabel.Position = [42 140 49 18];
app.DpmEditFieldLabel.Text = 'Dp (m)';
% Create DpmEditField
app.DpmEditField = uieditfield(app.Etapa2Panel, 'numeric');
app.DpmEditField.Limits = [0 Inf];
app.DpmEditField.ValueDisplayFormat = '%.3f';
app.DpmEditField.FontSize = 14;
app.DpmEditField.Position = [107 139 117 22];
% Create PiDpEditFieldLabel
app.PiDpEditFieldLabel = uilabel(app.Etapa2Panel);
app.PiDpEditFieldLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.PiDpEditFieldLabel.VerticalAlignment = 'center';
app.PiDpEditFieldLabel.FontSize = 14;
app.PiDpEditFieldLabel.Position = [53 98 39 18];
app.PiDpEditFieldLabel.Text = 'Pi/Dp';
% Create PiDpEditField
app.PiDpEditField = uieditfield(app.Etapa2Panel, 'numeric');
app.PiDpEditField.Limits = [0 Inf];
app.PiDpEditField.ValueDisplayFormat = '%.3f';

```

```

app.PiDpEditField.FontSize = 14;
app.PiDpEditField.Position = [106 97 118 22];
% Create VknEditField_2Label
app.VknEditField_2Label = uilabel(app.Etapa2Panel);
app.VknEditField_2Label.HorizontalAlignment = 'right';
app.VknEditField_2Label.VerticalAlignment = 'center';
app.VknEditField_2Label.FontSize = 14;
app.VknEditField_2Label.Position = [54 225 43 18];
app.VknEditField_2Label.Text = 'V (kn)';
% Create VknEditField_2
app.VknEditField_2 = uieditfield(app.Etapa2Panel, 'numeric');
app.VknEditField_2.Limits = [0 Inf];
app.VknEditField_2.ValueDisplayFormat = '%.3f';
app.VknEditField_2.FontSize = 14;
app.VknEditField_2.Position = [107 223 117 22];
% Create oEditField_3Label
app.oEditField_3Label = uilabel(app.Etapa2Panel);
app.oEditField_3Label.HorizontalAlignment = 'right';
app.oEditField_3Label.VerticalAlignment = 'center';
app.oEditField_3Label.FontSize = 14;
app.oEditField_3Label.Position = [68 56 25 18];
app.oEditField_3Label.Text = 'ηo';
% Create oEditField_3
app.oEditField_3 = uieditfield(app.Etapa2Panel, 'numeric');
app.oEditField_3.Limits = [0 Inf];
app.oEditField_3.ValueDisplayFormat = '%.3f';
app.oEditField_3.FontSize = 14;
app.oEditField_3.Position = [107 55 117 22];
% Create VHF0m3EditFieldLabel
app.VHF0m3EditFieldLabel = uilabel(app.Etapa2Panel);
app.VHF0m3EditFieldLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.VHF0m3EditFieldLabel.FontSize = 14;
app.VHF0m3EditFieldLabel.Position = [17 306 81 18];
app.VHF0m3EditFieldLabel.Text = 'VHFO (m3)';
% Create VHF0m3EditField
app.VHF0m3EditField = uieditfield(app.Etapa2Panel, 'numeric');
app.VHF0m3EditField.Limits = [0 Inf];
app.VHF0m3EditField.ValueDisplayFormat = '%.3f';
app.VHF0m3EditField.FontSize = 14;
app.VHF0m3EditField.Position = [107 307 117 22];
% Create nNCRrpmEditFieldLabel
app.nNCRrpmEditFieldLabel = uilabel(app.Etapa2Panel);
app.nNCRrpmEditFieldLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.nNCRrpmEditFieldLabel.FontSize = 14;
app.nNCRrpmEditFieldLabel.Position = [15 267 82 18];
app.nNCRrpmEditFieldLabel.Text = 'nNCR (rpm)';
% Create nNCRrpmEditField
app.nNCRrpmEditField = uieditfield(app.Etapa2Panel, 'numeric');
app.nNCRrpmEditField.Limits = [0 Inf];
app.nNCRrpmEditField.ValueDisplayFormat = '%.3f';
app.nNCRrpmEditField.FontSize = 14;
app.nNCRrpmEditField.Position = [106 265 118 22];
% Create BorrarResultadosButton

```

```

app.BorrarresultadosButton = uibutton(app.Etapa2Panel,
'state');
app.BorrarresultadosButton.ValueChangedFcn =
createCallbackFcn(app, @BorrarresultadosButtonValueChanged, true);
app.BorrarresultadosButton.Text = 'Borrar resultados';
app.BorrarresultadosButton.FontWeight = 'bold';
app.BorrarresultadosButton.FontColor = [0 0.451 0.7412];
app.BorrarresultadosButton.Position = [56 14 158 22];
% Create DimensionamientodelahliceLabel
app.DimensionamientodelahliceLabel = uilabel(app.Etapa2Panel);
app.DimensionamientodelahliceLabel.FontWeight = 'bold';
app.DimensionamientodelahliceLabel.FontAngle = 'italic';
app.DimensionamientodelahliceLabel.Position = [45 340 179 15];
app.DimensionamientodelahliceLabel.Text = 'Dimensionamiento de
la hélice';
% Create DatosdeentradaPanel
app.DatosdeentradaPanel = uipanel(app.Fondo);
app.DatosdeentradaPanel.AutoResizeChildren = 'off';
app.DatosdeentradaPanel.ForegroundColor = [0.149 0.149 0.149];
app.DatosdeentradaPanel.TitlePosition = 'centertop';
app.DatosdeentradaPanel.Title = 'Datos de entrada';
app.DatosdeentradaPanel.BackgroundColor = [1 1 1];
app.DatosdeentradaPanel.FontWeight = 'bold';
app.DatosdeentradaPanel.FontSize = 14;
app.DatosdeentradaPanel.Position = [12 10 634 751];
% Create Panel
app.Panel = uipanel(app.DatosdeentradaPanel);
app.Panel.AutoResizeChildren = 'off';
app.Panel.BackgroundColor = [0.9412 0.9412 0.9412];
app.Panel.FontSize = 14;
app.Panel.Position = [13 47 609 671];
% Create BuquebasePanel
app.BuquebasePanel = uipanel(app.Panel);
app.BuquebasePanel.AutoResizeChildren = 'off';
app.BuquebasePanel.Title = 'Buque base: ';
app.BuquebasePanel.FontAngle = 'italic';
app.BuquebasePanel.Position = [14 432 581 220];
% Create LWLmEditFieldLabel
app.LWLmEditFieldLabel = uilabel(app.BuquebasePanel);
app.LWLmEditFieldLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.LWLmEditFieldLabel.Position = [14 170 51 15];
app.LWLmEditFieldLabel.Text = 'LWL (m)';
% Create LWLmEditField
app.LWLmEditField = uieditfield(app.BuquebasePanel, 'numeric');
app.LWLmEditField.Limits = [0 Inf];
app.LWLmEditField.ValueDisplayFormat = '%.3f';
app.LWLmEditField.Position = [77 167 100 22];
% Create ATBm2Label
app.ATBm2Label = uilabel(app.BuquebasePanel);
app.ATBm2Label.HorizontalAlignment = 'right';
app.ATBm2Label.Position = [5 139 59 15];
app.ATBm2Label.Text = 'ATB ( m2)';
% Create ATBm2EditField

```

```

app.ATBm2EditField = uieditfield(app.BuquebasePanel,
'numeric');
app.ATBm2EditField.Limits = [0 Inf];
app.ATBm2EditField.ValueDisplayFormat = '%.3f';
app.ATBm2EditField.Position = [79 135 98 22];
% Create CmEditFieldLabel
app.CmEditFieldLabel = uilabel(app.BuquebasePanel);
app.CmEditFieldLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.CmEditFieldLabel.Position = [37 107 25 15];
app.CmEditFieldLabel.Text = 'Cm';
% Create CmEditField
app.CmEditField = uieditfield(app.BuquebasePanel, 'numeric');
app.CmEditField.Limits = [0 1];
app.CmEditField.ValueDisplayFormat = '%.3f';
app.CmEditField.Position = [77 103 100 22];
% Create CwpEditFieldLabel
app.CwpEditFieldLabel = uilabel(app.BuquebasePanel);
app.CwpEditFieldLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.CwpEditFieldLabel.Position = [32 75 30 15];
app.CwpEditFieldLabel.Text = 'Cwp';
% Create CwpEditField
app.CwpEditField = uieditfield(app.BuquebasePanel, 'numeric');
app.CwpEditField.Limits = [0 1];
app.CwpEditField.ValueDisplayFormat = '%.3f';
app.CwpEditField.Position = [77 71 100 22];
% Create CpEditFieldLabel
app.CpEditFieldLabel = uilabel(app.BuquebasePanel);
app.CpEditFieldLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.CpEditFieldLabel.Position = [37 43 25 15];
app.CpEditFieldLabel.Text = 'Cp';
% Create CpEditField
app.CpEditField = uieditfield(app.BuquebasePanel, 'numeric');
app.CpEditField.Limits = [0 1];
app.CpEditField.ValueDisplayFormat = '%.3f';
app.CpEditField.Position = [77 39 100 22];
% Create LcbEditFieldLabel
app.LcbEditFieldLabel = uilabel(app.BuquebasePanel);
app.LcbEditFieldLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.LcbEditFieldLabel.Position = [15 11 47 15];
app.LcbEditFieldLabel.Text = 'Lcb (%)';
% Create LcbEditField
app.LcbEditField = uieditfield(app.BuquebasePanel, 'numeric');
app.LcbEditField.Limits = [0 Inf];
app.LcbEditField.ValueDisplayFormat = '%.3f';
app.LcbEditField.Position = [77 7 100 22];
% Create ATm2EditFieldLabel
app.ATm2EditFieldLabel = uilabel(app.BuquebasePanel);
app.ATm2EditFieldLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.ATm2EditFieldLabel.Position = [216 139 48 15];
app.ATm2EditFieldLabel.Text = 'AT (m2)';
% Create ATm2EditField
app.ATm2EditField = uieditfield(app.BuquebasePanel, 'numeric');
app.ATm2EditField.Limits = [0 Inf];
app.ATm2EditField.ValueDisplayFormat = '%.3f';

```

```

app.ATm2EditField.Position = [279 135 100 22];
% Create oEditFieldLabel
app.oEditFieldLabel = uilabel(app.BuquebasePanel);
app.oEditFieldLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.oEditFieldLabel.Position = [393 75 16 15];
app.oEditFieldLabel.Text = 'ηο';
% Create oEditField
app.oEditField = uieditfield(app.BuquebasePanel, 'numeric');
app.oEditField.Limits = [0 1];
app.oEditField.ValueDisplayFormat = '%.3f';
app.oEditField.Position = [416 71 59 22];
% Create nMCRrpmEditFieldLabel
app.nMCRrpmEditFieldLabel = uilabel(app.BuquebasePanel);
app.nMCRrpmEditFieldLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.nMCRrpmEditFieldLabel.Position = [186 107 75 15];
app.nMCRrpmEditFieldLabel.Text = 'nMCR (rpm)';
% Create nMCRrpmEditField
app.nMCRrpmEditField = uieditfield(app.BuquebasePanel,
'numeric');
app.nMCRrpmEditField.Limits = [0 Inf];
app.nMCRrpmEditField.ValueDisplayFormat = '%.3f';
app.nMCRrpmEditField.Position = [279 103 98 22];
% Create nNMCRrpmEditFieldLabel
app.nNMCRrpmEditFieldLabel = uilabel(app.BuquebasePanel);
app.nNMCRrpmEditFieldLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.nNMCRrpmEditFieldLabel.Position = [182 75 81 15];
app.nNMCRrpmEditFieldLabel.Text = 'nNMCR (rpm)';
% Create nNMCRrpmEditField
app.nNMCRrpmEditField = uieditfield(app.BuquebasePanel,
'numeric');
app.nNMCRrpmEditField.Limits = [0 Inf];
app.nNMCRrpmEditField.ValueDisplayFormat = '%.3f';
app.nNMCRrpmEditField.Position = [278 71 100 22];
% Create HBmEditFieldLabel
app.HBmEditFieldLabel = uilabel(app.BuquebasePanel);
app.HBmEditFieldLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.HBmEditFieldLabel.Position = [221 171 43 15];
app.HBmEditFieldLabel.Text = 'HB (m)';
% Create HBmEditField
app.HBmEditField = uieditfield(app.BuquebasePanel, 'numeric');
app.HBmEditField.Limits = [0 Inf];
app.HBmEditField.ValueDisplayFormat = '%.3f';
app.HBmEditField.Position = [279 167 100 22];
% Create CHMEditFieldLabel
app.CHMEditFieldLabel = uilabel(app.BuquebasePanel);
app.CHMEditFieldLabel.BackgroundColor = [0.9412 0.9412 0.9412];
app.CHMEditFieldLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.CHMEditFieldLabel.Position = [231 11 33 15];
app.CHMEditFieldLabel.Text = 'CHM';
% Create CHMEditField
app.CHMEditField = uieditfield(app.BuquebasePanel, 'numeric');
app.CHMEditField.Limits = [0 Inf];
app.CHMEditField.ValueDisplayFormat = '%.3f';
app.CHMEditField.Position = [279 7 100 22];

```

```

% Create rEditFieldLabel
app.rEditFieldLabel = uilabel(app.BuquebasePanel);
app.rEditFieldLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.rEditFieldLabel.Position = [393 43 15 15];
app.rEditFieldLabel.Text = 'nr';
% Create rEditField
app.rEditField = uieditfield(app.BuquebasePanel, 'numeric');
app.rEditField.Limits = [0 1.07];
app.rEditField.ValueDisplayFormat = '%.3f';
app.rEditField.Position = [415 39 60 22];
% Create wEditFieldLabel
app.wEditFieldLabel = uilabel(app.BuquebasePanel);
app.wEditFieldLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.wEditFieldLabel.Position = [486 75 15 15];
app.wEditFieldLabel.Text = 'w';
% Create wEditField
app.wEditField = uieditfield(app.BuquebasePanel, 'numeric');
app.wEditField.Limits = [0 1];
app.wEditField.ValueDisplayFormat = '%.3f';
app.wEditField.Position = [508 71 60 22];
% Create AltEjemEditFieldLabel
app.AltEjemEditFieldLabel = uilabel(app.BuquebasePanel);
app.AltEjemEditFieldLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.AltEjemEditFieldLabel.Position = [200 43 64 15];
app.AltEjemEditFieldLabel.Text = 'Alt. Eje (m)';
% Create AltEjemEditField
app.AltEjemEditField = uieditfield(app.BuquebasePanel,
'numeric');
app.AltEjemEditField.Limits = [0 Inf];
app.AltEjemEditField.ValueDisplayFormat = '%.3f';
app.AltEjemEditField.Position = [279 39 100 22];
% Create tEditField_2Label
app.tEditField_2Label = uilabel(app.BuquebasePanel);
app.tEditField_2Label.HorizontalAlignment = 'right';
app.tEditField_2Label.Position = [393 11 10 15];
app.tEditField_2Label.Text = 'nt';
% Create tEditField_2
app.tEditField_2 = uieditfield(app.BuquebasePanel, 'numeric');
app.tEditField_2.Limits = [0 Inf];
app.tEditField_2.ValueDisplayFormat = '%.3f';
app.tEditField_2.Position = [416 7 59 22];
% Create tEditFieldLabel
app.tEditFieldLabel = uilabel(app.BuquebasePanel);
app.tEditFieldLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.tEditFieldLabel.Position = [487 43 10 15];
app.tEditFieldLabel.Text = 't';
% Create tEditField
app.tEditField = uieditfield(app.BuquebasePanel, 'numeric');
app.tEditField.Limits = [0 1];
app.tEditField.ValueDisplayFormat = '%.3f';
app.tEditField.Position = [508 39 60 22];
% Create AEA0EditField_3Label
app.AEA0EditField_3Label = uilabel(app.BuquebasePanel);
app.AEA0EditField_3Label.HorizontalAlignment = 'right';

```

```

app.AEAOEditField_3Label.VerticalAlignment = 'center';
app.AEAOEditField_3Label.Position = [396 171 41 15];
app.AEAOEditField_3Label.Text = 'AE/AO';
% Create AEAOEditField_3
app.AEAOEditField_3 = uieditfield(app.BuquebasePanel,
'numeric');
app.AEAOEditField_3.Limits = [0 Inf];
app.AEAOEditField_3.ValueDisplayFormat = '%.3f';
app.AEAOEditField_3.Position = [452 167 116 22];
% Create DpmEditField_3Label
app.DpmEditField_3Label = uilabel(app.BuquebasePanel);
app.DpmEditField_3Label.HorizontalAlignment = 'right';
app.DpmEditField_3Label.VerticalAlignment = 'center';
app.DpmEditField_3Label.Position = [396 139 42 15];
app.DpmEditField_3Label.Text = 'Dp (m)';
% Create DpmEditField_3
app.DpmEditField_3 = uieditfield(app.BuquebasePanel,
'numeric');
app.DpmEditField_3.Limits = [0 Inf];
app.DpmEditField_3.ValueDisplayFormat = '%.3f';
app.DpmEditField_3.Position = [453 135 115 22];
% Create PiEditField_3Label
app.PiEditField_3Label = uilabel(app.BuquebasePanel);
app.PiEditField_3Label.HorizontalAlignment = 'right';
app.PiEditField_3Label.VerticalAlignment = 'center';
app.PiEditField_3Label.Position = [409 107 25 15];
app.PiEditField_3Label.Text = 'Pi';
% Create PiEditField_3
app.PiEditField_3 = uieditfield(app.BuquebasePanel, 'numeric');
app.PiEditField_3.Limits = [0 Inf];
app.PiEditField_3.ValueDisplayFormat = '%.3f';
app.PiEditField_3.Position = [453 103 115 22];
% Create BuquediseoPanel
app.BuquediseoPanel = uipanel(app.Panel);
app.BuquediseoPanel.AutoResizeChildren = 'off';
app.BuquediseoPanel.Title = 'Buque diseño: ';
app.BuquediseoPanel.FontAngle = 'italic';
app.BuquediseoPanel.Position = [14 20 581 395];
% Create ApndicesPanel
app.ApndicesPanel = uipanel(app.BuquediseoPanel);
app.ApndicesPanel.AutoResizeChildren = 'off';
app.ApndicesPanel.Title = 'Apéndices: ';
app.ApndicesPanel.Position = [12 8 334 356];
% Create Timn1hliceEditFieldLabel
app.Timn1hliceEditFieldLabel = uilabel(app.ApndicesPanel);
app.Timn1hliceEditFieldLabel.BackgroundColor = [0.9412 0.9412
0.9412];
app.Timn1hliceEditFieldLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.Timn1hliceEditFieldLabel.Position = [66 290 93 15];
app.Timn1hliceEditFieldLabel.Text = 'Timón (1 hélice)';
% Create Timn1hliceEditField
app.Timn1hliceEditField = uieditfield(app.ApndicesPanel,
'numeric');
app.Timn1hliceEditField.Limits = [0 Inf];

```

```

app.Timn1hliceEditField.ValueDisplayFormat = '%.3f';
app.Timn1hliceEditField.BackgroundColor = [0.9412 0.9412
0.9412];
app.Timn1hliceEditField.Position = [171 287 63 22];
% Create Timn2hlicesEditFieldLabel
app.Timn2hlicesEditFieldLabel = uilabel(app.ApndicesPanel);
app.Timn2hlicesEditFieldLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.Timn2hlicesEditFieldLabel.Position = [59 263 99 15];
app.Timn2hlicesEditFieldLabel.Text = 'Timón (2 hélices)';
% Create Timn2hlicesEditField
app.Timn2hlicesEditField = uieditfield(app.ApndicesPanel,
'numeric');
app.Timn2hlicesEditField.Limits = [0 Inf];
app.Timn2hlicesEditField.ValueDisplayFormat = '%.3f';
app.Timn2hlicesEditField.BackgroundColor = [0.9412 0.9412
0.9412];
app.Timn2hlicesEditField.Position = [173 259 61 22];
% Create TimnyquilloteEditFieldLabel
app.TimnyquilloteEditFieldLabel = uilabel(app.ApndicesPanel);
app.TimnyquilloteEditFieldLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.TimnyquilloteEditFieldLabel.Position = [65 235 91 15];
app.TimnyquilloteEditFieldLabel.Text = 'Timón y quillote';
% Create TimnyquilloteEditField
app.TimnyquilloteEditField = uieditfield(app.ApndicesPanel,
'numeric');
app.TimnyquilloteEditField.Limits = [0 Inf];
app.TimnyquilloteEditField.ValueDisplayFormat = '%.3f';
app.TimnyquilloteEditField.BackgroundColor = [0.9412 0.9412
0.9412];
app.TimnyquilloteEditField.Position = [171 231 63 22];
% Create SoloquilloteEditFieldLabel
app.SoloquilloteEditFieldLabel = uilabel(app.ApndicesPanel);
app.SoloquilloteEditFieldLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.SoloquilloteEditFieldLabel.Position = [83 207 73 15];
app.SoloquilloteEditFieldLabel.Text = 'Solo quillote';
% Create SoloquilloteEditField
app.SoloquilloteEditField = uieditfield(app.ApndicesPanel,
'numeric');
app.SoloquilloteEditField.Limits = [0 Inf];
app.SoloquilloteEditField.ValueDisplayFormat = '%.3f';
app.SoloquilloteEditField.BackgroundColor = [0.9412 0.9412
0.9412];
app.SoloquilloteEditField.Position = [171 203 63 22];
% Create HenchimentosprotectoresEditFieldLabel
app.HenchimentosprotectoresEditFieldLabel =
uilabel(app.ApndicesPanel);
app.HenchimentosprotectoresEditFieldLabel.BackgroundColor =
[0.9412 0.9412 0.9412];
app.HenchimentosprotectoresEditFieldLabel.HorizontalAlignment =
'right';
app.HenchimentosprotectoresEditFieldLabel.Position = [8 179 148
15];
app.HenchimentosprotectoresEditFieldLabel.Text = 'Henchimentos
protectores';

```

```

        % Create HenchimentosprotectoresEditField
        app.HenchimentosprotectoresEditField =
uieditfield(app.ApndicesPanel, 'numeric');
        app.HenchimentosprotectoresEditField.Limits = [0 Inf];
        app.HenchimentosprotectoresEditField.ValueDisplayFormat =
        '%.3f';
        app.HenchimentosprotectoresEditField.BackgroundColor = [0.9412
0.9412 0.9412];
        app.HenchimentosprotectoresEditField.Position = [171 175 63
22];
        % Create HenchimientosintegradosEditFieldLabel
        app.HenchimientosintegradosEditFieldLabel =
uilabel(app.ApndicesPanel);
        app.HenchimientosintegradosEditFieldLabel.BackgroundColor =
[0.9412 0.9412 0.9412];
        app.HenchimientosintegradosEditFieldLabel.HorizontalAlignment =
        'right';
        app.HenchimientosintegradosEditFieldLabel.Position = [8 151 148
15];
        app.HenchimientosintegradosEditFieldLabel.Text = 'Henchimientos
integrados';
        % Create HenchimientosintegradosEditField
        app.HenchimientosintegradosEditField =
uieditfield(app.ApndicesPanel, 'numeric');
        app.HenchimientosintegradosEditField.Limits = [0 Inf];
        app.HenchimientosintegradosEditField.ValueDisplayFormat =
        '%.3f';
        app.HenchimientosintegradosEditField.BackgroundColor = [0.9412
0.9412 0.9412];
        app.HenchimientosintegradosEditField.Position = [171 147 63
22];
        % Create EjesEditFieldLabel
        app.EjesEditFieldLabel = uilabel(app.ApndicesPanel);
        app.EjesEditFieldLabel.BackgroundColor = [0.9412 0.9412
0.9412];
        app.EjesEditFieldLabel.HorizontalAlignment = 'right';
        app.EjesEditFieldLabel.Position = [127 123 29 15];
        app.EjesEditFieldLabel.Text = 'Ejes';
        % Create EjesEditField
        app.EjesEditField = uieditfield(app.ApndicesPanel, 'numeric');
        app.EjesEditField.Limits = [0 Inf];
        app.EjesEditField.ValueDisplayFormat = '%.3f';
        app.EjesEditField.BackgroundColor = [0.9412 0.9412 0.9412];
        app.EjesEditField.Position = [171 119 63 22];
        % Create AletasestabilizadorasEditFieldLabel
        app.AletasestabilizadorasEditFieldLabel =
uilabel(app.ApndicesPanel);
        app.AletasestabilizadorasEditFieldLabel.BackgroundColor =
[0.9412 0.9412 0.9412];
        app.AletasestabilizadorasEditFieldLabel.HorizontalAlignment =
        'right';
        app.AletasestabilizadorasEditFieldLabel.Position = [31 95 125
15];

```

```

        app.AletasestabilizadorasEditFieldLabel.Text = 'Aletas
estabilizadoras';
        % Create AletasestabilizadorasEditField
        app.AletasestabilizadorasEditField =
uieditfield(app.ApndicesPanel, 'numeric');
        app.AletasestabilizadorasEditField.Limits = [0 Inf];
        app.AletasestabilizadorasEditField.ValueDisplayFormat = '%.3f';
        app.AletasestabilizadorasEditField.BackgroundColor = [0.9412
0.9412 0.9412];
        app.AletasestabilizadorasEditField.Position = [171 91 63 22];
        % Create DomoEditFieldLabel
        app.DomoEditFieldLabel = uilabel(app.ApndicesPanel);
        app.DomoEditFieldLabel.BackgroundColor = [0.9412 0.9412
0.9412];
        app.DomoEditFieldLabel.HorizontalAlignment = 'right';
        app.DomoEditFieldLabel.Position = [118 67 38 15];
        app.DomoEditFieldLabel.Text = 'Domo';
        % Create DomoEditField
        app.DomoEditField = uieditfield(app.ApndicesPanel, 'numeric');
        app.DomoEditField.Limits = [0 Inf];
        app.DomoEditField.ValueDisplayFormat = '%.3f';
        app.DomoEditField.BackgroundColor = [0.9412 0.9412 0.9412];
        app.DomoEditField.Position = [171 63 63 22];
        % Create QuillasdebalanceEditFieldLabel
        app.QuillasdebalanceEditFieldLabel =
uilabel(app.ApndicesPanel);
        app.QuillasdebalanceEditFieldLabel.BackgroundColor = [0.9412
0.9412 0.9412];
        app.QuillasdebalanceEditFieldLabel.HorizontalAlignment =
'right';
        app.QuillasdebalanceEditFieldLabel.Position = [49 39 107 15];
        app.QuillasdebalanceEditFieldLabel.Text = 'Quillas de balance';
        % Create QuillasdebalanceEditField
        app.QuillasdebalanceEditField = uieditfield(app.ApndicesPanel,
'numeric');
        app.QuillasdebalanceEditField.Limits = [0 Inf];
        app.QuillasdebalanceEditField.ValueDisplayFormat = '%.3f';
        app.QuillasdebalanceEditField.BackgroundColor = [0.9412 0.9412
0.9412];
        app.QuillasdebalanceEditField.Position = [171 35 63 22];
        % Create Timn1hliceEditField_2
        app.Timn1hliceEditField_2 = uieditfield(app.ApndicesPanel,
'numeric');
        app.Timn1hliceEditField_2.Limits = [0 Inf];
        app.Timn1hliceEditField_2.ValueDisplayFormat = '%.3f';
        app.Timn1hliceEditField_2.BackgroundColor = [0.9412 0.9412
0.9412];
        app.Timn1hliceEditField_2.Position = [255 287 63 22];
        % Create Timn2hlicesEditField_2
        app.Timn2hlicesEditField_2 = uieditfield(app.ApndicesPanel,
'numeric');
        app.Timn2hlicesEditField_2.Limits = [0 Inf];
        app.Timn2hlicesEditField_2.ValueDisplayFormat = '%.3f';

```

```

    app.Timn2hlicesEditField_2.BackgroundColor = [0.9412 0.9412
0.9412];
    app.Timn2hlicesEditField_2.Position = [257 259 61 22];
    % Create TimnyquilloteEditField_2
    app.TimnyquilloteEditField_2 = uieditfield(app.ApndicesPanel,
'numeric');
    app.TimnyquilloteEditField_2.Limits = [0 Inf];
    app.TimnyquilloteEditField_2.ValueDisplayFormat = '%.3f';
    app.TimnyquilloteEditField_2.BackgroundColor = [0.9412 0.9412
0.9412];
    app.TimnyquilloteEditField_2.Position = [255 231 63 22];
    % Create SoloquilloteEditField_2
    app.SoloquilloteEditField_2 = uieditfield(app.ApndicesPanel,
'numeric');
    app.SoloquilloteEditField_2.Limits = [0 Inf];
    app.SoloquilloteEditField_2.ValueDisplayFormat = '%.3f';
    app.SoloquilloteEditField_2.BackgroundColor = [0.9412 0.9412
0.9412];
    app.SoloquilloteEditField_2.Position = [255 203 63 22];
    % Create HenchimentosprotectoresEditField_2
    app.HenchimentosprotectoresEditField_2 =
uieditfield(app.ApndicesPanel, 'numeric');
    app.HenchimentosprotectoresEditField_2.Limits = [0 Inf];
    app.HenchimentosprotectoresEditField_2.ValueDisplayFormat =
'%.3f';
    app.HenchimentosprotectoresEditField_2.BackgroundColor =
[0.9412 0.9412 0.9412];
    app.HenchimentosprotectoresEditField_2.Position = [255 175 63
22];
    % Create HenchimientosintegradosEditField_2
    app.HenchimientosintegradosEditField_2 =
uieditfield(app.ApndicesPanel, 'numeric');
    app.HenchimientosintegradosEditField_2.Limits = [0 Inf];
    app.HenchimientosintegradosEditField_2.ValueDisplayFormat =
'%.3f';
    app.HenchimientosintegradosEditField_2.BackgroundColor =
[0.9412 0.9412 0.9412];
    app.HenchimientosintegradosEditField_2.Position = [255 147 63
22];
    % Create EjesEditField_2
    app.EjesEditField_2 = uieditfield(app.ApndicesPanel,
'numeric');
    app.EjesEditField_2.Limits = [0 Inf];
    app.EjesEditField_2.ValueDisplayFormat = '%.3f';
    app.EjesEditField_2.BackgroundColor = [0.9412 0.9412 0.9412];
    app.EjesEditField_2.Position = [255 119 63 22];
    % Create AletasestabilizadorasEditField_2
    app.AletasestabilizadorasEditField_2 =
uieditfield(app.ApndicesPanel, 'numeric');
    app.AletasestabilizadorasEditField_2.Limits = [0 Inf];
    app.AletasestabilizadorasEditField_2.ValueDisplayFormat =
'%.3f';
    app.AletasestabilizadorasEditField_2.BackgroundColor = [0.9412
0.9412 0.9412];

```

```

app.AletasestabilizadorasEditField_2.Position = [255 91 63 22];
% Create DomoEditField_2
app.DomoEditField_2 = uieditfield(app.ApndicesPanel,
'numeric');
app.DomoEditField_2.Limits = [0 Inf];
app.DomoEditField_2.ValueDisplayFormat = '%.3f';
app.DomoEditField_2.BackgroundColor = [0.9412 0.9412 0.9412];
app.DomoEditField_2.Position = [255 63 63 22];
% Create QuillasdebalanceEditField_2
app.QuillasdebalanceEditField_2 =
uieditfield(app.ApndicesPanel, 'numeric');
app.QuillasdebalanceEditField_2.Limits = [0 Inf];
app.QuillasdebalanceEditField_2.ValueDisplayFormat = '%.3f';
app.QuillasdebalanceEditField_2.BackgroundColor = [0.9412
0.9412 0.9412];
app.QuillasdebalanceEditField_2.Position = [255 35 63 22];
% Create k2Label
app.k2Label = uilabel(app.ApndicesPanel);
app.k2Label.Position = [269 316 40 15];
app.k2Label.Text = '(1+k2)';
% Create Superficiem2Label
app.Superficiem2Label = uilabel(app.ApndicesPanel);
app.Superficiem2Label.Position = [159 316 88 15];
app.Superficiem2Label.Text = 'Superficie (m2)';
% Create ArbotantesEditField_2
app.ArbotantesEditField_2 = uieditfield(app.ApndicesPanel,
'numeric');
app.ArbotantesEditField_2.Limits = [0 Inf];
app.ArbotantesEditField_2.ValueDisplayFormat = '%.3f';
app.ArbotantesEditField_2.BackgroundColor = [0.9412 0.9412
0.9412];
app.ArbotantesEditField_2.Position = [255 7 63 22];
% Create ArbotantesEditFieldLabel
app.ArbotantesEditFieldLabel = uilabel(app.ApndicesPanel);
app.ArbotantesEditFieldLabel.BackgroundColor = [0.9412 0.9412
0.9412];
app.ArbotantesEditFieldLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.ArbotantesEditFieldLabel.Position = [90 11 64 15];
app.ArbotantesEditFieldLabel.Text = 'Arbotantes';
% Create ArbotantesEditField
app.ArbotantesEditField = uieditfield(app.ApndicesPanel,
'numeric');
app.ArbotantesEditField.Limits = [0 Inf];
app.ArbotantesEditField.ValueDisplayFormat = '%.3f';
app.ArbotantesEditField.BackgroundColor = [0.9412 0.9412
0.9412];
app.ArbotantesEditField.Position = [169 7 63 22];
% Create RequisitosmotorypropulsorPanel
app.RequisitosmotorypropulsorPanel =
uipanel(app.BuquediseoPanel);
app.RequisitosmotorypropulsorPanel.AutoResizeChildren = 'off';
app.RequisitosmotorypropulsorPanel.Title = 'Requisitos motor y
propulsor: ';

```

```

    app.RequisitosmotorypropulsorPanel.Position = [362 111 205
123];
    % Create MargenmarEditFieldLabel
    app.MargenmarEditFieldLabel =
uilabel(app.RequisitosmotorypropulsorPanel);
    app.MargenmarEditFieldLabel.HorizontalAlignment = 'right';
    app.MargenmarEditFieldLabel.Position = [9 72 93 15];
    app.MargenmarEditFieldLabel.Text = 'Margen mar (%)';
    % Create MargenmarEditField
    app.MargenmarEditField =
uieditfield(app.RequisitosmotorypropulsorPanel, 'numeric');
    app.MargenmarEditField.Limits = [0 100];
    app.MargenmarEditField.ValueDisplayFormat = '%.3f';
    app.MargenmarEditField.Position = [117 68 80 22];
    % Create EngineMarginEditFieldLabel
    app.EngineMarginEditFieldLabel =
uilabel(app.RequisitosmotorypropulsorPanel);
    app.EngineMarginEditFieldLabel.HorizontalAlignment = 'right';
    app.EngineMarginEditFieldLabel.Position = [17 42 85 15];
    app.EngineMarginEditFieldLabel.Text = 'Engine Margin';
    % Create EngineMarginEditField
    app.EngineMarginEditField =
uieditfield(app.RequisitosmotorypropulsorPanel, 'numeric');
    app.EngineMarginEditField.Limits = [0 1];
    app.EngineMarginEditField.ValueDisplayFormat = '%.3f';
    app.EngineMarginEditField.Position = [117 38 80 22];
    % Create AutonomiaNMEditFieldLabel
    app.AutonomiaNMEditFieldLabel =
uilabel(app.RequisitosmotorypropulsorPanel);
    app.AutonomiaNMEditFieldLabel.HorizontalAlignment = 'right';
    app.AutonomiaNMEditFieldLabel.Position = [8 10 94 15];
    app.AutonomiaNMEditFieldLabel.Text = 'Autonomía (NM)';
    % Create AutonomiaNMEditField
    app.AutonomiaNMEditField =
uieditfield(app.RequisitosmotorypropulsorPanel, 'numeric');
    app.AutonomiaNMEditField.Limits = [0 Inf];
    app.AutonomiaNMEditField.ValueDisplayFormat = '%.3f';
    app.AutonomiaNMEditField.Position = [117 6 80 22];
    % Create FormacuadernadepopaButtonGroup
    app.FormacuadernadepopaButtonGroup =
uibuttongroup(app.BuquediseoPanel);
    app.FormacuadernadepopaButtonGroup.AutoResizeChildren = 'off';
    app.FormacuadernadepopaButtonGroup.SelectionChangedFcn =
createCallbackFcn(app, @FormacuadernadepopaButtonGroupSelectionChanged,
true);
    app.FormacuadernadepopaButtonGroup.Title = 'Forma cuadera de
popa: ';
    app.FormacuadernadepopaButtonGroup.Position = [362 245 205
119];
    % Create FormaenUButton
    app.FormaenUButton =
uiradiobutton(app.FormacuadernadepopaButtonGroup);
    app.FormaenUButton.Text = 'Forma en U';
    app.FormaenUButton.Position = [36 79 86 15];

```

```

        app.FormaenUButton.Value = true;
        % Create FormaenVButton
        app.FormaenVButton =
uiradiobutton(app.FormacuadernadepopaButtonGroup);
        app.FormaenVButton.Text = 'Forma en V';
        app.FormaenVButton.Position = [36 57 85 15];
        % Create FormaNormalButton
        app.FormaNormalButton =
uiradiobutton(app.FormacuadernadepopaButtonGroup);
        app.FormaNormalButton.Text = 'Forma Normal';
        app.FormaNormalButton.Position = [36 35 100 15];
        % Create FormadeGndolaButton
        app.FormadeGndolaButton =
uiradiobutton(app.FormacuadernadepopaButtonGroup);
        app.FormadeGndolaButton.Text = 'Forma de Góndola';
        app.FormadeGndolaButton.Position = [36 14 124 15];
        % Create NmerodepalasdelahlicezButtonGroup
        app.NmerodepalasdelahlicezButtonGroup =
uibuttongroup(app.BuquediseoPanel);
        app.NmerodepalasdelahlicezButtonGroup.AutoResizeChildren =
'off';
        app.NmerodepalasdelahlicezButtonGroup.SelectionChangedFcn =
createCallbackFcn(app, @NmerodepalasdelahlicezButtonGroupSelectionChanged,
true);
        app.NmerodepalasdelahlicezButtonGroup.Title = 'Número de palas
de la hélice (z)';
        app.NmerodepalasdelahlicezButtonGroup.Position = [364 8 203
91];
        % Create Button
        app.Button =
uiradiobutton(app.NmerodepalasdelahlicezButtonGroup);
        app.Button.Text = '2';
        app.Button.Position = [51 49 29 15];
        app.Button.Value = true;
        % Create Button_2
        app.Button_2 =
uiradiobutton(app.NmerodepalasdelahlicezButtonGroup);
        app.Button_2.Text = '3';
        app.Button_2.Position = [51 27 29 15];
        % Create Button_3
        app.Button_3 =
uiradiobutton(app.NmerodepalasdelahlicezButtonGroup);
        app.Button_3.Text = '4';
        app.Button_3.Position = [51 5 29 15];
        % Create Button_4
        app.Button_4 =
uiradiobutton(app.NmerodepalasdelahlicezButtonGroup);
        app.Button_4.Text = '5';
        app.Button_4.Position = [127 49 29 15];
        % Create Button_5
        app.Button_5 =
uiradiobutton(app.NmerodepalasdelahlicezButtonGroup);
        app.Button_5.Text = '6';
        app.Button_5.Position = [127 27 29 15];

```

```

        % Create Button_6
        app.Button_6 =
uiradiobutton(app.NmerodepalasdelahlicezButtonGroup);
        app.Button_6.Text = '7';
        app.Button_6.Position = [127 5 29 15];
        % Create CalcularButton
        app.CalcularButton = uibutton(app.DatosdeentradaPanel, 'push');
        app.CalcularButton.ButtonPushedFcn = createCallbackFcn(app,
@CalcularButtonPushed, true);
        app.CalcularButton.BackgroundColor = [0.9412 0.9412 0.9412];
        app.CalcularButton.FontWeight = 'bold';
        app.CalcularButton.FontColor = [0 0.451 0.7412];
        app.CalcularButton.Position = [267 12 100 22];
        app.CalcularButton.Text = 'Calcular';
        % Create AyudaButton
        app.AyudaButton = uibutton(app.DatosdeentradaPanel, 'push');
        app.AyudaButton.ButtonPushedFcn = createCallbackFcn(app,
@AyudaButtonPushed, true);
        app.AyudaButton.BackgroundColor = [0.9412 0.9412 0.9412];
        app.AyudaButton.FontWeight = 'bold';
        app.AyudaButton.FontColor = [0 0.451 0.7412];
        app.AyudaButton.Position = [462 12 100 22];
        app.AyudaButton.Text = 'Ayuda';
        % Create BorrارButton
        app.BorrarButton = uibutton(app.DatosdeentradaPanel, 'state');
        app.BorrarButton.ValueChangedFcn = createCallbackFcn(app,
@BorrarButtonValueChanged, true);
        app.BorrarButton.Text = 'Borrar';
        app.BorrarButton.FontWeight = 'bold';
        app.BorrarButton.FontColor = [0 0.451 0.7412];
        app.BorrarButton.Position = [58 12 114 22];
        % Create Foto
        app.Foto = uiaxes(app.Fondo);
        app.Foto.Position = [653 445 590 292];
    end
end
methods (Access = public)
    % Construct app
    function app = Propulsor(varargin)
        % Create and configure components
        createComponents(app)
        % Register the app with App Designer
        registerApp(app, app.Fondo)
        % Execute the startup function
        runStartupFcn(app, @(app)startupFcn(app, varargin{:}))
        if nargin == 0
            clear app
        end
    end
end
% Code that executes before app deletion
function delete(app)
    % Delete UIFigure when app is deleted
    delete(app.Fondo)
end

```

end
end