



Escuela Técnica
Superior
de Ingeniería
Naval y Oceánica

Dimensionamiento y selección del sistema de propulsión de un buque portacontenedores

GRADO EN ARQUITECTURA NAVAL E INGENIERÍA DE SISTEMAS
MARINOS

DEPARTAMENTO DE MATEMÁTICA APLICADA Y ESTADÍSTICA

Autor:
Directora del trabajo:
Codirector del
trabajo:

Pablo García Verdú
Sonia Busquier Sáez
Juan Ruiz Álvarez



Universidad
Politécnica
de Cartagena

ÍNDICE

1.	OBJETIVOS	16
2.	HISTORIA DEL ARTE DE LOS PORTACONTENEDORES	17
3.	TIPOS DE BUQUES PORTACONTENEDORES	20
3.1.	Panamax Ships.....	20
3.2.	PostPanamax ships	21
3.3.	Suezmax	21
3.4.	PostSuezmax	22
4.	TIPOS DE CONTENEDORES.....	23
5.	TRANSPORTE MARÍTIMO.....	26
5.1.	La globalización	26
5.2.	Economías de escala	26
5.3.	Carga a granel.....	27
5.4.	Carga unitizada	27
6.	RUTAS MARÍTIMAS MÁS FRECUENTADAS.....	28
6.1.	De puerto a puerto	30
6.2.	Alrededor del mundo.....	31
6.3.	Péndulo	31
7.	PASOS MARÍTIMOS ESTRATÉGICOS Y RUTAS DE TRANSPORTE MÁS IMPORTANTES	32
7.1.	El Canal de Panamá.....	33
7.2.	Canal de Suez	34
7.3.	Estrecho de Malaca	35
7.4.	Estrecho de Ormuz	36
7.5.	Estrecho de Gibraltar	36
7.6.	Algunos pasos secundarios	37
8.	EL TRANSPORTE DE CONTENEDORES	38
9.	INTERMODALIDAD	39
10.	VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA CONTENERIZACIÓN.....	40
10.1.	Transporte estándar	40
10.2.	Uso flexible	40
10.3.	Gestión	40
10.4.	Economías de escala	41
10.5.	Velocidad.....	41



10.6.	Almacenamiento.....	41
10.7.	Seguridad.....	42
10.8.	Espacio limitado.....	42
10.9.	Costes de infraestructura	42
10.10.	Apilamiento	42
10.11.	Pérdidas y robos	43
10.12.	Viajes vacíos	43
10.13.	Comercio ilícito.....	43
11.	PRINCIPALES NAVIERAS DE BUQUES PORTACONTENEDORES.....	44
12.	NUMERACIÓN DE LOS CONTENEDORES A BORDO DEL BUQUE	46
12.1.	Seguridad del contenedor. CSC	48
12.2.	Convenio aduanero.....	50
12.3.	Sistema de identificación de los contenedores	52
12.4.	Códigos de tipos y dimensiones	55
13.	CÁLCULO DE DIMENSIONES PRINCIPALES Y COEFICIENTES.....	61
13.1.	Base de datos	62
14.	DIMENSIONES PRINCIPALES	65
14.1.	Cálculo del número de contenedores en bodega.....	65
14.2.	Cálculo de la eslora entre perpendiculares en función del número de contenedores en bodega.....	66
14.3.	Cálculo de la eslora entre perpendiculares a partir del número de contenedores total.....	67
14.4.	Cálculo de la eslora total a partir del número de Contenedores total	68
14.5.	Cálculo de la eslora total en función del número de contenedores en bodega.....	68
14.6.	Cálculo de la eslora total a partir de la eslora entre perpendiculares	69
14.7.	Cálculo de la manga a partir del número de contenedores en bodega.....	70
14.8.	Cálculo de la manga a partir de la eslora entre perpendiculares y la relación LPP/B....	71
14.9.	Cálculo del puntal a partir de la manga y la relación de manga y puntal (B/D)	72
14.10.	Cálculo del calado a partir de la manga y la relación B/T	73
14.11.	Cálculo de la velocidad máxima del buque a partir de la velocidad de servicio	74
14.12.	Cálculo del peso muerto a partir del número de Contenedores total.....	75
14.13.	Cálculo del arqueo bruto a partir del número de contenedores totales	76
14.14.	Cálculo del desplazamiento a partir del peso muerto	77



15.	CÁLCULO DE LAS FORMAS DEL BUQUE	78
15.1.	Coeficiente de Bloque	78
15.2.	Obtención del Coeficiente de Bloque a partir de la fórmula de Alexander	79
15.3.	Cálculo del Coeficiente de Bloque a partir de la fórmula de Towsin	80
15.4.	Cálculo del Coeficiente de Bloque a partir de la fórmula de Schneekluth	81
15.5.	Cálculo del Coeficiente de Bloque a partir de la fórmula de Katsoulis	82
15.6.	Cálculo del Coeficiente de la Maestra (CM)	83
15.7.	Cálculo del Coeficiente de la Maestra a partir de la fórmula de Kerlen	84
15.8.	Cálculo del Coeficiente de la Maestra a partir de la fórmula del HSVA	84
15.9.	Cálculo del Coeficiente de la Maestra a partir de la fórmula de Meizoso	85
15.10.	Cálculo del Coeficiente Prismático Longitudinal	85
15.11.	Cálculo del Coeficiente de la Flotación	86
15.12.	Cálculo del Coeficiente de la Flotación a partir de la fórmula de Schneekluth	87
15.13.	Cálculo del Coeficiente de la Flotación a partir de la fórmula de J.Tarroja	88
15.14.	Cálculo de la Posición Longitudinal del Centro de Carena (XB)	89
15.15.	Cálculo de XB a partir de la fórmula de Troost	89
15.16.	Cálculo de XB según el Canal de Experiencias Hidrodinámicas Marin	90
15.17.	Semiángulo de entrada de la Flotación	91
16.	CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL BUQUE	92
17.	RESISTENCIA AL AVANCE	94
17.1.	Variables de las que depende la resistencia	94
17.2.	División de la resistencia en sus componentes	95
17.3.	Análisis Dimensional	96
17.4.	Ley de Semejanza de Froude	102
17.5.	Métodos de Correlación	105
17.6.	Método de Correlación de Froude	106
17.7.	Método de Hughes	107
17.8.	Método de Telfer	109
18.	CÁLCULO DE LA RESISTENCIA AL AVANCE Y POTENCIA NECESARIA PARA VENCERLA	110
18.1.	Cálculo de la Resistencia Viscosa	111
18.2.	Cálculo de la Resistencia de los Apéndices, R_{ap}	113
18.3.	Cálculo de la Resistencia por formación de olas, R_w	115
18.4.	Resistencia de Presión producida por el bulbo cerca de la flotación, R_b	120



18.5.	Cálculo de la Resistencia debida a la Correlación Modelo-Buque, Ra	121
18.6.	Resistencia Total	124
19.	DIMENSIONAMIENTO DE LA HÉLICE Y SELECCIÓN DEL MOTOR PRINCIPAL.....	125
19.1.	Selección del Sistema Propulsivo.....	125
20.	SELECCIÓN DE LA HÉLICE PERTENECIENTE A LA SERIE B DE WAGENINGEN.....	126
20.1.	Huelgos Mínimos	126
20.2.	Selección del propulsor óptimo.....	130
20.3.	Determinación del Coeficiente de Estela	138
20.4.	Rendimiento Rotativo-Relativo	140
20.5.	Rendimiento de la Carena	140
20.6.	Rendimiento Cuasi Propulsivo.....	141
20.7.	Método de Keller	143
21.	SELECCIÓN DEL MOTOR.....	144
21.1.	Tablas resumen de la selección de la hélice según el número de palas	144
21.2.	Resultados de las curvas programadas	146
21.3.	Análisis del propulsor en sobrecarga. Tracción a punto fijo.	149
21.4.	Comprobación de la Resistencia Mecánica de las palas	158
22.	NAVIER-STOKES.....	160
22.1.	Concepto de Fluido	162
22.2.	Ecuaciones de Navier-Stokes.....	163
22.3.	Problemas Matemáticos de Navier-Stokes	167
22.4.	Ecuaciones Dimensionales	168
22.5.	Capa Límite y Turbulencia en las Ecuaciones de Navier-Stokes	169
22.6.	Turbulencia.....	170
22.7.	Evolución de las Ecuaciones de Navier-Stokes	171
22.8.	Ecuaciones de Navier-Stokes en Estado Estacionario.....	172
23.	INTERFAZ GRÁFICA MEDIANTE MATLAB	173
23.1.	Apertura del programa	173
23.2.	Pantalla de Inicio de la Interfaz	175
23.3.	Selección del Buque	176
23.4.	Selección del tipo de Popa	179
23.5.	Selección de los Apéndices y del Valor $1+K_2$	180
23.6.	Cálculo de la Resistencia	184



24.	CÓDIGO DE MATLAB	187
25.	BIBLIOGRAFÍA.....	263



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Portacontenedores.	20
Tabla 4.1 Clasificación Contenedores.	25
Tabla 11.1 Puertos con mayor manipulación de Portacontenedores.	45
Tabla 12.1 Dimensiones mínimas de un Contenedor.	51
Tabla 12.2 Ejemplo Cálculos matrícula.	54
Tabla 12.3 Ejemplo resultados finales matrícula contenedor.	54
Tabla 12.4 Códigos de dimensiones contenedores.	55
Tabla 12.5 Código de Tipo. Origen: Norma ISO 6346.	60
Tabla 13.1 Base de Datos.	64
Tabla 14.1 Resumen dimensiones principales.	78
Tabla 15.1 Coeficientes Fórmula de Katsoulis.	82
Tabla 15.2 Dimensiones y coeficientes según Maxsurf	92
Tabla 16.1 Dimensiones principales finales.	93
Tabla 19.1 Referencias Método de Holtrop	110
Tabla 19.2 Resultados Resistencia Viscosa.	113
Tabla 19.3 Valores característicos 1+K2.	114
Tabla 19.4 Resultados resistencia de los apéndices	115
Tabla 19.5 Valores de los parámetros para el cálculo de la resistencia por formación de olas.	119
Tabla 19.6 Resultados de la Resistencia por formación de olas.	120
Tabla 19.7 Resultados Resistencia debida al bulbo de proa	121
Tabla 19.8 Resultados de los parámetros para el cálculo de Ra	123
Tabla 19.9 Resultados de Ra.	123
Tabla 19.10 Resultados Resistencia total.	124
Tabla 19.11 Gráfica Potencia-Velocidad.	125
Tabla 21.1 Valores huelgos mínimos según Lloyd's.	127
Tabla 21.2 Valores de los huelgos mínimos del buque proyecto.	129
Tabla 21.3 Valores del diámetro máximo.	129
Tabla 21.4 Valores para 3 palas.	134
Tabla 21.5 Valores para 4 palas.	135
Tabla 21.6 Valores para 5 palas.	136
Tabla 21.7 Valores para 6 palas.	137
Tabla 21.8 Parámetros necesarios para el cálculo del Coeficiente de Estela.	139
Tabla 21.9 Rango de Valores del motor a instalar.	142
Tabla 22.1 Datos de partida 3 palas.	144
Tabla 22.2 Datos de partida 4 palas.	145
Tabla 22.3 Datos de partida 5 palas.	145
Tabla 22.4 Datos de partida 6 palas.	146
Tabla 22.5 Resultados cavitación 3 palas.	146
Tabla 22.6 Resultados cavitación 4 palas.	147
Tabla 22.7 Resultados cavitación 5 palas.	148
Tabla 22.8 Resultados cavitación 6 palas.	148



Tabla 22.9 Resultados n, J, Kq.....156



ÍNDICE DE IMÁGENES

Imágen 3.1 Clasificación Portacontenedores	20
Imágen 3.2 Buque Panamax	21
Imágen 3.3 Buque PostPanamax	21
Imágen 3.4 Buque PostSuezmax.....	22
Imágen 5.1 Ciclo de Vida Marítimo.....	28
Imágen 6.1 Mapa densidad de transporte marítimo.....	30
Imágen 6.2 Rutas marítimas.....	31
Imágen 7.1 Principales componentes del Canal de Panamá.....	33
Imágen 7.2 Rutas comerciales Canal de Panamá.	33
Imágen 7.3 Esclusas Canal de Panamá.....	34
Imágen 7.4 Buques transitando por el Canal de Suez.	35
Imágen 7.5 Mapa Estrecho de Malaca.....	35
Imágen 7.6 Mapa Estrecho de Ormuz.....	36
Imágen 7.7 Mapa pasos secundarios.....	37
Imágen 7.8 Mapa conexiones Cabo de Buena Esperanza.....	38
Imágen 11.1 Principales Navieras de Buques Portacontenedores	44
Imágen 12.1 Ejemplo Disposición Contenedores.	47
Imágen 12.2 Algunas Sociedades de Clasificación.....	48
Imágen 12.3 Ejemplo Placa CSC.....	49
Imágen 12.4 Placa Única de un Contenedor	50
Imágen 12.5 Componentes matrícula contenedor.....	53
Imágen 12.6 Números correspondientes a cada letra del abecedario en los contenedores.....	53
Imágen 12.7 Potencias según su posición.....	54
Imágen 12.8 Ejemplo matrícula especial.	55
Imágen 12.9 Ejemplo Marcas Contenedor.....	61
Imágen 15.1 Area de la maestra.....	83
Imágen 15.2 Coeficiente prismático.	86
Imágen 15.3 Coeficiente de la flotación.....	87
Imágen 15.4 Gráfica para el cálculo de XB, según el canal hidrodinámico Marin.....	90
Imagen 21.1 Esquema huelgos mínimos según Lloyd's.....	127
Imágen 21.2 Modificación parte de popa	128
Imágen 23.1 Imágenes distintas de cfd.....	162
Imagen 23.2 Interpretación de un fluido	162
Imágen 23.3 Claude-Louis Marie Henri Navier.....	166
Imágen 23.4 George Grabiél Stokes.	166
Imágen 23.5 Interpretación capa límite.....	170
Imágen 23.6 Turbulencia según el número de Reynolds.....	171
Imágen 24.1 Pantalla de inicio de Matlab.....	174
Imágen 24.2 Lugar donde se encuentra la Interfaz Creada.	175
Imagen 24.3 Pantalla de inicio de la Interfaz.	176
Imagen 24.4 Distintos buques a elegir en la Interfaz.....	177



Imagen 24.5 Valores iniciales de un buque cualquiera de la interfaz.	178
Imagen 24.6 Elección de agua salada o dulce.	179
Imagen 24.7 Selección del tipo de popa.	179
Imagen 24.8 Opciones de apéndices.	180
Imagen 24.9 Selección de apéndices.	181
Imagen 24.10 Selección de apéndices 2.	182
Imagen 24.11 Selección de apéndices 3.	183
Imagen 24.12 Error al haber introducido valores no correctos.	184
Imagen 24.13 Valores de Resistencia Total de un buque cualquiera de la interfaz.	185
Imagen 24.14 Gráfica Resistencia-Velocidad.	185
Imagen 24.15 Comparativa de dos buques en cuanto a resistencia y velocidad.	186
Imagen 24.16 Selección del punto exacto de la resistencia y la velocidad en la gráfica.	186



ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 6.1 Evolución de las toneladas cargadas en buques.....	29
Gráfica 14.1 Recta de regresión entre el número total de contenedores y los de bodega.	65
Gráfica 14.2 Recta de regresión Lpp-número de contenedores en bodega.	66
Gráfica 14.3 Recta de regresión Lpp-número contenedores.	67
Gráfica 14.4 Recta de regresión Loa-número de contenedores.....	68
Gráfica 14.5 Recta de regresión Loa-número de contenedores en bodega.	69
Gráfica 14.6 Recta de regresión Loa-Lpp.	70
Gráfica 14.7 Recta de regresión Manga-número de contenedores en bodega.	71
Gráfica 14.8 Recta de regresión Lpp-L/B.....	72
Gráfica 14.9 Recta de regresión D-B/D.	73
Gráfica 14.10 Recta de regresión T-B/T.	74
Gráfica 14.11 Recta de regresión Vmax-Vserv.	75
Gráfica 14.12 Recta de regresión PM-número de contenedores.....	75
Gráfica 14.13 Recta de regresión GT-número de contenedores.....	76
Gráfica 14.14 Recta de regresión Desplazamiento-PM.	77
Gráfica 15.1 Fórmula de Alexander.	80
Gráfica 22.1 Gráfica de Troost.....	151
Gráfica 22.2 Diagrama Bp-J.	154
Gráfica 22.3 Gráfica Kq-J/Kt-J a utilizar.....	156



ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 14.1	65
Ecuación 14.2	66
Ecuación 14.3	67
Ecuación 14.4	67
Ecuación 14.5	68
Ecuación 14.6	69
Ecuación 14.7	70
Ecuación 14.8	71
Ecuación 14.9	72
Ecuación 14.10.....	72
Ecuación 14.11.....	73
Ecuación 14.12.....	73
Ecuación 14.13.....	74
Ecuación 14.14.....	74
Ecuación 14.15.....	75
Ecuación 14.16.....	76
Ecuación 14.17.....	76
Ecuación 14.18.....	77
Ecuación 15.1	79
Ecuación 15.2	79
Ecuación 15.3	80
Ecuación 15.4	80
Ecuación 15.5	80
Ecuación 15.6	81
Ecuación 15.7	81
Ecuación 15.8	82
Ecuación 15.9	83
Ecuación 15.10.....	83
Ecuación 15.11.....	84
Ecuación 15.12.....	84
Ecuación 15.13.....	85
Ecuación 15.14.....	86
Ecuación 15.15.....	86
Ecuación 15.16.....	87
Ecuación 15.17.....	87
Ecuación 15.18.....	87
Ecuación 15.19.....	88
Ecuación 15.20.....	88
Ecuación 15.21.....	89
Ecuación 15.22.....	91
Ecuación 18.1	94



Ecuación 18.2	97
Ecuación 18.3	97
Ecuación 18.4	97
Ecuación 18.5	97
Ecuación 18.6	97
Ecuación 18.7	97
Ecuación 18.8	98
Ecuación 18.9	98
Ecuación 18.10.....	98
Ecuación 18.11.....	98
Ecuación 18.12.....	99
Ecuación 18.13.....	99
Ecuación 18.14.....	100
Ecuación 18.15.....	100
Ecuación 18.16.....	101
Ecuación 18.17.....	101
Ecuación 18.18.....	101
Ecuación 18.19.....	101
Ecuación 18.20.....	101
Ecuación 18.21.....	102
Ecuación 18.22.....	102
Ecuación 18.23.....	102
Ecuación 18.24.....	103
Ecuación 18.25.....	103
Ecuación 18.26.....	103
Ecuación 18.27.....	103
Ecuación 18.28.....	104
Ecuación 18.29.....	104
Ecuación 18.30.....	104
Ecuación 18.31.....	104
Ecuación 18.32.....	104
Ecuación 18.33.....	105
Ecuación 18.34.....	105
Ecuación 18.35.....	105
Ecuación 18.36.....	106
Ecuación 18.37.....	106
Ecuación 18.38.....	106
Ecuación 18.39.....	107
Ecuación 18.40.....	107
Ecuación 18.41.....	107
Ecuación 18.42.....	108
Ecuación 18.43.....	108
Ecuación 18.44.....	108



Ecuación 18.45.....	108
Ecuación 18.46.....	108
Ecuación 18.47.....	108
Ecuación 18.48.....	108
Ecuación 18.49.....	109
Ecuación 18.50.....	109
Ecuación 19.1	111
Ecuación 19.2	111
Ecuación 19.3	111
Ecuación 19.4	112
Ecuación 19.5	112
Ecuación 19.6	112
Ecuación 19.7	113
Ecuación 19.8	114
Ecuación 19.9	115
Ecuación 19.10.....	115
Ecuación 19.11.....	116
Ecuación 19.12.....	116
Ecuación 19.13.....	116
Ecuación 19.14.....	116
Ecuación 19.15.....	116
Ecuación 19.16.....	117
Ecuación 19.17.....	117
Ecuación 19.18.....	117
Ecuación 19.19.....	117
Ecuación 19.20.....	117
Ecuación 19.21.....	118
Ecuación 19.22.....	118
Ecuación 19.23.....	118
Ecuación 19.24.....	118
Ecuación 19.25.....	118
Ecuación 19.26.....	118
Ecuación 19.27.....	120
Ecuación 19.28.....	120
Ecuación 19.29.....	120
Ecuación 19.30.....	121
Ecuación 19.31.....	122
Ecuación 19.32.....	122
Ecuación 19.33.....	122
Ecuación 19.34.....	122
Ecuación 19.35.....	122
Ecuación 19.36.....	124
Ecuación 19.37.....	124



Ecuación 21.1	130
Ecuación 21.2	131
Ecuación 21.3	131
Ecuación 21.4	131
Ecuación 21.5	132
Ecuación 21.6	132
Ecuación 21.7	132
Ecuación 21.8	132
Ecuación 21.9	133
Ecuación 21.10.....	133
Ecuación 21.11.....	138
Ecuación 21.12.....	138
Ecuación 21.13.....	138
Ecuación 21.14.....	138
Ecuación 21.15.....	138
Ecuación 21.16.....	138
Ecuación 21.17.....	138
Ecuación 21.18.....	139
Ecuación 21.19.....	139
Ecuación 21.20.....	139
Ecuación 21.21.....	139
Ecuación 21.22.....	139
Ecuación 21.23.....	140
Ecuación 21.24.....	140
Ecuación 21.25.....	141
Ecuación 21.26.....	141
Ecuación 21.27.....	141
Ecuación 21.28.....	143
Ecuación 22.1	149
Ecuación 22.2	149
Ecuación 22.3	149
Ecuación 22.4	150
Ecuación 22.5	150
Ecuación 22.6	150
Ecuación 22.7	150
Ecuación 22.8	151
Ecuación 22.9	152
Ecuación 22.10.....	152
Ecuación 22.11.....	152
Ecuación 22.12.....	152
Ecuación 22.13.....	153
Ecuación 22.14.....	153
Ecuación 22.15.....	154



Ecuación 22.16.....	154
Ecuación 22.17.....	155
Ecuación 22.18.....	155
Ecuación 22.19.....	155
Ecuación 22.20.....	157
Ecuación 22.21.....	157
Ecuación 22.22.....	157
Ecuación 22.23.....	158
Ecuación 22.24.....	158
Ecuación 23.1	163
Ecuación 23.2	163
Ecuación 23.3	164
Ecuación 23.4	164
Ecuación 23.5	164
Ecuación 23.6	164
Ecuación 23.7	164
Ecuación 23.8	165
Ecuación 23.9	165
Ecuación 23.10.....	165
Ecuación 23.11.....	167
Ecuación 23.12.....	168
Ecuación 23.13.....	168
Ecuación 23.14.....	168
Ecuación 23.15.....	168
Ecuación 23.16.....	168
Ecuación 23.17.....	168
Ecuación 23.18.....	169
Ecuación 23.19.....	169
Ecuación 23.20.....	170
Ecuación 23.21.....	172
Ecuación 23.22.....	172



1. OBJETIVOS

Como bien sabemos, en la actualidad el comercio mundial se mueve a través de los océanos gracias a todos los tipos de buques. En especial gracias a los portacontenedores, los cuales suministran el 90% del comercio mundial.

El objetivo de este proyecto se basará en el dimensionamiento y selección del propulsor de un buque portacontenedores, pero para ello necesitaremos saber las dimensiones principales del buque, y la resistencia al avance. Con esta resistencia podremos hallar la potencia necesaria para poder vencer a dicha resistencia por lo que estimaremos una preselección del motor principal y, a su vez, su línea de ejes y el número de palas que tendrá que llevar el buque para lograr ese avance a la resistencia.

Para ello nos apoyaremos en métodos empíricos y, a la vez, de un software específico para comparar resultados. También nos apoyaremos en el software MATLAB y en su importancia en el ámbito naval, ya que con él también podremos calcular las dimensiones principales del buque e implantarle dichos métodos empíricos para también saber valores de la resistencia o la propulsión del buque.

El alcance principal del proyecto llevará la siguiente secuencia:

1º- Cálculo de las dimensiones principales del buque como la eslora, manga, puntal, calado, coeficiente de bloque...etc.

2º- Estimación de la resistencia al avance mediante software específico como puede ser Maxsurf y, a la vez, estimación de esa resistencia mediante métodos empíricos.

3º- Haremos una estimación de la propulsión del buque para poder vencer a esa resistencia. Para ello calcularemos la potencia propulsora, número de palas de la hélice...etc.

4º- Mencionaremos brevemente las ecuaciones de Navier-Stokes y las aplicaciones que podrían tener en el mundo naval.

5º Aplicaremos el programa matemático Matlab para la obtención de dimensiones principales y propulsión del buque.

También, habrías estado bien hablar de aplicaciones de Matlab en el mundo naval como puede ser la fase de diseño o del cálculo de la resistencia estructural que tiene que tener el buque por el oleaje, pero debido a la extensión que se hubiera producido en el trabajo, se ha decidido descartarlo.

Previamente a los objetivos principales del proyecto hablaremos un poco de la historia de los portacontenedores, de su clasificación en el mundo naval, de las rutas marítimas más frecuentes, así como de los pasos por canales más famosos y más frecuentados, los tipos de contenedores que pueden llevar, así como de sus dimensiones. Hablaremos también sobre la seguridad del contenedor.



Ahora bien, antes de comenzar este proyecto, por especificación de contrato, tendremos un buque que navegará a velocidad de servicio de 24,5kn y tendrá una capacidad de carga de alrededor de 8000 TEUS.

2. HISTORIA DEL ARTE DE LOS PORTACONTENEDORES

El origen del contenedor para el transporte marítimo, como sabemos, es lo más apropiado para el transporte de carga a través de rutas marítimas. Esto ha sido gracias a la contenerización. Ahora bien, el primer contenedor fue inventado y patentado por el camionero y norteamericano Malcolm McLean en 1956.

Este invento inicialmente no fue muy bien aceptado, pero McLean más adelante proporcionó a la ISO una licencia con diseños patentados para conseguir una estandarización sobre los contenedores. Esta estandarización favoreció mucho el transporte intermodal.

McLean en Estados Unidos era dueño de una flota de camiones, concretamente la quinta más grande del país, McLean vendió su flota y compró la naviera Pan Atlantic Tanker Company, que rebautizó como Sea-Leand Shipping.

El principal objetivo de Mclean fue modificar los barcos y sus terminales para trabajar con dos o tres tamaños estandarizados de contenedor y así reducir los costes de carga, ya que antes de la estandarización cargar una tonelada en un buque costaba 5,86 US\$ y gracias a la estandarización de los contenedores se pudo reducir un 97% este coste, costando cargar una tonelada 0,16 US\$. Si no se hubiera producido esta estandarización el comercio marítimo no sería una realidad.

Al principio, los barcos de McLean tenían muy poca capacidad ya que eran otros barcos transformados a portacontenedores, pero tenían el inconveniente de que solo los podían cargar en cubierta, por lo que la capacidad que tenían era muy reducida. Hasta la época de los 60, no dividieron las bodegas de los buques en celdas para la estiba de contenedores. Pero la capacidad seguía siendo pequeña ya que era alrededor de 200 TEUS.

Hasta 1968 el desarrollo de estos barcos fue relativamente lento ya que había en funcionamiento unos 18. Pero ya diez de ellos tenían capacidad entre 1000 y 1500 TEUS. Sólo dos años después ya había en funcionamiento 25 buques y su carga llegaba hasta los 2000 TEUS, y en 1972 comenzaron a navegar buques con más de 3000 TEUS.

Estos buques van evolucionando según el paso de los años en cuanto a dimensiones y velocidad. Estas dimensiones muchas veces vienen limitadas por los canales por donde tienen que seguir la ruta marítima como puede ser el canal de Panamá o el de Suez. Los buques específicos para estos canales se llaman Panamax o Suezmax porque cumplen las dimensiones del canal, pero las navieras cada vez hacen los barcos más grandes denominándolas como PostPanamax y PostSuezmax. Estos canales también se van modificando según el transporte marítimo. Otro inconveniente de hacer buques cada vez más grandes es que las modificaciones en los puertos de mayor tránsito deben de ser “continuas” para que estos buques puedan atracar y descargar toda la mercancía.



Aquí podemos ver una tabla con los portacontenedores más grandes actualmente, sus compañías y su capacidad:

Año	Nombre	Eslora	Manga	Capacidad en TEUS	BRT	Compañía
2013	Maersk Mc-Kinney Møller	400,00 m	59 m	18.270	/	Maersk Line/Dinamarca
2008	Eugen Maersk	398,00 m		13.500	/	
2006	Eleonora Maersk	397,00 m	56,00 m	11.000	/	Maersk Sealand/Dinamarca
2006	Estelle Maersk	397,00 m	56,00 m	11.000	/	Maersk Sealand/Dinamarca
2006	Emma Maersk	397,00 m	56,00 m	11.000	/	Maersk Sealand/Dinamarca
2005	Colombo Express	335,07 m	42,87 m	8.750	94.750	Hapag-Lloyd/Alemania
2004	CSCL Europe	334,00 m	42,80 m	8.498	99.500	China Shipping Container Line/China
2003	OOCL Shenzhen	322,97 m	42,80 m	8.063	89.097	OOCL/Hong Kong
2003	Axel Maersk	352,10 m	42,80 m	7.226 (8.300)	93496	Maersk Sealand/Dinamarca



1997	Sovereign Maersk	346,98 m	42,80 m	6.600 (8.000)	91.500	Maersk Line/Dinamarca
1996	Regina Maersk	318,24 m	42,80 m	6.000 (7.000)	80.500	Maersk Line/Dinamarca
1995	OOCL Hongkong	276,02 m	40,00 m	5.344	66.046	OOCL/Hongkong
1991	Hannover Express	294,00 m	32,30 m	4.639	53.783	Hapag-Lloyd/Alemania
1988	Marchen Maersk	294,12 m	32,22 m	4.300	53.600	Maersk Line/Dinamarca
1984	Louis Maersk	270,00 m	32,30 m	3.390 (3.700)	53.300	Maersk Line/Dinamarca
1981	Frankfurt Express	287,73 m	32,28 m	3.430	57.540	Hapag-Lloyd/Alemania
1972	Hamburg Express	287,70 m	32,20 m	3.010	58.088	Hapag-Lloyd/Alemania
1972	Tokyo Bay	289,32 m	32,26 m	2.961	58.889	OCL e in seguito P&O/Gran Bretaña
1971	Kamakura Maru	290,00 m	32,20 m	2.500	59.000	NYK/Japón
1970	Sydney Express	217,00 m	30,58 m	1.665	27.407	Hapag-Lloyd/Alemania



1969	Encounter Bay	227,31 m	30,56 m	1.572	28.800	OCL -- P&O/Gran Bretaña
------	---------------	----------	---------	-------	--------	-------------------------

Tabla 2.1 Portacontenedores. Tomado de [34].

3. TIPOS DE BUQUES PORTACONTENEDORES

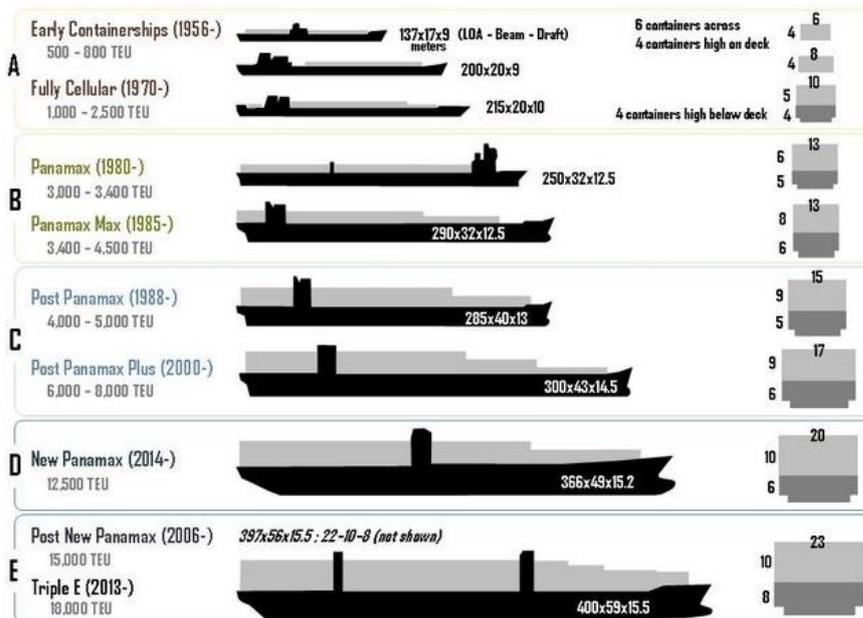


Imagen 3.1 Clasificación Portacontenedores. Tomado de [35].

Vamos a comentar brevemente las características de los tipos de buques portacontenedores según su evolución:

3.1. Panamax Ships

Su capacidad está entre 4500 y 5000 TEUS. Estos barcos se construyeron por primera vez en la década de los ochenta y se caracterizan por su capacidad y por su manga que es inferior a 32,3 metros. Esta manga sería la máxima permitida en el Canal de Panamá antes de su ampliación.



Imágen 3.2 Buque Panamax [36].

3.2. PostPanamax ships

Estos buques tienen una capacidad de alrededor de 9000 y 10000 TEUS. Se empezaron a construir a partir de 1988, excediendo las dimensiones del Canal de Panamá en 10m. Posteriormente el canal se modificó. Tienen una manga superior a 32,3 metros y una eslora alrededor de 300 metros. Hoy en día el 30% de la flota mundial en términos de capacidad lo llevan buques PostPanamax.



Imágen 3.3 Buque PostPanamax. Tomado de [31].

3.3. Suezmax

Tendrán un calado máximo de 19 metros que les permite el paso por el Canal de Suez. Tienen una capacidad parecida a los buques PostPanamax. Ahora bien, el Canal de Suez está dragado actualmente, lo que permite el paso de buques mayores.



3.4. PostSuezmax

Son los buques más grandes junto con los New Panamax, con unas dimensiones que pueden alcanzar los 400 metros de eslora, 60 de manga y 21 de calado. Su capacidad de carga puede llegar hasta los 18000 TEUS, la cual rebaja considerablemente el precio de carga.

La descripción de estos buques pertenece a una clasificación más general, que es la de buques portacontenedores “intercontinentales”. Estos sólo pueden atracar en los puertos más grandes del mundo debido a su tamaño. El puerto también debe incluir la capacidad de transferencia adecuada, ya que éstos buques no disponen de equipos de carga y descarga.



Imágen 3.4 Buque PostSuezmax. Tomado de [32].

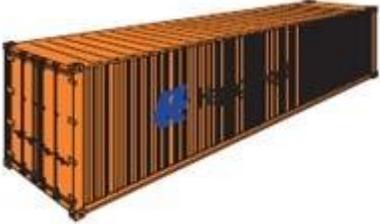
En la clasificación de los portacontenedores también debemos incluir los llamados “feeders”:

Estos buques son de pequeño o mediano tamaño con una capacidad a partir de 200 TEUS. Se emplean para el transporte de contenedores desde puertos pequeños a puertos más grandes o viceversa, o para un uso en los que no son rentables los portacontenedores más grandes. Este tipo de buques a veces está equipado con equipos de carga y descarga y a menudo se usan buques multipropósito con el fin de transportar contenedores.



4. TIPOS DE CONTENEDORES

El tamaño de los contenedores puede variar, pero la ISO distingue dos tipos de contenedores: los TEUS, que son de 20 pies, y los FEUS, que son de 40 pies. Ahora bien, el tipo de carga que pueden llevar los contenedores es muy diversa, ya que incluyen cargas líquidas, sólidas o refrigeradas. Aquí se muestran los tipos de contenedores existentes con su denominación y sus dimensiones:

Denominación		Dimensiones		
		Largo	Alto	Ancho
Contenedor para mercancía general (<i>General Purpose Container</i>)		20' 40'	8'6"	8'
Contenedor para mercancía general de gran volumen (<i>High Cube General Purpose Container</i>)		40'	9'6"	8'

Denominación		Dimensiones		
		Largo	Alto	Ancho
Contenedor para mercancía general de gran volumen (<i>High Cube General Purpose Container</i>)		45'	9'6"	8'
Contenedor con tapa reforzada (<i>Hard top container</i>)		20' 40'	8'6"	8'



<p>Contenedor de gran volumen con tapa reforzada (<i>High Cube Hard Top Container</i>)</p>		40'	9'6"	8'
<p>Contenedor de tapa abierta (<i>Open Top Container</i>)</p>		20' 40'	8'6"	8'
<p>Contenedor abierto (<i>Flat</i>)</p>		20'	8'6"	8'
<p>Contenedor de gran volumen abierto (<i>High Cube Flat</i>)</p>		40'	9'6"	8'
<p>Plataforma (<i>Platfor</i>)</p>		20' 40'	8'6"	8'

Denominación		Dimensiones		
		Largo	Alto	Ancho
<p>Contenedor con Ventilación (<i>Ventilated Container</i>)</p>		20'	8'6"	8'



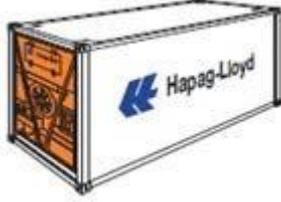
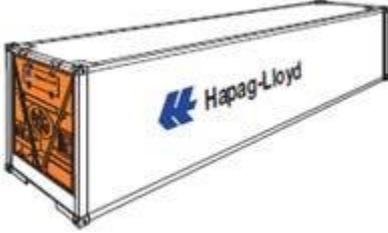
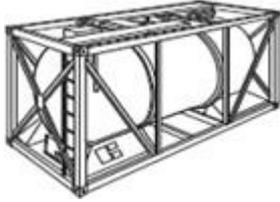
Contenedor Refrigerado (<i>Refrigerated Container</i>)		20'	8'6"	8'
Contenedor Refrigerado de Gran Volumen (<i>High Cube Refrigerated Container</i>)		40'	9'6"	8'
Contenedor Tanque (<i>Tank Container</i>)		20'	8'6"	8'

Tabla 4.1 Clasificación Contenedores. Tomado de [2].

Antes de empezar con el cálculo de las dimensiones principales de nuestro buque, hablaremos del transporte marítimo, de las rutas marítimas más transitadas, de los puertos más concurridos, del comercio con el contenedor, de las navieras que tienen mayor número de contenedores en su poder, de cómo identificar dentro de un buque un contenedor determinado, de las marcas reglamentarias que debe llevar un contenedor para que sea válido en su tránsito y del control aduanero que hay sobre ellos.



5. TRANSPORTE MARÍTIMO

El transporte marítimo se centra en el transporte de mercancías, ya que es el más rentable para el transporte de mercancías grandes en largas distancias. El crecimiento del tráfico marítimo cada vez es mayor y es debido a:

Un aumento de las cargas de minerales y productos energéticos.

Anteriormente los flujos de carga de productos energéticos y minerales se concentraban en los países desarrollados, como por ejemplo el comercio del petróleo de oriente medio a Europa, América del Norte o Asia. Pero hay países en América Latina y Asia Meridional y Oriental que se han desarrollado, por lo que han aumentado sus economías y, a la vez, han aumentado el tráfico marítimo hacia ellos.

5.1. La globalización

El transporte de productos acabados y semi-acabados aumentó en largas distancias, el motivo fue la división internacional de la producción y la liberación del comercio.

Mejoras técnicas:

Buques y puertos han mejorado sus infraestructuras, siendo así más eficientes, por lo que han aumentado su rendimiento y la capacidad para manejar mercancías, lo que permite abastecer de mejor forma a viajes de largas distancias.

5.2. Economías de escala

Al aumentar el tamaño de los buques, ha disminuido el precio del flete (precio del uso del buque para transportar las mercancías), aunque también hay que decir que va por temporadas, pero el transporte de mercancías se ha hecho cada vez más rentable y esto es, en gran parte, a la contenerización.

Las toneladas de peso muerto (TPM), así es como se mide el tráfico marítimo. Las TPM hacen referencia a la cantidad de carga que puede llevar un buque “vacío” sin superar sus límites operativos, es decir, sin superar la línea de carga que sería el calado máximo que puede tener el buque. Este calado está considerado sin tener en cuenta el peso del buque, pero incluye combustible, lastre y pertrechos. Ahora bien, el transporte marítimo de mercancía se divide en dos mercados principales: la carga a granel y la carga unitizada.



5.3. Carga a granel

Se limita, como la palabra indica, a mercancías a granel tanto líquidas como sólidas como puede ser el carbón, el petróleo o cereales como trigo y cebada. A menudo, para el transporte de estas cargas se usan petroleros. Este tipo de carga suele tener un solo origen, destino y cliente y, además, este tipo de carga es propensa a las economías de escala.

Para concluir con este tipo de carga, podemos decir que la dinámica de este mercado se debe a la industrialización y desarrollo económico, creando mucha demanda en los recursos primarios y en la energía.

5.4. Carga unitizada

Esta carga está referida a la que es empaquetada con el uso de cajas, bidones, sacos y en particular contenedores. Este tipo de carga suele tener más de un origen, más de un destino y más de un cliente. La dinámica que sigue este mercado es la fabricación y el consumo.

Aunque el transporte marítimo está dominado por la carga a granel, siendo esta el 69% del tráfico marítimo, la carga unitizada es cada vez mayor y esto es gracias a la contenerización.

El transporte marítimo también se enfrenta a dos inconvenientes principales como son las velocidades lentas en la mar, que para cargas a granel serían de unos 15 nudos, mientras la carga contenerizada sería de unos 20 nudos. A parte de este problema, también presenta la posibilidad de los retrasos en la mar y en los puertos de carga y descarga. Estas demoras se verán afectadas con tasas de pago debido a éstas. El retraso en puerto en la carga y descarga afecta más a las distancias cortas o cuando los cargadores requieren entregas rápidas.

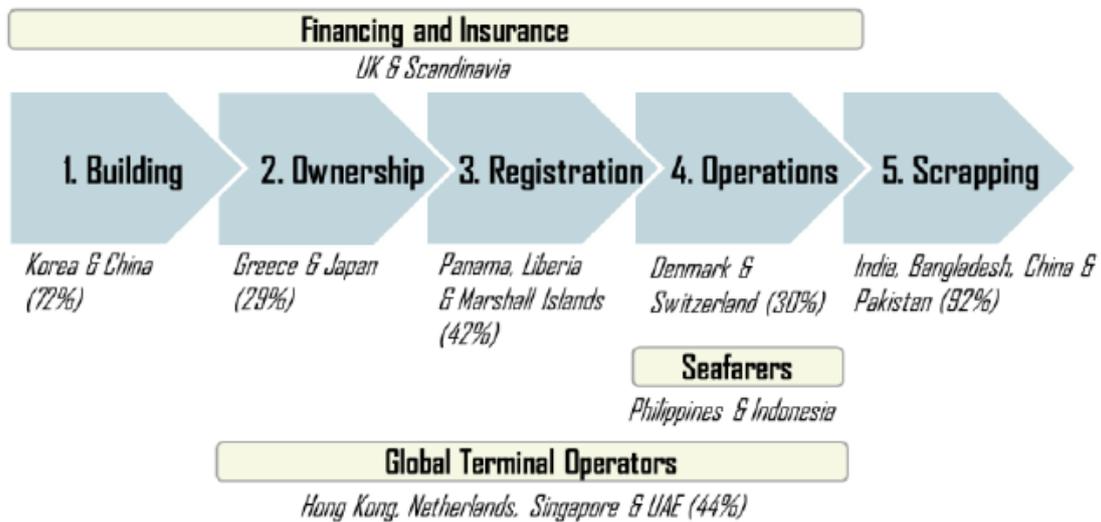
En cuanto a la ventaja del transporte marítimo se refiere, hablaremos de la capacidad de carga que tiene y la continuidad de sus servicios, ya que normalmente un puerto de descarga suele ser a su vez de carga para el mismo buque y viceversa. La distancia media de transporte de carga a granel y contenerizada es de 4200 millas.

Otro “inconveniente” del transporte marítimo es que los buques de nueva construcción necesitan un aporte de capital muy alto, por lo que se financian. En lo que se refiere a buques costosos, los primeros en la lista serían los cruceros: por ejemplo, el Queen Mary 2 tuvo un coste de construcción de 800 millones USD. Los portacontenedores no presentan esta inversión de capital tan grande, pero si es bastante elevada, ya que estaría alrededor de los 75 millos de USD.

Por otro lado, los buques de segunda mano son mucho más económicos, pero tenemos que tener en cuenta también que su periodo de vida es más corto. Sin embargo, a veces, el precio de compra puede ser fácilmente cubierto con unos cuantos viajes satisfactorios.



Mencionando el ciclo de vida marítimo, en la imagen adjunta podemos ver el ciclo de vida marítimo a nivel global y los principales países productores, operadores y de desguace:



Imágen 5.1 Ciclo de Vida Marítimo. Tomado de [2].

Construcción: atribuida principalmente a Corea del sur y China.

Propiedad: los buques son propiedad de empresas, estas se concentran más en Grecia y Japón.

Registro: se rige según a las normas del país de registro. Entre los más comunes está Panamá, Liberia y las Islas Marshall.

Operaciones: el transporte se rige por grandes compañías navieras y las sedes de las grandes navieras de portacontenedores se encuentran en Dinamarca y Suiza.

Desguace: una vez completada su vida útil, el buque se vende a astilleros de desguace para ser desmontado y reciclado. Bangladesh e India se encuentran entre los países más significativos para esta labor.

6. RUTAS MARÍTIMAS MÁS FRECUENTADAS

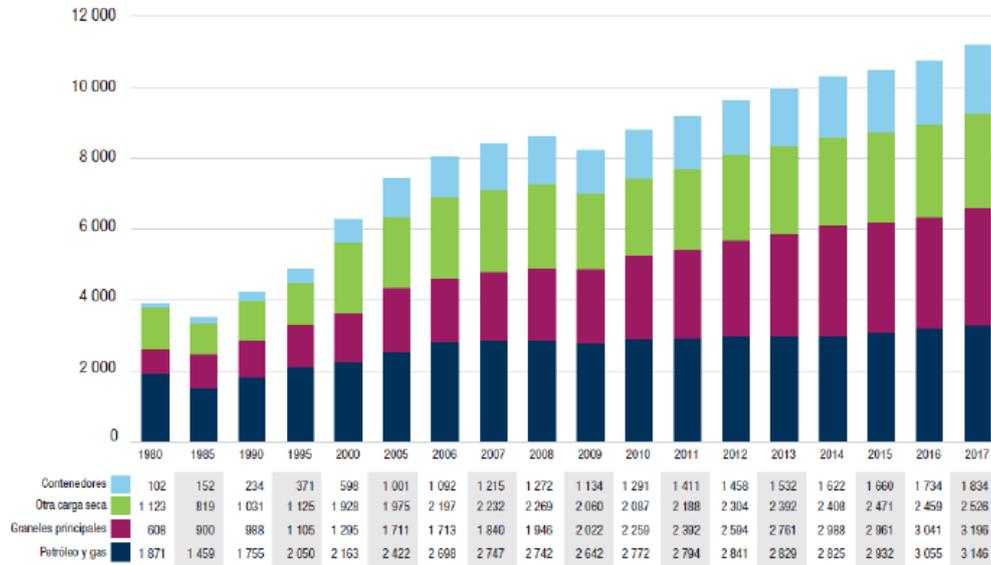
Desde la antigüedad, el transporte marítimo ha sido muy importante en el comercio mundial. Éste comercio se centraba principalmente entorno al Mediterráneo, el norte del Océano Índico y el Atlántico Norte, incluyendo el caribe. Por lo que el comercio de productos básicos sigue siendo el principal motor en el transporte marítimo.

Con el desarrollo de la máquina de vapor, el mercado se expandió considerablemente, ya que la influencia del viento ya no importaba tanto. Gracias a esta expansión se abrió el Canal de Suez y hubo un aumento significativo del comercio marítimo hacia y a través del Pacífico.



En la actualidad es aún más importante el comercio marítimo y su transporte ya que, según un dato recogido en el año 2006, el comercio marítimo supuso el 89,6% del comercio mundial en términos de volumen y el 70,1% en términos económicos.

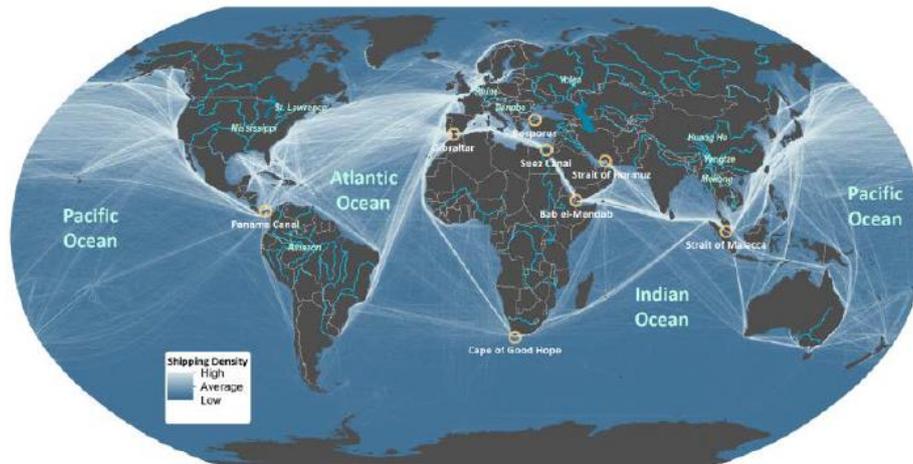
A continuación, podemos ver una gráfica donde se ve la evolución de las toneladas cargadas en buques a lo largo de las últimas décadas:



Gráfica 6.1 Evolución de las toneladas cargadas en buques. Tomado de [3].

El principal objetivo de las rutas marítimas es la unión de puertos, evitando así las discontinuidades que presenta el entorno terrestre. Estas rutas son la unión de unos puntos obligatorios de paso, los cuales son estratégicos, de limitaciones físicas (costas, vientos, corrientes...) y de fronteras políticas. Como resultado, estas rutas presentan arcos en la superficie de mares y océanos debido a la curvatura terrestre.

Las rutas marítimas originan rangos marítimos, los cuales representan las áreas comerciales en las que el transporte marítimo está más activo. Aquí vemos áreas comerciales y rutas marítimas más frecuentes:



Imágen 6.1 Mapa densidad de transporte marítimo. Tomado de [3].

En cuanto a rango marítimo, nos referimos al área funcional establecida por su hinterland cuando su servicio es para mercados interiores y por su foreland cuando el mercado necesita trasbordos.

Llamamos hinterland al área geográfica donde se venden servicios de transporte y se interactúa con los clientes (como puede ser un puerto). Los clientes se localizan en las zonas adyacentes al puerto. Dependiendo de la naturaleza de la terminal, sirve como lugar de convergencia para el tráfico que proviene de carreteras, ferrocarriles o buques feeder.

Llamamos foreland a la conectividad de una terminal con otra. Por ejemplo, la conexión entre dos puertos mediante transporte marítimo.

Dicho esto, vamos a citar el tipo de rutas marítimas según su tipo de servicio comercial. Este tipo de rutas se divide en tres categorías:

6.1. De puerto a puerto

Se establece un servicio regular entre dos puertos y normalmente su transporte es unidireccional, lo que implica falso flete ya que hace viajes vacíos. Su desventaja es que tiene una conectividad limitada y sus movimientos se limitan a materias primas entre la zona de extracción y los puertos consumidores. Una vez descargados en los puertos consumidores, regresan al lugar de extracción vacíos.



6.2. Alrededor del mundo

Incluyen un servicio de forma continua a varios puertos y el tráfico marítimo suele ser bidireccional. Este viaje abarca un número limitado de puertos por continente y este tipo de ruta se refiere principalmente al transporte de contenedores donde hacen escala cargando y descargando en dichos puertos.

6.3. Péndulo

Es el tipo de ruta marítima más rápida y barata, centrada principalmente en el transporte de contenedores. Consiste en escalas secuenciales en un mínimo de dos rangos marítimos, donde incluyen un servicio transoceánico y un bucle continuo de transporte.

El término péndulo se refiere al movimiento de ida y vuelta entre dos rangos marítimos. Donde primero abarca una serie de puertos costeros en un rango marítimo, cruza un océano y hace lo mismo en la otra costa y después regresa al punto de partida inicial. Las rutas más significativas de este tipo son entre el este de Asia, América del Norte y Europa Occidental.

La principal ventaja de este tipo de ruta es que escala en varios puertos, por lo que el factor de carga del buque aumenta. Sin embargo, tienen una desventaja y es que puede ocurrir que se produzcan viajes vacíos lo que ocasiona pérdidas económicas grandes.

Las rutas más grandes tipo péndulo son conocidas como rutas alrededor del mundo. Su desventaja es que la tripulación está navegando un periodo de tiempo muy largo.

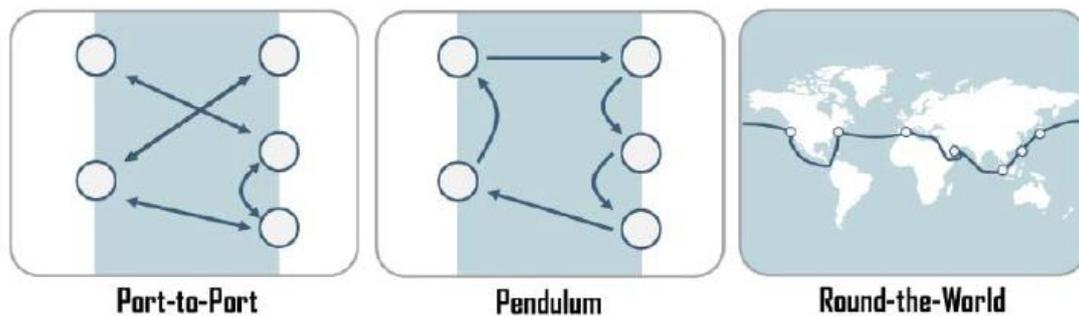


Imagen 6.2 Rutas marítimas. Tomado de [3].



7. PASOS MARÍTIMOS ESTRATÉGICOS Y RUTAS DE TRANSPORTE MÁS IMPORTANTES

Estas rutas y puntos se encuentran donde la industria es más importante, como el Este de Asia, América del Norte y Europa occidental, donde hay un comercio de contenedores y materias primas muy grande.

Las rutas marítimas más importantes abarcan los flujos comerciales más grandes dando un servicio muy amplio a los principales mercados. Las rutas secundarias se encargan de conectar estas rutas a puertos más pequeños o de menor capacidad comercial.

Estas rutas tienen pasos estratégicos que se dividen en:

- Pasos primarios, los cuales son los más importantes y sin ellos las alternativas rentables serían muy limitadas.
- Pasos secundarios, no son tan importantes como los anteriores ya que las alternativas son mayores. Pero, aun así, sería un desvío de la ruta marítima a seguir considerable.

Los pasos estratégicos más importantes a nivel global serían: el Canal de Panamá, el Canal de Suez, el estrecho de Malaca y el estrecho de Ormuz. Estos pasos estratégicos son los más importantes, ya que, conectan distintos continentes sin desviarse de la ruta y, por ello abarcan el mayor tráfico marítimo a nivel mundial.

Estos pasos también son puntos de congestión debido a: las limitaciones de capacidad y la posibilidad de interrupciones o cierre del canal por motivos excepcionales.

Limitaciones de capacidad: estos puntos suelen ser poco profundos y estrechos por lo que muchas veces limitan la capacidad de carga. En Panamá y Suez la capacidad debe ser gestionada.

Posibilidad de interrupciones o cierre: la interrupción supondría una alteración de la economía mundial. Esto podría suceder, ya que muchos pasos estratégicos están próximos a países inestables políticamente, lo que muchas veces produce piratería. El cierre, como hemos dicho anteriormente son casos excepcionales, como pueden ser guerras o catástrofes naturales, los cuales pueden inhabilitar estos pasos.

Ahora vamos a hablar un poco más de los pasos estratégicos más importantes, así como de algunos secundarios:



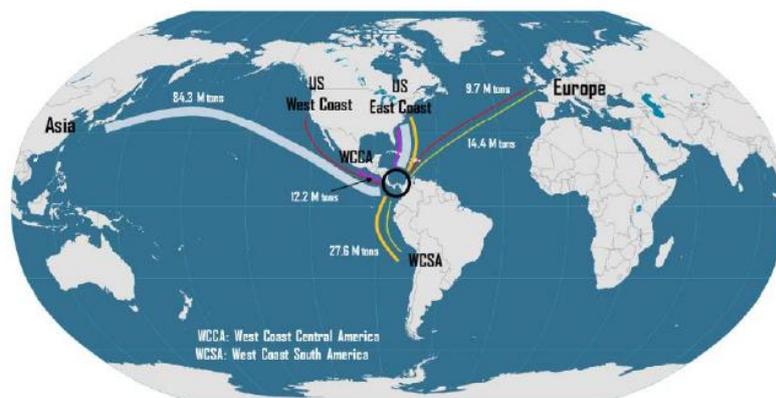
7.1. El Canal de Panamá

A través del Istmo de Panamá se unen los océanos Atlántico y Pacífico. Sus principales características son: su longitud es de unos 82km, su profundidad es de 12,5 metros, su anchura es de 32 metros y la longitud de sus esclusas es de 294 metros. Este canal evita el rodeo de América del sur, abaratando así significativamente el comercio. Para Estados Unidos este paso es de suma importancia ya que une la costa Este y Oeste del país, ahorrándose alrededor de 13000km de viaje. El Canal de Panamá tiene tres elementos principales que son: las esclusas de Gatún que conectan el Atlántico con el Caribe, Gaillard Cut (divisoria continental) y las esclusas de Miraflores/Pedro de Miguel, que permiten el acceso al Océano Pacífico.

En 2006 hubo una modificación del Canal aumentando sus dimensiones en las esclusas, consiguiendo una profundidad de 18,3 metros, un ancho de 55 metros y 427 metros de longitud. Por lo que el acceso de buques aumentó, ya que ahora las dimensiones máximas de éstos serían 17,8 metros de calado, 49 metros de manga y 366 metros de eslora. Este aumento de esclusas ahora puede dividir sus servicios en dos niveles: los buques de mayor tamaño y los panamax.



Imágen 7.1 Principales componentes del Canal de Panamá. Tomado de [3].



Imágen 7.2 Rutas comerciales Canal de Panamá. Tomado de [3].



Imágen 7.3 Esclusas Canal de Panamá. Tomado de [24].

7.2. Canal de Suez

Es un canal artificial que cruza el Istmo de Suez y une el Mar Mediterráneo con el Golfo de Suez, su longitud es de unos 190km. Este canal no tiene esclusas y es el canal más largo del mundo sin esclusas. Centrado principalmente para las rutas orientadas a Asia meridional, África oriental y Oceanía, pero también es una alternativa entre puertos europeos y americanos. Si no existiera este canal para ir a los océanos Índico o Pacífico desde Europa, tendríamos que rodear toda África, pasando por el Cabo de Buena Esperanza en el extremo del sur africano. Este Canal permite el paso de buques de gran tamaño y de unas 220.000 toneladas de peso muerto.

Por él pasan unos 25.000 buques al año y esto significa el 15% del comercio marítimo. El inconveniente de este canal es que los buques solo pueden transitar en una dirección por lo que hacen “turnos” en un sentido y otro, de unos 10 a 15 buques. Esta organización se realiza con 2 turnos hacia el sur y uno hacia el norte, el tiempo de tránsito de estos turnos suele ser entre 10 y 12 horas.

Esta ruta es la principal a nivel comercial entre Asia y Europa, la cual también puede atravesar el Estrecho de Malaca, el Canal de Suez y el estrecho de Gibraltar. Además, esta ruta tiene la oportunidad de hacer transbordos en puertos muy importantes a nivel global y comercial, como el de Singapur y Colombo.



Imágen 7.4 Buques transitando por el Canal de Suez. Tomado de [23].

7.3. Estrecho de Malaca

Es uno de los pasos más importantes del mundo, el cual soporta gran parte del comercio entre Asia y Europa. Por él pasan unos 50.000 buques al año. Esto supone el 30% del comercio mundial y el 80% de importaciones de petróleo de Japón, Corea del sur o Taiwán. Su longitud es de unos 800km, los cuales unen el océano Índico y Pacífico, su anchura está entre 50 y 320km y una profundidad mínima de 23 metros, por lo que no suele presentar problemas para buques grandes gracias a estas dimensiones. Es el estrecho más largo del mundo y se puede ir de una punta del estrecho a la otra en unas 20 horas.



Imágen 7.5 Mapa Estrecho de Malaca. Tomado de [29].



7.4. Estrecho de Ormuz

Es un punto estratégico importante gracias a los yacimientos de petróleo que se encuentran en el Golfo Pérsico. Su ruta es desde el Golfo de Omán al Océano Índico. Su anchura es bastante amplia ya que está entre 48 y 80km, pero para el tránsito de buques se limita a 2 canales de 3km de ancho cada uno para el tráfico entrante y saliente, lo que se denomina un Dispositivo de Separación de Tráfico Marítimo.

Estos dispositivos son conocidos como “autopistas” virtuales en el mar, con el fin de controlar el tráfico de entrada y salida. Esto significa que la navegación por el Golfo Pérsico está muy restringida, debido al alto número de buques que circulan, y esto produce que la navegación por el mismo sea difícil.



Imagen 7.6 Mapa Estrecho de Ormuz. Tomado de [27].

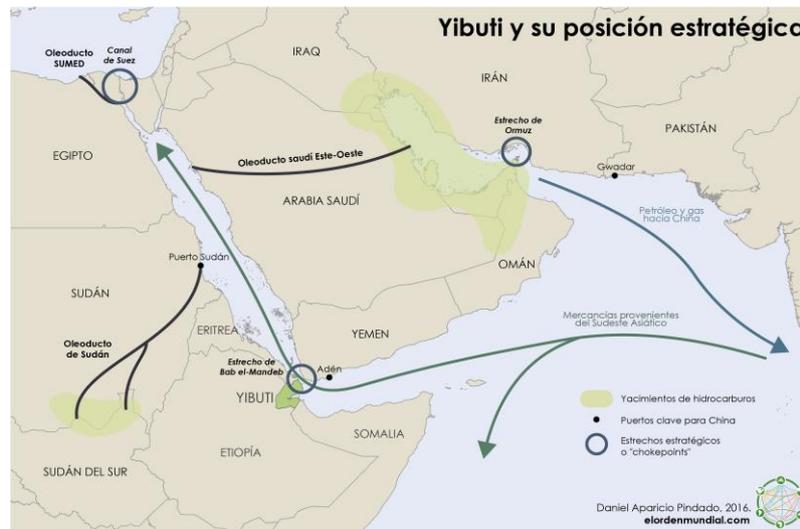
7.5. Estrecho de Gibraltar

Es un paso obligado entre el Mar Mediterráneo y el océano Atlántico. Sus características son: una longitud de 64km y una anchura de 13 a 39km. Soporta una gran densidad de tráfico marítimo al ser un paso obligado para las rutas que unen el Atlántico y el Norte de Europa con el Mediterráneo, además también hay mucho tráfico entre la península y el norte de África. Debido a la densidad de tráfico que abarca este canal, la OMI estableció un Dispositivo de Separación de Tráfico para así controlar éste tráfico en sentidos de entrada y salida. Los buques que transitan por el estrecho deben notificar a Salvamento Marítimo su posición en todo momento hasta dejar de transitar por el estrecho.



7.6. Algunos pasos secundarios

El estrecho de Bab el Mandeb, controla el acceso al canal de Suez ya que está situado entre el océano Índico y el Mar Rojo. Su anchura es considerable, de 48 a 80km, pero su navegación está limitada por “autopistas” de 3km de ancho. Tiene gran tráfico de petroleros por lo que la navegación es difícil. Un cierre de este estrecho supondría graves consecuencias ya que la ruta alternativa a ésta sería el Cabo de Buena Esperanza, lo que supondría un aumento considerable de la carga de los buques para el que el viaje pudiera ser rentable.



Imágen 7.7 Mapa pasos secundarios. Tomado de [3].

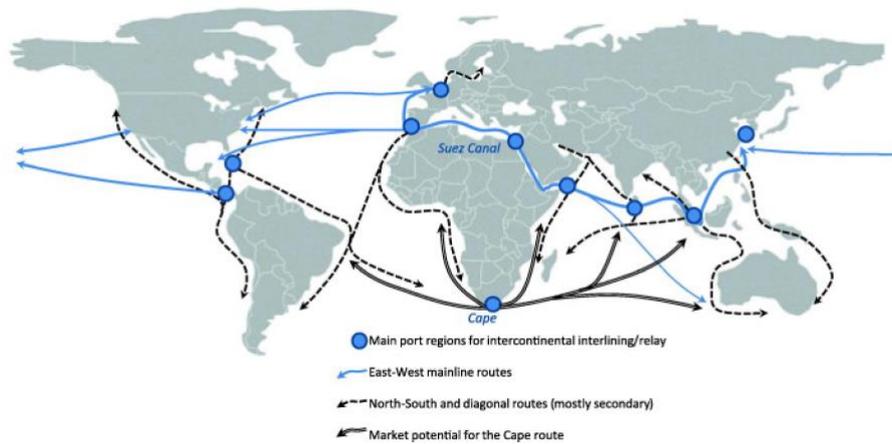
7.6.1. El estrecho del Bósforo.

Tiene una longitud de unos 30km y una anchura mínima de tan solo 1km, une el Mar Negro con el Mediterráneo. Su tráfico principal es de petroleros, ya que por el Mar Caspio hay abundantes yacimientos de petróleo.

El precio por barril que circula por este estrecho es de 0,20 US\$.

7.6.2. Cabo de Buena Esperanza.

Se sitúa en el extremo sur de África. Este punto antiguamente tenía una importancia muy grande pero, desde la ampliación del Canal de Suez, ha perdido su importancia estratégica, aun así sigue siendo importante. En estos momentos está teniendo un crecimiento a nivel estratégico ya que el comercio entre América Latina y Sur y Sudeste de Asia ha aumentado y usan este punto como hub de transbordo.



Imágen 7.8 Mapa conexiones Cabo de Buena Esperanza. Tomado de [3].

Ahora vamos a entrar un poco en detalle sobre los contenedores y la contenerización y, a su vez, de las navieras más importantes en transportes de contenedores, como los puertos que más comercio abarcan con éstos.

8. EL TRANSPORTE DE CONTENEDORES

Su transporte se realiza mediante nodos y enlaces, donde los nodos son lugares físicos donde se manejan estos. Los enlaces entre nodos, se refiere a los modos de transporte (ferrocarril, camión, vías navegables...) con sus infraestructuras de apoyo (carretera, canal, vías de tren...).

Por estas redes el contenedor se puede transportar, vacío, con una sola carga o cargado con varias mercancías. El transporte de éstos contenedores se realiza desde un punto en tierra a otro punto en tierra, pasando a través de redes multimodales como buques, trenes, camiones, puertos...

En mar son transportados por buques que dan un servicio de línea regular, es decir buques que realizan rutas tipo péndulo y que tienen secuencias fijas de puertos de escala con una cierta frecuencia. Sin embargo, los portacontenedores presentan la desventaja de que tienen una fecha de salida anunciada y el buque sale esté más o menos lleno, si está menos lleno producirá falso flete.

El servicio de línea regular de un buque nos puede parecer similar a una línea de autobús, ya que éstos tienen una hora de salida y de llegada y siempre siguen las mismas rutas, parando siempre en las mismas estaciones o puntos de subida.

Aunque también presentan diferencias, ya que un buque no puede llevar la misma frecuencia de viajes que un autobús, por lo que el servicio de estos buques suele ser semanal, por lo que cada llegada a puerto se publica días o semanas antes para facilitar el transporte terrestre de la carga. También otra diferencia que tienen es que la carga, descarga y transbordo de



contenedores es cara ya que los operadores portuarios tienen que obtener beneficio de esas operaciones. Para finalizar, estos buques trabajan las 24 horas durante toda la semana.

9. INTERMODALIDAD

La intermodalidad se refiere a la conexión de distintos medios de transporte (barco, tren, camión) con el fin de transportar una mercancía.

Desde hace décadas se ha intentado unir los sistemas de transporte que funcionaban por separado a través de la intermodalidad, con el fin de realizar más rápida y eficazmente el transbordo de mercancías. Ahora bien, desde el punto operativo de la intermodalidad, podemos distinguir 2 categorías:

-El transporte intermodal: se basa en los movimientos de pasajeros o carga de un modo de transporte a otro como hemos citado anteriormente. Ej. (carga de un barco a una red de camiones o la descarga de un pasajero de avión a un autobús). Aunque este término es usado básicamente para el transporte de contenedores.

-Transporte transmodal: se refiere al movimiento de carga o pasajeros dentro de una misma red de transporte (éste en cuanto a tema marítimo, rara vez existe. Sin embargo, es más común en pasajeros de tierra, como puede ser el intercambio de pasajeros de un autobús a otro).

Ejemplo de las dos categorías de intermodalidad:

Transporte intermodal:

Origen de mercancía → barco → tren → carretera → destino.

Transporte transmodal:

Origen de mercancía → camión → camión → destino.

Las redes de transporte intermodal se basan en sistemas logísticos interconectados con un mínimo de dos medios de transporte, ofreciendo una única tarifa. Esto hace que la intermodalidad mejore el rendimiento económico, ya que a su vez los medios se usan de manera muy productiva. Las redes de transporte intermodal se organizan según los siguientes conceptos:

-La naturaleza y cantidad de carga transportada. Eficaz en productos acabados o semi-acabados y en unidades de carga de menos de 25 toneladas.

-El transporte utilizado. Es una secuencia de medios de transporte, los más comunes son (barcos, ferrocarril y carretera).

-Orígenes y destinos. Se emplea principalmente para distancias largas, donde será mucho más probable que la mercancía pase de un medio a otro.



-Tiempo de transporte y costes. Debido a las ventajas de la intermodalidad con tiempo trabajado y coste respectivo, los costes totales se reducen al mínimo.

-Valor de la carga. La intermodalidad se usa principalmente para carga de valor intermedio, ya que para valores altos se usan medios de transporte directos y para valores bajos principalmente el transporte marítimo

-Frecuencia de los transportes. La frecuencia suele ser continua y las cantidades de carga suelen ser similares.

10. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA CONTENERIZACIÓN

En la contenerización se pueden destacar las siguientes ventajas: (transporte estándar, uso flexible, la gestión, economías de escala, velocidad, almacenaje y seguridad sobre el contenedor).

10.1. Transporte estándar

Los contenedores, al estar estandarizados, se pueden manipular en cualquier parte del mundo. Gracias a esa estandarización, las herramientas para manipularlos deben de ser las mismas en todo el mundo.

10.2. Uso flexible

A través de los contenedores se puede transportar cualquier tipo de carga, ya sea desde materias primas a coches o productos congelados (gracias a los contenedores refrigerados). También existen contenedores específicos, los cuales transportan líquidos (petróleo o derivados). Hay que añadir que los contenedores refrigerados representan el 50% del transporte de la carga refrigerada a nivel mundial.

10.3. Gestión

Los contenedores llevan números de identificación y el tipo de tamaño se representa con un código que permite la gestión del transporte no en términos de cargas, pero si en términos de la unidad. Este número también nos indica que el transporte está autorizado por el propietario de la carga y se comprueba en las entradas de las terminales. Todo esto lo comprueba un sistema informático que ahorra mucho tiempo y reduce costes.



10.4. Economías de escala

El coste de transporte de contenedores se ha reducido considerablemente (alrededor de 20 veces). Mientras antes los costes de contenerización en el transporte marítimo suponían entre un 5-10% , actualmente representan un 1,5%. Esto es gracias a la velocidad (gestión) y flexibilidad de la contenerización (flexibilidad de uso). Sin embargo, hay que tener en cuenta que estos costes son más elevados en buques “pequeños” que en buques grandes. Por ejemplo, el transporte de contenedores en un buque con capacidad de 12000 TEUS tiene un coste de operación por contenedor del 20% menos que en un buque de capacidad de 4000 TEUS. El resultado de todo esto ha supuesto una reducción de los costes en el uso de los contenedores de alrededor del 35% (ahorro muy importante, ya que en el sector naval las cantidades de dinero son muy grandes).

10.5. Velocidad

La productividad portuaria ha aumentado, ya que las operaciones de transbordo son mínimas y muy rápidas. Gracias al aumento de autonomía de los buques, la estandarización de los contenedores y el continuo avance mecánico en grúas, se ha reducido mucho el tiempo de transbordo, ya que en la década de los 60 un buque podía estar en puerto antes de zarpar 3 semanas y ahora 24 horas o menos. También, si hacemos la comparativa de un carguero regular que pasa dos tercios de su vida en el puerto debido a las altas horas de operaciones, los buques portacontenedores pasan menos tiempo en puerto por lo que pasan más tiempo en la mar generando muchos más ingresos. Esto es debido a que un barco produce dinero cuando navega no cuando está en puerto, por lo que estos buques son mucho más rentables. También los portacontenedores son bastante más rápidos que un buque de carga regular (19 nudos el primero y 14 el segundo).

10.6. Almacenamiento

La mercancía dentro de los contenedores es poco probable que se dañe gracias a que estos son muy resistentes a golpes y condiciones meteorológicas adversas. Por lo que, gracias a los contenedores, el precio de los seguros se reduce, ya que la carga es poco propensa a sufrir daños. Además, los contenedores están hechos de forma que encajan entre sí, permitiendo el apilamiento y el aprovechamiento del espacio al máximo.



10.7. Seguridad

El contenido de los contenedores es una incógnita para los no implicados en su transporte, ya que su carga solo es conocida en el origen, en aduanas y en el destino, por lo que los robos bajan considerablemente (ya que no se van a arriesgar a robar un contenedor con una carga que no es valiosa), por lo que el precio de los seguros baja considerablemente.

Citadas ya las ventajas de la contenerización, vamos a citar algunas de sus desventajas como: sus limitaciones de espacio, costes de infraestructura, apilamiento, viajes vacíos, pérdidas, robos y comercio ilícito.

10.8. Espacio limitado

Los contenedores ocupan mucho espacio. Por lo tanto, en las terminales se pueden producir dos situaciones: la terminal es excesivamente grande y puede abarcar un gran número de contenedores, o se ven con falta de espacio, ya que, por ejemplo, para descargar 5000 TEUS de un portacontenedores se necesitan 12 hectáreas de espacio, lo que equivale a 12 campos de fútbol o alrededor de 7 trenes doublé-stack de 400 contenedores cada uno.

10.9. Costes de infraestructura

Las infraestructuras, como grúas pórtico, accesos por carretera, equipos en el patio de almacenamiento, las cuales manipulan a los contenedores, necesitan unas grandes inversiones para las autoridades portuarias y centros de carga. En países desarrollados estos costes se pueden cubrir, pero en países en desarrollo estos costes suponen mucho capital, por lo que muchos de ellos tienen dificultades para ser partícipes en comercio.

10.10. Apilamiento

Se tiene que tener muy en cuenta a la hora de cargar los contenedores que los que se tengan que cargar primero no estén en la parte inferior de la pila de los mismos. También, hay que tener en cuenta que la carga de contenedores en los buques debe de ser estudiada y perfecta, ya que se tiene que evitar cualquier reapilado a lo largo de las escalas. Si esto se produjese, supondría demoras de tiempo en el transporte y aumento de los costes del viaje, ya que pasaría más tiempo en puerto.



10.11. Pérdidas y robos

Los robos siempre han sido un problema fuera de las terminales. Estos se pueden producir más cuando “es posible conocer” la carga que puede llevar ese contenedor por el destino del mismo. En cuanto a las pérdidas, alrededor de 10000 se pierden al año por causas ajenas (como malas condiciones meteorológicas, lo que hace que el barco tenga un balanceo, movimientos de guiñada o cabeceos excesivos), pero también tiene importancia la incorrecta forma de haber apilado los contenedores, ya que una mala apilación puede provocar la caída de los contenedores. Aun así, la tasa de pérdidas es muy pequeña, alrededor del 0,18%.

10.12. Viajes vacíos

Hoy en día hay una superproducción de contenedores, ya que se fabrican más de los que se usan, por ello cerca de 2,5 millones de contenedores se almacenan en patios y depósitos alrededor del mundo (todos ellos vacíos). Estos contenedores vacíos también se transportan a lugares en déficit de contenedores y estos representan el 20% del rendimiento de puertos de contenedores y del volumen transportado en el transporte marítimo.

10.13. Comercio ilícito

A veces, los contenedores son usados de forma ilegal (para comercio de droga y armas). También se ha especulado sobre el uso de contenedores con fines terroristas, por lo que estos temores han causado un aumento de normas destinadas a impedir el comercio ilegal con estos contenedores. Por ejemplo, en EEUU, impusieron una norma que consiste en: todo contenedor con destino los EEUU debe ser escaneado electrónicamente en el puerto de carga antes de su salida al país. Bajo mi punto de vista, es una buena medida, pero muchos agentes de la industria se oponen, ya que la seguridad que proporciona hacer ese tipo de control ocasiona una gran demora en el viaje, lo que equivale a pérdidas económicas.

Ahora bien, ya citadas las ventajas y desventajas de la contenerización, se llega a la conclusión de que las ventajas superan a los inconvenientes. Esto hace que la contenerización haya evolucionado favorablemente a lo largo de los años y con ello hayan aumentado el transporte marítimo y la economía global.



11. PRINCIPALES NAVIERAS DE BUQUES PORTACONTENEDORES

En la siguiente tabla se representan las principales navieras en posesión de estos buques, y los que tienen fletados:

	En propiedad			Fletados			Total				
	Número de buques	TEU totales	Tamaño medio de los buques (en TEU)	Número de buques	TEU totales	Tamaño medio de los buques (en TEU)	Número de buques	TEU totales	Participación en el mercado (en porcentajes de TEU)	Tamaño medio de los buques (en TEU)	Proporción de buques fletados (en porcentajes)
Maersk	300	2 213 253	7 378	400	1 666 186	4 165	700	3 879 439	15,3	5 542	42,9
Mediterranean Shipping Company	154	1 032 256	6 703	319	2 085 852	6 539	473	3 118 108	12,3	6 592	66,9
CMA CGM	147	1 131 606	7 698	329	1 422 658	4 324	476	2 554 264	10,1	5 366	55,7
China Ocean Shipping (Group) Company	156	1 194 776	7 659	174	777 715	4 470	330	1 972 491	7,8	5 977	39,4
Hapag-Lloyd	105	999 787	9 522	112	551 087	4 920	217	1 550 874	6,1	7 147	35,5
Ocean Network Express	88	700 560	7 961	140	835 752	5 970	228	1 536 312	6,1	6 738	54,4
Evergreen	113	577 062	5 107	87	533 646	6 134	200	1 110 708	4,4	5 554	48,0
Orient Overseas Container Line	55	495 150	9 003	44	194 836	4 428	99	689 986	2,7	6 970	28,2
Yang Ming	45	209 810	4 662	55	399 939	7 272	100	609 749	2,4	6 097	65,6
Pacific International Lines	118	348 140	2 950	14	65 194	4 657	132	413 334	1,6	3 131	15,8
Zim Integrated Shipping Services	11	70 314	6 392	72	328 612	4 564	83	398 926	1,6	4 806	82,4
Hyundai Merchant Marine	20	158 886	7 944	45	223 258	4 961	65	382 144	1,5	5 879	58,4
Wan Hai Lines	72	172 819	2 400	28	82 263	2 938	100	255 082	1,0	2 551	32,2
X-Press Feeders	20	17 253	863	69	109 462	1 586	89	126 715	0,5	1 424	86,4
Republic of Korea Marine Transport Company	27	57 082	2 114	30	67 378	2 246	57	124 460	0,5	2 184	54,1
Islamic Republic of Iran Shipping Lines	24	79 668	3 320	4	22 850	5 713	28	102 518	0,4	3 661	22,3
Shandong International Transportation Corporation	50	70 719	1 414	17	23 950	1 409	67	94 669	0,4	1 413	25,3
SM Line	13	57 706	4 439	7	20 612	2 945	20	78 318	0,3	3 916	26,3
Arkas Line	37	65 336	1 766	7	9 940	1 420	44	75 276	0,3	1 711	13,2
TS Lines	4	7 200	1 800	29	66 312	2 287	33	73 512	0,3	2 228	90,2
Transworld Group of Companies	22	38 159	1 735	11	22 302	2 027	33	60 461	0,2	1 832	36,9
Feedertech Shipping	5	12 040	2 408	12	44 422	3 702	17	56 462	0,2	3 321	78,7
Grimaldi Group	41	48 110	1 173	7	3 343	478	48	51 453	0,2	1 072	6,5
Quanzhou Ansheng Shipping Company	20	50 820	2 541				20	50 820	0,2	2 541	0,0
Regional Container Lines	20	28 928	1 446	7	17 060	2 437	27	45 988	0,2	1 703	37,1
Unifeeder	1	530	530	38	42 883	1 129	39	43 413	0,2	1 113	98,8
China Navigation Company	19	31 872	1 677	6	10 859	1 810	25	42 731	0,2	1 709	25,4
Grieg Star	26	41 540	1 598	1	306	306	27	41 846	0,2	1 550	0,7
Sinotrans	13	21 102	1 623	13	20 139	1 549	26	41 241	0,2	1 586	48,8
Sinokor Merchant Marine	12	17 874	1 490	18	22 409	1 245	30	40 283	0,2	1 343	55,6
Subtotal de las 30 principales navieras	1 738	9 950 358	5 725	2 095	9 671 225	4 616	3 833	19 621 583	77,6	5 119	49,3
Resto del mundo							4 330	5 668 430	22,4	1 309	
Total mundial							8 163	25 290 013	100,0	3 098	

Imágen 11.1 Principales Navieras de Buques Portacontenedores. Tomado de [3].



Puertos con mayor actividad en la manipulación de contenedores:

Puerto	Tráfico total (Millones de tm)					Contenedores (Miles de teu)				
	1990	1995	2000	2005	2009	1990	1995	2000	2005	2009
1. Shanghai (China)	141,3	166,0	204,4	443,0	505,7	600	1.527	5.560	16.879	24.912
2. Singapur	187,8	305,5	326,0	423,2	472,3	5.223	11.845	17.087	23.192	25.866
3. Rotterdam (*)	287,7	291,2	320,0	370,0	387,0	4.010	4.787	6.268	9.228	9.780
4. Tianjin (China)	n.d.	n.d.	95,7	245,1	381,1	n.d.	n.d.	n.d.	4.802	8.667
5. Ningbo (China)	n.d.	n.d.	115,5	272,4	371,5	n.d.	n.d.	902	5.181	10.433
6. Guangzhou (China)	n.d.	n.d.	111,3	241,7	364,0	n.d.	n.d.	1.429	4.603	11.016
7. Qingdao (China)	n.d.	n.d.	n.d.	184,3	274,3	n.d.	n.d.	n.d.	6.307	10.250
8. Quinhuangdao (China)	n.d.	n.d.	n.d.	167,5	243,9	n.d.	n.d.	n.d.	<1.702	<2.012
9. Hong-Kong (China)	83,4	127,2	174,6	230,1	243,0	5.101	12.550	18.098	22.600	21.104
10. Sur Louisiana	n.d.	207,0	222,6	220,4	226,7	<400	<628	<1.061	<1.702	<2.012
19. Amberes (*)	102,0	108,1	130,5	160,1	157,8	1.549	2.329	4.082	6.464	7.310
28. Hamburgo (*)	61,4	72,2	85,9	125,9	110,4	1.969	2.895	4.281	8.088	7.008
36. Amsterdam (*)	n.d.	54,8	64,1	74,9	86,7	<400	<628	<1.061	<1.702	<2.012
41. Marsella (*)	90,3	86,6	94,1	96,6	83,2	482	<628	<1.061	<1.702	<2.012
47. Le Havre (*)	54,0	54,3	67,5	75,0	73,8	858	970	1.465	2.106	2.241
49. Algeciras (*)	24,5	37,0	44,0	63,5	69,9	553	1.155	2.009	3.180	3.056

(*) Puertos europeos

Tabla 11.1 Puertos con mayor manipulación de Portacontenedores. Tomado de [2].

Si nos centramos a nivel nacional, el puerto de Algeciras sería el más transitado a nivel comercial de contenedores en esos tiempos. Hay que tener en cuenta que los puertos españoles, al haber un gran número, ninguno es excesivamente grande para ser un puerto de solo carga. Por ejemplo, por lo que a Algeciras se refiere es un puerto de transbordo para buques portacontenedores ya que el 95% de sus cargas contenerizadas no tienen ni origen ni destino español, por eso ese transbordo o nodo que conecta a servicios oceánicos y feeders. A nivel nacional la principal “competencia” que tiene Algeciras en la manipulación de contenedores es Valencia, ya que en varios años le ha superado en número de manipulación de contenedores.

En lo que a España se refiere, la mayor concentración de tráfico marítimo reside en el Mediterráneo con un 44% del comercio total en España, esto es debido al tráfico que transcurre por él, por rutas marítimas importantes y por puntos estratégicos también importantes. En la siguiente tabla se reflejan los porcentajes a nivel nacional por zonas del tráfico marítimo:

Zonas	Porcentaje(%) comercio marítimo en España
Zona norte	22
Zona sur	25,5
Zona mediterránea	44,1



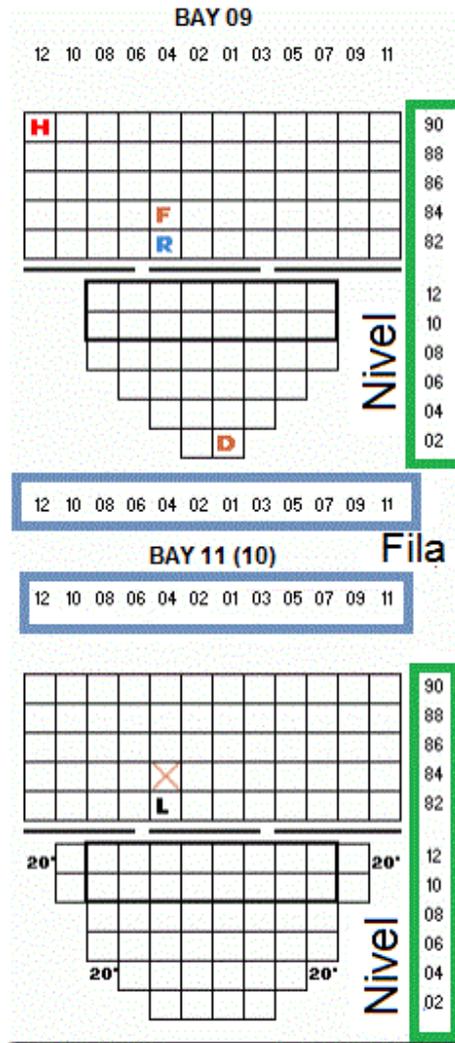
Los datos reflejados son datos de 2010. Por supuesto, estos porcentajes van variando cada año, pero en el ranking de comercio marítimo a nivel nacional, aunque estos porcentajes varíen, sus posiciones no varían.

12. NUMERACIÓN DE LOS CONTENEDORES A BORDO DEL BUQUE

Tendremos que tener en cuenta cómo se divide el buque, por ejemplo, las bodegas se dividen en compartimentos, los llamados bays, y habrán, más o menos en función del tamaño del buque. En cuanto a la numeración va, de orden ascendente de proa hacia popa. Por ejemplo, de 01 a 80, el bay más a proa sería el 01, y el de más a popa, el 80. También, aunque estén numerados de esta forma, tenemos que tener en cuenta que los números impares pertenecerán a contenedores de 20' y los pares a contenedores de 40'.

Lógicamente, en un bay no cabe sólo un contenedor, si no muchos más, por lo que el interior del bay está dividido en filas y columnas (nivel), donde la fila nos indicará la posición del contenedor en el sentido de la manga y el nivel nos indicará la altura de dicho contenedor. En el sentido de la manga, el punto de partida es crujía y se numeran con números impares en sentido estribor (derecha) y con números pares en sentido babor (izquierda). Hay que tener en cuenta que podemos tener un contenedor situado justo en crujía, por lo que éste recibirá la numeración de 00. En cuanto al nivel, por "norma general", los que están sobre cubierta se empezarán a numerar por el número 82 e irán de 2 en 2 por nivel, es decir, 82, 84, 86... Si los niveles nos indican los números 02, 04... significa que están posicionados bajo cubierta.

Esto es mucho más sencillo identificarlo en planos con un sistema de 3 dimensiones, cuyas dimensiones indican las coordenadas, siendo la primera coordenada el bay donde se encuentra el contenedor, la segunda coordenada sería la fila en la que está y la tercera coordenada al nivel o altura a la que está dicho contenedor. Además de indicarnos la posición en la que se encuentra un contenedor en estos planos, vienen marcados con una letra que nos indica el puerto de destino o descarga al que se dirigen.



Imágen 12.1 Ejemplo Disposición Contenedores. Tomado de [3].

Por ejemplo, fijándonos en la imagen, en las letras R y D podemos identificar el número del contenedor y su destino.

1er ejemplo: la letra R ya nos indica que el destino es Rotterdam, ahora nos fijaremos en el bay, que este sería el 09, la fila en la que se sitúa sería la 04 y su nivel sería el 82, teniendo todas las coordenadas ya sabemos que es un contenedor de 20 pies de dimensión, en la fila 04 a babor y el nivel 82 en cubierta. Por lo que el número de identificación sería 090482 y letra R.

Del mismo modo si, nos fijamos en la letra D, el destino nos indica Dublín, y sería un contenedor de 20 pies por el bay en el que está (el 09), fila 01 a estribor y el nivel 02 que sería bajo cubierta. Por lo que su número de identificación dentro del buque sería el 090102 y letra D.



12.1. Seguridad del contenedor. CSC

El CSC (international Convention for Safe Containers) es un convenio que impone normas en todos los aspectos, que suponen una manipulación del contenedor con el fin de asegurar la vida humana.

Todos los contenedores, ya sean para transporte nacional o internacional, están sujetos al CSC, por lo que las exigencias que pida este convenio deben de ser superadas para que pueda entrar en circulación el contenedor. Las pruebas son las siguientes:

- Izada.
- Apilamiento.
- Cargas concentradas sobre techo y suelo.
- Rigidez transversal.
- Resistencia Longitudinal.
- Paredes extremas.
- Paredes laterales.

Estas pruebas pertenecen al CSC, pero quien se encarga de verificar que cumplen todas estas, son las sociedades de clasificación. Dichas sociedades verifican en el momento de la fabricación de un contenedor que éste supera todas las pruebas o requisitos establecidos y, una vez en circulación, el contenedor se debe de revisar y debe superar los exámenes de conservación en toda su vida útil (como la ITV de un coche hasta que se desguaza). Algunas de las sociedades de clasificación que corroboran esto son:

Lloyd's register, Bureau Veritas y DNV entre muchas otras :



Imágen 12.2 Algunas Sociedades de Clasificación. Tomado de [3].



Una vez superadas las pruebas del CSC, el contenedor ya puede ser empleado para el comercio y transporte. Pero éste debe de llevar una placa de aprobación que se le otorga al superar las pruebas. Ésta debe de estar en un lugar visible del contenedor. Esta placa debe de cumplir literalmente lo que dice el convenio y es lo siguiente:

“La placa de aprobación relativa a la seguridad, será una placa permanente, inoxidable, incombustible y de forma rectangular que mida no menos de 200mm por 100mm. En la superficie de la placa se estamparán, grabarán en relieve o indicarán de cualquier otro modo permanente y legible las palabras ‘Aprobación de Seguridad CSC’ con letras que tengan como mínimo una altura de 8mm, así como todas las demás palabras y números, que deberán tener una altura mínima de 5mm”.

En la siguiente imagen se muestra una placa real, donde indicaremos qué significa cada término de la placa:



Imagen 12.3 Ejemplo Placa CSC.Tomado de [3].

- 1: País y referencia de aprobación.
- 2: Fecha de construcción.
- 3: Nº identificador del propio contenedor.
- 4: Peso bruto máximo.
- 5: Peso de apilamiento para 1,8G.
- 6: En la rigidez transversal su carga de prueba.
- 7: Paredes extremas su resistencia (sólo si es ≠0,4P).
- 8: Paredes laterales su resistencia (sólo si es ≠0,6P).
- 9: Fecha de la siguiente revisión (Examen de Conservación).

En cuanto a los exámenes de revisión se deberá tener en cuenta lo siguiente:

- 1: El propietario se encarga de la seguridad del contenedor.
- 2: El propietario de un contenedor aprobado será el que examinará o dirá que le examinen el contenedor en intervalos apropiados.



3: La fecha “de caducidad” antes de que vuelva a ser examinado deberá ir marcada en la placa.

4: El primer Examen de Conservación no puede posponerse más de 5 años después de la construcción del contenedor. Excedidos estos 5 años los intervalos de revisión no pueden ser superiores a 30 meses.

En España está el Real Decreto 2319/2004, el cual es una de las partes contratantes del CSC, donde se revisan aspectos constructivos, seguridad, inspección y control. Vamos a citar, pero no entrar en detalle, las inspecciones y controles que se realizan con el Real Decreto 2319/2004:

1. Inspecciones por reparación o sustitución de partes de contenedor.
2. Inspecciones periódicas y comprobación de que todo está correcto.
3. Inspecciones por accidentes.
4. Inspecciones por controles no favorables.

12.2. Convenio aduanero

Su objetivo principal es que: los contenedores no se consideren mercancía importada y así conseguir que estén libres de cargas. Esto se debe a que el contenedor sólo permanece un intervalo temporal en el destino.

Además, el Convenio aduanero exige unos requisitos, los cuales se deben de cumplir para que un contenedor esté aprobado para el transporte bajo Precinto Aduanero. Simplemente exigen que un contenedor se precinte, pero que se haga de tal modo que sea posible un acceso a la mercancía.

Aquellos contenedores aprobados por el convenio aduanero, deben de llevar una placa de identificación junto con la del CSC, donde se indica el nº de fabricación y la identificación del modelo. En la siguiente imagen se muestra este tipo de placa junto con la del CSC:



Imagen 12.4 Placa Única de un Contenedor. Tomado de [3].



Anteriormente ilustramos una tabla con los tipos de contenedores existentes, y sus respectivas dimensiones normalizadas. Ahora vamos a adentrarnos un poco más, y vamos a ver, dadas sus dimensiones y sus pesos, como se identifican. Comenzaremos por sus longitudes:

Según la norma ISO 668, los contenedores se codifican con la letra A si tienen 40 pies de longitud, con la B si tienen 30, con la C si tienen 20 y con la D si tienen 10, además, tendremos que tener en cuenta que las letras mencionadas se repiten más o menos veces dependiendo de la altura del mismo contenedor, por ejemplo:

Con la letra A contenedores de 40 pies:

-1AAA: sería un High Cube de altura 9'6".

-1AA: sería un contenedor estándar de 40 pies de 8'6" de altura.

-1A: de anchura sería la misma que los anteriores, pero de altura 8'.

-1AX: alturas inferiores a 8'.

Con la letra C sería igual, pero son contenedores de 20 pies de longitud:

-1CCC: High Cube de altura 9'6".

-1CC: contenedor estándar de 20 pies con altura de 8'6".

-1C: coincidiría la anchura con los contenedores anteriores, pero no la altura que sería de 8'.

-1CX: alturas inferiores a 8'.

En la siguiente tabla vemos reflejado lo mencionado, pero con sus dimensiones mínimas tabuladas, tanto de largo como de ancho como de alto:

Código de contenedor	Dimensiones internas mínimas/mm			Mínimas dimensiones de apertura de puerta/mm	
	Alto	Ancho	Largo	Alto	Ancho
1AAA	Altura exterior nominal menos 241 mm	2330	11998	2566	2286
1AA			11998	2261	
1A			11998	2134	
1BBB			8931	2566	
1BB			8931	2261	
1B			8931	2134	
1CC			5867	2261	
1C			5867	2134	
1D			2802	2134	

Tabla 12.1 Dimensiones mínimas de un Contenedor. Tomado de [3].



En cuanto a los pesos, distinguimos las siguientes categorías:

- 1- (Max Gross Weight) peso bruto máximo.

Es el máximo peso que podría llevar un contenedor, (incluyendo su propio peso y el de la carga), con las dimensiones mencionadas anteriormente y la norma ISO. Se establece los siguientes pesos:

20': 20320 kg.

30': 25400 kg.

40': 30480 kg.

- 2- (Tare) Tara.

Es el peso del propio contenedor estando vacío, sus valores no están regulados por ninguna norma, pero suele ser para contenedores de 20' de 2200 kg y para contenedores de 40' 3700kg .

- 3- (Payload) Carga útil.

Sería la máxima carga que se puede introducir en el contenedor (M.Gross.Weight-Tare).

- 4- (Internal Cubic Capacity) Capacidad Cúbica Interna.

Sería el volumen de carga del contenedor, las capacidades cúbicas del contenedor varían según sus dimensiones.

12.3. Sistema de identificación de los contenedores

Los contenedores llevan marcas consideradas como matrículas, como si fueran coches, para poder identificarlos, entonces dadas estas marcas debemos saber lo siguiente:

- 1- El código del propietario se compone de 3 letras mayúsculas.
- 2- Para identificar la categoría de equipo, una letra mayúscula junto con las 3 del propietario.
- 3- El número de serie el cual se compondrá de 6 cifras.
- 4- El dígito de control que se compone de una cifra y estará a la derecha del número de serie.



- 5- El Código de tamaño y tipo, que se compone de 4 caracteres, de los cuales, 3 son números y uno, una letra.



Imágen 12.5 Componentes matrícula contenedor. Tomado de [3].



- a) Sería el código del propietario con sus 3 letras.
- b) El identificador de la categoría con su letra.
- c) El número de serie con sus 6 cifras.
- d) El dígito de control a la derecha del número de serie.
- e) El Código de tamaño y peso con sus 4 caracteres, 3 números y 1 letra.

Si nos fijamos, justo debajo de las marcas de identificación, podemos ver las características del propio contenedor, con su peso bruto máximo, su tara, su capacidad de carga máxima y su capacidad cúbica. Además, si nos fijamos un poco más, podemos saber que éste contenedor es de 40 pies por su peso bruto máximo.

En cuanto al identificador de la categoría de equipo, éste sólo puede estar formado por una letra que pueden ser: U, J o Z.

-U: para todos los contenedores de transporte que cumplen con la norma ISO.

-J: para contenedores desmontables.

-Z: para trailers y chásis.

Para obtener el número de validación de un contenedor hay que proceder de la siguiente manera, y para ello tendremos que hacer unos pequeños cálculos:

-Lo primero que debemos tener en cuenta es que a cada letra del abecedario se le asigna un número, y esto viene tabulado de la siguiente manera:

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
10	12	13	14	15	16	17	18	19	20
K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
21	23	24	25	26	27	28	29	30	31
U	V	W	X	Y	Z				
32	34	35	36	37	38				

Imágen 12.6 Números correspondientes a cada letra del abecedario en los contenedores. Tomado de [15].



-Estos números se deben de multiplicar por potencias de 2^n según su posición, donde las posiciones van de 0 a 9 por lo que las potencias de 2 irán de 0 a 9, como hemos mencionado (según su posición).

1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°
20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
1	2	4	8	16	32	64	128	256	512

Imagen 12.7 Potencias según su posición. Tomado de [15].

-También tendremos que tener en cuenta que, si en la posición hubiera un número, éste número se tendrá que multiplicar por la potencia correspondiente a la posición.

-Una vez hecho esto, se suman todos los resultados de las multiplicaciones, y se divide por 11, y se vuelve a multiplicar por 11 el número entero del resultado, y la diferencias de haber sumado todas las multiplicaciones y haber multiplicado el cociente (numero entero) de la división será el número de validación.

	S	U	D	U	3	0	7	0	0	7
número asignado a letra	30	32	14	32	3	0	7	0	0	7
potencias de 2	1	2	4	8	16	32	64	128	256	512
multiplicacion $n \cdot p$	30	64	56	256	48	0	448	0	0	3584

Tabla 12.2 Ejemplo Cálculos matrícula. Fuente: Elaboración propia.

Suma de las multiplicaciones	4486
Dividimos por 11	407,818182
nº entero por 11	4477
Diferencia entre ambos	9

Tabla 12.3 Ejemplo resultados finales matrícula contenedor. Fuente: Elaboración propia.

Este método tiene un inconveniente, y es que no es perfecto, ya que el resultado de la diferencia puede dar 10 (ya que los números de validación van de 0 a 9). En este caso se pondría un 0, pero tampoco estaría bien. Por lo que recomiendan que no se matriculen contenedores con cifras que puedan dar error. Un ejemplo de un mal uso del número de validación sería el siguiente:



Imagen 12.8 Ejemplo matrícula especial. Tomado de [15].

Si hacemos el mismo procedimiento de antes, la diferencia entre la suma de las multiplicaciones y el resto multiplicado por 11, sería 10 por lo que pondríamos el 0, pero como hemos dicho estos casos suelen dar muchos errores.

12.4. Códigos de tipos y dimensiones

En cuanto a las dimensiones, se componen de dos dígitos identificadores alfanuméricos, donde el primer carácter representa la longitud y el segundo carácter representa la anchura y la altura. En la siguiente tabla se ven reflejados los caracteres de longitud, anchura y altura respectivamente:

Longitud			Código		
mm	ft	in	Anchura		
2 991	10				1
6 068	20				2
9 125	30				3
12 192	40				4
libre					5
libre					6
libre					7
libre					8
libre					9
7 150					A
7 315	24				B
7 430	24	6			C
7 450		-			D
7 820		-			E
8 100		-			F
12 500	41				G
13 106	43				H
13 600		-			K
13 716	45				L
14 630	48				M
14 935	49				N
16 154		-			P
libre					R

Altura			Código		
mm	ft	in	2 438 mm (8 ft)	> 2 438 mm y ≤ 2 500 mm	> 2 500 mm
2 438	8		0		
2 591	8	6	2	C	L
2 743	9		4	D	M
2 895	9	6	5	E	N
> 2 895	>9	6	6	F	P
1 295	4	3	8		
≤1 219	≤4		9		

Tabla 12.4 Códigos de dimensiones contenedores. Tomado de [3].

En cuanto a la designación del código de tipos, también estará compuesto de dos caracteres. Donde el primero nos indicará el tipo de contenedor y el segundo las características de dicho contenedor. Como viene reflejado en las siguientes tablas sacadas de la norma ISO 6346.



Debemos tener en cuenta que, cuando tenemos un tipo de contenedor con unas características especiales que no figuran en las tablas, pero sí existen códigos de tipo no designados, se recomienda utilizar el código no asignado más apropiado y más elevado, a la espera de la aprobación de la ISO/TC 104, que son subcomités.

CÓDIGO DE TIPO	DESIGNACIÓN DEL TIPO	CÓDIGO DE TIPO REAGRUPADO	CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES	CÓDIGO DE TIPO COMPLETO
G	Contenedor para uso general sin ventilación	GP	Abertura (S) en una o las dos extremidades	G0
			Aberturas de aireación pasivas en la parte superior del espacio de carga	G1
			Abertura (S) en una o en las dos extremidades más abertura (S) sobre una de las dos o las dos paredes laterales	G2
			Abertura (S) en una o en las dos extremidades más abertura(S) parcial (es) sobre una de las dos o las dos paredes laterales	G3
			Libre	G4
			Libre	G5
			Libre	G6
			Libre	G7
			Libre	G8
			Libre	G9

CÓDIGO DE TIPO	DESIGNACIÓN DEL TIPO	CÓDIGO DE TIPO REAGRUPADO	CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES	CÓDIGO DE TIPO COMPLETO
V	CONTENEDOR PARA USO GENERAL VENTILADO	VH	Sistema de ventilación no mecánico, abertura de aireación en la parte superior e inferior del espacio libre de carga	V0
			Libre	V1
			Sistema de ventilación mecánica situado en el interior	V2



			Libre	V3
			Sistema de ventilación mecánica situado en el exterior	V4
			Libre	V5
			Libre	V6
			Libre	V7
			Libre	V8
			Libre	V9

CÓDIGO DE TIPO	DESIGNACIÓN DEL TIPO	CÓDIGO DE TIPO REAGRUPADO	CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES	CÓDIGO DE TIPO COMPLETO
B	CONTENEDOR PARA PRODUCTOS SÓLIDOS A GRANEL			
	FURGÓN DE TIPO NO PRESURIZADO	BU	Cerrado	B0
			Estanco al aire	B1
			Libre	B2
			Descarga horizontal, presión de ensayo 150 Kpa ⁶	B3
	PRESURIZADO	BK	Descarga horizontal, presión de ensayo 265 Kpa	B4
			Descarga por inclinación, presión de ensayo 150 Kpa	B5
			Descarga por inclinación, presión de ensayo 265Kpa	B6
			Libre	B7
			Libre	B8

CÓDIGO DE TIPO	DESIGNACIÓN DEL TIPO	CÓDIGO DE TIPO REAGRUPADO	CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES	CÓDIGO DE TIPO COMPLETO
S	CONTENEDOR ESPECIALIZADO	SN	Para transporte de ganado	S0
			Para transporte de automóviles	S1
			Para transporte de pescado vivo	S2
			Libre	S3
			Libre	S4
			Libre	S5



			Libre	S6
			Libre	S7
			Libre	S8
			Libre	S9

CÓDIGO DE TIPO	DESIGNACIÓN DEL TIPO	CÓDIGO DE TIPO REAGRUPADO	CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES	CÓDIGO DE TIPO COMPLETO
R	CONTENEDOR DE CARACT. TÉRMICAS			
	REFRIGERADO	RE	Refrigerado mecánicamente	R0
	REFRIGERADO Y CALENTADO	RT	Refrigerado y calentado mecánicamente	R1
	REFRIGERADO Y CALENTADO CON UN GRUPO AUTÓNOMO	RS	Refrigerado mecánicamente	R2
			Refrigerado y calentado mecánicamente	R3
			Libre	R4
			Libre	R5
			Libre	R6
			Libre	R7
Libre			R8	
Libre	R9			

CÓDIGO DE TIPO	DESIGNACIÓN DEL TIPO	CÓDIGO DE TIPO REAGRUPADO	CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES	CÓDIGO DE TIPO COMPLETO
H	CONTENEDOR DE CARACT. TÉRMICAS			
	REFRIGERADO Y/O CALENTADO CON EQUIPO MÓVIL	HR	Refrigerado y/o calentado con equipo móvil situado en el exterior. Coeficiente de transmisión $K=0,4 \text{ W(m}^2\text{,K)}$	H0
			Refrigerado y/o calentado con equipo móvil situado en el interior	H1



			Refrigerado y/o calentado con equipo móvil situado en el exterior. Coeficiente de transmisión $K=0,7W(m^2,K)$	H2	
			Libre	H3	
			Libre	H4	
	ISOTÉRMICO	HI		Isotérmico. Coeficiente de transmisión $K=0,4W(m^2.K)$	H5
				Isotérmico. Coeficiente de transmisión $K=0,4W(m^2.K)$	H6
				Libre	H7
				Libre	H8
				Libre	H9
				Libre	H9

CÓDIGO DE TIPO	DESIGNACIÓN DEL TIPO	CÓDIGO DE TIPO REAGRUPADO	CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES	CÓDIGO DE TIPO COMPLETO
P	CONTENEDOR PLATAFORMA	PL	Contenedor plataforma	P0
	CON SUPERESTRUCTURA INCOMPLETA:			
	EXTREMOS FIJOS	PF	Dos extremos fijos y completos	P1
			Marcos de testeros fijos e independientes o traviesa superior de extremidad móvil	P2
	EXTREMOS PLEGABLES	PC	Extremos completos y plegables	P3
			Montantes de esquina independientes y plegables o traviesa superior de extremidad móvil	P4
	CON SUPERESTRUCTURA	PS	Con techo abierto y extremos abiertos (esqueleto)	P5



	COMPLETA		Libre	P6
			Libre	P7
			Libre	P8
			Libre	P9

CÓDIGO DE TIPO	DESIGNACIÓN DEL TIPO	CÓDIGO DE TIPO REAGRUPADO	CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES	CÓDIGO DE TIPO COMPLETO
T	CONTENEDOR CISTERNA	TN	Presión mínima Kpa	T0
			Presión mínima 150 Kpa	T1
			Presión mínima 265 Kpa	T2
	PARA LÍQUIDOS PELIGROSOS	TD	Presión mínima 150 Kpa	T3
			Presión mínima 265Kpa	T4
			Presión mínima 400Kpa	T5
			Presión mínima 600Kpa	T6
	PARA GAS	TG	Presión mínima 910 Kpa	T7
			Presión mínima 2200Kpa	T8
			Presión mínima (Por decidir)	T9

Tabla 12.5 Código de Tipo. Origen: Norma ISO 6346. Tomado de [15].

En resumen, las marcas obligatorias que debe llevar un contenedor son:

- 1- Marca donde indica el Peso Bruto Máximo y la tara.
- 2- Una que indique la altura.
- 3- Placa convenio aduanero.
- 4- Tratamiento de la madera.
- 5- Datos del propietario.
- 6- Placa CSC.



En la siguiente imagen vemos como están distribuidas las marcas en un contenedor:



Imágen 12.9 Ejemplo Marcas Contenedor. Tomado de [15].

13. CÁLCULO DE DIMENSIONES PRINCIPALES Y COEFICIENTES

Nuestros datos de partida son la autonomía del buque, la velocidad de servicio y el número de contenedores. Como los datos proporcionados son pocos para obtener las dimensiones de un buque, debemos hacer una base de datos con buques cuyas características sean parecidas. Una vez hecha, mediante rectas de regresión, obtendremos las dimensiones principales de nuestro buque y una vez obtenidas las dimensiones principales, ya podremos usar fórmulas empíricas para la obtención de los coeficientes.

Dados los datos de partida, podemos decir que nuestro buque va a ser un portacontenedores relativamente grande, ya que su capacidad de número de TEUS es de 7900. Nuestra base de datos se compone de 31 buques, similares al buque que queremos obtener. Tenemos que tener en cuenta que una base de datos más grande nos proporcionaría mejores resultados, ya que cuantos más buques tengamos, más exactas serán nuestras obtenciones de las dimensiones y los coeficientes. Debido a la poca información de las características de estos buques hemos realizado una selección de 31 buques.



13.1. Base de datos

Buque	año de entre	Nº de TEUs	Peso Muerto	Desplazamie	Eslora Total (Eslora entre	Manga (m)
Shabdis	2009	6572	86018	110400	299,2	286,88	40
Ever Shine	2005	7024	78693	107537	300	285	42,8
MSC Maeva	2005	8034	105007	135551	324,83	309,2	42,93
Mol Creation	2007	8110	90438		316	302	45,6
SM Charleston	2005	8214	103378	135445	334,08	319	42,8
Maersk Semarang	2007	8715	108448	141076	332,58	317,22	43,32
MSC Pamela	2005	9200	117064	153323	336,54	321	45,64
Axel Maersk	2003	6600	109000	146777	352,25	336,4	42,94
Kure	1996	6418	84900		318,24	302,28	42,92
Svendborg Maersk	1998	8160	110387	142795	346,98	331,5	42,8
Gudrun Maersk	2005	9074	126591	156301	366,93	351,08	42,94
Colombo Express	2005	8235	103800		335,47	319	42,94
Charlotte Maersk	2002	9612	109657	142795	346,98	331,54	42,8
Gerd Maersk	2006	6600	126453	156301	366,93	351,08	42,94
Kyoto Express	2005	8235	103800	139011	335	319	42,94
Tempanos	2011	8000	94649	123760	299,96	285	45,63
Torrente	2011	8000	94661	123761	299,92	285	45,63
Sofia Express	2010	8600	104007		335,06	319	42,8
Cisnes	2015	9300	104544		299,9		48,2
Dalian Express	2001	7506	100006		320,58	304	42,8
Maipo	2010	6589	81002	107656	305,6	293,16	40
Jazan	2008	6921	85463	112683	306	292	40,05
Yantian Express	2002	7179	100003		320,58	304	42,8
Prague Express	2010	8600	104014		335,94	319	42,94
Osaka Express	2007	8606	103681	139010	335,47	319	42,94
Tucapel	2012	8000	94707	123761	299,92	285	45,63
Gjertrud Maersk	2005	9074	126453	156301	366,9	351,03	42,8
Clifford Maersk	1999	8160	110307	142795	346,98	331,5	42,8
Ever Smart	2006	7024	78716	107537	299,99	285	42,91
Mol Celebration	2008	8110	90409		316	302	45,6
Cpo Hamburgo	2009	8600	103446	136937	334,11	319	42,87



Buque	Puntal (m)	Calado (m)	Velocidad de	Velocidad m	GT
Shabdis	20,27	14,5	25	27	
Ever Shine	24,2	12,8	25,2		
MSC Maeva	24,6	14,5	25	27,3	89954
Mol Creation	25	14,54	29	30,1	86692
SM Charleston	20,14	14,67	24,1	26	91649
Maersk Semarang	24,5	15,02	25,4	26,7	94322
MSC Pamela	27,2	15,5	25		108930
Axel Maersk	24	15	26,5	27,8	93496
Kure	24,1	14	25		81488
Svendborg Maersk	24,1	14,5	24,6	26,1	91560
Gudrun Maersk	24,1	15	24,6	26,1	98648
Colombo Express	24,5	14,61	25	27,3	93750
Charlotte Maersk	24,1	14,93	24,5		92198
Gerd Maersk	24,1	15	24,6	25,9	98648
Kyoto Express	24,5	14,61	25,2		93750
Tempanos	24,6	13,5	25,3	27,6	88586
Torrente	24,6	13,5	25,3		88586
Sofia Express	24,5	14,61	25	27,2	93750
Cisnes	25	14			93685
Dalian Express	24,5	14,5	25	26,8	88493
Maipo	24,2	14	25,5	27,4	75752
Jazan	24,5	14,5	25		75579
Yantian Express	24,5	14,5	25	26,8	88493
Prague Express	24,5	14,61	25,6		93750
Osaka Express	24,5	14,61	25,2	27	93750
Tucapel	24,6	13,5	25		88586
Gjertrud Maersk	24,1	15	25		98648
Clifford Maersk	24,1	14,5	24,6	26,1	92198
Ever Smart	24,2	14,2	23,5	25	75246
Mol Celebration	25	14,54	28,4	29,6	86692
Cpo Hamburgo	24,8	14,61	25		91023



Buque	Potencia (kV)	Revoluciones	nº contenedores	n cont en mar	nº cont en pu	nº cont sobre
Shabdis	57200	102				
Ever Shine	54900		3024	15	9	4000
MSC Maeva	68640		3852	15	9	4182
Mol Creation	62920	102	3494	16	9	4616
SM Charleston	68640	94	3835	15	9	4379
Maersk Semarang	68520	104	3723	15	9	4592
MSC Pamela	68520		4641	16	10	4515
Axel Maersk	63000	100				
Kure	54840					
Svendborg Maersk	55681	103				
Gudrun Maersk	68640	102				
Colombo Express	68640	102	3717	15	9	4518
Charlotte Maersk	63917					
Gerd Maersk	61776	107				
Kyoto Express	68640					
Tempanos	43610	100	3715	15	9	4285
Torrente	43610	100	3715	15	9	4285
Sofia Express	57200	102				
Cisnes						
Dalian Express	68640					
Maipo	57200	102				
Jazan	62920	102				
Yantian Express	68640					
Prague Express	57200	102				
Osaka Express	68640	102				
Tucapel	43610	100				
Gjertrud Maersk	68640	102				
Clifford Maersk	55681					
Ever Smart	54942	100	3024	15	9	4000
Mol Celebration	62920	102	3494	16	9	4616
Cpo Hamburgo	72240	102				

Tabla 13.1 Base de Datos. Elaboración propia en base a [21] y [22].



DATOS DE PARTIDA DEL BUQUE:

TIPO DE BUQUE: PORTACONTENEDORES

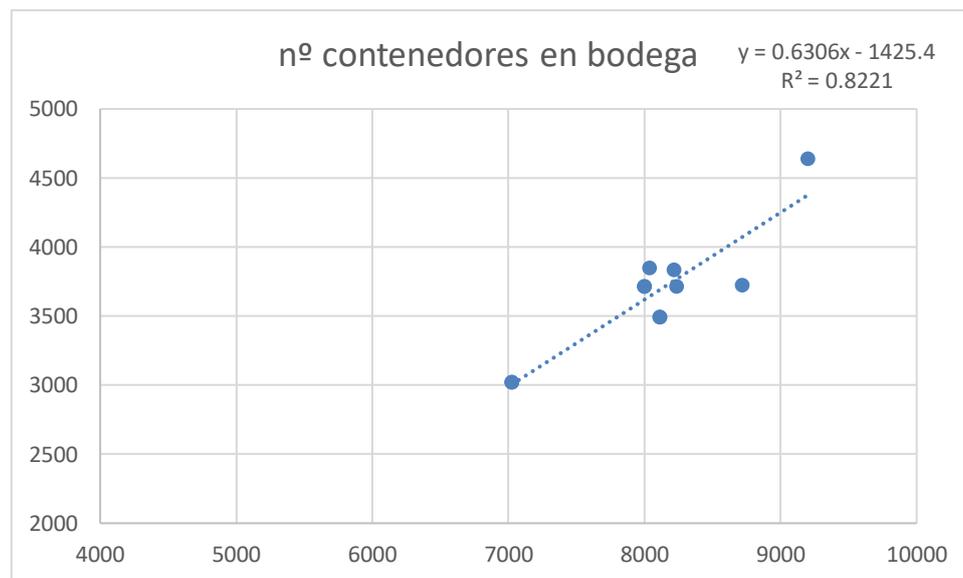
Nº DE TEUS: 7900

VELOCIDAD DE SERVICIO: 24,5 KN AL 85% DEL MCR EN PRUEBAS

14. DIMENSIONES PRINCIPALES

14.1. Cálculo del número de contenedores en bodega

El barco portacontenedores llevará un determinado número de contenedores en cubierta y sobre cubierta. Nosotros sabemos el número total que va a llevar, pero no la distribución de los mismos, para ello relacionamos el número total de contenedores con el número de contenedores en bodega de los buques disponibles en la base de datos y resulta de la siguiente manera:



Gráfica 14.1 Recta de regresión entre el número total de contenedores y los de bodega.

$$\text{Nº de contenedores en bodega: } 0,6306 \cdot x - 1425,4$$

Ecuación 14.1



Donde $x = 7900$.

Nº de contenedores en bodega del buque proyecto = $0,6306 \cdot 7900 - 1425,4 = 3556,34 \approx 3556$ TEUS.

Por lo que, el número de contenedores en cubierta, será la diferencia de los contenedores totales menos los contenedores en bodega.

Nº de contenedores en cubierta = $7900 - 3556 = 4344$ TEUS.

14.2. Cálculo de la eslora entre perpendiculares en función del número de contenedores en bodega

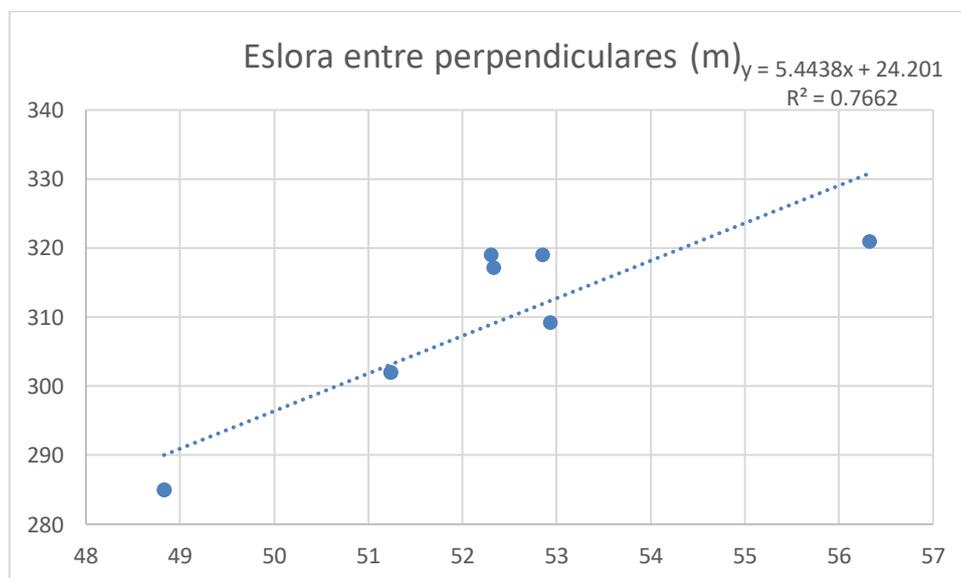
Para ello, relacionamos el volumen de contenedores en bodega y la eslora entre perpendiculares donde:

$NTB = \text{nº de contenedores en bodega} = 3556$.

$V_c = 38,5$.

$$X = (NTB \cdot V_c)^{1/3}$$

Ecuación 14.2



Gráfica 14.2 Recta de regresión Lpp-número de contenedores en bodega.



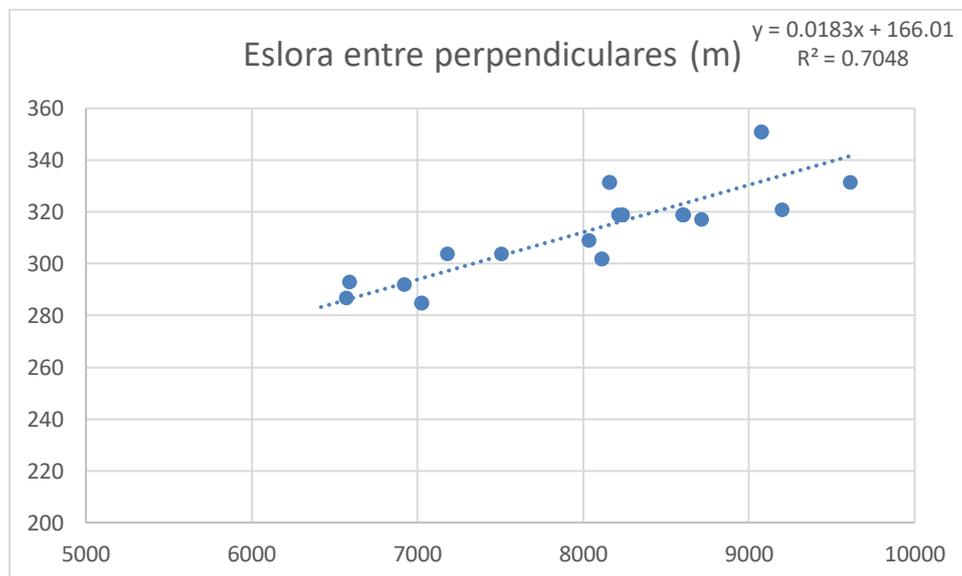
Entonces la eslora entre perpendiculares del buque proyecto será:

$$L_{pp} \text{ buque proyecto} = 5,4438 \cdot (3556 \cdot 38,5)^{1/3} + 24,201 = 304,78 \text{ m}$$

Ecuación 14.3

14.3. Cálculo de la eslora entre perpendiculares a partir del número de contenedores total

Relacionamos el nº de contenedores totales y las esloras entre perpendiculares de la base de datos, y queda de la siguiente manera:



Gráfica 14.3 Recta de regresión Lpp-número contenedores.

Donde x es el nº de contenedores totales que son 7900.

$$L_{pp} = 0,0183 \cdot x + 166,01$$

Ecuación 14.4

$$L_{pp} \text{ buque proyecto} = 0,0183 \cdot 7900 + 166,01 = 310,58 \text{ m.}$$

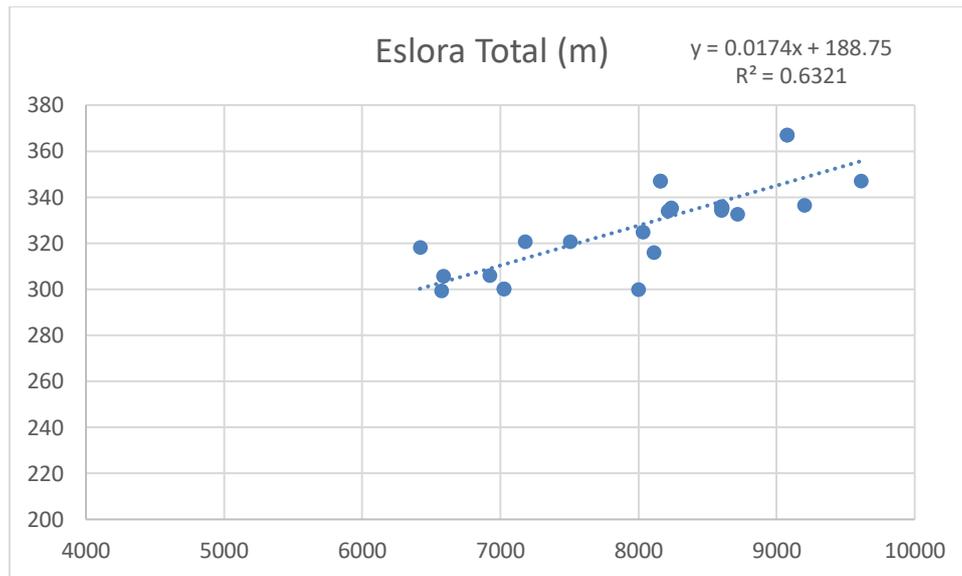
Hemos obtenido de dos formas la eslora entre perpendiculares de nuestro buque, pero nos quedaremos con la recta que mayor coeficiente de correlación tenga, ya que es más fiable. Por lo que nuestra eslora entre perpendiculares será:



Lpp buque proyecto= 304,78

14.4. Cálculo de la eslora total a partir del número de Contenedores total

El número de contenedores es un factor muy importante en nuestro proyecto, ya que éste nos puede determinar la eslora total de nuestro buque:



Gráfica 14.4 Recta de regresión Loa-número de contenedores.

$$\text{Eslora total (Loa)} = 0,0174 \cdot x + 188,75$$

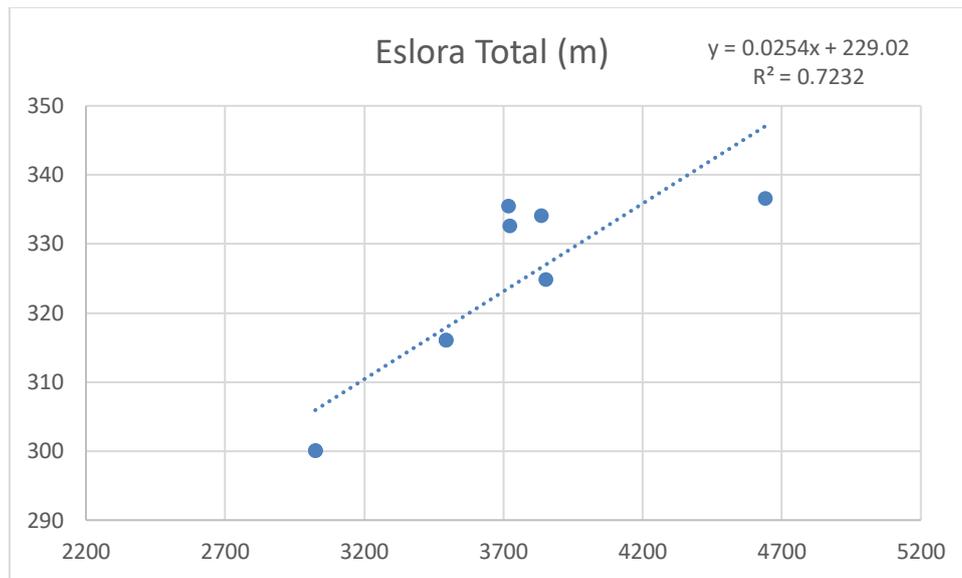
Ecuación 14.5

Donde x es el número total de contenedores, 7900:

$$\text{Eslora total (Loa)} = 0,0174 \cdot 7900 + 188,75 = 326,21 \text{ m}$$

14.5. Cálculo de la eslora total en función del número de contenedores en bodega

También podemos calcular la eslora total en función de los contenedores en bodega. Para ello debemos saber primero el volumen de contenedores en bodega. Quedando los resultados de la siguiente manera:



Gráfica 14.5 Recta de regresión Loa-número de contenedores en bodega.

$$\text{Eslora total} = 0,0254 * x + 229,02$$

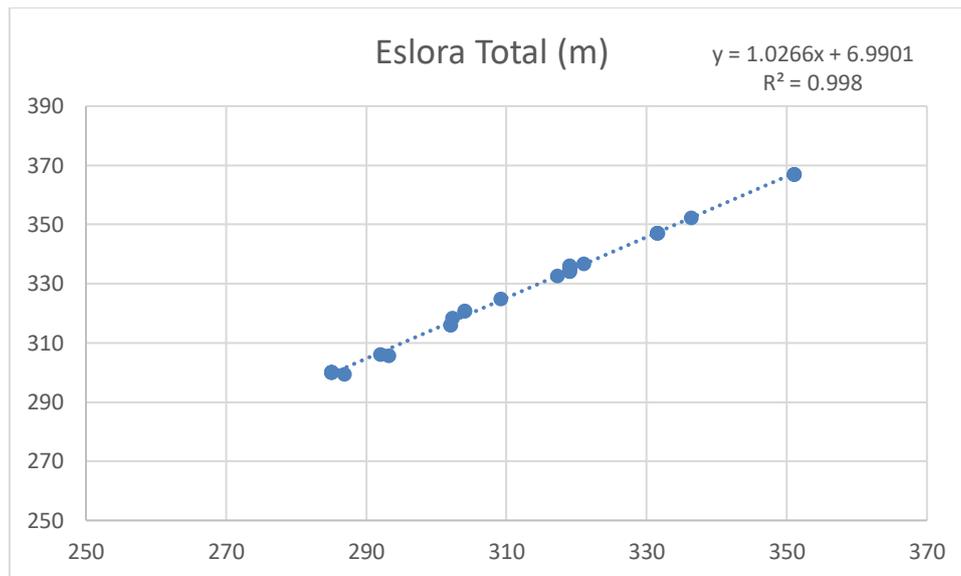
Ecuación 14.6

Donde $x = n^{\circ}$ de contenedores en bodega, por lo que la eslora total sería:

$$\text{Eslora total (Loa)} = 0,0254 * 3556 + 229,02 = 319,35 \text{ m}$$

14.6. Cálculo de la eslora total a partir de la eslora entre perpendiculares

Relacionamos las dos esloras, donde la recta de regresión nos proporciona un coeficiente de correlación muy alto. Por lo que, aunque hemos obtenido de 3 formas la eslora total nos quedaremos con ésta:



Gráfica 14.6 Recta de regresión Loa-Lpp.

Donde x será la eslora entre perpendiculares, hallada anteriormente.

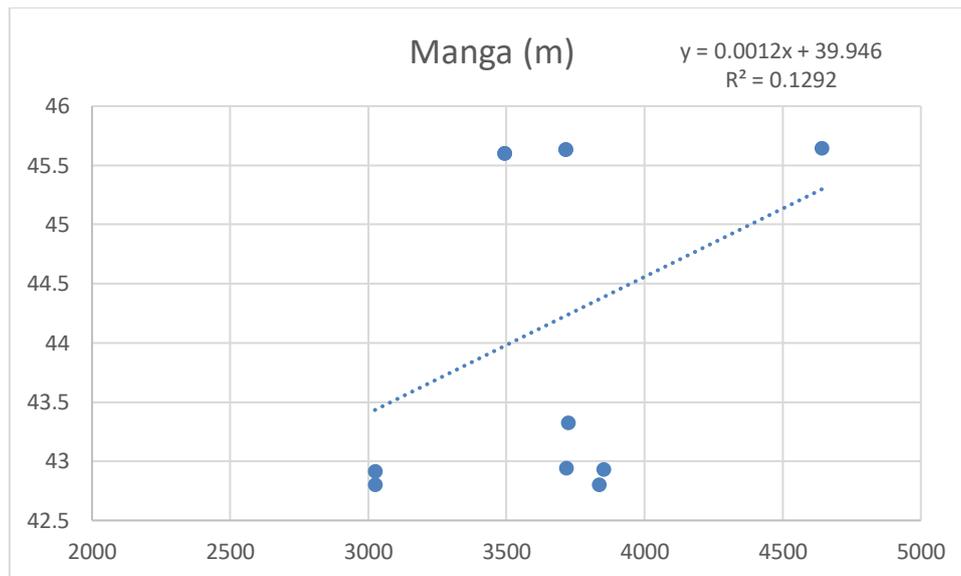
$$\text{Loa} = 1,0266 * x + 6,9901$$

Ecuación 14.7

$$\text{Loa buque proyecto} = 1,0266 * 304,78 + 6,9901 = 319,88\text{m}$$

14.7. Cálculo de la manga a partir del número de contenedores en bodega

Al igual que la eslora, podemos relacionar el número de contenedores en bodega con la manga. El resultado es el siguiente:



Gráfica 14.7 Recta de regresión Manga-número de contenedores en bodega.

Donde x será el número de contenedores en bodega, 3556.

$$B = 0,0012 * x + 39,946$$

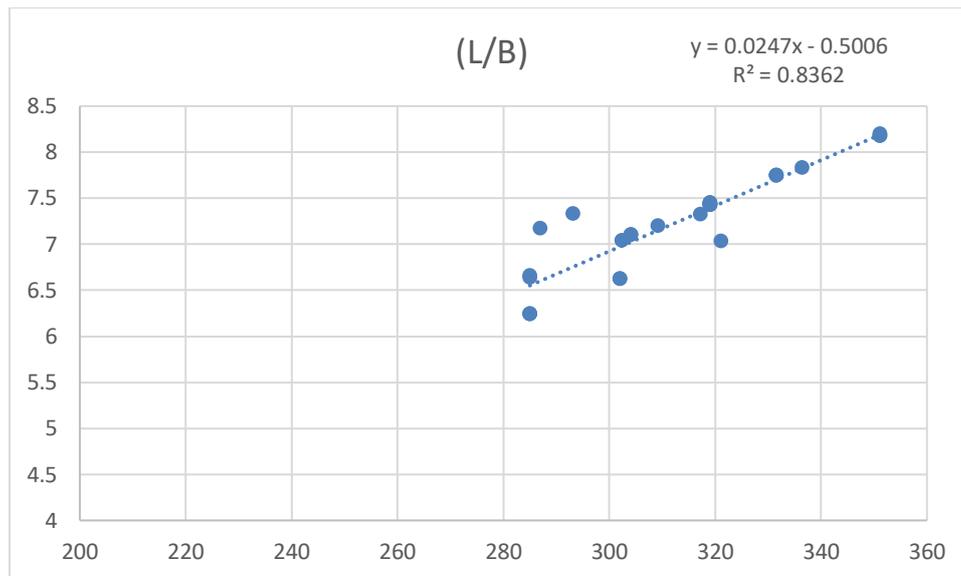
Ecuación 14.8

$$B = 0,0012 * 3556 + 39,946 = 44,21m$$

El coeficiente de correlación es bastante bajo por lo que buscamos otras relaciones.

14.8. Cálculo de la manga a partir de la eslora entre perpendiculares y la relación LPP/B

Lpp/B es un parámetro adimensional, que muchas veces nos puede servir para estimar las dimensiones de nuestro buque, por lo que la siguiente recta queda:



Gráfica 14.8 Recta de regresión L_{pp} -L/B.

Donde x será la eslora entre perpendiculares, de modo que:

$$L/B = 0,0247 * x - 0,5006 = 7,027$$

Ecuación 14.9

Por lo que si despejamos la manga (B):

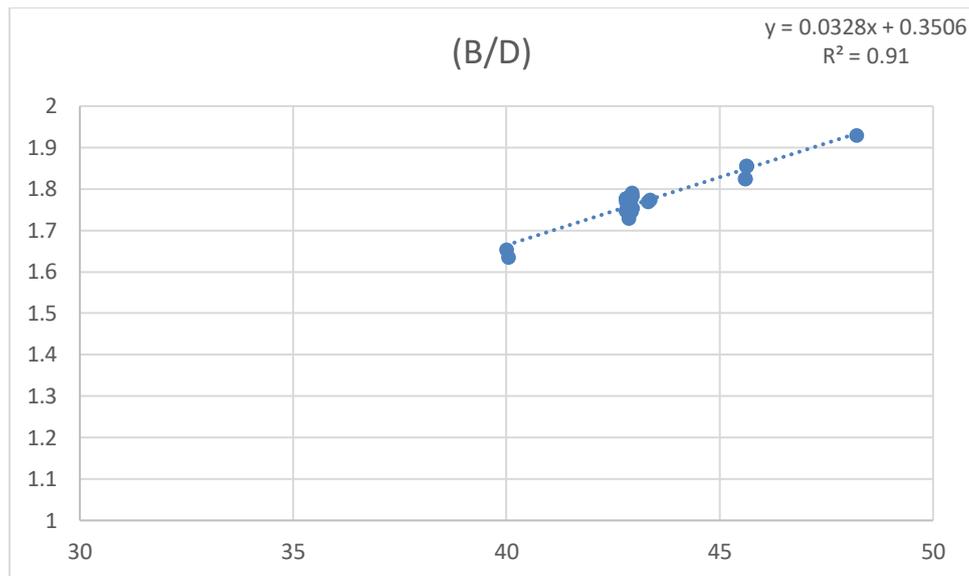
$$B = L / 0,0247 * x - 0,5006 = 43,37m$$

Ecuación 14.10

En esta relación, si nos fijamos, el coeficiente de correlación es mucho mayor que el anterior, por lo que nos quedaremos con éste, siendo nuestra manga 43,37m.

14.9. Cálculo del puntal a partir de la manga y la relación de manga y puntal (B/D)

B/D es un parámetro adimensional, que muchas veces nos puede servir para estimar las dimensiones de nuestro buque, por lo que la siguiente recta queda:



Gráfica 14.9 Recta de regresión D-B/D.

Nuestro coeficiente de correlación es muy bueno, por lo que nuestro puntal (D) estará bastante ajustado. Viendo la recta, el parámetro x será la manga, quedando así los siguientes resultados:

$$B/D = 0,0328 * x + 0,3506 = 1,773$$

Ecuación 14.11

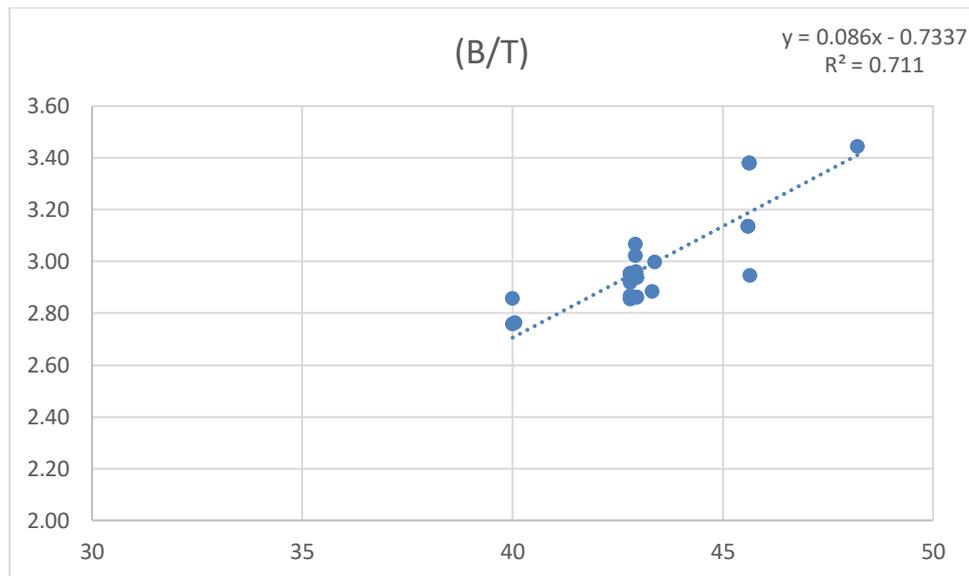
Despejando D:

$$D = B / 0,0328 * x + 0,3506 = 24,46 \text{ m}$$

Ecuación 14.12

14.10. Cálculo del calado a partir de la manga y la relación B/T

B/T es un parámetro adimensional, que muchas veces nos puede servir para estimar las dimensiones de nuestro buque, por lo que la siguiente recta queda:



Gráfica 14.10 Recta de regresión T-B/T.

Siendo x el valor de nuestra manga obtenida, la relación adimensional y el puntal obtenido son los siguientes:

$$B/T = 0,086 * X - 0,7337 = 2,996$$

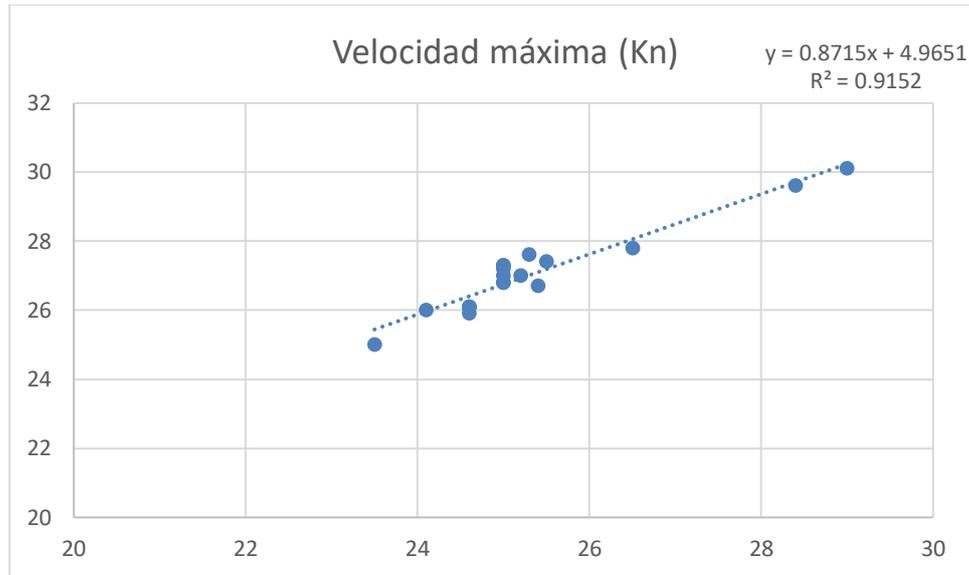
Ecuación 14.13

$$T = B / 0,086 * X - 0,7337 = 14,48m$$

Ecuación 14.14

14.11. Cálculo de la velocidad máxima del buque a partir de la velocidad de servicio

Para calcular la velocidad máxima, podemos obtenerla relacionando: las velocidades máximas que tenemos en la base de datos con las velocidades de servicio, también proporcionada en la base de datos. Esta velocidad vendrá en nudos, de tal forma que la recta de regresión queda de la siguiente manera:



Gráfica 14.11 Recta de regresión Vmax-Vserv.

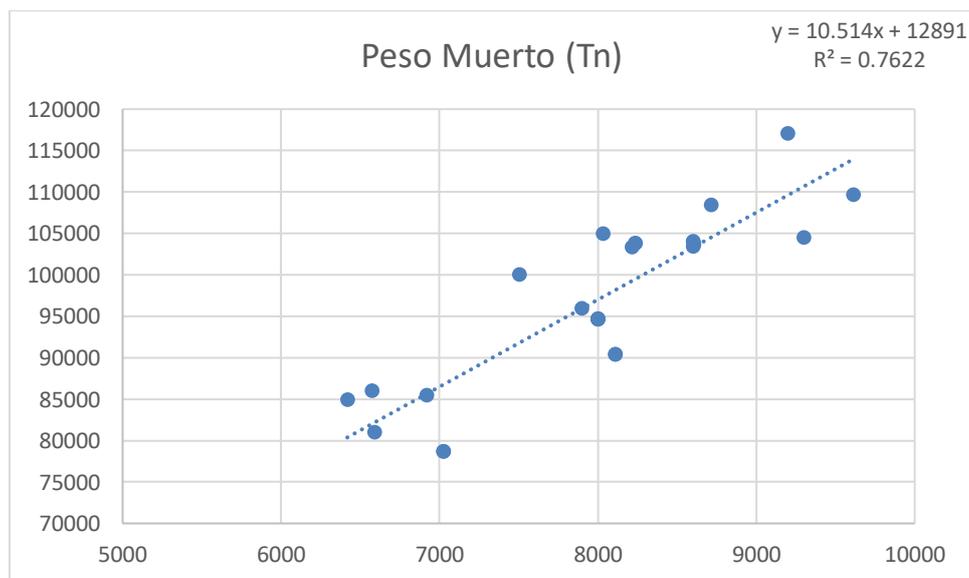
Siendo la x nuestra velocidad de servicio, la velocidad máxima que llevará nuestro buque será:

$$V_{max} = 0,8715 \cdot X + 4,1 = 26,3 \text{ kn}$$

Ecuación 14.15

14.12. Cálculo del peso muerto a partir del número de Contenedores total

Al relacionar los contenedores, podremos obtener el peso muerto de nuestro buque en toneladas. La recta de regresión nos queda de la siguiente manera:



Gráfica 14.12 Recta de regresión PM-número de contenedores.



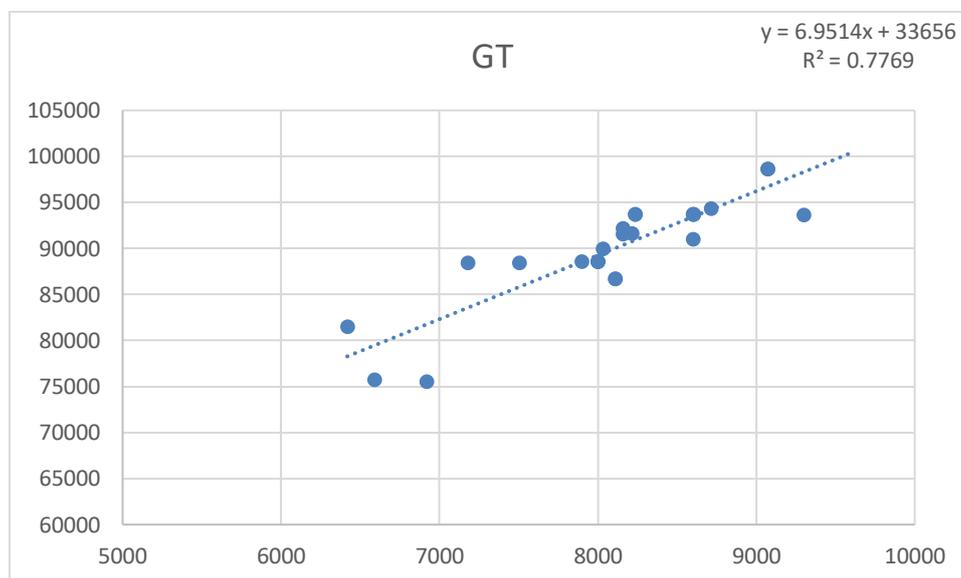
Siendo x el número de contenedores que lleva nuestro buque, que era un dato de partida obtendremos nuestro peso muerto:

$$\text{Peso muerto} = 10,514 * X + 12891 = 95951,6 \text{ t}$$

Ecuación 14.16

14.13. Cálculo del arqueo bruto a partir del número de contenedores totales

Al relacionar estas dos dimensiones, la recta de regresión se nos queda de la siguiente manera:



Gráfica 14.13 Recta de regresión GT-número de contenedores.

Siendo x el número de contenedores que lleva nuestro buque, que era un dato de partida, el arqueo bruto vendrá dado por:

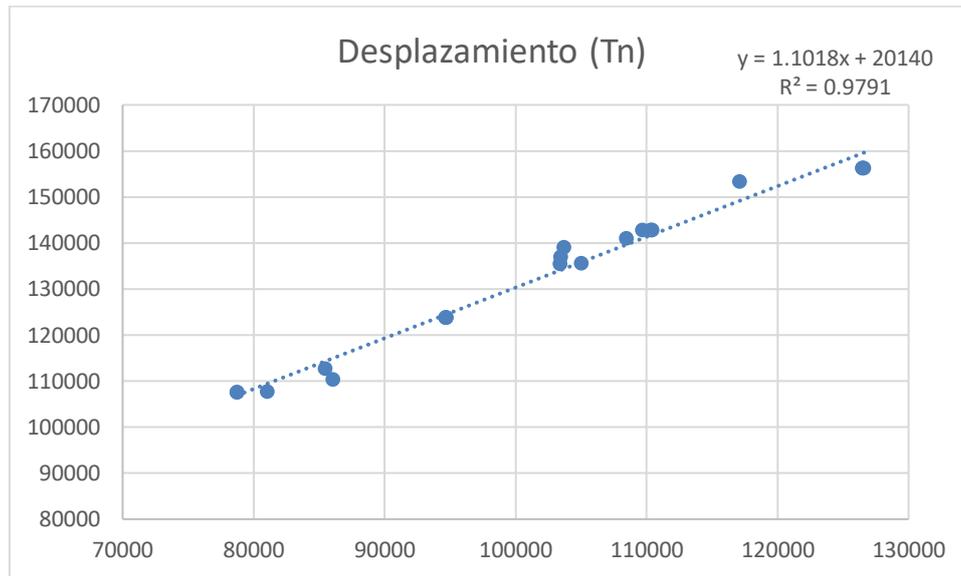
$$GT = 6,9514 * X + 33656 = 88572,06$$

Ecuación 14.17



14.14. Cálculo del desplazamiento a partir del peso muerto

El desplazamiento del buque está relacionado con el peso muerto, por lo que la recta de regresión obtenida queda de la siguiente manera:



Gráfica 14.14 Recta de regresión Desplazamiento-PM.

Siendo x nuestro peso muerto, el desplazamiento de nuestro buque sería:

$$\text{Desplazamiento} = 1,1018 \cdot X + 20140 = 125859,47 \text{ t}$$

Ecuación 14.18

Ya hemos hallado las dimensiones principales de nuestro buque, por lo que la tabla resumen de estas dimensiones es la siguiente:



RESUMEN DIMENSIONES Y CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES	
Nº TEUS	7900,00
PESO MUERTO(t)	95951,60
DESPLAZAMIENTO(t)	125859,47
LOA(m)	319,88
LPP(m)	304,78
B(m)	43,37
T(m)	14,48
D(m)	24,46
VSERV(kn)	24,50
VMAX(kn)	26,32
GT	88572,06
L/B	7,027
B/D	1,773
B/T	2,996
T/D	0,592
L/D	12,461
L/T	21,055

Tabla 14.1 Resumen dimensiones principales.

15. CÁLCULO DE LAS FORMAS DEL BUQUE

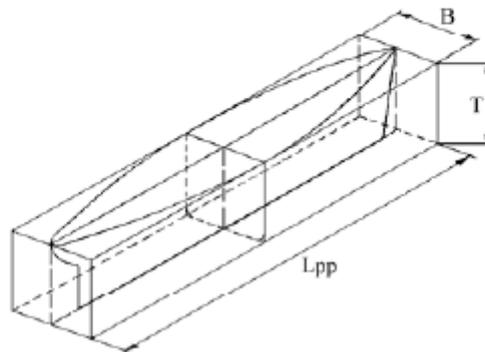
En este apartado calcularemos todos los coeficientes de formas del buque con distintos métodos, así como su posición longitudinal del centro de gravedad. Éstos son de suma importancia, ya que nuestra resistencia al avance dependerá mucho de ellos.

15.1. Coeficiente de Bloque

El coeficiente de bloque es la relación existente entre el volumen de carena y el volumen del paralelepípedo circunscrito, y como dimensiones para éste cálculo tendremos: de lados, la eslora entre perpendiculares, la manga en la flotación de trazado y el calado de trazado. Cuanto mayor sea el coeficiente de bloque, mayor es la resistencia al avance, mayor tiene que ser la potencia propulsora a instalar y mayor será el consumo. Reflejándose figuradamente y analíticamente en la siguiente fórmula y dibujo:



$$Cb = \frac{\nabla}{L_{pp} B T}$$



Ecuación 15.1

En nuestro buque proyecto, a partir del desplazamiento, la eslora entre perpendiculares, la manga y el calado, obtenidos a partir de la base de datos, calculamos el coeficiente de bloque. Hay varias formas de obtener el coeficiente de bloque y las veremos a continuación de ésta:

$$Cb = \Delta / (\rho * L_{pp} * B * T) = 125859,5 / (1,025 * 304,78 * 43,37 * 14,48) = 0,642$$

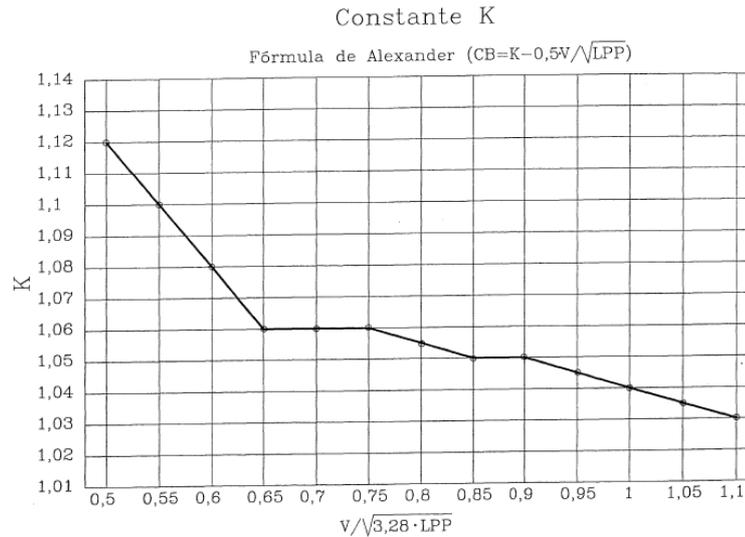
15.2. Obtención del Coeficiente de Bloque a partir de la fórmula de Alexander

La fórmula de Alexander vendrá dada por:

$$CB = K - 0,5V / (3,28 * LPP)^{\frac{1}{2}}$$

Ecuación 15.2

Donde el parámetro K, se obtiene de la siguiente gráfica:



Gráfica 15.1 Fórmula de Alexander. Tomado de [12].

Como vemos, primero tendremos que hallar el valor con el que entrar en el eje X de la gráfica es el siguiente:

$$v/\sqrt{3,28 * Lpp} = 24,5/\sqrt{3,28 * 304,78} = 0,775$$

Ecuación 15.3

Ya obtenido el valor de entrada, podemos calcular el parámetro K, éste va a tener un error, ya que se comete un error humano al mirar la gráfica, ya que una persona puede ver un valor y otra persona puede ver otro:

Valor de K obtenido de la gráfica: 1,058.

Hallado el valor K, ya podemos obtener el coeficiente de bloque a partir de la fórmula de Alexander:

$$CB= K-0,5V(3,28 * LPP)^{1/2}= 1,058 - 0,5 * 24,5 * (3,28 * 304,78)^{1/2}= 0,67$$

Ecuación 15.4

15.3. Cálculo del Coeficiente de Bloque a partir de la fórmula de Towsin

Dicha ecuación vendrá dada por:

$$CB = 0,7 + 0,125 \operatorname{atan}(25(0,23 - FN))$$

Ecuación 15.5



Donde F_n es el número de Froude, que se calcula de la siguiente manera:

$$F_n = \frac{V}{\sqrt{g * L}}$$

Ecuación 15.6

Donde la velocidad vendrá, en vez de en nudos, en metros por segundo:

$$F_n = (24,5 * 0,51445) / \sqrt{(9,81 * 304,78)} = 0,22488314$$

Una vez obtenido el número de Froude, ya podemos averiguar el coeficiente de bloque a partir de la fórmula de Townsin:

$$CB = 0,7 + 0,125 \operatorname{atan}(25(0,23 - F_n)) = 0,7 + 0,125 \operatorname{atan}(25 - (0,23 - 0,225)) = 0,700$$

15.4. Cálculo del Coeficiente de Bloque a partir de la fórmula de Schneekluth

Schneekluth ofrece dos opciones para calcular el coeficiente de bloque. Dichas opciones son válidas si nuestro número de Froude está comprendido entre 0,14 y 0,32. En nuestro buque proyecto cumplimos con esos límites, por lo que obtendremos el coeficiente de bloque a partir de las dos opciones, las cuales son:

$$\text{a) } CB = \frac{0,14}{F_n} \times \frac{LPP/B + 20}{26}$$

$$\text{b) } CB = \frac{0,23}{F_n^{2/3}} \times \frac{LPP/B + 20}{26}$$

Ecuación 15.7



Opción a):

$$CB = 0,14/0,225 * (7,027 + 20)/26 = 0,647$$

Opción b):

$$CB = 0,23/(0,225)^{(2/3)} * (7,027 + 20)/26 = 0,647$$

15.5. Cálculo del Coeficiente de Bloque a partir de la fórmula de Katsoulis

La fórmula de Katsoulis para obtener el coeficiente de bloque viene dada por:

$$CB = 0,8217 f \times LPP^{0,42} \times B^{-0,3072} \times T^{0,1721} \times V^{-0,6135}$$

Ecuación 15.8

Donde f será un factor de corrección según el tipo de buque. Éste factor de corrección en nuestro caso, será de valor 1, pero podemos ver los distintos valores para los distintos tipos de buques:

Roros	0,97
Frigoríficos	0,97
Cargueros	0,99
Petroleros de crudo	0,99
Portacontenedores	1,00
Obos	1,00
Graneros	1,03
Gaseros	1,04
Petroleros de productos	1,05
Quimiqueros	1,06
Ferries	1,09

Tabla 15.1 Coeficientes Fórmula de Katsoulis. Tomado de [12].

Sabiendo ya nuestro factor de corrección, sustituimos datos en la ecuación de Katsoulis y calculamos nuestro coeficiente de bloque:



$$CB = (0,8217 * 1) * ((304,78)^{0,42}) * ((43,3)^{-0,3072}) * ((14,48)^{0,1721}) * ((24,5)^{-0,6135}) \\ = 0,635$$

Sin embargo, una vez obtenido el coeficiente de bloque de diversas formas, haremos la media aritmética de ellos, obteniendo así finalmente nuestro coeficiente de bloque:

$$CB = \frac{0,642 + 0,7 + 0,647 + 0,647 + 0,635 + 0,67}{6} = 0,657$$

Ecuación 15.9

15.6. Cálculo del Coeficiente de la Maestra (CM)

El coeficiente de la maestra vendrá dado por: la relación entre el área de la cuaderna maestra por debajo de la flotación de trazado y el área del rectángulo que la circunscribe. Lo podemos ver reflejado en la siguiente figura:

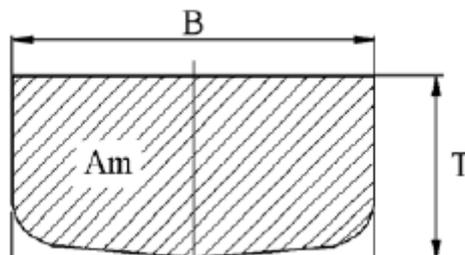


Imagen 15.1 Area de la maestra. Tomado de [4].

Donde su fórmula será:

$$Cm = \frac{Am}{BT}$$

Ecuación 15.10

Nosotros, con la base de datos proporcionada, no sabemos el área de la cuaderna maestra. La podríamos obtener metiendo las dimensiones de nuestro barco en el programa Maxsurf, pero vamos a conseguir este coeficiente mediante las fórmulas de Kerlen, HSVa y Meizoso. Estas fórmulas son obtenidas a partir de experimentos hidrodinámicos, los cuales se relacionan con el coeficiente de bloque del buque.



15.7. Cálculo del Coeficiente de la Maestra a partir de la fórmula de Kerlen

La fórmula vendrá dada por:

$$CM = 1,006 - 0,0056 CB^{-3,56}$$

Ecuación 15.11

El coeficiente de bloque (CB) será el hallado anteriormente = 0,657

$$CM = 1,006 - 0,0056 * ((0,657)^{-3,56}) = 0,981$$

15.8. Cálculo del Coeficiente de la Maestra a partir de la fórmula del HSVA

$$CM = \frac{1}{1 + (1 - CB)^{3,5}}$$

Ecuación 15.12

Sustituyendo nuestro coeficiente de bloque, ya podemos obtener el coeficiente de la maestra:

$$CM = \frac{1}{1 + (1 - 0,657)^{3,5}} = 0,977$$



15.9. Cálculo del Coeficiente de la Maestra a partir de la fórmula de Meizoso

Ésta solo sirve para buques portacontenedores y RO-ROS, y viene dada de la siguiente manera:

$$CM = 1 - 0,062 FN^{0,792}$$

Ecuación 15.13

Sustituyendo nuestro número de Froude, hallado anteriormente, obtenemos el coeficiente de la maestra:

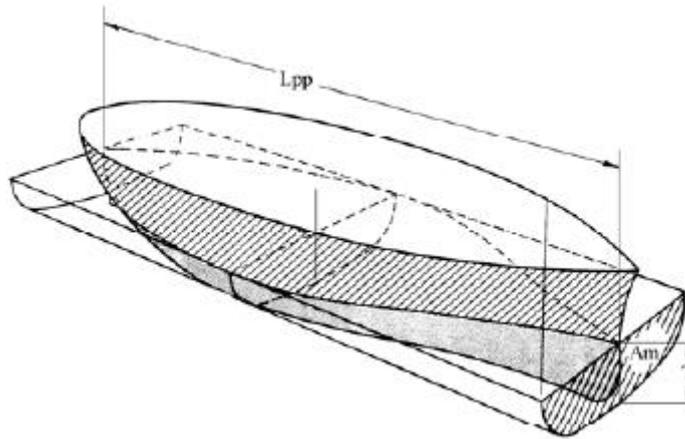
$$CM = 1 - 0,062 * (0,225)^{0,792} = 0,981$$

Finalmente, nuestro coeficiente de la maestra será la media aritmética de los coeficientes hallados anteriormente:

$$CM = \frac{0,981 + 0,977 + 0,981}{3} = 0,98$$

15.10. Cálculo del Coeficiente Prismático Longitudinal

Este puede ser llamado coeficiente prismático horizontal, o simplemente coeficiente prismático. Éste será la relación entre el volumen de carena y el volumen de un cilindro de sección recta, el área de la cuaderna maestra y por debajo de la flotación de trazado y de longitud la eslora entre perpendiculares. Este coeficiente da una idea de cómo está repartido el volumen del buque, ya que cuanto más alto sea, mayor cuerpo cilíndrico tendrá. En buques portacontenedores o de carga se suele buscar que este cuerpo cilíndrico sea mayor, por lo que se suele disminuir el coeficiente de la maestra, aumentando así el coeficiente prismático y consiguiendo un mayor cuerpo cilíndrico, por lo que quizás más adelante hagamos una modificación del cuerpo cilíndrico de nuestro buque. La representación, figuradamente y analíticamente, del coeficiente prismático es la siguiente:



Imágen 15.2 Coeficiente prismático. Tomado de [4].

$$C_{ph} = \frac{\nabla}{A_m L_{pp}}$$

Ecuación 15.14

O

$$C_{ph} = \frac{C_b}{C_m}$$

Ecuación 15.15

En nuestro caso el resultado es el siguiente:

$$CP = \frac{0,657}{0,98} = 0,67$$

15.11. Cálculo del Coeficiente de la Flotación

Este coeficiente viene definido por la relación entre el área de la flotación al calado de trazado y el área del rectángulo circunscrito, el cual será de lados la eslora entre perpendiculares y la manga de trazado. A continuación, lo vemos figuradamente y analíticamente:

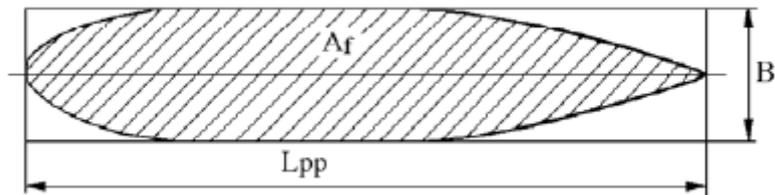


Imagen 15.3 Coeficiente de la flotación. Tomado de [4].

$$C_f = \frac{A_f}{L_{pp} B}$$

Ecuación 15.16

Con esta forma de hallar este coeficiente tenemos que tener el área de la flotación, la cual no tenemos, por lo que tendremos que obtener este coeficiente mediante otras fórmulas.

15.12. Cálculo del Coeficiente de la Flotación a partir de la fórmula de Schneekluth

El coeficiente de la flotación tiene cierta influencia en la resistencia hidrodinámica, pero mucha más importancia sobre la estabilidad inicial. Ahora, según “El proyecto Básico del Buque Mercante” [12], podemos calcularlo de las siguientes maneras:

-Para secciones en U:

$$CF = \frac{1 + 2CB}{3}$$

Ecuación 15.17

-Para secciones en V:

$$CF = \frac{1 + 2 * CB / \sqrt{CM}}{3}$$

Ecuación 15.18



Nuestro buque se puede considerar que tiene las secciones en U, ya que no es un buque excesivamente rápido, no tiene un coeficiente de bloque demasiado bajo y un coeficiente de la maestra alto, por lo que se considera un buque de formas llenas. Por lo tanto utilizaremos la fórmula para el cálculo del coeficiente de bloque para secciones normales o en forma de U:

$$CF = \frac{1 + 2 * 0,657}{3} = 0,771$$

15.13. Cálculo del Coeficiente de la Flotación a partir de la fórmula de J.Tarroja

Para obtener el coeficiente de la flotación según J.Tarroja, se utiliza la fórmula siguiente:

$$CF = A + B * CB$$

Ecuación 15.19

Donde según el “Proyecto Básico del Buque Mercante”[12], los parámetros A y B están en función de U/V de las secciones transversales. Donde U/V se representa por la letra G, y obtendrá el valor 0 para formas acusadas en U y el valor 1 para formas en V, entonces A y B vienen dados por:

$$A = 0,248 + 0,049 * G$$

$$B = 0,778 - 0,035 * G$$

Ecuación 15.20

Como nuestro buque está principalmente formado por formas en U, el parámetro G tendrá el valor 0, por lo que A y B:

$$A = 0,248$$

$$B = 0,778$$

Sustituyendo en la fórmula anterior obtendremos el coeficiente de la flotación:



$$CF = 0,248 + 0,778 * 0,657 = 0,759$$

Haciendo una media aritmética entre los dos valores del coeficiente de la flotación obtenidos, obtendremos nuestro coeficiente de la flotación:

$$CF = \frac{0,759 + 0,771}{2} = 0,76$$

15.14. Cálculo de la Posición Longitudinal del Centro de Carena (XB)

La posición longitudinal del centro de carena XB, se determina en base a 2 aspectos: uno las condiciones hidrodinámicas, y el otro por los trimados en las distintas condiciones de carga.

Teóricamente existe un valor óptimo de XB para cada buque, en el cual se intenta conseguir que la posición longitudinal del centro de gravedad del buque coincida con XB. Es muy difícil que estas dos coincidan pero existen fórmulas aproximadas para hallar este XB, una es la fórmula de L.Troost y la otra según el canal de experiencias hidrodinámicas, MARIN.

15.15. Cálculo de XB a partir de la fórmula de Troost

L.Troost, nos indica el valor adecuado de XB para que la resistencia al avance sea mínima. Aquí XB, es la abcisa del centro de carena en porcentaje de Lpp respecto a la sección media, siendo sus valores negativos a popa de la sección media y positivos a proa. La fórmula de L.Troost vendrá dada de la siguiente manera:

$$XB = 17,5 * CP - 12,5$$

Ecuación 15.21

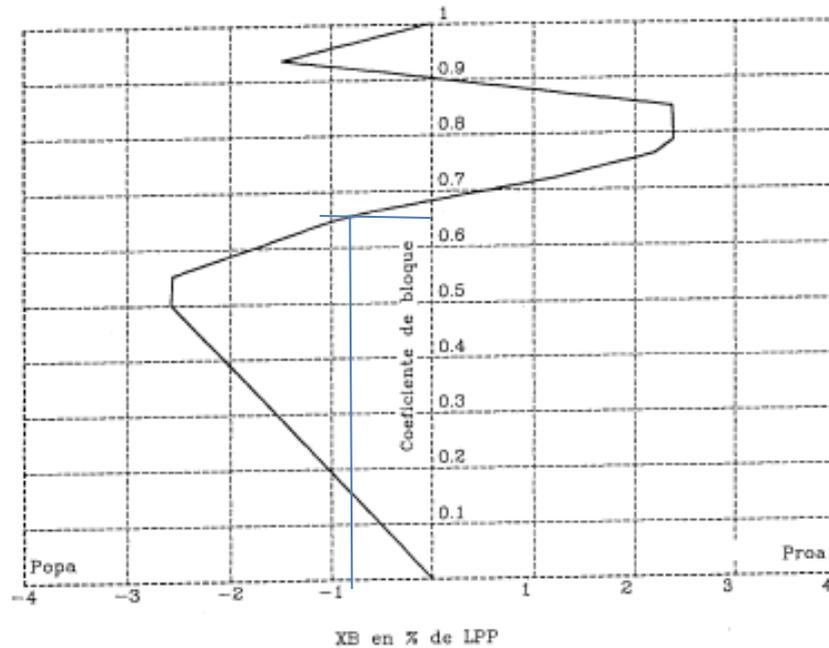
Sustituyendo datos obtenemos:

$$XB = 17,5 * 0,657 - 12,5 = -1,01$$



15.16. Cálculo de XB según el Canal de Experiencias Hidrodinámicas Marin

En relación a este canal existe un gráfico para la obtención del XB en función del coeficiente de bloque. En este vamos a cometer un error, de tipo humano, ya que a la hora de leer una gráfica una persona puede leer una cosa y la siguiente puede leer otra distinta. Este gráfico se refleja a continuación:



Imágen 15.4 Gráfica para el cálculo de XB, según el canal hidrodinámico Marin. Tomado de [12].

Sabiendo que nuestro coeficiente de bloque es 0,657 obtenemos el valor de XB

$$XB = 0,98$$

Por lo que haciendo una media aritmética de los dos valores obtenidos de XB, obtenemos:

$$XB = \frac{1,01 + ,098}{2} = 0,995 \approx 1$$



15.17. Semiángulo de entrada de la Flotación

Este ángulo influirá en la resistencia al avance del buque y, según “El Proyecto Básico del Buque Mercante” [12], se puede calcular de la siguiente manera:

$$ENTA = 125,67 B/LPP - 162,25 CP^2 + 234,32 CP^3 + + 0,1551 [XB + 6,8 (TA - TF) / T]^3$$

Ecuación 15.22

Donde:

-ENTA: semi ángulo de entra de la flotación.

-B: manga.

-LPP: eslora entre perpendiculares.

-CP: coeficiente prismático.

-XB: posición longitudinal del centro de carena.

-TA: calado a popa.

-TF: calado a proa.

-T: calado medio de la flotación.

Como tenemos todos los datos para calcular el semiángulo de entrada de la flotación, simplemente sustituimos en la fórmula proporcionada. Ese ángulo será:

$$ENTA = 125,67 * 0,14 - 162,25 * 0,67^2 + 234,32 * 0,67^3 + 0,1551 * \left(-1 + 6,8 * \frac{14,48 - 14,48}{14,48} \right)^3 = 15,4^\circ$$

Ahora bien, ya obtenidos todos estos datos, introducimos los mismos en el programa “Maxsurf” e intentamos que nos coincidan lo máximo posible. Claro está que estos valores son para un barco ideal, por lo que en el programa no nos va a coincidir, pero hay algunas dimensiones que nos tienen que coincidir exactamente y son las dimensiones principales, es decir, Lpp, B, T, D, y algún coeficiente. Que nos coincidan todos los coeficientes es prácticamente imposible, ya que, si realizamos transformaciones paramétricas grandes, se deforma el barco. Una vez dicho esto, el cálculo de la resistencia al avance lo haremos con los valores del programa “Maxsurf” y realizaremos el método de Holtrop con estos datos. Una vez obtenida dicha resistencia, podemos hacer una comparativa de los valores entre el método manual y el del propio programa.



Nuevos datos para el cálculo de la resistencia al avance, proporcionados por el programa “Maxsurf”:

Lpp	304,78
B	43,37
T	14,48
D	24,46
Cb	0,641
Cp	0,67
Cm	0,963

Tabla 15.2 Dimensiones y coeficientes según Maxsurf

Con estos datos ya podemos obtener todos los datos de partida (realizando algunos cálculos anteriores) para comenzar el estudio de la resistencia al avance. Los datos de partida son los siguientes:

16. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL BUQUE

Eslora entre perpendiculares, L_{pp} (m)	304,78
Eslora de flotación, L_f	311,31
Manga, B (m)	43,37
Calado medio, T_m (m)	14,48
Calado en popa, T_{PP} (m)	14,48
Calado en proa, T_{pr} (m)	14,48
Abscisa del centro de carena, LBC (%)	-1,136
Coefficiente de bloque, C_B	0,641
Coefficiente de la maestra, C_M	0,963
Coefficiente prismático, C_P	0,67



Coefficiente en la flotación, C_F	0,882
Área mojada del casco, S_m (m^2)	14606,63
Área mojada de los apéndices, S_{map} (m^2)	66,473
Área mojada del espejo, A_e (m^2)	0
Área transversal del bulbo, A_{BT} (m^2)	31,154
Altura del bulbo de proa, H_B (m)	5,483
Semiángulo de entrada en la flotación, I_E	16,9
Rugosidad del casco, K_s (μm)	150
Densidad, ρ (Kg / m^3)	1025,9
Viscosidad cinemática, μ (m^2 / s)	1,883E-06
Área de la cuaderna maestra, A_m (m^2)	604,762
Desplazamiento del buque, Δ (Tm)	128450,4

Tabla 16.1 Dimensiones principales finales.

Sin embargo, antes de reflejar los cálculos realizados para la obtención de la resistencia al avance y la potencia efectiva necesaria para vencer esa resistencia, vamos a hablar y explicar brevemente en qué consiste esta resistencia al avance y los elementos que la componen.



17. RESISTENCIA AL AVANCE

Como bien sabemos, cualquier objeto que se mueve está sometido a una resistencia que le impide avanzar. En nuestro caso no es menos, y además será bastante grande debido a las dimensiones del buque en cuestión

Llamaremos resistencia al avance de un buque a una determinada velocidad a la fuerza necesaria que se necesita para remolcar al buque a dicha velocidad en un fluido

La resistencia al avance nos va a permitir conocer de forma aproximada la potencia propulsora que debemos instalar, lo que nos permitirá en la fase de proyecto seleccionar un motor “adecuado” y una aproximación económica.

Para vencer la resistencia al avance deberemos obtener una potencia que venza a ésta, la cual es denominada potencia de remolque o efectiva y viene dada por la siguiente expresión:

$$EHP = \frac{Rt * V}{75}$$

Ecuación 17.1

Donde:

Rt= Resistencia al avance en Kp.

V= Velocidad del buque en m/s.

EHP= potencia efectiva o de remolque en Cv.

Ahora bien, dependiendo de cómo calculemos esta potencia, tendremos que corregirla eventualmente, ya que tendremos que tener en cuenta lo siguiente:

- La rugosidad de la carena.
- La resistencia aerodinámica de la obra muerta.
- La resistencia hidrodinámica de los apéndices.
- Estado de la mar.
- La profundidad del agua.

17.1. Variables de las que depende la resistencia

Dicha resistencia dependerá principalmente de: las formas del buque, las propiedades del fluido, el campo gravitatorio y la velocidad de avance.

En cuanto a las formas del buque, las más significativas son la eslora (L), la manga (B) y el calado (T), ya que, cuanto más eslora “más esbelto será el buque” y, por tanto, habrá menos



resistencia. Pero dependerá también de nuestra manga, por lo que nos fijaremos principalmente en la relación L/B , que cuanto mayor sea, menor será la resistencia del mismo. De igual forma ocurre con la relación B/T .

En cuanto a los coeficientes, el más significativo es el coeficiente de la maestra CM , ya que define las formas del buque.

En cuanto a las propiedades del fluido, a efectos de resistencia encontraremos: la densidad del fluido (ρ) y la viscosidad cinemática (ν).

Además, existen otras variables secundarias como la capilaridad, pero en el agua la consideramos despreciable a las velocidades que trabajamos.

Y por último la influencia de la gravedad que será la del propio planeta que vendrá representada por g .

17.2. División de la resistencia en sus componentes

La resistencia al avance “no corregida”, se descompone en diversas formas. W.Froude supuso que se podía separar en dos partes independientes:

-La resistencia de Fricción, R_f , equivale a la resistencia de una placa plana equivalente de longitud y superficie mojada del buque.

-La resistencia residuo, R_r , que será igual a la diferencia entre la resistencia total y la resistencia de fricción.

Posteriormente, se ha visto que la resistencia residuo, se compone de varias contribuciones. Así la resistencia total se puede descomponer ahora de la siguiente manera:

-Resistencia de fricción, R_f , que sería el movimiento del casco a través de un fluido viscoso, y que hace que las partículas de agua sean aceleradas tangencialmente a la superficie del cuerpo. Esta resistencia de fricción coincidiría con la citada anteriormente.

-Resistencia por formación de olas, R_w . Esta energía ha de ser suministrada por el sistema de olas creado en la superficie del agua, para así poder acelerar las partículas de agua verticalmente para poder vencer el efecto de la gravedad.

-Resistencia de forma, R_{ff} , se divide en dos partes:

- Ésta se genera por la forma del buque, ya que ya no es una placa plana, si no, que tiene curvatura longitudinal y transversal.
- La resistencia de presión de origen viscoso, ya que la capa límite produce alteraciones en el campo de presiones.

La resistencia de forma suele ser pequeña, por lo que la podemos incluir dentro de la resistencia por olas, para obtener lo que hemos llamado resistencia residuo.



También debemos saber que, si sumamos la resistencia de fricción nombrada anteriormente con la resistencia de forma, obtendríamos lo que se llama la resistencia viscosa.

Dicho esto, aún existe otra forma de descomponer la resistencia total y decimos que ésta es la integración sobre la superficie mojada del casco de las fuerzas que ejerce el fluido sobre éste. Como el fluido tiene las propiedades de densidad y viscosidad, sus fuerzas se pueden descomponer en normales y tangenciales al elemento de la superficie del casco por lo que la resistencia total la dividimos nuevamente en dos partes:

- Resistencia de presión, que la obtendremos integrando las fuerzas normales.
- Resistencia de fricción, que la obtendremos integrando las componentes tangenciales. Cabe destacar que esta resistencia de fricción no coincidirá con la resistencia de fricción citada anteriormente, ya que aquí tiene en cuenta la curvatura del buque.

17.3. Análisis Dimensional

Una vez definida la resistencia al avance de un buque, sus componente y variables, vamos a tratar de hallar mediante el análisis dimensional una relación entre ellas.

Antes de poder realizar el análisis dimensional, tendremos que tener en cuenta unas definiciones y principios:

-Variable dimensional. Es una variable física con dimensiones, como puede ser la longitud, la velocidad o la aceleración.

-Variable adimensional. Es un número que no tiene unidades físicas que lo definan, y por lo tanto es un número puro. Los números adimensionales se definen como productos o cocientes de cantidades que, si tienen unidades, éstas se simplifican.

Dadas las variables adimensionales $\pi_1, \pi_2, \pi_3, \dots, \pi_n$ y los números reales: $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_n$. Si se cumple que $\pi_i = \pi_1^{\lambda_1}, \pi_2^{\lambda_2}, \pi_3^{\lambda_3}, \dots, \pi_n^{\lambda_n}$, decimos que π_i es una variable adimensional dependiente de $\pi_1, \pi_2, \pi_3, \dots, \pi_n$. Si no es posible encontrar una π_i que dependa de $\pi_1, \pi_2, \pi_3, \dots, \pi_n$, decimos que π_i es independiente.

-Conjunto completo de variables adimensionales. Se llama así un conjunto de variables adimensionales $\pi_1, \pi_2, \pi_3, \dots, \pi_n$, tal que todas ellas son independientes entre sí, y no es posible encontrar otra variable π_i que sea independiente a ellas.

En el análisis dimensional tendremos que tener en cuenta dos principios básicos:

-Primero. Toda relación entre variables físicas es dimensionalmente homogénea.

-Segundo. Toda relación matemática entre variables dimensionales puede ser sustituida por una relación equivalente entre variables adimensionales, $\pi_i = F(\pi_1, \pi_2, \pi_3, \dots, \pi_n)$ siempre y cuando éstas formen un conjunto completo. Es el llamado Teorema de Buckingham. De tal manera que:



$$a = f(b, c, d, \dots, n) \longrightarrow \pi_i = F(\pi_1, \pi_2, \pi_3, \dots, \pi_n)$$

Así, un buen análisis dimensional reduce el número de variables a estudiar, y al ser estas adimensionales, toman el mismo valor independientemente del tamaño del buque. Dicho esto, si lo aplicamos a la resistencia del buque, como hemos visto anteriormente, tendremos que considerar:

- 1- El tamaño del buque representado por su eslora, L.
- 2- Las características del fluido en que se mueve: viscosidad cinemática, y densidad.
- 3- Características del campo de presiones donde se incluyen la presión y la gravedad.
- 4- Velocidad, V.

Por lo que la resistencia se puede expresar como:

$$R_t = f(L, \nu, \rho, P, g, V)$$

Ecuación 17.2

Por lo que esta relación será equivalente a:

$$R_t = f(L, \nu, \rho, P, g, V) \quad , \quad \pi_i = F(\pi_1, \pi_2, \pi_3, \dots, \pi_n)$$

Las π_i serán de la forma:

$$\pi_i = R_t^a L^b \nu^c \rho^e g^f V^g$$

Ecuación 17.3

siendo a, b, c, d, e, f y g número reales.

Ahora descomponemos las variables dimensionales en sus dimensiones elementales siendo:

$$R_t = (MLT^{-2})^a$$

Ecuación 17.4

$$L = L^b$$

Ecuación 17.5

$$\nu = (L^2T^{-1})^c$$

Ecuación 17.6

$$\rho = (ML^3)^d$$

Ecuación 17.7



$$P = (ML^{-1}T^2)^e$$

Ecuación 17.8

$$g = (LT^2)^f$$

Ecuación 17.9

$$V = (LT^{-1})^g$$

Ecuación 17.10

En cambio, si sustituimos en la expresión anterior, π_i se quedaría de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \pi_i &= (MLT^{-2})^a L^b (L^2T^{-1})^c (ML^3)^d (ML^{-1}T^2)^e (LT^2)^f (LT^{-1})^g \\ &= M^{(a+d+e)} L^{(a+b+2c-3d-e+f+g)} T^{(2a+b+2c+g)} = M^A L^B T^C \end{aligned}$$

Ecuación 17.11

Pero como π_i es adimensional $A=B=C=0$; por lo que nos queda el siguiente sistema, donde tendremos un sistema de 3 ecuaciones con 7 incógnitas. Por lo que habrá una solución trivial e infinitas soluciones. De las cuales solo algunas serán linealmente independientes:

$$\begin{array}{rcccccccc} a & + & b & + & 2c & + & 3d & + & e & + & f & + & g & = & 0 \\ a & + & & & & & d & + & e & & & & & = & 0 \\ 2a & + & & + & c & & & + & 2e & + & 2f & + & g & = & 0 \end{array}$$

El número de soluciones linealmente independientes es 4, por lo que coincidirá con el número de variables adimensionales que se formarán.

Por tanto, la relación que teníamos anteriormente de $Rt = f(L, v, \rho, P, g, V)$ se transforma en una relación de variables adimensionales de la forma $F(\pi_1, \pi_2, \pi_3, \pi_4)$ o también podríamos decir que $\pi_1 = F(\pi_2, \pi_3, \pi_4)$

Dicho esto, resolvemos un sistema para hallar $(\pi_1, \pi_2, \pi_3, \pi_4)$.



El sistema queda de la siguiente forma:

$$\begin{aligned} b - 3d + g &= -a - 2c + e - f \\ d &= -a - e \\ g &= -2a - c - 2e - 2f \end{aligned}$$

Ahora tendremos que dar valores arbitrarios a a, c, e y f para poder obtener un sistema de 3 ecuaciones y 3 incógnitas. Por lo que en el primer caso:

$$\begin{aligned} a=1 & & b-3d+g=-1 & & b=-2 \\ c=0 & & d=-1 & & d=-1 \\ e=0 & & g=-2 & & g=-1 \\ f=0 & & & & \end{aligned}$$

Y recordando que $\pi_i = R^a L^b v^c P^e g^f V^g$, obtenemos π_i quedando de la siguiente forma:

$$\pi_1 = \frac{R_T}{L^2 \rho V^2}$$

Ecuación 17.12

Segundo caso:

$$\begin{aligned} a=0 & & b-3d+g=-2 & & b=-1 \\ c=1 & & d=0 & & d=0 \\ e=0 & & g=-1 & & g=-1 \\ f=0 & & & & \end{aligned}$$

Por lo que la solución en el segundo caso es:

$$\pi_2 = \frac{v}{LV}$$

Ecuación 17.13



Tercer caso:

a=0	b-3d+g=-1	b=0
c=0	d=-1	d=-1
e=1	g=-2	g=-2
f=0		

Por lo que la solución en el tercer caso es:

$$\Pi_3 = \frac{P}{\rho V^2}$$

Ecuación 17.14

Cuarto y último caso:

a=0	b-3d+g=-1	b=1
c=0	d=0	d=0
e=0	g=-2	g=-2
f=1		

Por lo que la solución del cuarto caso es:

$$\Pi_4 = \frac{Lg}{V^2}$$

Ecuación 17.15



Y como $\pi_1 = F(\pi_2, \pi_3, \pi_4)$, resulta:

$$\frac{R_T}{L^2 \rho V^2} = F \left(\frac{v}{L V}, \frac{P}{\rho V^2}, \frac{L g}{V^2} \right)$$

Ecuación 17.16

Sabiendo esto, podemos definir otras variables y coeficientes:

$$C_t = \text{Coeficiente de resistencia total} = 2 * \frac{L^2}{S} * \pi_1 = \frac{R_t}{\frac{1}{2} * \rho * S * V^2}$$

Ecuación 17.17

$$R_n = \text{número de Reynolds} = \frac{1}{\pi_2} = \frac{V * L}{\nu}$$

Ecuación 17.18

$$C_p = \text{coeficiente de presión} = \pi_3 = \frac{P}{\rho * V^2}$$

Ecuación 17.19

$$F_n = \text{número de Froude} = \frac{1}{\sqrt{\pi_4}} = V / \sqrt{g * L}$$

Ecuación 17.20

Por tanto, el coeficiente de resistencia total estará en función del número de Reynolds, el coeficiente de presión y el número Froude.

Hablando de la resistencia al avance de un buque, no podemos dejar de lado la Ley de Semejanza de Froude, la cual nos va a permitir relacionar un buque semejante, pero de distintas dimensiones con el buque real, permitiéndonos así obtener una resistencia al avance en un canal de experiencias hidrodinámicas y extrapolar esta resistencia al buque real.



17.4. Ley de Semejanza de Froude

Froude parte de la resistencia residuo la cual es la siguiente:

$$C_R = \frac{R_R}{1/2 \rho S V^2} = f(Fn)$$

Ecuación 17.21

Y su ley dice que: la resistencia residuo de dos buques geoméricamente semejantes, está en la relación del cubo de su dimensión, siempre que sus números de Froude sean iguales.

Esto ocurre así si las densidades del agua en que flotan modelo y buque son iguales, en caso contrario, habría de tenerse en cuenta la relación de densidades. Las velocidades a las que se verifica la igualdad de los números de Froude, $F_{nm}=F_{nb}$, se llaman velocidades correspondientes.

Ahora, probamos la ley de Semejanza de Froude para R_{rb} y R_{rm} iguales, éstas son las resistencias residuos del buque y del modelo respectivamente y, partiendo del coeficiente de la resistencia residuo, obtenemos:

$$\frac{R_{Rb}}{R_{Rm}} = \frac{1/2 \rho_b S_b V_b^2 C_{Rb}}{1/2 \rho_m S_m V_m^2 C_{Rm}}$$

Ecuación 17.22

En cambio, si los números de Froude son iguales para modelo y buque tenemos, $F_{nb}=F_{nm}$, lo que sería igual a:

$$\frac{V_b}{\sqrt{g L_b}} = \frac{V_m}{\sqrt{g L_m}}$$

Ecuación 17.23



Que, si despejamos la velocidad del buque, V_b , tenemos que:

$$V_b = V_m \sqrt{\frac{L_b}{L_m}}$$

Ecuación 17.24

Entonces $C_{rb} = C_{rm}$

$$\frac{R_{Rb}}{R_{Rm}} = \frac{\rho_b}{\rho_m} \frac{V_b^2}{V_m^2} \frac{S_b}{S_m} = \frac{\rho_b}{\rho_m} \frac{L_b}{L_m} \frac{L_b^2}{L_m^2} = \frac{\rho_b}{\rho_m} \frac{L_b^3}{L_m^3}$$

Ecuación 17.25

Representando α como la relación entre la eslora del buque y la eslora del modelo. Y además, considerando que las densidades en las que flota el buque y modelo son iguales, resulta:

$$\frac{R_{Rb}}{R_{Rm}} = \alpha^3$$

Ecuación 17.26

Ahora, estudiamos el número de Reynolds, R_n . Consideramos un cuerpo totalmente sumergido en un fluido viscoso. Por lo que solo existe R_f , que es la resistencia de fricción. Donde el coeficiente de la resistencia de fricción viene dado por:

$$C_F = \frac{R_F}{1/2 \rho S V^2} = g(R_n)$$

Ecuación 17.27

Donde C_f será el mismo para el modelo y buque siempre que el número de Reynolds sea el mismo para modelo y buque, o lo que es lo mismo, siempre que:



$$V_b L_b = V_m L_m \Rightarrow \frac{V_b}{V_m} = \frac{L_b}{L_m} = \frac{1}{\alpha}$$

Ecuación 17.28

Ahora bien, para el mismo número de Froude esta condición es distinta ya que la escala α se obtiene para cada caso:

$$\begin{aligned} Rn_b = Rn_m &\Rightarrow V_m = \alpha V_b \\ Fn_b = Fn_m &\Rightarrow V_m = V_b / \sqrt{\alpha} \end{aligned}$$

Ecuación 17.29

En este caso, para que se cumpla la igualdad, cuanto más pequeño sea el modelo mayor ha de ser su velocidad respecto a la del buque. Habiendo mencionado las dos igualdades, vemos que en la práctica es imposible conseguir simultáneamente las dos igualdades, por lo que se estudia la resistencia de fricción y de formación de olas por separado. Suponiendo que ambas son independientes entre sí, quedando de la siguiente manera:

$$C_t = C_f(R_n) + C_r(F_n)$$

Ecuación 17.30

Ahora bien, el método de Froude para conocer los resultados del buque a partir de los del modelo, es el siguiente:

- 1- Tenemos que construir un modelo a escala y ensayarlo a la velocidad correspondiente, donde, la escala vendría dada por el parámetro α :

$$\alpha = L_b / L_m$$

Ecuación 17.31

$$V_m = V_b / \sqrt{\alpha}$$

Ecuación 17.32



- 2- Se mide la Resistencia total del modelo, R_{tm} .
- 3- Se calcula la R_{fm} , (resistencia de fricción del modelo), suponiendo que es una placa plana.
- 4- Calculamos la resistencia residuo del modelo a partir de la resistencia de fricción y total.

$$R_{rm} = R_{tm} - R_{fm}$$

Ecuación 17.33

- 5- Calculamos la resistencia residuo del buque a partir de la Ley de Semejanza de Froude, donde anteriormente hemos mencionado que sería la del modelo por la escala al cubo, es decir:

$$R_{rb} = \alpha^3 * R_{rm}$$

Ecuación 17.34

- 6- Calculamos la resistencia de fricción del buque, R_f , aplicando las mismas hipótesis que para el modelo.
- 7- Sabiendo la resistencia residuo del buque y la de fricción podemos calcular la resistencia total del buque:

$$R_{tb} = R_{rb} + R_{fb}$$

Ecuación 17.35

17.5. Métodos de Correlación

Hay que tener en cuenta que, en la actualidad, por mucho que se sepa, no es posible averiguar por medios exclusivamente teóricos y con mediano grado de aproximación, la resistencia al avance de un buque. La única solución es recurrir a la experimentación.

Para ello, se construye un buque modelo a escala, con las mismas características que el buque proyecto y se ensaya en canales de experiencia.

Al conjunto de hipótesis y cálculos que permiten obtener la resistencia de un buque a partir del ensayo o ensayos con uno o varios modelos geoméricamente semejantes, se conoce como métodos de correlación. Anteriormente, habíamos descrito a Froude pero podemos describir a dos hombre más: a Hughes y Telfer.



17.6. Método de Correlación de Froude

El método de correlación de Froude, divide la resistencia en dos componentes, una la resistencia de fricción igual a la de una placa plana de igual longitud y superficie mojada que el buque, y la otra, la resistencia residuo, que abarca el resto de la resistencia.

$$C_t = C_f(R_n) + C_r(F_n)$$

Ecuación 17.36

Donde C_f , vendrá dado por la ITTC-57 (International Towing Tank Conference), la cual no corresponde a la fricción de una placa totalmente plana, sino, que tiene un pequeño efecto de forma, por lo que el error se disminuye, y viene dado por la siguiente fórmula:

$$C_f = \frac{0,075}{(\log R_n - 2)^2}$$

Ecuación 17.37

Ahora, mediante ensayos en canales medimos la resistencia del modelo a la velocidad correspondiente:

$$C_{Tm} = \frac{R_{Tm}}{1/2 \rho_m S_m V_m^2}$$

$$C_{Fm} = \frac{0,075}{(\log R_{n_m} - 2)^2}$$

$$C_{Rm} = C_{Tm} - C_{Fm}$$

$$F_{n_m} = F_{n_b} \quad \Rightarrow \quad C_{Rm} = C_{Rb}$$

Ecuación 17.38



$$C_{Fb} = \frac{0,075}{(\log Rn_b - 2)^2}$$

$$C_{Tb} = C_{Fb} + C_{Rb} = C_{Tm} + C_{Fb} - C_{Fm}$$

Ecuación 17.39

Ésta hipótesis incorpora un notable error, ya que una parte de la R_r depende del número de Reynolds en vez del número de Froude. Esto hace llegar a resultados imprecisos, pero que son corregidos, ya que el buque presenta otra serie de componentes que no son evaluados como la rugosidad del casco, influencia de pequeñas olas, viento, efecto del timón...

Y todos estos componentes se engloban en un coeficiente aditivo C_A . Resultando:

$$C_{tb} = C_{tm} + (C_{fb} - C_{fm}) + C_A$$

Ecuación 17.40

Donde C_A , se obtiene de forma estadística, comparando los resultados de las pruebas de mar con las predicciones realizadas a partir de los ensayos. Por lo que este coeficiente además de los fenómenos dichos anteriormente, incluye el error inherente del método de Froude.

17.7. Método de Hughes

Este método, se basa en la descomposición de la resistencia total en: la resistencia viscosa y la resistencia por formación de olas.

$$C_t = C_v(R_n) + C_w(F_n)$$

Ecuación 17.41

Y a la relación:

$r = C_v/C_f$, se le llama factor de forma.

Suponiendo conocido el factor de forma:



$$r_m = \frac{C_{Vm}}{C_{Fm}} \quad \text{y} \quad r_m = \frac{C_{Vb}}{C_{Fb}}$$

Ecuación 17.42

El paso de modelo a buque será el siguiente:

$$C_{tm} = C_{vm} + C_{wm}$$

Ecuación 17.43

$$C_{tb} = C_{vb} + C_{wb}$$

Ecuación 17.44

$$C_{wm} = C_{tm} - C_{vm} = C_{tm} - r_m \cdot C_{fm}$$

Ecuación 17.45

Como los ensayos se realizan a número de Froude constante:

$$C_{wm} = C_{wb}$$

Ecuación 17.46

De modo que:

$$C_{tb} = C_{vb} + C_{wb} = r \cdot C_{fb} + C_{tm} - r \cdot C_{fm}$$

Ecuación 17.47

Dicho esto, C_{tm} es conocido a partir del ensayo de remolque. C_{fb} y C_{fm} se pueden conocer a través de la línea de fricción, r_m se puede conocer mediante cualquiera de los métodos para su determinación. Falta por conocer r_b , el cual solo se podría conocer haciendo un ensayo de remolque con el propio buque, pero dicho ensayo no es factible.

Para solucionar éste problema, se supone que para buques geoméricamente semejantes el factor de forma es independiente de R_n , con lo cual $r_b = r_m = r$. Y, por lo tanto:

$$C_{tb} = C_{tm} + r(C_{fb} - C_{fm})$$

Ecuación 17.48

Esta suposición no es del todo cierta y se cometen errores al aceptarla, pero son menores que los que presenta el método de Froude. Al igual que en el método de Froude, hay que tener en



cuenta una corrección aditiva: ΔC_f , que incluye fundamentalmente efectos de rugosidad, aumentos en la resistencia por el estado de la mar, viento asociado, guiñadas...etc. Por lo que:

$$C_{tb} = C_{tm} + r(C_{fb} - C_{fm}) + \Delta C_f$$

Ecuación 17.49

17.8. Método de Telfer

Éste método, elimina la necesidad de apoyarse en una línea de fricción determinada, para ello representa una serie de curvas isofroude (número de Froude constante). Cuando se va disminuyendo la velocidad, el número de Froude tiende a 0 y el coeficiente total de la resistencia corresponde a la resistencia viscosa, ya que no existe formación de olas.

Telfer representa por lo tanto, C_t en función del número de Reynolds, R_n , $R_n^{-1/3}$ ya que en este caso las líneas de $F_n = C_t R_n$ resultan paralelas. Resultando:

$$C_t = a + b R_n^{-1/3}$$

Ecuación 17.50

El método, consiste en la obtención de los coeficientes a y b mediante ensayos, y una vez obtenidos poder calcular así el coeficiente de la resistencia total del buque, C_t .

El principal inconveniente de éste método es que, para poder realizarlo es necesario realizar ensayos de diferentes modelos a distintas escalas a las velocidades correspondientes, por lo que lo hace un método bastante caro y no es factible.

Por otra parte, tiene la ventaja de que es un método muy instructivo a efectos de estudio.

Habiendo descrito un poco la resistencia al avance del buque y sus componentes, pasamos a reflejar el método usado para hallar dicha resistencia y los respectivos cálculos.



18. CÁLCULO DE LA RESISTENCIA AL AVANCE Y POTENCIA NECESARIA PARA VENCERLA

Para calcular la resistencia al avance de un buque, tenemos que tener en cuenta que, la forma más correcta y precisa sería mediante ensayos en Canales Hidrodinámicos y después extrapolar los resultados al buque real.

Esto, en las primeras etapas del proyecto, sería imposible de realizar, ya que se carece de información sobre las formas del buque y el método experimental resultaría muy caro. En estas primeras etapas del proyecto se recurre a los métodos numéricos, los cuales son bastante precisos.

Para aplicar uno de estos métodos, cabe destacar que la información que tenemos de nuestro buque debe cumplir con las características con las que se desarrolló dicho método, ya que si usáramos un método cualquiera y nuestro buque no cumpliera con las especificaciones, el error que cometeríamos sería muy elevado.

En nuestro caso se ha escogido el método “J. HOLTROP & G. G. J. MENNEN”, ya que es el único que cumple las especificaciones de nuestro buque, como se ve a continuación en la tabla adjunta:

TIPO DE BUQUE	Fnmax	Cp		L/B		B/T	
		min	max	min	max	min	max
Portacontenedores	0,45	0,55	0,67	6	9,5	3	4
Buque proyecto	0,228	0,67		7,027		3	
Cumple(SI/NO)	SI	SI		SI		SI	

Tabla 18.1 Referencias Método de Holtrop

El método de “J. HOLTROP & G. G. J. MENNEN” es un método estadístico, en el cual los resultados obtenidos son gracias a regresiones matemáticas de los datos obtenidos en ensayos hidrodinámicos en el Canal de Wageningen y numerosas pruebas de mar de buques.

Éste método, es válido para una gran variedad de buques, como pueden ser: petroleros, bulkcarries, buques de carga general, pesqueros, remolcadores, portacontenedores, fragatas y muchos más. Además, éste método tiene la ventaja de que es válido tanto para buques con una línea de ejes como para buques con dos líneas de ejes.



El método de “J. HOLTROP & G. G. J. MENNEN”, divide la resistencia al avance en las siguientes componentes:

$$R_t = R_v + R_{ap} + R_w + R_b + R_{tr} + R_a$$

Ecuación 18.1

Donde:

- R_t = Resistencia al avance total.

- R_v = Resistencia Viscosa.

- R_{ap} = Resistencia de los apéndices.

- R_w = Resistencia por formación de olas.

- R_b = Resistencia de presión producida por el bulbo.

- R_{tr} = Resistencia de presión de las popas estampa cuando están sumergidas.

- R_a = Resistencia debida al coeficiente de correlación modelo-buque, C_a .

A partir de los datos de partida proporcionados anteriormente, mostramos los cálculos correspondientes a éste método:

18.1. Cálculo de la Resistencia Viscosa

La resistencia viscosa es muy importante en la resistencia al avance, y viene dada por la siguiente fórmula:

$$R_v = \frac{1}{2} * \rho * S * V^2 * C_f * (1 + k_1)$$

Ecuación 18.2

Donde R_v , es la resistencia viscosa, ρ el peso específico del fluido, V la velocidad correspondiente de servicio, C_f es el coeficiente de fricción a la velocidad correspondiente y $(1+k_1)$ es el factor de formas.

El coeficiente de fricción C_f , se obtiene a partir de la ITTC-57, donde el C_f dependerá del número de Reynolds a la velocidad correspondiente:

$$C_f = \frac{0,075}{(\log R_n - 2)^2}$$

Ecuación 18.3



Donde R_n es el número de Reynolds.

El valor del coeficiente de formas $(1+k_1)$, se obtiene estadísticamente mediante la siguiente fórmula:

$$(1 + k_1) = 0,93 + 0,487118 * c_{14} * \left(\frac{B}{L_f}\right)^{1,06806} * \left(\frac{T}{L_f}\right)^{0,46106} * \left(\frac{L_f}{L_r}\right)^{0,121563} * \left(\frac{L_f^3}{\nabla}\right)^{0,36486} * (1 - C_p)^{-0,604247}$$

Ecuación 18.4

Donde L_r/L_f viene dado por:

$$\frac{L_r}{L_f} = 1 - C_p + \left(\frac{0,06 * C_p * L_{cb}}{4C_p - 1}\right)$$

Ecuación 18.5

Además, el coeficiente C_{14} , introduce un valor según la forma de popa, es decir, según la forma que tiene la popa del buque vale una cosa u otra:

$$C_{14} = 1 + 0,0011C_{stern}$$

Ecuación 18.6

$C_{stern} = -25$	Popas tipo góndola.
$C_{stern} = -10$	Cuadernas en V.
$C_{stern} = 0$	Cuadernas normales.
$C_{stern} = 10$	Cuadernas en U con popa tipo Hogner.

En nuestro caso las cuadernas se consideran normales por lo que nuestro valor de $C_{stern} = 0$

Descrito el procedimiento de la obtención de la resistencia Viscosa, los resultados obtenidos a las distintas velocidades son los siguientes:



V [nudos]	v [m/s]	(1+k1)	S(m ²)	g [m.s ⁻²]	ro	Cf	Rv(kg)
18	9,26	1,223	14598,8103	9,807	1025,9	0,00145282	116301,046
18,5	9,52	1,223	14598,8103	9,807	1025,9	0,00144802	122446,045
19	9,77	1,223	14598,8103	9,807	1025,9	0,00144337	128739,499
19,5	10,03	1,223	14598,8103	9,807	1025,9	0,00143887	135180,977
20	10,29	1,223	14598,8103	9,807	1025,9	0,00143449	141770,061
20,5	10,55	1,223	14598,8103	9,807	1025,9	0,00143025	148506,344
21	10,80	1,223	14598,8103	9,807	1025,9	0,00142612	155389,434
21,5	11,06	1,223	14598,8103	9,807	1025,9	0,00142211	162418,946
22	11,32	1,223	14598,8103	9,807	1025,9	0,00141821	169594,508
22,5	11,58	1,223	14598,8103	9,807	1025,9	0,00141441	176915,757
23	11,83	1,223	14598,8103	9,807	1025,9	0,00141071	184382,339
23,5	12,09	1,223	14598,8103	9,807	1025,9	0,0014071	191993,911
24	12,35	1,223	14598,8103	9,807	1025,9	0,00140358	199750,137
24,5	12,60	1,223	14598,8103	9,807	1025,9	0,00140015	207650,688
25	12,86	1,223	14598,8103	9,807	1025,9	0,0013968	215695,246
25,5	13,12	1,223	14598,8103	9,807	1025,9	0,00139353	223883,497
26	13,38	1,223	14598,8103	9,807	1025,9	0,00139033	232215,138
26,5	13,63	1,223	14598,8103	9,807	1025,9	0,0013872	240689,869
27	13,89	1,223	14598,8103	9,807	1025,9	0,00138414	249307,399
27,5	14,15	1,223	14598,8103	9,807	1025,9	0,00138115	258067,443
28	14,40	1,223	14598,8103	9,807	1025,9	0,00137822	266969,721

Tabla 18.2 Resultados Resistencia Viscosa

18.2. Cálculo de la Resistencia de los Apéndices, Rap

En este apartado, consideramos como apéndices la hélice propulsora y el timón. La fórmula para obtener la resistencia producida por los apéndices es la siguiente:

$$Rap = \frac{1}{2} * \rho * Sap * V^2 * Cf * (1 + k_2)_{eq}$$

Ecuación 18.7

Donde Rap, es la resistencia producida por los apéndices, ρ el peso específico del fluido, Sap la superficie mojada de los apéndices, V la velocidad del buque, Cf el coeficiente de fricción y (1+k2) el factor de formas equivalente.

Cf como hemos dicho anteriormente se calcula según la ITTC-57.



El valor de $(1+k_2)$ vendrá dado por:

$$(1 + k_2)_{eq} = \frac{\sum S_i * (1 + k_2)_i}{\sum S_i}$$

Ecuación 18.8

Donde:

S_i = Superficie mojada de cada apéndice.

$(1+k_2)_i$ = $(1+k_2)$ de cada apéndice.

En la siguiente tabla podemos encontrar unos valores aproximados para el valor de $(1+k_2)$, para distintos apéndices, para así poder calcular el coeficiente de formas equivalente $(1+k_2)_{eq}$.

Tipo de apéndice	(1 + k₂)
Timón buque 1 hélice	1,3 a 1,5
Timón buque 2 hélices	2,8
Timón y quillote	1,5 – 2,0
Quillote solo	1,5 – 2,0
Arbotantes	3,0
Henchimientos protectores	3,0
Henchimientos integrados	2,0
Ejes	2,0 a 4,0
Aletas estabilizadoras	2,8
Domo	2,7
Quillas de balance	1,4

Tabla 18.3 Valores característicos 1+K₂. Tomado de [4].

Dicho esto, en nuestro caso, se obtiene un valor de:

$$(1 + k_2)_{eq} = 1,4$$

Ya tenemos todos nuestros datos para poder calcular la resistencia por los apéndices, donde los resultados se reflejan en la siguiente tabla:



V [nudos]	v [m/s]	Cf	Rapp [Kg]
18	9,26	0,00145282	606,395
18,5	9,52	0,00144802	638,436
19	9,77	0,00144337	671,250
19,5	10,03	0,00143887	704,836
20	10,29	0,00143449	739,191
20,5	10,55	0,00143025	774,314
21	10,80	0,00142612	810,203
21,5	11,06	0,00142211	846,855
22	11,32	0,00141821	884,268
22,5	11,58	0,00141441	922,441
23	11,83	0,00141071	961,372
23,5	12,09	0,0014071	1001,059
24	12,35	0,00140358	1041,500
24,5	12,60	0,00140015	1082,694
25	12,86	0,0013968	1124,638
25,5	13,12	0,00139353	1167,332
26	13,38	0,00139033	1210,773
26,5	13,63	0,0013872	1254,961
27	13,89	0,00138414	1299,893
27,5	14,15	0,00138115	1345,568
28	14,40	0,00137822	1391,984

Tabla 18.4 Resultados resistencia de los apéndices

18.3. Cálculo de la Resistencia por formación de olas, R_w

La resistencia por formación de olas se calculará según el número de Froude a la velocidad correspondiente que lleve el buque. Existe el cálculo para un número de Froude menor que 0,4, entre 0,4 y 0,55 y mayor que 0,55. En nuestro caso, el número de Froude a la velocidad correspondiente es menor que 0,4, por lo que el procedimiento para conseguir dicha resistencia es el siguiente:

$$R_w = \rho * g * \nabla * C_1 * C_2 * C_5 * e^{(m_1 * Fn^d + m_2 * \cos(\lambda * Fn^{-2}))}$$

Ecuación 18.9

Donde:

$$C_1 = 223105 * C_7^{3,78613} * \left(\frac{T}{B}\right)^{1,07961} * (90 - I_e)^{-1,37565}$$

Ecuación 18.10



Donde l_e , es el semiángulo de entrada en la flotación en grados. Si no conociéramos este ángulo lo podríamos calcular de la siguiente manera:

$$l_e = 1 + 89 \text{EXP} \left(- \left(\frac{L_f}{B} \right)^{0,80856} * (1 - C_f)^{0,30484} * (1 - C_p - 0,0225 * Lcb)^{0,6367} * \left(\frac{Lr}{B} \right)^{0,34574} * \left(\frac{100 \nabla}{L_f^3} \right)^{0,16302} \right)$$

Ecuación 18.11

Pero éste no es nuestro caso, ya que el semiángulo de entrada lo hemos obtenido a partir del software "Maxsurf".

Para hallar C_1 necesitamos el coeficiente C_7 , el cual puede ser distinto según la relación B/L_f . Donde:

$$C_7 = 0,229577 * \left(\frac{B}{L_f} \right)^{0,33333}$$

Ecuación 18.12

$$C_7 = \frac{B}{L_f}$$

Ecuación 18.13

$$C_7 = 0,5 - 0,0625 * \frac{B}{L_f}$$

Ecuación 18.14

Donde cogemos la primera opción si $B/L_f \leq 0,11$, la segunda opción si $0,11 \leq B/L_f \leq 0,25$ o la tercera para la relación B/L_f mayor de 0,25.

En nuestro caso cogemos la segunda opción ya que está entre 0,11 y 0,25.

El valor $d = -0,9$, ya que, para esta opción, d adquiere ese valor fijo

C_2 se obtiene a partir de C_3 con la siguiente fórmula:

$$C_2 = e^{-1,89 * \sqrt{C_3}}$$

Ecuación 18.15



Y C_3 lo podemos obtener mediante:

$$C_3 = \frac{0,56 * A_{BT}^{1,5}}{B * T * (0,31 * A_{BT}^{\frac{1}{2}} + T_{PR} - h_B)}$$

Ecuación 18.16

Donde A_{bt} , es el área transversal del bulbo en la vertical, con la intersección de la flotación con el perfil de proa.

Y h_b , es la altura del centro de gravedad del bulbo en la perpendicular de proa. Estos valores también los conocemos gracias al software "Maxsurf".

También necesitamos saber el coeficiente C_5 , que lo obtendremos de la siguiente manera:

$$C_5 = 1 - \frac{0,8 * A_{TR}}{B * T_m * C_m}$$

Ecuación 18.17

Donde A_{tr} , será el área del espejo sumergida, que en nuestro caso es 0 entonces el valor de C_5 adquiere el valor 1.

Según la fórmula inicial, para obtener la resistencia por formación de olas, también debemos saber el valor de m_1 y m_2 , el valor de m_1 se obtiene de la siguiente manera:

$$m_1 = 0,014047 * \frac{Lf}{T} - 1,75254 * \frac{\nabla^{\left(\frac{1}{3}\right)}}{Lf} - 4,79323 * \frac{B}{Lf} - C_{16}$$

Ecuación 18.18

En m_1 , interviene el coeficiente c_{16} , el cual será un valor u otro en función del coeficiente prismático de nuestro buque:

$$c_{16} = 8,07981 * C_p - 13,8673 * C_p^2 + 6,984388 * C_p^3 \quad \text{Si } C_p \leq 0,8$$

Ecuación 18.19

$$c_{16} = 1,73014 - 0,7067 * C_p \quad \text{Si } C_p > 0,8$$

Ecuación 18.20



En nuestro caso cogeremos la primera ecuación, ya que nuestro coeficiente prismático es bastante menor que 0,8.

El parámetro m_2 vendrá dado por:

$$m_2 = C_{15} * C_p^2 * 0,4 * e^{(-0,1 * F_n^{-2})}$$

Ecuación 18.21

Ahora, debemos hallar el coeficiente C_{15} que estará en función de la eslora de la flotación y el volumen de carena:

$$C_{15} = -1,69385$$

$$\text{Si } \frac{Lf^3}{\nabla} \leq 512$$

Ecuación 18.22

$$C_{15} = -1,69385 + \frac{\frac{Lf}{1} - 8,0}{\sqrt[3]{2,36}}$$

$$\text{Si } 512 < \frac{Lf^3}{\nabla} < 1727$$

Ecuación 18.23

$$C_{15} = 0$$

$$\text{Si } \frac{Lf^3}{\nabla} > 1727$$

Ecuación 18.24

Por último, nos falta por conocer el parámetro λ para completar la fórmula inicial y así obtener los respectivos valores de la resistencia por formación de olas λ , vendrá dado según la relación de la eslora de flotación con la manga:

$$\lambda = 1,446 * C_p - 0,03 * \frac{Lf}{B}$$

Ecuación 18.25

$$\lambda = 1,446 * C_p$$

Ecuación 18.26

Usaremos el primer término siempre y cuando la relación Lf/B sea menor o igual que 12 y la segunda si la misma relación es mayor que 12.



Conocido el procedimiento a seguir para la obtención de esta resistencia, reflejo aquí los resultados obtenidos en forma de tabla. Donde en primer lugar reflejo todos los parámetros y coeficientes obtenidos y, seguidamente, los resultados de la resistencia a distintas velocidades:

c7	0,139313615
c1	1,065520109
B/L	0,139313615
C2	0,796711553
C3	0,0144588
C5	1
L/B	7,178049343
lambda	0,75347852
m1	-1,93669673
Cp	0,67
L ³ /delta	240,7552186
c16	1,289087218
m2	0
iE	16,9
d	-0,9

Tabla 18.5 Valores de los parámetros para el cálculo de la resistencia por formación de olas

V [nudos]	v [m/s]	Fn	m2	m1	c1	c2	c5	desp [Kg]	ro*g	d	lambda	Rw [Kg]
18,00	9,26	0,17	-0,01	-1,94	1,07	0,80	1,00	125317,54	1025,90	-0,90	0,75	6928,62
18,50	9,52	0,17	-0,01	-1,94	1,07	0,80	1,00	125317,54	1025,90	-0,90	0,75	8670,61
19,00	9,77	0,18	-0,01	-1,94	1,07	0,80	1,00	125317,54	1025,90	-0,90	0,75	10886,67
19,50	10,03	0,18	-0,01	-1,94	1,07	0,80	1,00	125317,54	1025,90	-0,90	0,75	13679,33
20,00	10,29	0,19	-0,02	-1,94	1,07	0,80	1,00	125317,54	1025,90	-0,90	0,75	16868,76
20,50	10,55	0,19	-0,02	-1,94	1,07	0,80	1,00	125317,54	1025,90	-0,90	0,75	20233,15
21,00	10,80	0,20	-0,02	-1,94	1,07	0,80	1,00	125317,54	1025,90	-0,90	0,75	23860,23
21,50	11,06	0,20	-0,03	-1,94	1,07	0,80	1,00	125317,54	1025,90	-0,90	0,75	28162,06
22,00	11,32	0,20	-0,03	-1,94	1,07	0,80	1,00	125317,54	1025,90	-0,90	0,75	33584,86
22,50	11,58	0,21	-0,03	-1,94	1,07	0,80	1,00	125317,54	1025,90	-0,90	0,75	40312,79
23,00	11,83	0,21	-0,03	-1,94	1,07	0,80	1,00	125317,54	1025,90	-0,90	0,75	48129,86
23,50	12,09	0,22	-0,04	-1,94	1,07	0,80	1,00	125317,54	1025,90	-0,90	0,75	56508,34
24,00	12,35	0,22	-0,04	-1,94	1,07	0,80	1,00	125317,54	1025,90	-0,90	0,75	64904,97
24,50	12,60	0,23	-0,04	-1,94	1,07	0,80	1,00	125317,54	1025,90	-0,90	0,75	73085,10
25,00	12,86	0,23	-0,05	-1,94	1,07	0,80	1,00	125317,54	1025,90	-0,90	0,75	81259,52
25,50	13,12	0,24	-0,05	-1,94	1,07	0,80	1,00	125317,54	1025,90	-0,90	0,75	89991,69
26,00	13,38	0,24	-0,06	-1,94	1,07	0,80	1,00	125317,54	1025,90	-0,90	0,75	99998,70
26,50	13,63	0,25	-0,06	-1,94	1,07	0,80	1,00	125317,54	1025,90	-0,90	0,75	111971,19



27,00	13,89	0,25	-0,06	-1,94	1,07	0,80	1,00	125317,54	1025,90	-0,90	0,75	126453,26
27,50	14,15	0,26	-0,07	-1,94	1,07	0,80	1,00	125317,54	1025,90	-0,90	0,75	143766,25
28,00	14,40	0,26	-0,07	-1,94	1,07	0,80	1,00	125317,54	1025,90	-0,90	0,75	163958,19

Tabla 18.6 Resultados de la Resistencia por formación de olas

18.4. Resistencia de Presión producida por el bulbo cerca de la flotación, R_B

Ésta está determinada por la presencia de un bulbo en la superficie cerca de proa. Ésta resistencia vendrá dada por:

$$R_B = 0,11 * e^{-P_B^{-2}} * \frac{F_{ni}^3 * A_{BT}^{1,5} * \rho * g}{(1 + F_{ni}^2)}$$

Ecuación 18.27

Donde P_B , es una medida para la parte que emerge de la proa, F_{ni} es el número de Froude referido a la inmersión, A_{BT} es el área del bulbo de proa, ρ es la densidad del líquido y g es la fuerza de la gravedad. P_B y F_{ni} vendrán dados por las siguientes fórmulas:

$$P_B = \frac{0,56 * \sqrt{A_{BT}}}{(T_{PR} - 1,5H_B)}$$

Ecuación 18.28

$$F_{ni} = \frac{V}{\sqrt{g * (T_{PR} - H_B - 0,25 * \sqrt{A_{BT}}) + 0,15 * V^2}}$$

Ecuación 18.29

Donde el término H_B es el centro de gravedad del bulbo de proa desde la línea base.

En la siguiente tabla vemos los resultados reflejados de la resistencia producida por el bulbo:



V [nudos]	v [m/s]	pb	Tf	hb [m]	abt [m ²]	B	g [m.s ⁻²]	Fni	ro*g	Rb [Kg]
18	9,26	0,50002928	14,48	5,486	31,154	43,37	9,807	0,99061483	1025,9	15015,0211
18,5	9,52	0,50002928	14,48	5,486	31,154	43,37	9,807	1,01393719	1025,9	15729,5434
19	9,77	0,50002928	14,48	5,486	31,154	43,37	9,807	1,03696978	1025,9	16443,024
19,5	10,03	0,50002928	14,48	5,486	31,154	43,37	9,807	1,05971095	1025,9	17154,595
20	10,29	0,50002928	14,48	5,486	31,154	43,37	9,807	1,08215936	1025,9	17863,4634
20,5	10,55	0,50002928	14,48	5,486	31,154	43,37	9,807	1,10431399	1025,9	18568,907
21	10,80	0,50002928	14,48	5,486	31,154	43,37	9,807	1,12617408	1025,9	19270,2703
21,5	11,06	0,50002928	14,48	5,486	31,154	43,37	9,807	1,14773914	1025,9	19966,9603
22	11,32	0,50002928	14,48	5,486	31,154	43,37	9,807	1,16900897	1025,9	20658,4427
22,5	11,58	0,50002928	14,48	5,486	31,154	43,37	9,807	1,1899836	1025,9	21344,2375
23	11,83	0,50002928	14,48	5,486	31,154	43,37	9,807	1,21066333	1025,9	22023,9155
23,5	12,09	0,50002928	14,48	5,486	31,154	43,37	9,807	1,23104868	1025,9	22697,0946
24	12,35	0,50002928	14,48	5,486	31,154	43,37	9,807	1,25114039	1025,9	23363,4365
24,5	12,60	0,50002928	14,48	5,486	31,154	43,37	9,807	1,27093941	1025,9	24022,6433
25	12,86	0,50002928	14,48	5,486	31,154	43,37	9,807	1,29044691	1025,9	24674,4541
25,5	13,12	0,50002928	14,48	5,486	31,154	43,37	9,807	1,30966424	1025,9	25318,6428
26	13,38	0,50002928	14,48	5,486	31,154	43,37	9,807	1,32859294	1025,9	25955,0149
26,5	13,63	0,50002928	14,48	5,486	31,154	43,37	9,807	1,34723469	1025,9	26583,4048
27	13,89	0,50002928	14,48	5,486	31,154	43,37	9,807	1,36559138	1025,9	27203,674
27,5	14,15	0,50002928	14,48	5,486	31,154	43,37	9,807	1,38366502	1025,9	27815,7084
28	14,40	0,50002928	14,48	5,486	31,154	43,37	9,807	1,40145776	1025,9	28419,4165

Tabla 18.7 Resultados Resistencia debida al bulbo de proa

18.5. Cálculo de la Resistencia debida a la Correlación Modelo-Buque, Ra

Esta resistencia está producida por la correlación modelo-buque, la propia resistencia del aire y la rugosidad del casco. Su fórmula vendrá dada por:

$$R_A = \frac{1}{2} * \rho * S * V^2 * C_A$$

Ecuación 18.30

Siendo S la superficie mojada del buque, y Ca el coeficiente de correlación que se produce de la relación modelo-buque, donde se estimará una rugosidad estándar de 150µm para conseguir unas condiciones ideales en las pruebas y Ca se puede estimar con la siguiente fórmula:



$$C_A = 0,006 * (L_F + 100)^{-0,16} - 0,00205 + 0,003 * \left(\frac{L_F}{7,5}\right)^{0,5} * C_B^4 * C_2 * (0,004 - C_4)$$

Ecuación 18.31

Para conseguir C_A , deberemos conseguir antes los coeficientes C_2 , y C_4 , los cuales los podemos conseguir de la siguiente manera:

$$C_2 = e^{-1,89 * \sqrt{C_3}}$$

Ecuación 18.32

Donde C_3 :

$$C_3 = 1 - \frac{0,8 * A_{TR}}{B * T_m * C_M}$$

Ecuación 18.33

Donde A_{TR} sería el área sumergida del espejo, que en nuestro caso su valor sería 0.

Y por último C_4 estará en función de la relación entre el calado en la perpendicular de proa y la eslora de la flotación:

$$C_4 = \frac{T_{PR}}{L_F}$$

Ecuación 18.34

$$C_4 = 0,04$$

Ecuación 18.35

Donde tendremos que coger la primera opción si nuestro valor de (T_{PR}/L_F) es menor o igual que 0,04 y la segunda opción si éste valor es mayor que 0,04



Los resultados obtenidos tanto de los coeficientes como de la resistencia son los siguientes:

Tpr/Lf	0,046512823
c4	0,04
c2	0,151071809
c3	1
Ca	0,000240255

Tabla 18.8 Resultados de los parámetros para el cálculo de Ra

V [nudos]	v [m/s]	S(m ²)	g [m.s ⁻²]	ro	Ra(kg)
18	9,26	14598,8103	9,807	1025,9	15731,1334
18,5	9,52	14598,8103	9,807	1025,9	16617,2235
19	9,77	14598,8103	9,807	1025,9	17527,59
19,5	10,03	14598,8103	9,807	1025,9	18462,233
20	10,29	14598,8103	9,807	1025,9	19421,1523
20,5	10,55	14598,8103	9,807	1025,9	20404,3482
21	10,80	14598,8103	9,807	1025,9	21411,8205
21,5	11,06	14598,8103	9,807	1025,9	22443,5692
22	11,32	14598,8103	9,807	1025,9	23499,5943
22,5	11,58	14598,8103	9,807	1025,9	24579,8959
23	11,83	14598,8103	9,807	1025,9	25684,474
23,5	12,09	14598,8103	9,807	1025,9	26813,3285
24	12,35	14598,8103	9,807	1025,9	27966,4594
24,5	12,60	14598,8103	9,807	1025,9	29143,8667
25	12,86	14598,8103	9,807	1025,9	30345,5505
25,5	13,12	14598,8103	9,807	1025,9	31571,5108
26	13,38	14598,8103	9,807	1025,9	32821,7475
26,5	13,63	14598,8103	9,807	1025,9	34096,2606
27	13,89	14598,8103	9,807	1025,9	35395,0502
27,5	14,15	14598,8103	9,807	1025,9	36718,1162
28	14,40	14598,8103	9,807	1025,9	38065,4586

Tabla 18.9 Resultados de Ra

Ahora bien, si nosotros consideramos una rugosidad mayor de 150 μm el coeficiente de correlación modelo-buque, Ca, no vendrá dado por la fórmula citada anteriormente, sino, por la siguiente:



$$\Delta C_A = \frac{(0,105 * (K_s)^{\frac{1}{3}} - 0,05579)}{L_F^{\frac{1}{3}}}$$

Ecuación 18.36

Ya mencionadas todas las obtenciones de las distintas resistencias recordemos que:

18.6. Resistencia Total

$$R_t = R_v + R_{ap} + R_w + R_b + R_{tr} + R_a$$

Ecuación 18.37

Donde los resultados vienen reflejados en la siguiente tabla:

v [m/s]	Rv(kg)	Ra(kg)	Rb [Kg]	Rw [Kg]	Rapp [Kg]	Rt(kg)	Rt +20% (kg)	EHP (Cv)
9,26	116297,1	15731,1	15015,0	6928,6	606,4	154578,3	185493,9	22902,6
9,52	122441,9	16617,2	15729,5	8670,6	638,4	164097,7	196917,2	24988,3
9,77	128735,1	17527,6	16443,0	10886,7	671,2	174263,7	209116,4	27253,6
10,03	135176,4	18462,2	17154,6	13679,3	704,8	185177,4	222212,8	29722,5
10,29	141765,2	19421,2	17863,5	16868,8	739,2	196657,8	235989,4	32374,6
10,55	148501,3	20404,3	18568,9	20233,2	774,3	208482,0	250178,4	35179,2
10,80	155384,1	21411,8	19270,3	23860,2	810,2	220736,7	264884,0	38155,5
11,06	162413,4	22443,6	19967,0	28162,1	846,9	233832,9	280599,4	41381,6
11,32	169588,7	23499,6	20658,4	33584,9	884,3	248215,9	297859,1	44948,5
11,58	176909,7	24579,9	21344,2	40312,8	922,4	264069,1	316882,9	48906,1
11,83	184376,1	25684,5	22023,9	48129,9	961,4	281175,7	337410,8	53231,5
12,09	191987,4	26813,3	22697,1	56508,3	1001,1	299007,2	358808,6	57837,9
12,35	199743,3	27966,5	23363,4	64905,0	1041,5	317019,7	380423,7	62626,9
12,60	207643,6	29143,9	24022,6	73085,1	1082,7	334977,9	401973,5	67553,1
12,86	215687,9	30345,6	24674,5	81259,5	1124,6	353092,1	423710,5	72659,3
13,12	223875,9	31571,5	25318,6	89991,7	1167,3	371925,1	446310,1	78065,4
13,38	232207,2	32821,7	25955,0	99998,7	1210,8	392193,5	470632,2	83933,8
13,63	240681,7	34096,3	26583,4	111971,2	1255,0	414587,5	497505,0	90432,6
13,89	249298,9	35395,1	27203,7	126453,3	1299,9	439650,8	527581,0	97709,0
14,15	258058,7	36718,1	27815,7	143766,3	1345,6	467704,3	561245,2	105868,6
14,40	266960,6	38065,5	28419,4	163958,2	1392,0	498795,7	598554,8	114959,2

Tabla 18.10 Resultados Resistencia total



Hay que mencionar que se ha decidido aumentar la resistencia al avance en un 20% para después poner un motor que venza a ésta. Se ha decidido así porque, en nuestro caso, es un buque bastante grande, el cual hará viajes globales, por lo que tendrá que superar cualquier condición de mar.

La curva potencia-velocidad la vemos reflejada a continuación:

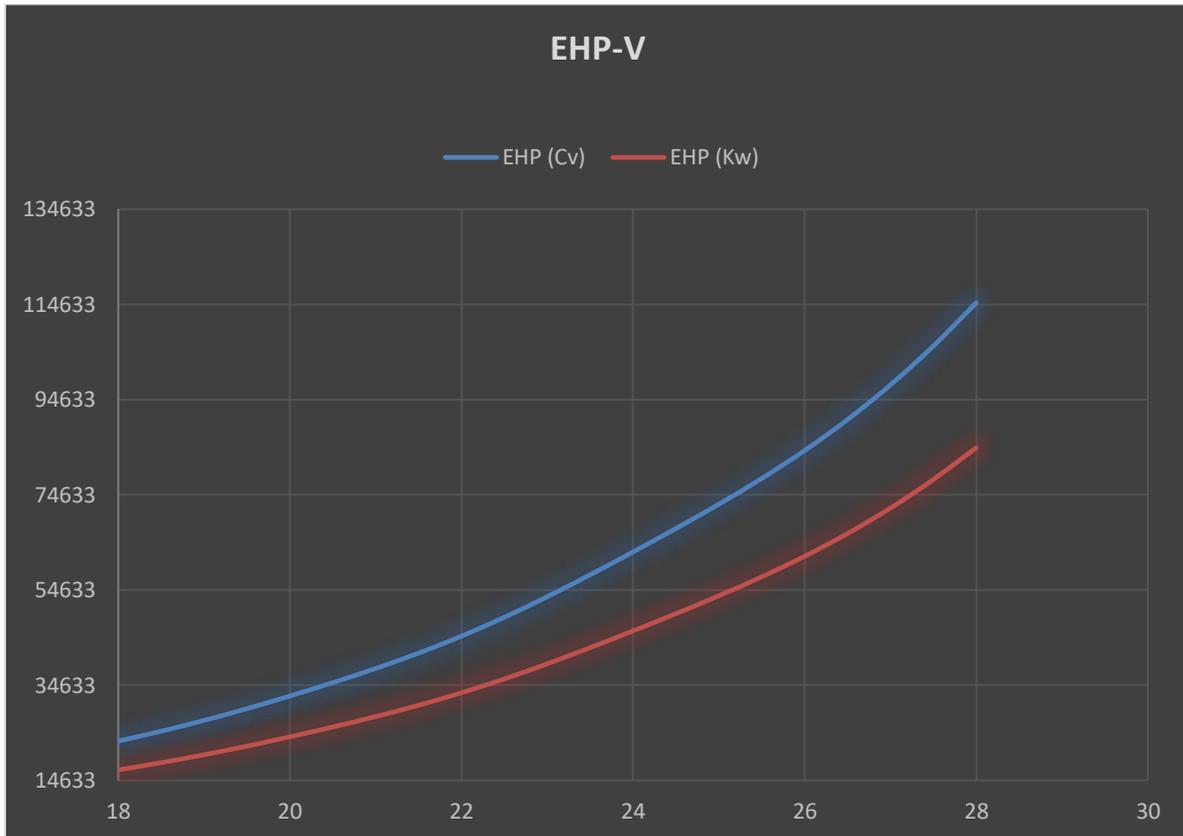


Tabla 18.11 Gráfica Potencia-Velocidad.

19. DIMENSIONAMIENTO DE LA HÉLICE Y SELECCIÓN DEL MOTOR PRINCIPAL

19.1. Selección del Sistema Propulsivo

Para poder seleccionar correctamente el sistema propulsivo, tendremos que tener en cuenta las condiciones de navegación de nuestro buque. Anteriormente se mencionó que a la resistencia de nuestro buque se le añadiría un 20% adicional por las condiciones de mar, ya que nuestro buque navegará prácticamente por todo el mundo y se puede encontrar situaciones bastante desfavorables a la hora de la navegación.

Dicho esto, lo más habitual en estos buques portacontenedores de grandes dimensiones es instalar una sola línea de ejes, la cual irá directamente acoplada a un motor diésel lento de 2



tiempos, lo que significa que tampoco habrá reductora, ya que las revoluciones por minuto serán bajas. El sistema llevará una hélice de palas fijas y directamente acoplada, ya que la operatividad de estos buques siempre es lo más simple posible.

A su vez, esta configuración del sistema propulsivo es robusta, fiable y, además, también tiene la ventaja de que necesita muy poco mantenimiento.

Tendremos que tener en cuenta, que el motor que seleccionemos cumpla con las especificaciones del armador, que recordamos que eran navegar a 24,5 nudos al 85% de MCR.

Tendremos que tener en cuenta que la potencia del motor seleccionado influirá en las dimensiones de la hélice, la cual la estudiaremos en los siguientes capítulos, donde veremos tanto sus dimensiones como el número de palas. También deberemos tener en cuenta que la hélice no cavite, ya que, si lo hiciera, sería un problema bastante grave a la hora del mantenimiento de la misma. Además, su vida útil sería más corta, por lo que incrementaría el coste de mantenimiento debido a que habría que reemplazarla, adicionalmente no proporcionaría el empuje suficiente que necesita el buque.

20. SELECCIÓN DE LA HÉLICE PERTENECIENTE A LA SERIE B DE WAGENINGEN

20.1. Huelgos Mínimos

Para poder conseguir el diámetro máximo que podrá llevar nuestra hélice, nos tendremos que fijar en las formas de popa de nuestro buque y dejar unos huelgos mínimos entre la hélice y la carena. Para ello, nos vamos a ayudar del programa Autocad para acotar las dimensiones de nuestra popa y, a su vez, seguiremos las recomendaciones del Lloyd's Register of Shipping para los huelgos y que no cavite nuestra hélice.

Cabe destacar, que existen otros valores ligeramente diferentes, recomendados por otras fuentes, como puede ser el DNV. A partir de estos huelgos mínimos podremos determinar el diámetro máximo de la hélice de nuestro buque en un determinado codaste.

Recomendaciones de Lloyd's Register o Shipping:

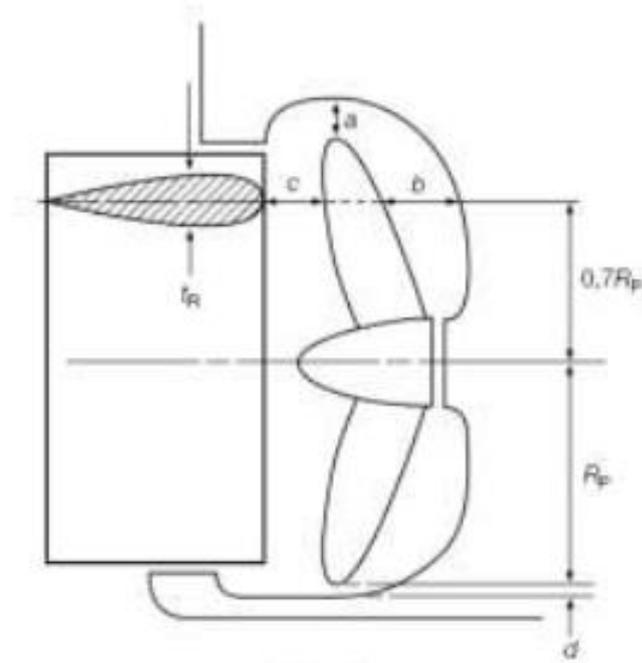


Imagen 20.1 Esquema huelgos mínimos según Lloyd's. Tomado de [4].

Ahora bien, para poder hallar los parámetros a,b,c y d, el Lloyd's recomienda los siguientes pasos que vemos tabulados a continuación:

Número de palas	Huelgos para buques de una hélice (m)				Huelgos para buques de dos hélices (m)	
	a	b	c	d	e	f
3	1,20 K D	1,80 K D	0,12 D	0,03 D	1,20 K D	1,20 K D
4	1,00 K D	1,50 K D	0,12 D	0,03 D	1,00 K D	1,00 K D
5	0,85 K D	1,275 K D	0,12 D	0,03 D	0,85 K D	0,85 K D
6	0,75 K D	1,125 K D	0,12 D	0,03 D	0,75 K D	0,75 K D
Valor mínimo	0,10 D	0,15 D	t _R		3 y 4 palas, 0,20 D 5 y 6 palas, 0,16 D	0,15 D
Símbolos						
C _B = Coeficiente de bloque al calado de carga. L= Eslora en la flotación de verano desde la parte de proa de la roda hasta la parte de popa del codaste popel.					t _R = Espesor del timón a 0,7R sobre el eje (m). P = Potencia en el eje (kW). R = Radio del propulsor (m). D = Diámetro del propulsor (m).	
$K = \left(0,1 + \frac{L}{3050}\right) \left(\frac{3,48 C_B P}{L^2} + 0,3\right)$						
$K = \left(0,1 + \frac{L}{3050}\right) \left(\frac{2,56 C_B P}{L^2} + 0,3\right)$						

Tabla 20.1 Valores huelgos mínimos según Lloyd's. Tomado de [4].



Analizando las dimensiones de la popa, vemos que la inmersión del eje es de 10,84m. Llegado este punto, se decide colocar un timón suspendido, ya que es muy común en este tipo de buques y nos permitirá aumentar un poco más el diámetro de la hélice para que nos pueda proporcionar más empuje.

No obstante, nuestro parámetro más restrictivo será a , que es el espacio que hay entre la hélice y la bovedilla del codaste.

Además, hay que mencionar que, según las formas de nuestro buque, la distancia del eje de la hélice hasta la bovedilla del codaste era relativamente pequeña, por lo que no nos permitía colocar una hélice adecuada para proporcionar el empuje necesario para nuestro barco. Por ello, se decidió elevar un poco dicha zona, permitiendo así colocar una hélice de mayor tamaño.

Al realizar dicha transformación, el mayor inconveniente podría ser que nos cambiaran drásticamente los coeficientes adimensionales del buque. Pero esto no es así: ha habido una muy pequeña variación de estos coeficientes, por lo que se decide seguir con los mismos coeficientes hallados anteriormente.

En la siguiente imagen, podemos ver todas las medidas de nuestra zona de popa, para poder calcular esos huelgos (en nuestro caso el más restrictivo será a) y así poder calcular nuestro diámetro máximo a instalar.

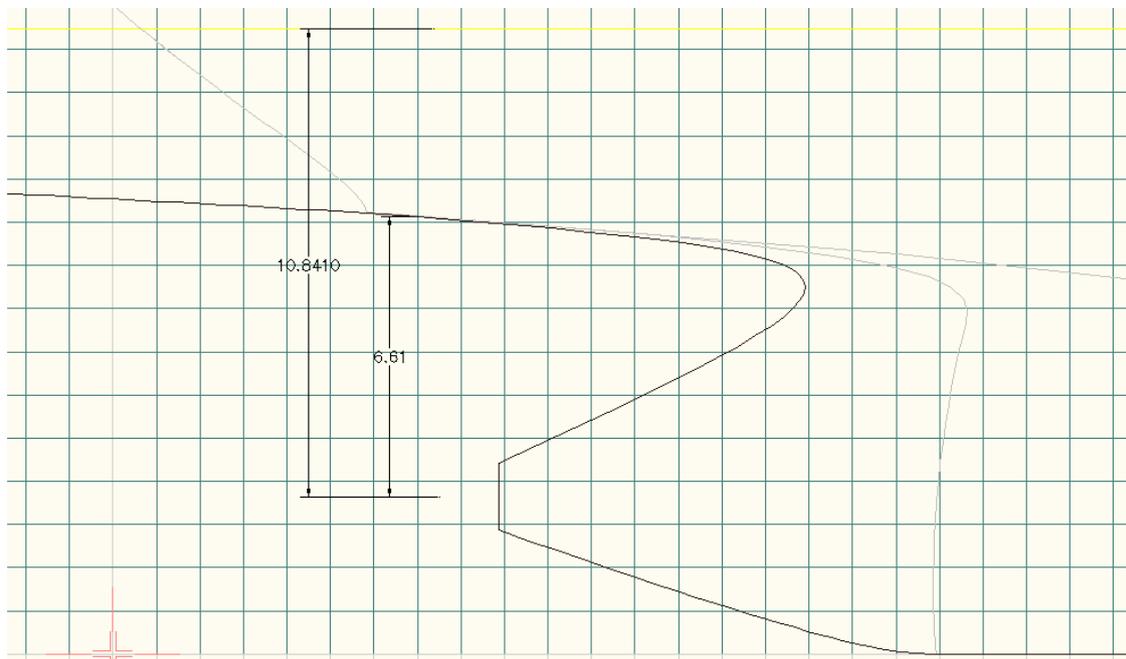


Imagen 20.2 Modificación parte de popa



El huelgo mínimo a , que tendremos que dejar según la distinta configuración de palas es la siguiente:

K 0,25505214

Nº palas	Fórmula	Resultado(m)
3	$1,2 * K * D$	2,67
4	$1 * K * D$	2,22
5	$0,85 * K * D$	1,89
6	$0,75 * K * D$	1,67

Tabla 20.2 Valores de los huelgos mínimos del buque proyecto.

Obviamente, para los distintos valores de los huelgos, el diámetro de la hélice no es el mismo en cada caso, donde observamos que cuanto mayor sea el número de palas, más diámetro se podrá instalar. Pero el inconveniente es el mantenimiento de las palas, ya que, a más número de palas, mayor será el mantenimiento.

Los distintos valores del diámetro máximo son los siguientes:

Palas	Dmax(m)
3	7,88
4	8,78
5	9,44
6	9,88

Tabla 20.3 Valores del diámetro máximo.



20.2. Selección del propulsor óptimo

Para la selección del propulsor óptimo, se decide realizarlo por el análisis de regresión de la serie B, que son unas expresiones polinómicas. Se decide por este método porque ya una vez programados, es bastante sencillo ver si una hélice es óptima o no para el buque en cuestión.

El objetivo de estas series polinómicas es:

-Eliminar los errores que se cometen en los diagramas, debidos a los propios errores experimentales y a los distintos números de Reynolds a los que se ensayaron los distintos propulsores. Además, si utilizáramos los diagramas, podríamos cometer errores visuales a la hora de obtener las características de la hélice.

Aparte de lo mencionado anteriormente, estas expresiones nos permiten calcular también los coeficientes de empuje y par en función de la hélice instalada, por lo que estos valores nos serían muy útiles posteriormente para trabajar con algún programa informático para diseño de propulsores.

Las expresiones polinómicas para K_T y K_Q son las siguientes:

$$K_T = \sum C_{s,t,u,v} (J)^s (H/D)^t (A_E/A_0)^u (Z)^v$$
$$K_Q = \sum C_{s,t,u,v} (J)^s (H/D)^t (A_E/A_0)^u (Z)^v$$

Ecuación 20.1

Donde los valores de C_s , t , u y v vienen tabulados.

Nosotros no vamos a trabajar justo con las expresiones anteriores, si no, con las expresiones polinómicas de los diagramas K_T - J , $10K_Q$ - J y B_p - δ , de los propulsores de la serie B de Wageningen para 3, 4, 5 y 6 palas.

En estas expresiones, el coeficiente de par y de empuje vendrá dado por las siguientes expresiones:



$$K_T = \sum_{i=0}^{n_1} \sum_{i=0}^{n_2} \sum_{i=0}^{n_3} a_{ijk} \left(\frac{A_E}{A_0}\right)^i \left(\frac{H}{D}\right)^j (J)^k$$

$$10 K_Q = \sum_{i=0}^{n_1} \sum_{i=0}^{n_2} \sum_{i=0}^{n_3} b_{ijk} \left(\frac{A_E}{A_0}\right)^i \left(\frac{H}{D}\right)^j (J)^k$$

Ecuación 20.2

A_{ijk} , b_{ijk} : coeficientes de las tablas.

A_e/A_o : relación área expandido-área disco.

H/D : es la relación del paso-diámetro.

J : grado de avance.

Donde J se obtiene a partir de las siguientes expresiones:

$$J = \frac{V_A}{nD}$$

Ecuación 20.3

$$V_A = V(1 - w)$$

Ecuación 20.4

- V_a : será la velocidad de avance en m/s.

- n : las revoluciones en rps.

- D : diámetro de la hélice en metros.

- V : velocidad del buque en m/s.

- w : coeficiente de estela.

Ahora, el coeficiente del diámetro óptimo se calcula con la siguiente expresión. Y hay que mencionar que una vez programado, si éste coeficiente de diámetro óptimo es menor que el de diámetro máximo, trabajaremos con el óptimo y en caso de que sea mayor que el máximo, trabajaremos con el máximo:



$$\delta_{\text{ópt}} = \sum_{i=0}^{n_1} \sum_{j=0}^{n_2} c_{i,j} \left(\frac{A_E}{A_0}\right)^i \left(\frac{\sqrt{B_P}}{10}\right)^j$$

Ecuación 20.5

Donde B_p se obtendrá de:

$$B_p = \frac{N * \sqrt{DHP}}{V_A^{2,5}}$$

Ecuación 20.6

N: es la velocidad de giro en rpm.

V_a : velocidad de avance en nudos.

DHP: potencia absorbida por la hélice en agua dulce, en aguas abiertas y en Cv, donde la podemos obtener de la siguiente expresión:

$$DHP = BHP * \frac{1}{1,026} * \eta_M * \eta_R$$

Ecuación 20.7

BHP: potencia instalada en Cv.

η_m : rendimiento mecánico.

η_r : rendimiento rotativo-relativo.

Por último, nos quedaría obtener las relaciones de paso-diámetro y del rendimiento del propulsor aislado, que vendrán dados por las siguientes expresiones:

$$\frac{H}{D} = \sum_{i=0}^{n_1} \sum_{j=0}^{n_2} \sum_{k=0}^{n_3} d_{ijk} \left(\frac{A_E}{A_0}\right)^i \left(\frac{\sqrt{B_P}}{10}\right)^j \left(\frac{\delta}{100}\right)^k$$

Ecuación 20.8



$$\eta_0 = \sum_{i=0}^{n_1} \sum_{j=0}^{n_2} \sum_{k=0}^{n_3} e_{ijk} \left(\frac{A_E}{A_0}\right)^i \left(\frac{\sqrt{B_P}}{10}\right)^j \left(\frac{\delta}{100}\right)^k$$

Ecuación 20.9

$$\delta = \frac{30,86}{J} = \frac{N D}{V_A}$$

Ecuación 20.10

Finalmente habiendo mencionado como se obtendrían las expresiones polinómicas, las tablas siguientes contienen las expresiones polinómicas a usar para el distinto número de palas (3, 4, 5 y 6)



Para 3 palas:

K_T		$10 K_Q$		δ_{ijk}		H/D		η_0	
ijk	a_{ijk}	ijk	b_{ijk}	ijk	c_{ijk}	ijk	d_{ijk}	ijk	e_{ijk}
000	+0,046556	000	+0,037936	000	+18,8058	000	+0,87674	000	+1,12239
001	-0,249391	002	+0,088652	100	-48,2119	100	+1,85810	100	-0,65719
010	+0,209395	011	+0,140800	200	+35,4772	010	+6,23130	010	-2,49002
020	+0,158114	020	+0,034477	110	+421,5841	001	-3,21054	001	+0,77829
102	-0,147581	110	-0,408811	020	+170,2146	200	-0,19715	200	+0,15548
111	-0,481497	111	-0,948570	210	-399,9848	110	-2,61934	110	+1,29182
120	+0,415437	112	-0,885381	120	-463,7622	101	-5,72075	101	+0,30777
002	-0,135631	120	+1,217200	030	-117,1999	020	+0,59604	020	+0,80541
011	+0,182047	001	-0,111261	310	+082,0509	011	-5,45364	011	+0,71850
100	-0,031550	010	+0,154108	220	+270,2712	210	+1,54855	210	-0,14982
101	+0,032906	012	+0,142295	130	+166,4671	102	+7,12100	120	-0,41024
030	-0,158950	102	-0,142083	040	+30,5780	030	-0,12629	102	-0,85697
060	+0,006384	103	+0,666037	330	-30,7221	003	+1,60832	030	-0,13208
103	+0,168496	130	+0,161886	240	-35,9455	301	-0,34746	003	-0,29917
200	-0,050721	131	+0,031808	150	-04,0722	022	+0,48039	022	-0,07979
202	+0,085455	200	+0,142370	060	-01,1861	320	+0,09330	320	-0,04026
203	-0,050447	201	+0,356638	360	+03,1183	212	-0,73719	104	+0,23048
261	+0,010465	203	+0,196283			104	-1,24390	240	+0,04474
262	-0,006482	210	-0,502782			240	-0,02892	015	+0,01804
031	+0,050527	213	-0,300550			015	-0,09945	304	+0,03606
033	-0,003068	222	+0,417122			242	+0,06313	242	-0,00768
130	-0,057379	230	-0,436008			207	+0,03905	207	-0,01226
201	+0,055812	260	+0,023347			072	-0,00157	072	+0,00033
220	-0,012323	003	-0,320502			370	-0,00332	370	-0,00084
003	-0,005044	033	+0,033270			137	+0,00525	137	-0,00075
021	-0,014728	060	-0,009417			066	+0,00019	066	-0,00004
061	-0,002959	160	-0,015394			277	-0,00024	277	+0,00004
062	-0,000278	220	+0,380409						
163	+0,000508	232	-0,095483						
230	-0,013190	023	+0,010120						
		063	-0,002675						
		101	+0,024259						
		233	+0,078231						
		261	+0,004987						

Tabla 20.4 Valores para 3 palas. Tomado de [4].



Para 4 palas:

K _T		10 K _Q		δ _{ijk}		H/D		η ₀	
ijk	a _{ijk}	ijk	b _{ijk}	ijk	c _{ijk}	ijk	d _{ijk}	ijk	e _{ijk}
000	-0,007199	000	+0,096438	000	+3,7019	000	+2,53194	000	+1,12034
100	-0,079091	100	-0,104103	100	-12,7673	100	+0,42138	100	-0,25463
001	-0,179541	200	+0,051243	010	+132,6387	010	+10,97929	010	-1,17553
101	-0,062574	300	+0,109936	200	+5,9671	001	-14,55367	001	-0,74275
002	-0,311639	001	-0,045342	110	+14,3308	200	-0,44379	200	+0,49267
203	+0,143160	101	+0,216078	020	-47,2738	110	-5,26895	110	-5,21204
010	+0,531326	002	-0,507337	030	+18,3635	101	+2,74333	101	+4,13699
111	-0,114389	102	+0,377970	310	-11,7569	020	+1,35486	020	-3,84161
012	+0,062537	303	-0,549486	220	-0,9627	011	-16,78441	011	+8,08588
013	+0,125537	210	-0,507319	040	-2,8759	002	+17,96947	002	-0,79401
113	-0,052302	011	+0,368649			300	+0,46988	300	-0,20744
020	-0,207108	111	-1,065200			210	+2,69753	210	+5,07206
120	+0,270781	312	+0,465315			201	-2,63233	201	-4,82711
021	+0,134182	213	+0,883010			120	-5,00249	120	+6,52799
121	-0,121086	020	+0,112619			111	+7,75103	111	-3,74597
321	-0,018976	120	+1,048250			030	-0,55566	030	+2,58648
322	-0,043953	121	-0,449154			021	+4,33242	021	-3,09066
023	-0,062493	221	+0,378780			003	-4,00847	003	-3,48467
260	-0,004969	022	+0,177304			310	-,95834	310	+0,05474
261	+0,011598	122	-0,164687			220	+02,23447	220	-4,35481
		222	-0,344328			202	+1,36179	202	+2,68353
		322	-0,249132			130	1,63258	130	-1,53112
		123	-0,233007			103	-03,95625	103	-0,39145
		060	-0,012021			040	-0,38937	040	-0,32017
		360	-0,011900			221	-2,52278	004	+2,39228
		161	+0,045809			104	+1,01816	221	+1,84607
						032	-0,08403	330	+0,12575
						303	-0,04688	303	-0,19816
						240	-0,12744	204	-0,47711
						150	-0,04371	150	+0,10386
						060	+0,03431	132	-0,04590
						015	+0,09088	060	-0,01089
						214	+0,52279	042	+0,02025
						341	+0,13183	006	-0,29752

Tabla 20.5 Valores para 4 palas. Tomado de [4].



Para 5 palas:

K_T		$10 K_Q$		δ_{ijk}		H/D		η_0	
ijk	a_{ijk}	ijk	b_{ijk}	ijk	c_{ijk}	ijk	d_{ijk}	ijk	e_{ijk}
000	-0,019123	000	+0,052067	000	-2,7496	000	+2,48918	000	+0,82992
200	-0,086025	201	+0,627259	100	+21,6956	100	-0,57144	100	+0,10498
300	-0,005983	301	-0,337780	010	+89,4436	010	+11,90687	010	-4,27123
001	-0,181301	002	-0,518101	200	-53,3165	001	-14,28465	001	+3,60035
002	-0,457217	102	+0,396494	110	+123,3421	200	+0,62117	200	-0,48534
302	+0,056290	003	-0,084889	300	+33,1057	110	-5,45167	110	+1,37539
203	+0,099058	303	+0,317571	210	-77,1040	101	+5,55400	101	-0,54968
010	+0,431314	010	+0,130016	120	-108,8770	020	-4,32869	020	+2,45622
110	+0,189210	110	-0,340161	220	+47,5290	011	-10,67130	011	+3,64768
111	-0,254103	011	+0,624821	130	+34,9060	002	+12,40371	002	-6,19053
012	+0,413600	111	-2,396570	040	-1,2738	300	+0,19003	300	+0,25050
212	-0,126380	211	+0,801838	240	-7,6641	210	+1,91882	210	-0,46911
020	-0,086591	012	+0,119589	360	+0,2577	201	-4,89394	201	+0,16449
120	+0,085648	312	-0,477460			120	-1,01912	120	-1,24553
021	+0,113060	120	+1,336990			111	+4,44772	030	-1,26063
022	-0,146526	220	-0,382898			030	+5,24558	021	-1,30206
060	-0,007928	121	+0,270494			021	+0,97267	003	+3,22321
161	+0,006694	160	-0,038147			220	+0,65871	220	+0,68019
		360	+0,024175			202	2,75063	202	+0,08561
						130	-0,38320	130	+0,31389
						103	-3,61750	103	+0,14344
						040	-2,18760	040	+0,44088
						013	-1,39293	004	-0,79437
						320	-0,26988	320	-0,16706
						212	-0,91670	212	-0,20216
						032	0,55312	240	-0,04091
						150	+0,10598	150	-0,01007
						114	+0,80782	123	+0,01710
						060	+00,10998	060	-0,01501
						015	-00,04238	033	+0,01859
						304	+00,12508	015	+0,01620
						332	-00,02588	006	+0,00359
						215	-00,04901	313	+0,03362
						062	-00,01524	205	-0,02105

Tabla 20.6 Valores para 5 palas. Tomado de [4].



Para 6 palas:

K_T		$10 K_Q$		δ_{ijk}		H/D		η_0	
ijk	a_{ijk}	ijk	b_{ijk}	ijk	c_{ijk}	ijk	d_{ijk}	ijk	e_{ijk}
000	0,073384	000	0,037936	000	-0,2445	000	2,27976	000	0,82310
001	-0,383902	002	0,088652	100	6,2041	100	-0,34262	100	0,18070
010	0,252440	011	0,273720	010	115,8904	010	6,44145	010	-2,16987
020	0,158114	020	0,034477	020	-58,9531	001	-9,26847	001	1,24845
102	-0,147581	110	-0,408811	210	-28,2797	200	0,34027	200	-0,13245
111	-0,481497	111	-0,817060	120	83,7060	101	0,32251	110	-0,21521
120	0,415437	112	-0,885381	030	48,1711	020	0,40356	020	0,99048
002	-0,224494	120	0,829390	130	-67,6160	011	-6,31285	011	0,89295
011	0,364096	001	-0,222523	040	-11,8871	002	7,18373	002	-1,04921
100	-0,050663	010	0,308218	240	8,9637	210	-0,52500	210	0,20097
101	0,065813	012	0,284591	150	5,0759	120	-0,24815	120	0,04660
030	-0,184202	102	-0,134291	360	-0,8954	301	-0,19130	030	-0,36050
060	0,006384	103	0,773992			202	0,69601	202	-0,13736
103	0,168496	130	0,161886			103	-0,22289	103	0,06899
200	-0,050721	131	0,031806			022	0,38878	022	-0,0469
202	0,085455	200	0,092610			050	0,00812	050	0,01817
203	-0,050447	201	0,241547			005	-0,33056	005	0,03820
261	0,010465	203	0,195283			330	0,13027	330	-0,01141
262	-0,006482	210	-0,502782			313	-0,07071	115	-0,00745
031	0,11054	213	-0,300550			115	0,04809	305	0,00979
033	-0,006137	222	0,617122			305	-0,04246	360	0,00067
130	-0,038845	230	-0,550866			062	-0,00409	027	-0,00071
201	0,111624	260	-0,002166			360	-0,00840	272	-0,00012
220	-0,024647	003	-0,641124			027	0,00852	346	-0,00009
003	-0,020179	033	0,065548			272	0,00100	157	0,00005
021	-0,058914	060	-0,018834			346	0,00115		
061	-0,011836	160	0,023693			157	-0,00063		
062	0,002866	220	0,760818						
163	0,002034	232	-0,190967						
230	-0,052763	023	0,040482						
		063	-0,010700						
		101	0,097038						
		233	0,031292						
		261	0,019951						

Tabla 20.7 Valores para 6 palas. Tomado de [4].

Descrito brevemente lo que se debe de hacer para averiguar si una hélice es óptima o no para un buque determinado, previamente deberemos saber unos parámetros. Para así poder realizar las series polinómicas. Estos parámetros son: el coeficiente de estela, el de succión, una primera aproximación de la potencia a instalar, la suposición de unos determinados rendimientos y primeras suposiciones del A_e/A_o .

Lo primero que vamos a suponer será el rendimiento mecánico, que será de 0,99, un rendimiento cuasi propulsivo de 0,7 y un A_e/A_o inicial de 0,85.



Todos estos valores son tomados en referencia a otros proyectos y revistas de buques similares al de este trabajo, donde se pudo ver que estos valores son bastante comunes.

20.3. Determinación del Coeficiente de Estela

Para poder calcular el coeficiente de estela, nos centraremos en la fórmula proporcionada por el proyecto básico del buque mercante, dicha fórmula es la siguiente:

$$w = \frac{C9 * C20 * CV * Lpp}{T_{popa} * (0,050776 + 0,93405 * C11 * \frac{CV}{1 - C_{p1}})} + 0,27915 * C20$$

$$* \sqrt{\frac{B}{Lpp * (1 - C_{p1})}} + C19 * C20$$

Ecuación 20.11

Donde todos los coeficientes reflejados para la obtención del coeficiente de estela, los podemos obtener de la siguiente manera:

$$C8 = B * S / (LWL * DP * TA) \quad \text{Si } B/TA < 5$$

Ecuación 20.12

$$C8 = S * (7B/TA - 25) / (LWL * DP * (B/TA - 3)) \quad \text{Si } B/TA > 5$$

Ecuación 20.13

$$C9 = C8 \quad \text{Si } C8 < 28$$

Ecuación 20.14

$$C9 = 32 - 16 / (C8 - 24) \quad \text{Si } C8 > 28$$

Ecuación 20.15

$$C11 = TA / DP \quad \text{Si } TA/DP < 2$$

Ecuación 20.16

$$C11 = 0,0833333 * \left(\frac{TA}{DP}\right)^3 + 1,33333 \quad \text{Si } TA/DP > 2$$

Ecuación 20.17



$$C_{19} = 0,12997 / (0,95 - CB) - 0,11056 / (0,95 - CP) \quad \text{Si } C_p < 0,7$$

Ecuación 20.18

$$C_{19} = 0,18567 * (1,3571 * CM) - 0,71276 + 0,38648 * CP \quad \text{Si } C_p > 0,7$$

Ecuación 20.19

$$C_{20} = 1 + 0,015 C_{stern}$$

Ecuación 20.20

$$C_{p1} = 1,45 * CP - 0,315 - 0,0255 * XB$$

Ecuación 20.21

$$CV = (1 + K) * CF + CA$$

Ecuación 20.22

Dicho esto, los resultados son los siguientes:

B/Ta	2,99516575
c8	15,9609888
c9	15,9609888
Ta/D	1,64545455
c11	1,70458837
Cp	0,67
c19	0,02575774
c20	1
Cp1	0,90904
Cv=	0,00195202

Tabla 20.8 Parámetros necesarios para el cálculo del Coeficiente de Estela

Una vez obtenidos todos los coeficientes, ya podemos obtener el coeficiente de estela:

$$w = 0,43061$$

El coeficiente de succión t , también nos lo proporciona el proyecto básico del buque mercante, facilitándonos su obtención mediante la siguiente expresión:



$$t = \frac{0,25014 * \left(\frac{B}{L_{pp}}\right)^{0,28956} * \left(\frac{\sqrt{B * T}}{D}\right)^{0,2624}}{(1 - CP + 0,0225 * XB)^{0,01762}} + 0,00015 * C_{stern}$$

Ecuación 20.23

Obteniendo un coeficiente de succión de valor:

$$t = 0,1958$$

Una vez conocidos el coeficiente de estela y de succión, debemos averiguar todos los rendimientos necesarios para una primera aproximación de la potencia a instalar, varios de estos rendimientos ya los hemos supuesto: el rendimiento mecánico igual a 0,99 y el rendimiento cuasi propulsivo. Este último, en vez de estimarlo, tendremos un valor de él más concreto con una fórmula empírica proporcionada por el Canal del Pardo. Tendremos que averiguar también el rendimiento rotativo relativo y el rendimiento de la carena y, por último, el rendimiento propulsivo para nuestra estimación de la potencia a instalar.

20.4. Rendimiento Rotativo-Relativo

El rendimiento rotativo relativo, se podrá averiguar mediante la siguiente fórmula:

$$\eta_R = 0,9922 - 0,05908 * \frac{Ae}{Ao} + 0,07424 * (C_p - 0,0225 * LCB)$$

Ecuación 20.24

$$\eta_R = 1,0164$$

20.5. Rendimiento de la Carena

Vendrá en función del coeficiente de estela y del coeficiente de succión, obteniendo su valor de la siguiente manera:



$$\eta_H = \frac{1 - t}{1 - w}$$

Ecuación 20.25

Resultando un valor de:

$$\eta_H = 1,412$$

20.6. Rendimiento Cuasi Propulsivo

Como hemos mencionado anteriormente, el Canal del Pardo de Madrid nos proporciona una fórmula para obtener dicho valor, la cual es la siguiente:

$$ETA_D = 0,943 - 0,00187 * N * Lpp^{\frac{1}{2}} + 0,023 * \frac{B}{T} - 0,2 * C_B * Lpp^{\frac{1}{2}}$$

Ecuación 20.26

Donde el resultado es el siguiente:

$$ETA_D = 0,7027$$

Ahora bien, para determinar la primera estimación de la potencia a instalar, necesitamos el rendimiento propulsivo que lo conseguiremos multiplicando el rendimiento mecánico por el cuasi propulsivo:

$$ETA_P = \eta_D * \eta_M$$

Ecuación 20.27

$$ETA_P = 0,696$$

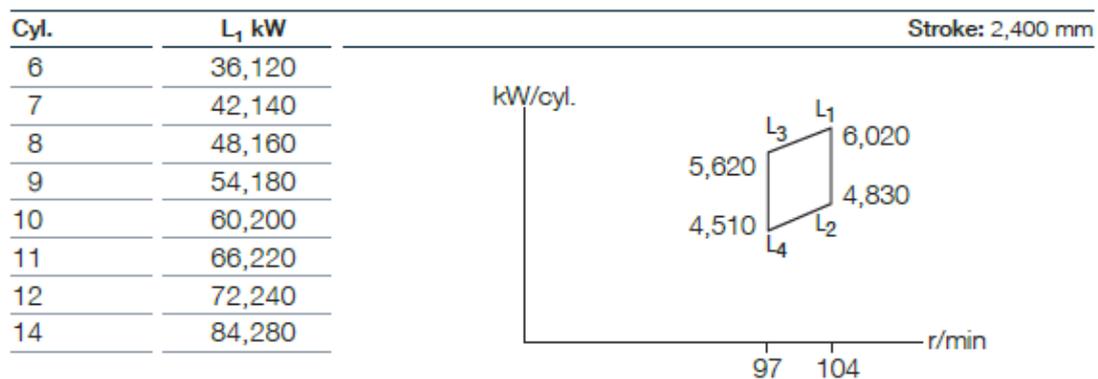


Ahora los BHP “necesarios” se obtienen dividiendo los EHP obtenidos por el método de Holtrop, entre el rendimiento propulsivo del buque, obteniendo unas BHP necesarias de:

$$BHP_{NECESARIO} = 54665,52 \text{ Kw}$$

Conociendo esta primera aproximación, ya podemos seleccionar motores a instalar en catálogos proporcionados por distintas marcas de motores, en los cuales se muestra la potencia al freno BHP y las revoluciones nominales. Valorando varias opciones, al final se decide instalar el siguiente motor, el cual hay que decir que también está instalado en buques similares al nuestro:

MAN B&W K98ME-C7.1-TII



SFOC for engines with layout on L ₁ - L ₃ line [g/kWh]			L ₁ /L ₃ MEP: 19.2 bar	
SFOC optimised load range	Tuning	50%	75%	100%
Part load (50%-85%)	ECT	171.5	169.0	177.0
	EGB/HPT	169.5	168.5	175.5
Low load (25%-70%)	ECT	170.0	169.5	175.5
	EGB/HPT	167.5	169.5	175.5

SFOC for engines with layout on L ₂ - L ₄ line [g/kWh]			L ₂ /L ₄ MEP: 15.4 bar	
SFOC optimised load range	Tuning	50%	75%	100%
Part load (50%-85%)	ECT	167.5	163.0	171.0
	EGB/HPT	165.5	162.5	169.5
Low load (25%-70%)	ECT	166.0	163.5	169.5
	EGB/HPT	163.5	163.5	169.5

Tabla 20.9 Rango de Valores del motor a instalar. Tomado de [33].



Aun así, antes de mostrar si nuestra hélice cavita para las distintas palas, debemos describir brevemente el método de Keller, ya que es el que nos va a permitir saber si realmente la hélice cavita o no.

20.7. Método de Keller

En el Canal de Wageningen, a partir de numerosos ensayos con distintos modelos de buques, a distintas velocidades...etc. se propuso la siguiente expresión para la relación del área expandida-área disco mínima necesaria para que la hélice no Cavite:

$$\left(\frac{Ae}{Ao}\right)_{MIN} = \frac{(1,3 + 0,3 * Z)}{(P_o - Pv) * D^2} + K$$

Ecuación 20.28

-Z= número de palas.

-T= empuje de la hélice, kg.

-Po= Presión estática en el eje= Pa+ρgh en kg/m².

-Pa= Presión atmosférica en kg/m².

-h= Inmersión del eje en metros.

-Pv= Presión de vapor del agua en kg/m².

-D= diámetro de la hélice en metros.

-K= 0,1 para buques de dos hélices y 0,2 para buques de una sola hélice.

Hay que mencionar que tendremos que escoger la relación área expandida-área disco lo más baja posible, ya que a medida que aumenta esta relación, el rendimiento de la hélice disminuirá. Esto es debido al aumento de la superficie de fricción.

Destacar también que todo este proceso es totalmente iterativo, por lo que iremos probando valores hasta que todos los valores nos coincidan.

Resumen del procedimiento de la selección de la hélice:

- 1- Se elige un motor de un catálogo del que se conoce la potencia al freno BHP y las revoluciones nominales del mismo.



- 2- Mediante la fórmula de Keller, se establece una primera aproximación del área expandida-área disco.
- 3- Se establece un diámetro máximo por el espacio proporcionado bajo el codaste y respetando los huelgos mínimos establecidos por el Lloyd's, según el número de palas.
- 4- Seleccionaremos aquel conjunto hélice-motor que ofrezca un margen entre potencia instalada y potencia necesaria alrededor de un 6-10% y que cumpla la condición de que la hélice no Cavite.

21. SELECCIÓN DEL MOTOR

Anteriormente hemos mostrado el motor a instalar, que es el **MAN B&W K98ME-C7.1-**

TII

Con una potencia alrededor de 60200-66220Kw.

Con unas revoluciones de 100 rpm.

21.1. Tablas resumen de la selección de la hélice según el número de palas

Con todos los datos y haciendo los cálculos correspondientes obtenemos la siguientes tablas:

PARA 3 PALAS:

Ae/Ao	PROPULSOR 3 PALAS					
0,85	BHP	88802,483	w	0,43061442	Dmax	7,880
	N	100	t	0,1958	leje	10,840
	V	24,5	η_r	1,0164		
	EHP	52257,176	η_m	0,99	ρ	104,587
	DHP	87090,099	Kp	0,9	Pa-Pv	10100
	Va	13,949947				
	Bp	40,603	$\delta_{m\acute{a}x}$	56,4877		
			$\delta_{\acute{o}pt}$	69,9525		
			$\delta/100$	0,56488		

Tabla 21.1 Datos de partida 3 palas.



PARA 4 PALAS:

Ae/Ao	PROPULSOR 4 PALAS					
0,85	BHP	88802,483	w	0,43061442	Dmax	8,780
Ae/Ao min	N	100	t	0,1958	leje	10,840
	V	24,5	η_r	1,0164		
	EHP	52257,176	η_m	0,99	ρ	104,587
	DHP	87090,099	K_p	0,9	Pa-Pv	10100
	Va	13,949947				
	Bp	40,603	$\delta_{máx}$	62,9393		
			$\delta_{ópt}$	69,6397		
			$\delta/100$	0,62939		

Tabla 21.2 Datos de partida 4 palas.

PARA 5 PALAS:

Ae/Ao	PROPULSOR 5 PALAS					
0,8	BHP	80729,53	w	0,43061442	Dmax	9,440
Ae/Ao min	N	100	t	0,1958	leje	10,840
	V	24,5	η_r	1,0164		
	EHP	52257,176	η_m	0,99	ρ	104,587
	DHP	79172,817	K_p	0,9	Pa-Pv	10100
	Va	13,949947				
	Bp	38,713	$\delta_{máx}$	67,6705		
			$\delta_{ópt}$	67,6415		
			$\delta/100$	0,67641		

Tabla 21.3 Datos de partida 5 palas.



PARA 6 PALAS:

Ae/Ao	PROPULSOR 6 PALAS					
0,85	BHP	80729,53	w	0,43061442	Dmax	9,880
Ae/Ao min	N	100	t	0,1958	leje	10,840
	V	24,5	η_r	1,0164		
	EHP	52257,176	η_m	0,99	ρ	104,587
	DHP	79172,817	K_p	0,9	Pa-Pv	10100
	Va	13,949947				
	Bp	38,713	$\delta_{m\acute{a}x}$	70,8246		
			$\delta_{\acute{o}pt}$	66,4635		
			$\delta/100$	0,66464		

Tabla 21.4 Datos de partida 6 palas.

21.2. Resultados de las curvas programadas

PARA 3 PALAS:

HÉLICE	
Z	3
Dopt	7,88
H/D	1,2305
Ae/Ao	0,85
η_o	0,4385
T	368489,180
(Ae/Ao)min	0,8152
Pinstalada	88802,483
Pnecesaria	93182,8
Margen	-4,9326515
NO CAVITA	

Tabla 21.5 Resultados cavitación 3 palas.



PARA 4 PALAS:

HÉLICE	
Z	4
D _{opt}	8,78
H/D	0,9770
A _e /A _o	0,85
η _o	0,4868
T	409127,932
(A _e /A _o) _{min}	0,8252
P _{instalada}	88802,483
P _{necesaria}	83926,936
Margen	5,4903277
NO CAVITA	

Tabla 21.6 Resultados cavitación 4 palas.

PARA 5 PALAS:

HÉLICE	
Z	5
D _{opt}	9,4359492
H/D	0,7645
A _e /A _o	0,8
η _o	0,5222
T	399005,481
(A _e /A _o) _{min}	0,7913
P _{instalada}	80729,53
P _{necesaria}	74312,353
Margen	7,9489834



NO CAVITA

Tabla 21.7 Resultados cavitación 5 palas.

PARA 6 PALAS:

HÉLICE	
Z	6
D _{opt}	9,2716283
H/D	0,7895
A _e /A _o	0,85
η _o	0,5255
T	401519,211
(A _e /A _o) _{min}	0,8823
P _{instalada}	80729,53
P _{necesaria}	77743,034
Margen	3,6993855
CAVITA	

Tabla 21.8 Resultados cavitación 6 palas.

Una vez definidas las hélices para 3,4,5 y 6 palas tenemos que seleccionar el propulsor final. Seleccionaremos aquel que cumpla la condición de que no cavite la hélice y además, tiene un margen de funcionamiento aceptable.

Observando los resultados ya podemos descartar 2 opciones de primeras, que sería la hélice de 3 palas, que para la potencia instalada necesita una potencia mayor para vencer ese empuje y la hélice de 6 palas que, aunque nos cumpla con la potencia la descartaremos porque la hélice cavitara.

Nos quedan 2 opciones la hélice de 4 palas cuyo resultado son: H/D= 0,97, (A_e/A_o)_{min}= 0,8252, un η_o= 0,4868 y una potencia instalada de 66220Kw, con un margen de funcionamiento del 5,49%

Y por otro lado tenemos la hélice de 5 palas cuyos resultados son: H/D= 0,76, (A_e/A_o)_{min}= 0,7913, un η_o=0,5222 y una potencia instalada de 60200Kw, con un margen de funcionamiento del 7,95%

Observando las 2 hélices nos quedaremos con la hélice de 5 palas, ya que proporciona un área expandida-área disco menor que la de 4, por lo tanto, un rendimiento mayor y a su vez tiene



un margen de funcionamiento también mayor, además con la ventaja de que se instala un motor de menor potencia y por lo tanto más económico.

21.3. Análisis del propulsor en sobrecarga. Tracción a punto fijo.

Al seleccionar la hélice también debemos saber la capacidad de tracción de la misma, ya que anteriormente se había proyectado para obtener el máximo rendimiento en navegación libre.

En este análisis aumentaremos la carga aumentando la resistencia y a su vez, disminuirémos la velocidad de avance V_A y J , aumentando así K_Q . Para aumentar dicho parámetro deberémos bajar las revoluciones del propulsor, ya que tendremos un valor límite que será el par máximo Q_{max} , donde valores superiores a éste implicarían aumento de la temperatura en los cilindros y la temperatura de exhaustación, lo que provocaría una sobrecarga del motor por par.

Por lo que consideraremos $Q=Q_{max}$, entonces el aumento de K_Q será debido a una disminución de las revoluciones, por lo que tendremos que hallar estas revoluciones nuevas.

Tendremos:

$$J = \frac{V_A}{n * D}$$

Ecuación 21.1

$$K_Q = \frac{Q_{max}}{\rho * n^2 * D^5}$$

Ecuación 21.2

Donde serán incógnitas n , J y K_t . Para resolver este análisis tendremos dos opciones. Con los diagramas μ - σ o los diagramas K_t - J , K_Q - J .

En este trabajo se utilizará el segundo método, pero vamos a hacer una breve descripción de que tendríamos que hacer en el primero.

-Primer método diagramas μ - σ : Sobrecarga:

-Primero tendremos que calcular V_A :

$$V_A = V(1 - w)$$

Ecuación 21.3



Calculamos:

$$\varphi = V_A * \sqrt{\frac{\rho * D^3}{Q_{max}}}$$

Ecuación 21.4

Habiendo obtenido estos valores, podemos hallar la intersección de σ con la curva para el valor de H/D correspondiente y así poder sacar μ y σ . Una vez obtenidos estos valores, ya podemos hallar los valores del empuje y la fuerza ejercida de la hélice:

$$T = \frac{2\pi * Q_{max}}{D}$$

Ecuación 21.5

$$F = T(1 - t) - Rv$$

Ecuación 21.6

Para tracción a punto fijo:

En este caso la velocidad, $V=0$ por lo que V_a también será 0 y por lo tanto φ también valdrá 0.

Hallaremos la intersección de $\varphi=0$, con la correspondiente curva H/D , pudiendo hallar los valores de μ_0 y σ_0 . Entonces, en este caso, el empuje y la fuerza ejercida, serían:

$$T = \frac{2\pi * Q_{m\acute{a}x} * \sigma_0}{D}$$

Ecuación 21.7



$$Fo=To$$

Ecuación 21.8

Donde:

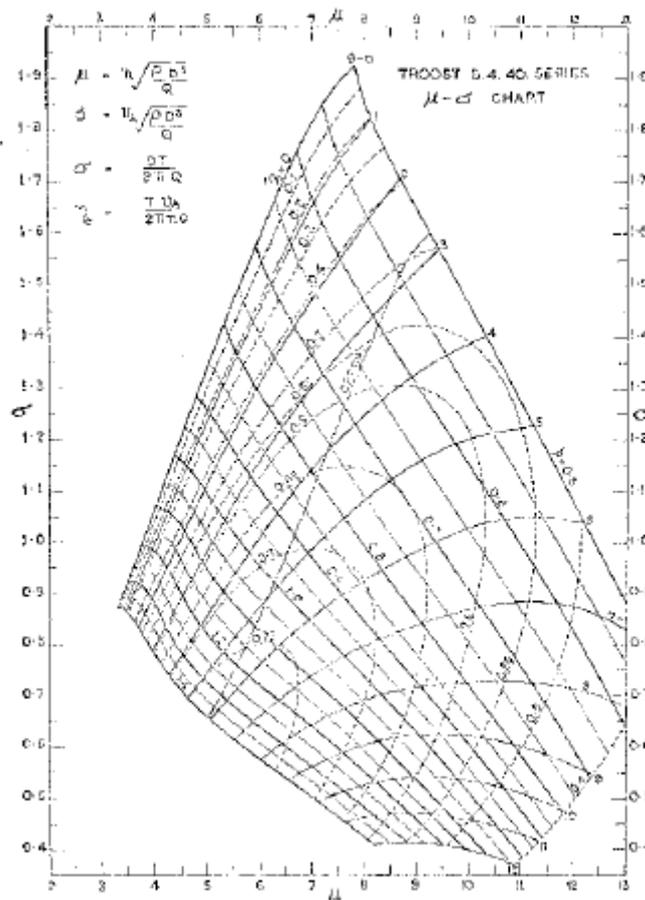
D= Diámetro de la hélice en metros.

Q= par absorbido por la hélice en kg•m.

T= empuje del propulsor en kg.

Va= Velocidad de avance en m/s.

El diagrama a utilizar sería uno similar al adjunto a continuación:



Gráfica 21.1 Gráfica de Troost. Tomado de [4].

-Segundo método, curvas Kq-J, Kt-J, en sobrecarga:



Tendremos que suponer unos valores de las revoluciones menores a los establecidos en navegación libre, n_1 , n_2 , n_3 ... donde calcularemos las J correspondientes y los valores de K_T correspondientes, una vez obtenidos estos valores, unimos los puntos por una curva, hallando la intersección con la curva K_0 - J correspondiente a la relación H/D de la hélice. Este punto corresponde a un valor de J del cual podremos despejar el valor de las revoluciones.

Para el valor de J obtenido, y para la relación H/D correspondiente, podemos leer el valor de K_T donde, a continuación, podremos sacar el empuje y , a su vez, la fuerza ejercida por la hélice.

$$K_T = \frac{T}{\rho * n^2 * D^4}$$

Ecuación 21.9

$$T = K_T * n^2 * D^4$$

Ecuación 21.10

$$T(1 - t) = Rv + F$$

Ecuación 21.11

$$F = T(1 - t) - Rv$$

Ecuación 21.12

Donde:

t = coeficiente de succión.

Rv = resistencia del buque.

F = Fuerza ejercida por sobrecarga a la velocidad correspondiente.

Tracción a punto fijo:

En este caso la Velocidad V , será 0 por lo que V_a y J también obtendrán el valor de 0. Hallaremos la intersección de la curva K_q para el valor de H/D correspondiente, obteniendo así el valor de K_{q0} . Una vez tenemos estos valores podremos, despejar las revoluciones correspondientes:



PABLO GARCÍA VERDÚ
TFG



$$n_0^2 = \frac{Q_{max}}{\rho * D^5 * K_{Q0}}$$

Ecuación 21.13

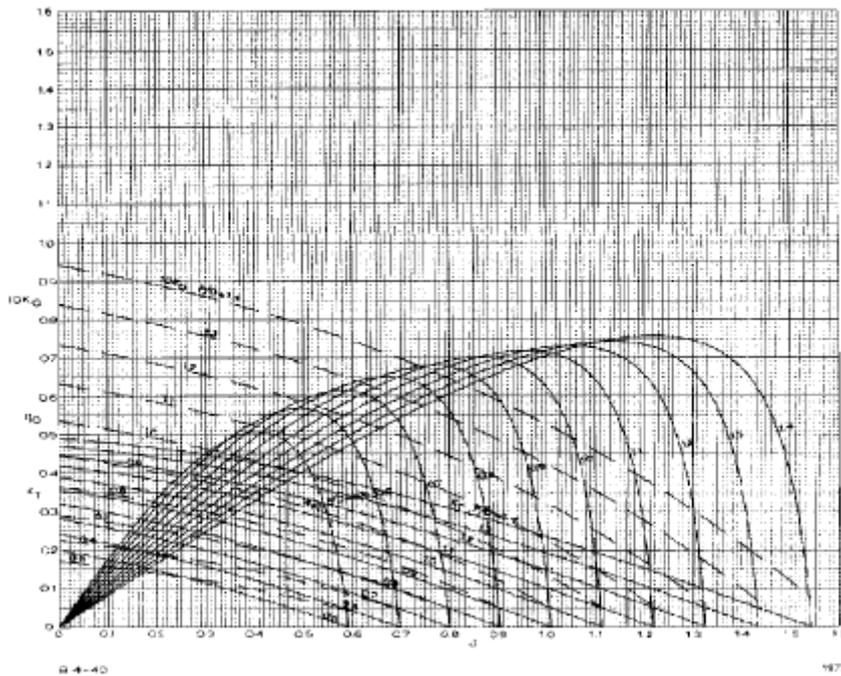
Y para J=0 obtenemos el valor de K_{T0}:

$$T = \rho * n_0^2 * D^4 * K_{T0}$$

Ecuación 21.14

$$F_0 = T_0$$

El diagrama a utilizar será uno similar al siguiente:



Gráfica 21.2 Diagrama Bp-J. Tomado de [4].

Una vez explicado el procedimiento a seguir, vamos a mostrar los resultados obtenidos para nuestro buque. Donde primero obtendremos las DHP de nuestro buque y seguidamente el par máximo, el cual lo tendremos que fijar:

$$DHP = \frac{BHP}{1,026} * \eta_R * \eta_M * K_p$$

Ecuación 21.15

$$DHP = 71256,982 \text{ HP}$$

Una vez sabemos las DHP de nuestro buque, ya podemos obtener el par máximo que tendremos:

$$Q_{MÁX} = \frac{DHP * 75}{2\pi * \left(\frac{N}{60}\right)}$$

Ecuación 21.16



$$Q_{MÁX} = 510340,5404 \text{ Kg} * m$$

Una vez tenemos el valor del par máximo, tendremos que suponer tres valores por debajo de las revoluciones nominales, ya que, en condición de arrastre, se produce una disminución de las mismas, y calcularemos los respectivos valores de J y KQ

Donde J (el grado de avance) viene dado por:

$$J = \frac{V_A}{n * D}$$

Ecuación 21.17

Donde las revoluciones vendrán en revoluciones por segundo, el diámetro en metros y la velocidad de avance en metros por segundo. Vamos a considerar una velocidad en condición de arrastre de 7 nudos, entonces:

$$V_A = V(1 - w)$$

Ecuación 21.18

w, es el coeficiente de estela a la velocidad correspondiente.

$$V_A = 2,05 \text{ m/s}$$

Ahora tendremos que obtener los valores de J a las distintas revoluciones y el valor de Kq a las distintas revoluciones, donde Kq lo obtenemos de la siguiente forma:

$$K_Q = \frac{Q_{MÁX}}{\rho * n^2 * D^5}$$

Ecuación 21.19

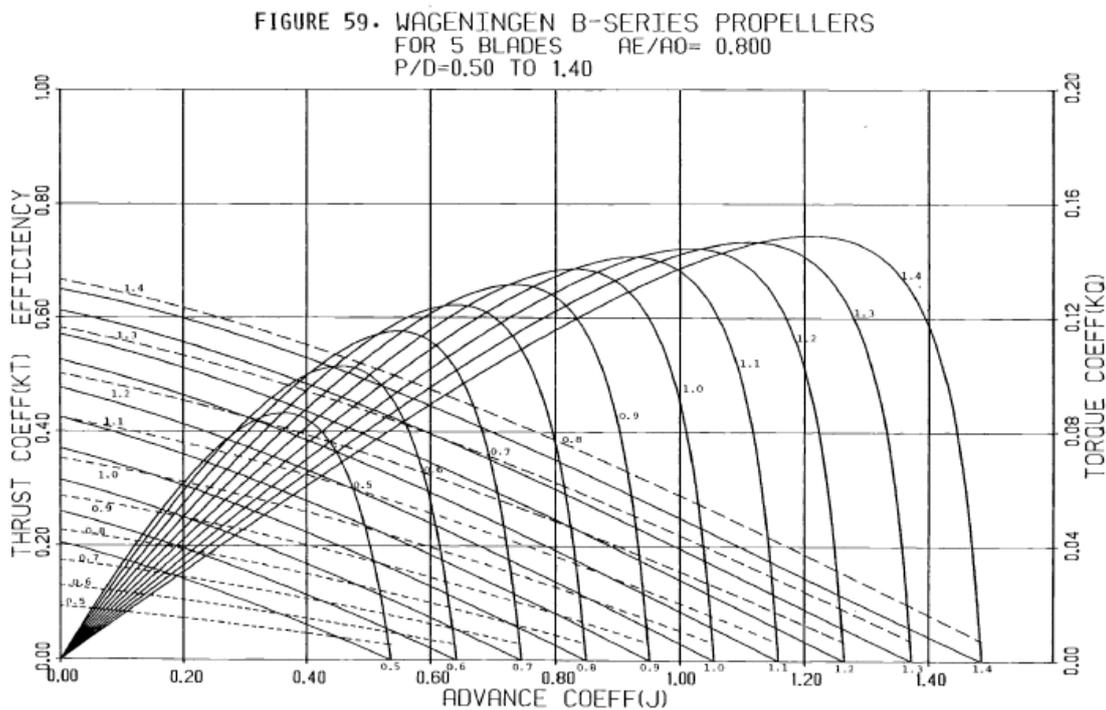
n	J	Kq
90	0,145	0,029



80	0,163	0,037
70	0,186	0,048

Tabla 21.9 Resultados n , J , Kq

Una vez obtenidos estos valores, nos tendremos que ir al gráfico correspondiente Kq - J , Kt - J , de la serie B de Wageningen. En nuestro caso sería la serie B5-80, la cual se muestra a continuación:



Gráfica 21.3 Gráfica Kq - J / Kt - J a utilizar. Tomada de [16].

Al entrar en la gráfica, como ya se mencionó anteriormente, tendremos un error. Un error humano que será el visual, ya que no somos tan precisos como una máquina. En definitiva, entrando con los valores de J y Kq anteriores, se obtiene un valor de Kq de:

$$Kq = 0,04$$

Con este valor, podemos interpolar con los puntos anteriores y este valor de Kq para obtener el valor de J correspondiente:



$$y = y_0 + \frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0} * (x - x_0)$$

Ecuación 21.20

Interpolando se obtiene un valor de J de:

$$J = 0,169$$

Ahora bien, despejando de la fórmula del grado de avance, podremos obtener el valor de las revoluciones correspondientes a ese valor de J.

$$n = \frac{V_A}{J * D}$$

Ecuación 21.21

$$n = 1,28rps = 77rpm$$

Una vez sabemos nuestro nuevo grado de avance, podremos sacar el valor de K_T para el mismo, averiguando el punto de intersección entre el grado de avance y el valor del paso-diámetro de nuestro buque. Este valor resulta ser el siguiente:

$$K_T = 0,305$$

Ahora a partir de la fórmula de K_T , podremos obtener el empuje que proporciona nuestra hélice a la velocidad correspondiente:

$$T = K_T * \rho * n^2 * D^4$$

Ecuación 21.22

Valor del empuje:

$$T = 436968,019Kg$$



Sabiendo el empuje, ya podemos obtener el valor de la fuerza que es posible vencer por tracción a la velocidad correspondiente que sería la de sobrecarga:

$$F = T(1 - t) - Rv$$

Ecuación 21.23

$$F = 40453,1712K$$

21.4. Comprobación de la Resistencia Mecánica de las palas

Una vez tenemos nuestra hélice proyectada, en un buen estudio de la hélice se debería de calcular para cada sección de la pala, los espesores necesarios que para que no se fracture ni se produzcan deformaciones en la misma debido a los esfuerzos a los que está sometida.

Estos cálculos deberían ser imprescindibles, ya que unos espesores excesivamente grandes, fruto de la conservación del constructor, produciría una caída del rendimiento en las secciones y podría producir cavitación en las mismas.

Dada la dificultad de dicho estudio, las Sociedades de Clasificación proporcionan unas fórmulas para poder calcular estos espesores mínimos en las secciones más significativas, las cuales serían 0,25R y 0,6R- 0,7R.

Éstas se podrán aplicar a las hélices con un skew moderado. A continuación, describiremos una fórmula proporcionada por la Sociedad de Clasificación American Bureau of Shipping. Ésta fórmula fue obtenida por un estudio teórico-empírico realizado por Schoenherr.

El espesor en la sección 0,25R no puede ser menor de:

$$t_{0,25} = 915 * \sqrt{\frac{A * P}{B * R * Z}} + \frac{1,72 * C * K}{B}$$

Ecuación 21.24

Donde:

- $t_{0,25R}$ = espesor a 0,25R en mm.

-P=SHP.

-R= rpm.

-Z= número de palas.



$$-A = 1 + \frac{6}{H_{0,7}} + 4,3 * H_{0,25}.$$

- $H_{0,25}$ y $H_{0,7}$ = Relación paso-diámetro para las secciones correspondientes.

$$-C = \frac{4300w}{N} * \left(\frac{aR}{100}\right)^2 * \left(\frac{D}{20}\right)^3$$

$$-B = (1 + 1,5H_{0,25}) * (L_{0,25}f - C)$$

$$-a = Ae/Ao.$$

D= diámetro de la hélice en mm.

K= lanzamiento de la pala en mm/m.

f y w= constantes del material.

Descrito el procedimiento, hay que mencionar que, lamentablemente, no disponemos de datos necesarios para calcular dichos espesores, pero se hace constancia de cómo se haría el cálculo correspondiente. El valor que nos diera sería el mínimo necesario en dichas secciones.



22. NAVIER-STOKES

Las ecuaciones de Navier-Stokes son un sistema de EDPs que rigen todos los flujos fluidos.

Estas ecuaciones se aplican en:

- 1- Mecánica de fluidos, donde aparecen los fluidos newtonianos y los fluidos no newtonianos. Fluidos newtonianos, son aquellos cuya viscosidad puede considerarse constante, como puede ser el agua, el aceite, la gasolina... pero todos ellos a una presión y temperatura constante. Fluidos no newtonianos podría ser la sangre o el pegamento.
- 2- En la mecánica de sólidos, que se divide en plástica y elástica.

El conjunto de ambas se denomina reología, que sería la rama de la física que se dedica al estudio de la deformación y el flujo de los materiales.

Aplicaciones de los flujos fluidos:

Podemos encontrar diversas aplicaciones en una gran cantidad de campos como pueden ser:

- 1- La aerodinámica y la hidrodinámica.
- 2- Combustión y propulsión.
- 3- La hidrología.
- 4- La ingeniería Civil.
- 5- La ecología y ciencias ambientales.
- 6- En la ciencia médica: en el flujo sanguíneo.
- 7- Industria del petróleo.

Centrándonos en la hidrodinámica y propulsión, este estudio se hace mediante ordenadores y concretamente con CFDs, los cuales estudian la resistencia al avance y la propulsión durante las distintas etapas del proyecto, a distintas velocidades, número de Reynolds, condiciones atmosféricas, generación de olas...etc. Aquí podemos ver varias imágenes de algunos CFDs de buques:

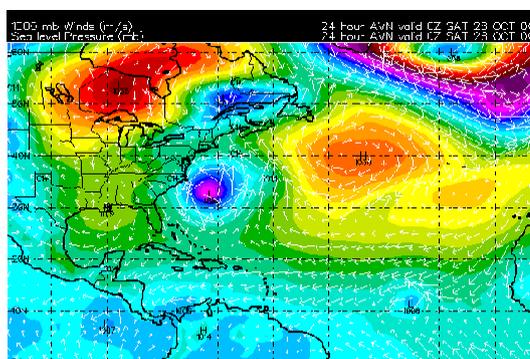
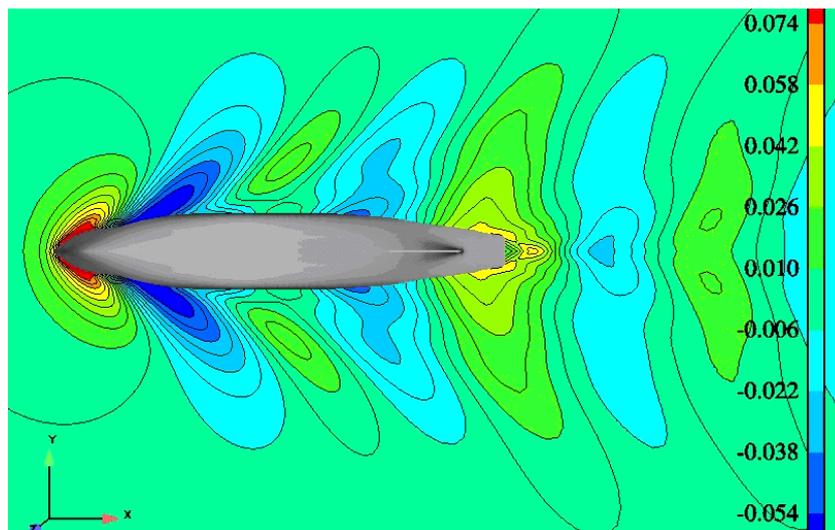
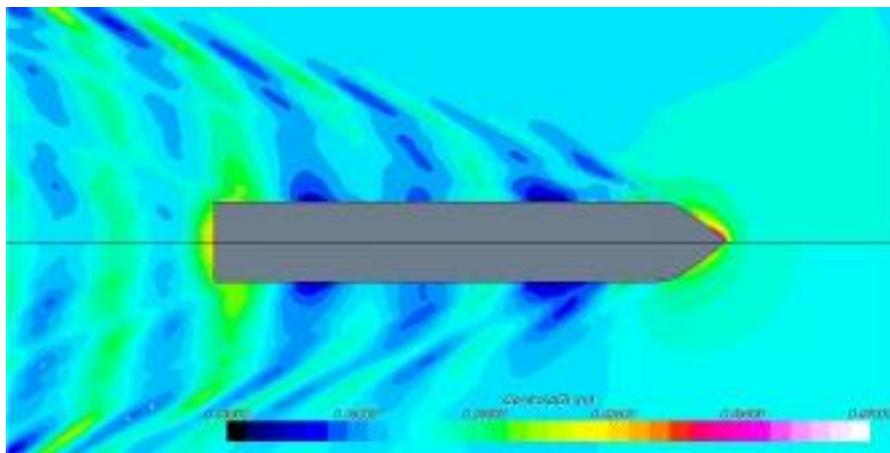
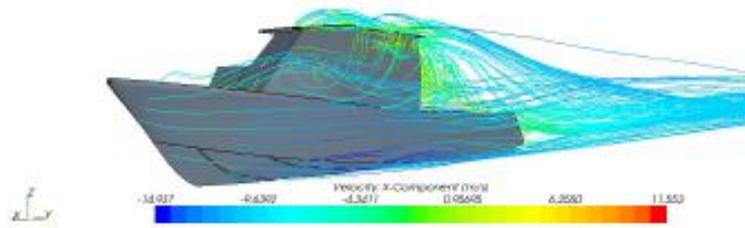




Imagen 22.1 Imágenes distintas de cfd. Tomado de [37] y [38].

En la primera imagen, podemos ver el estudio aerodinámico de un buque, en la segunda, la resistencia al avance de un buque (la hidrodinámica) y en la tercera y última la formación de olas sobre el buque.

22.1. Concepto de Fluido

Según un enfoque mecánico, un fluido es un material que no soporta esfuerzos de cizallamiento, es decir que no tiene esfuerzos de forma paralela o tangencial a la cara del material.

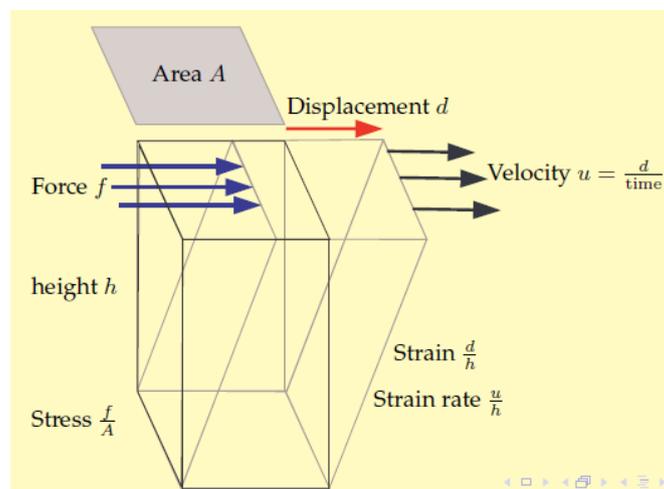


Imagen 22.2 Interpretación de un fluido. Tomado de [39].

Esta es la razón por la que los fluidos adoptan las formas de sus recipientes. Ahora bien, desde el punto de vista matemático, un fluido es continuo si:

- 1- Es isotrópico.
- 2- Si el tensor de tensiones está en función de la deformación.



Donde en el primer caso, el término isotrópico significa que las propiedades mecánicas no solo dependen de la dirección en la que se midan:

$$D = \nabla u + \nabla u^T, \text{ entonces}$$

$$\sigma = F(D) \Leftrightarrow \sigma' = F(D')$$

donde $D' = QDQ^T$ y $\sigma' = Q\sigma Q^T$ para cualquier matriz ortogonal Q con $\det Q = 1$.

A continuación, vamos a nombrar en qué principios de la física actúa la mecánica de fluidos. Éstos son:

- 1- El principio de conservación de la masa.
- 2- La conservación del momento lineal.
- 3- La conservación del momento angular.
- 4- La conservación de la energía.
- 5- Segunda ley de la termodinámica.

Los cuatro primeros puntos se utilizan tanto para la mecánica de fluidos como para la mecánica de sólidos. Es en el quinto principio donde sólo se utiliza la mecánica de fluidos, ya que interfieren los gases. Se utiliza entonces para deducir leyes de estado, es decir, ecuaciones que relacionen incógnitas físicas como la presión, la densidad o la temperatura.

22.2. Ecuaciones de Navier-Stokes

Los flujos de los fluidos se rigen por sistemas EDPs que se deducen a partir de: (i) los principios anteriormente mencionados y (ii) con la definición de fluido. Hay que destacar que todos los términos que aparezcan con una coma y seguidamente una t , significa que son derivadas parciales respecto a t . En la ecuación 23.2 podemos distinguir los términos de fuerzas externas, fuerzas internas y el término de convección. Quedando en un principio las ecuaciones a utilizar de la siguiente manera:

$$\rho_{,t} + \nabla \cdot (\rho u) = 0$$

Ecuación 22.1

$$(\rho u)_{,t} + \nabla \cdot (\rho u \times u) - \nabla \cdot \tau + \nabla \cdot p = \rho f$$

Ecuación 22.2



$$\left(\rho \left(\frac{|u|^2}{2} + e \right) \right)_{,t} + \nabla \cdot \left\{ \left[\rho \left(\frac{|u|^2}{2} + e \right) + p \right] u \right\}$$

$$= \nabla \cdot (\tau u) - \nabla q + \rho f u$$

Ecuación 22.3

Donde τ es el tensor de esfuerzos viscoso: $\sigma = -pI + \tau$

Y q sería el flujo de calor o flujo térmico: *e. g.* $q = -k\nabla e, k > 0$

Entonces, a partir de (i) y (ii) en la definición de fluido, se puede demostrar que el tensor de esfuerzo viscoso sigue la siguiente forma:

$$\tau = f_0 \cdot I + f_1 D + f_2 D^2$$

Ecuación 22.4

$$D = \frac{1}{2} \cdot (\nabla u + \nabla u^T)$$

Ecuación 22.5

Si τ depende de $\nabla u + \nabla u^T$, seguirá una forma lineal, (fluidos newtonianos), entonces tendríamos la siguiente ecuación:

$$\tau = \lambda \nabla \cdot u I + \mu (\nabla u + \nabla u^T)$$

Ecuación 22.6

Donde λ y μ son los coeficientes de viscosidad de Lamé (los cuales pueden depender de la densidad ρ y la temperatura).

$$\lambda = -\frac{2\mu}{N} \text{ (Ley de Stokes)}$$

Ecuación 22.7

Ahora bien, para fluidos incompresibles donde ($\nabla \cdot u = 0$) obtendríamos el siguiente sistema de ecuaciones:



$$\begin{cases} \rho_{,t} + \nabla \cdot (u\rho) = 0 \\ \rho(u_{,t} + (u \cdot \nabla)u) - \mu\Delta u + \nabla p = \rho f \\ \nabla \cdot u = 0 \end{cases}$$

Ecuación 22.8

A este sistema de ecuaciones de Navier-Stokes se le llama, sistema de densidad variable incompresible.

Además, si nos fijamos, estas ecuaciones no están relacionadas con la ecuación de energía.

Si ahora, además el fluido es homogéneo ($\rho = \rho(t)$) entonces:

$$\rho_{,t} + \nabla(u\rho) = f_{,t} + (\nabla \cdot u)\rho + u\nabla\rho = \rho_{,t} = 0$$

Ecuación 22.9

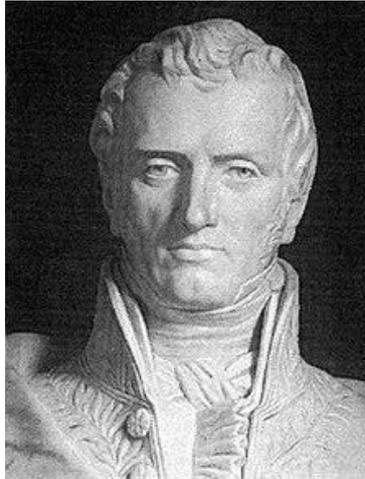
Por lo que podemos decir que la densidad tampoco depende de t, por lo que: $\rho = \rho_0$. Poniendo $\nu = \mu/\rho_0$ (que sería la viscosidad cinemática) y p la pondríamos como p/ρ_0 (que sería la presión cinemática) obtendríamos la llamada transitoria, la cual es incompresible, homogénea, viscosa, y las ecuaciones Newtonianas de Navier-Stokes que son las siguientes:

$$\begin{cases} u_{,t} + (u \cdot \nabla)u - \nu\Delta u + \nabla p = f \\ \nabla \cdot u = 0 \end{cases}$$

Ecuación 22.10

Mencionadas las ecuaciones de Navier-Stokes para los distintos casos, es de interés mencionar a los descubridores de estas ecuaciones los cuales son:

CLAUDE-LOUIS MARIE HENRI NAVIER:



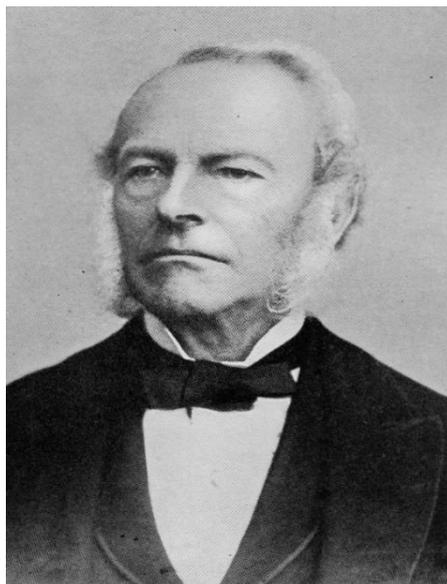
Imágen 22.3 Claude-Louis Marie Henri Navier. Tomado de [20].

Francia (1785-1836), fue un ingeniero y físico francés, que trabajó tanto en ramas de física como la elasticidad y mecánica de fluidos como en matemáticas aplicadas a la ingeniería.

Navier es conocido por las ecuaciones de Navier-Stokes, que fue su contribución más famosa, donde estas ecuaciones describen la dinámica de un fluido incompresible.

Además, hay que destacar de él que es el creador de la teoría general de elasticidad y también de la hipótesis: “Las secciones planas permanecen planas tras una deformación”. Sin esta hipótesis el desarrollo de la resistencia de materiales no habría sido posible y en consecuencia el cálculo estructural tampoco.

GEORGE GRABIEL STOKES:



Imágen 22.4 George Grabiél Stokes. Tomado de [19].



Irlanda (1819-1903) fue un físico y matemático irlandés, que destacó en la dinámica de fluidos (Ecuaciones de Navier-Stokes), en la óptica y en la física aplicada a las matemáticas (destacando el famoso teorema de Stokes).

Recalcar de él, que además de las ecuaciones de Navier-Stokes, fue capaz de explicar fenómenos naturales que ayudaron al ámbito naval, como es la suspensión de las nubes, o el hundimiento de las olas en el agua. También consiguió explicar el flujo de agua en ríos y canales ayudando a obtener la resistencia al movimiento de los barcos. Sin embargo, en el campo de la óptica es donde más destacó y donde más reconocidos tiene sus trabajos.

22.3. Problemas Matemáticos de Navier-Stokes

$$\begin{cases} u_{,t} + (u \cdot \nabla)u - \nu \Delta u + \nabla p = f & \text{en } \Omega \times (0, T) \\ \nabla \cdot u = 0 & \text{en } \Omega \times (0, T) \\ u_{,t} = 0 = u_0 & \text{en } \Omega \\ u = 0 & \text{en } \partial\Omega \times (0, T) \end{cases}$$

Ecuación 22.11

Donde cada término significa:

$-u_{,t}$ es aceleración local.

$-((u \cdot \nabla)u)$ es aceleración convectiva.

$-u_{,t} + (u \cdot \nabla)u$ es aceleración a lo largo de las líneas de corriente.

$-\nu \Delta u$ es término viscoso (desaceleración por fricción).

$-\nabla p$ es aceleración de presión (acción directa y normal al medir).

$-f$ son fuerzas externas (gravedad, Coriolis, electromagnética...).



22.4. Ecuaciones Dimensionales

Sea L una longitud característica del dominio Ω y U una velocidad característica.

$$T = \frac{U}{L}$$

Ecuación 22.12

$$u' = \frac{u}{U}$$

Ecuación 22.13

$$p' = \frac{p}{\rho U^2}$$

Ecuación 22.14

$$x' = \frac{x}{L}$$

Ecuación 22.15

$$t' = \frac{t}{T}$$

Ecuación 22.16

Así, u' , p' , x' y t' son números adimensionales. El sistema de ecuaciones se queda de la siguiente manera:

$$\left\{ \begin{array}{l} u'_{,t} + (u' \cdot \nabla)u' + \nabla p' - \frac{\nu}{LU} \Delta u' = f' \\ \nabla \cdot u' = 0 \\ u'_{,t} = 0 = u'_0 \\ u' = 0 \end{array} \right.$$

Ecuación 22.17

Donde $f' = fL/U^2$, $u' = u_0/U$.



Dicho esto, podemos obtener el número de Reynolds:

$$Re = \frac{L * U}{\nu}$$

Ecuación 22.18

Donde L sería la longitud, U la velocidad correspondiente y ν la viscosidad cinemática.

Ahora si $L = O(1)$ y $U = O(1)$ entonces el número de Reynolds es $Re = 1/\nu$

Entonces el sistema anterior, quedaría de la siguiente manera:

$$\begin{cases} u_{,t} + (u * \nabla)u - \nu \Delta u + \nabla p = f & \text{en } \Omega \times (0, T) \\ \nabla * u = 0 & \text{en } \Omega \times (0, T) \\ u_{,t} = 0 = u_0 & \Omega \\ u = 0 & \text{en } \partial\Omega \times (0, T) \end{cases}$$

Ecuación 22.19

Algunas personas han conseguido resultados parciales sobre la existencia y/o unicidad de soluciones para estos sistemas. Estas personas son: Jean Leray en (1933-1934), matemático francés. Eberhard Hopf en 1951, fue un matemático y astrónomo austriaco. Jacques-Louis Lions, consiguió soluciones parciales en 1959 y 1969, matemático francés. Giovanni Prodi, matemático italiano que consiguió dos soluciones parciales, una en 1959 y la otra en 1981. James Serrin, matemático estadounidense, consiguió una solución parcial en 1963, Olga Ladýzhenskaya, fue una famosa matemática rusa que consiguió una solución parcial en 1969. Ciprian Foias fue un matemático inglés que obtuvo una solución parcial en 1981

Pero la resolución matemática de este problema sigue abierta. Incluso el famoso instituto de matemáticas Clay, que ha considerado la solución de las ecuaciones de Navier-Stokes como uno de los problemas del milenio, dando una generosa recompensa si alguien consigue resolver estas ecuaciones y dar una solución cerrada. Evidentemente la dificultad de estas ecuaciones es muy elevada y su comprensión está al alcance de muy pocos, por lo que resolverlas llevará un tiempo bastante largo para quien lo estudie.

22.5. Capa Límite y Turbulencia en las Ecuaciones de Navier-Stokes

Tenemos que tener en cuenta que si el número de Reynolds ($\nu \rightarrow 0$) podemos encontrarnos con dos fenómenos:

- Capa límite.



- Turbulencia.

Ahora bien cuando $\nu \rightarrow 0$ los efectos inerciales dominan los efectos viscosos, resultando:

$$|(u * \nabla)u| \gg |\nu \Delta u|$$

Ecuación 22.20

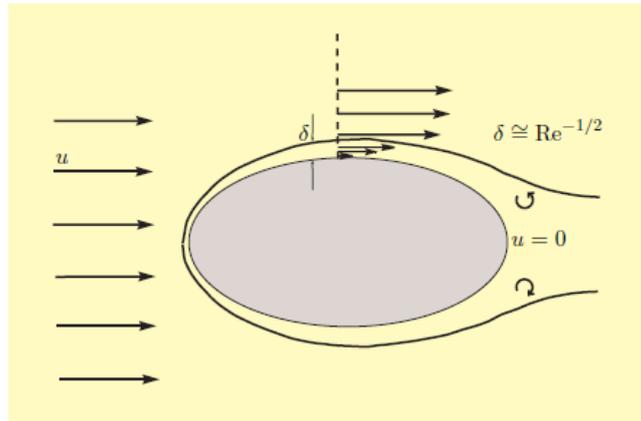


Imagen 22.5 Interpretación capa límite. Tomado de [39].

22.6. Turbulencia

Cuando la $\nu \rightarrow 0$, las soluciones a las ecuaciones de Navier-Stokes se vuelven cada vez más complejas con el tiempo y el espacio.

Llamaremos turbulencia al estado caótico del campo de velocidades de un flujo de fluido a medida que aumente su número de Reynolds. Aproximadamente, un número de Reynolds superior a 3500 ya se consideraría turbulento.

También debemos tener en cuenta que las menores variaciones de la velocidad (u) se producen a una distancia de $Re^{-\frac{3}{4}}$.



En consecuencia, para una simulación mecánica adecuada se requiere una triangulación de Ω con un tamaño de $h = O\left(v^{\frac{3}{4}}\right)$ como mínimo.

Cabe mencionar, que los ordenadores actuales pueden resolver las ecuaciones de Navier-Stokes hasta un número de Reynolds menor que 10.000 (mediante una simulación directa).

Algunos ejemplos de flujos turbulentos serían:

- 1- Las capas límites de la atmósfera.
- 2- Las corrientes oceánicas.
- 3- La fotosfera solar.
- 4- La estela de un reactor.
- 5- Las capas límite alrededor de las palas de avión.
- 6- Estela de buques, coches, aviones, submarinos.
- 7- El flujo de un río.

Lamentablemente en el sector naval este número de Reynolds es muy superior a 10000, por lo que las soluciones posibles no serán correctas, pero sí estimativas.

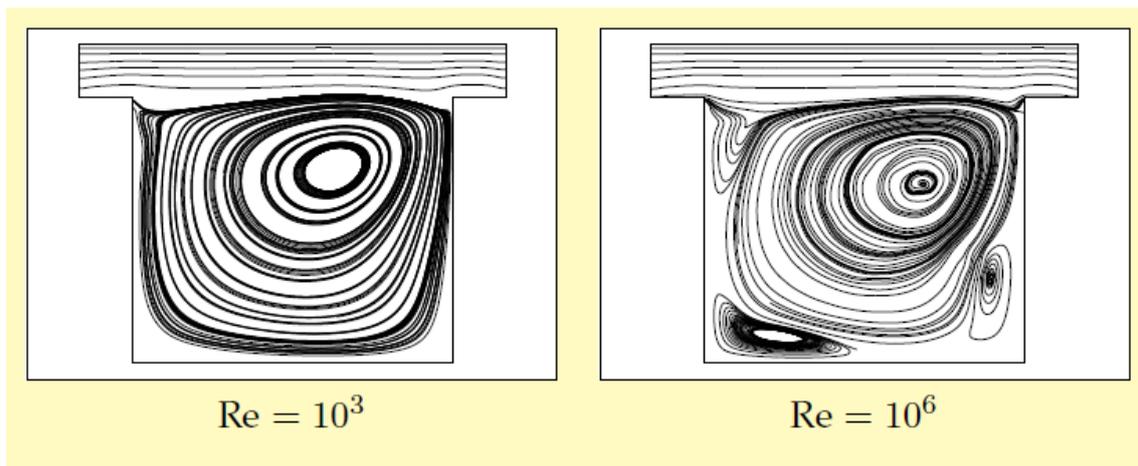


Imagen 22.6 Turbulencia según el número de Reynolds. Tomado de [39].

22.7. Evolución de las Ecuaciones de Navier-Stokes

Si $\Omega \subset \mathbb{R}^n$; $T > 0$ y $f: \Omega \times (0, T) \rightarrow \mathbb{R}^n$.

Incógnitas que tendríamos: $u: \Omega \times (0, T) \rightarrow \mathbb{R}^N$ (campo de velocidades) y $p: \Omega \times (0, T) \rightarrow \mathbb{R}$ (campo de presiones)

Las ecuaciones quedarían de la siguiente manera:



$$\left\{ \begin{array}{ll} u_{,t} + (u \cdot \nabla)u - \nu \Delta u + \nabla p = f & \text{en } \Omega \times (0, T) \\ \nabla \cdot u = 0 & \text{en } \Omega \times (0, T) \end{array} \right. \\ + \text{condición inicial en } \Omega \\ + \text{condiciones de contorno en } \partial\Omega \times (0, T)$$

Ecuación 22.21

22.8. Ecuaciones de Navier-Stokes en Estado Estacionario

Si $\Omega \subset \mathbb{R}^n$; $T > 0$ y $f: \Omega \times (0, T) \rightarrow \mathbb{R}^n$.

Incógnitas que tendríamos: $u: \Omega \rightarrow \mathbb{R}^N$ (*campo de velocidades*) y $p: \Omega \rightarrow \mathbb{R}$ (*campo de presiones*)

El sistema de ecuaciones queda de la siguiente manera:

$$\left\{ \begin{array}{ll} (u \cdot \nabla)u - \nu \Delta u + \nabla p = f & \text{en } \Omega \\ \nabla \cdot u = 0 & \text{en } \Omega \\ + \text{condiciones de contorno en } \partial\Omega \end{array} \right.$$

Ecuación 22.22



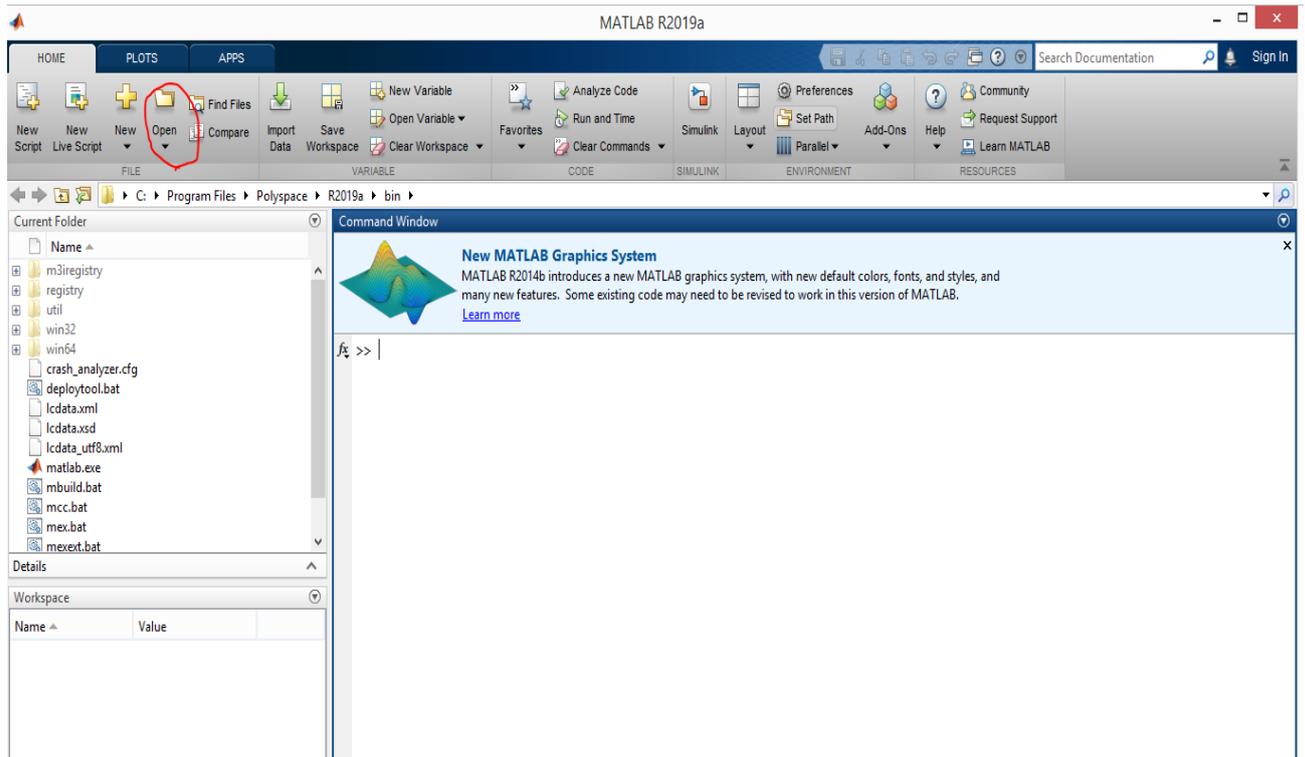
23. INTERFAZ GRÁFICA MEDIANTE MATLAB

A continuación, vamos a explicar un breve funcionamiento de una interfaz gráfica, realizada mediante el software “Matlab”.

Para ello, mostraremos por pantalla cada detalle y realizaremos una breve explicación, eso sí, para la correcta ejecución del programa se deberán seleccionar todos los parámetros correctamente.

23.1. Apertura del programa

Abrimos el programa “Matlab”. Una vez abierto, nos encontraremos en la ventana de inicio de dicho programa. Tendremos que abrir nuestra interfaz presionando el botón open, y tendremos que buscar la carpeta correspondiente donde tengamos guardada dicha interfaz.



Imágen 23.1 Pantalla de inicio de Matlab.

Como hemos mencionado anteriormente, presionamos en la carpeta open, (en la imagen está señalada con un círculo rojo). Y a continuación buscamos nuestro programa donde se encuentra la interfaz.

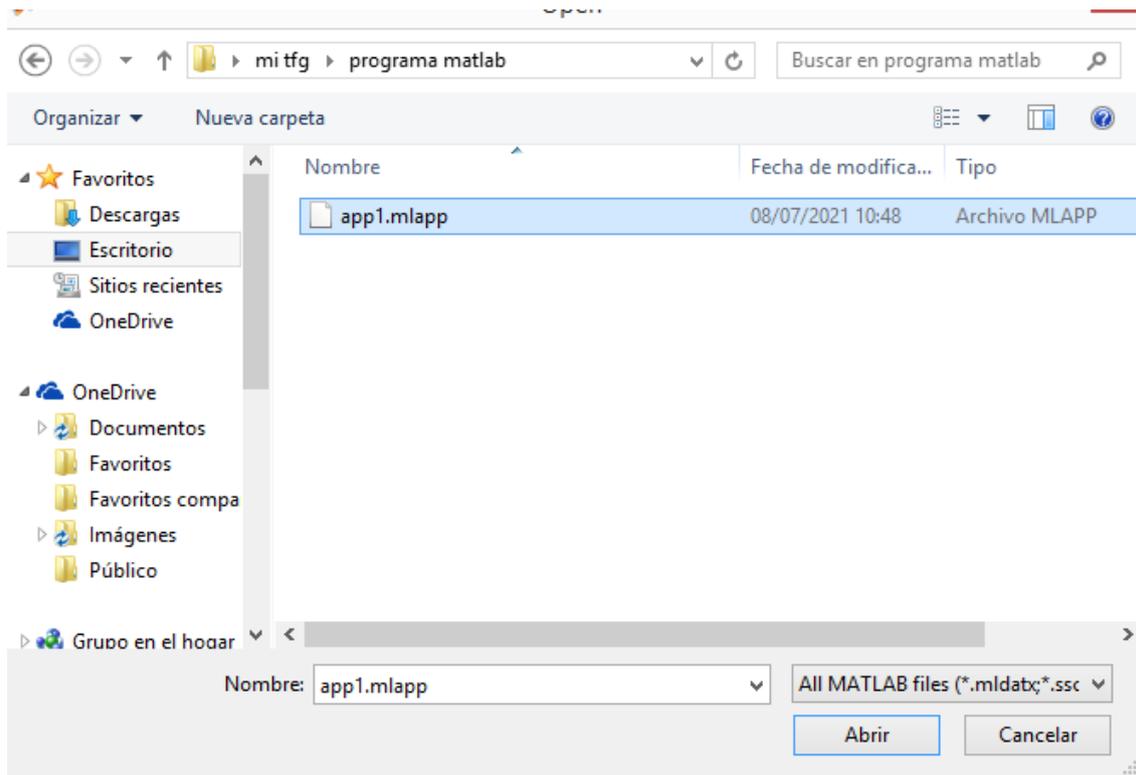


Imagen 23.2 Lugar donde se encuentra la Interfaz Creada.

23.2. Pantalla de Inicio de la Interfaz

Al seleccionar nuestra interfaz, nos conducirá a una pantalla de inicio de la misma, donde podremos ver todos los parámetros necesarios para poder calcular la resistencia al avance y los EHP necesarios para poder vencer esa resistencia

En este punto cabe mencionar que el método utilizado para la resistencia al avance es el “Método de Holtrop y Mennen”, ya que para buques portacontenedores de grandes dimensiones o para buques en general de grandes dimensiones es el único método que tiene un error aceptable. Los demás métodos tienen errores bastante grandes y a la hora de realizar un proyecto, conllevaría graves consecuencias posteriores.

No obstante, para poder ejecutar el programa tendremos que presionar el botón Run, que se encuentra arriba de la pantalla de la interfaz y es de color verde.

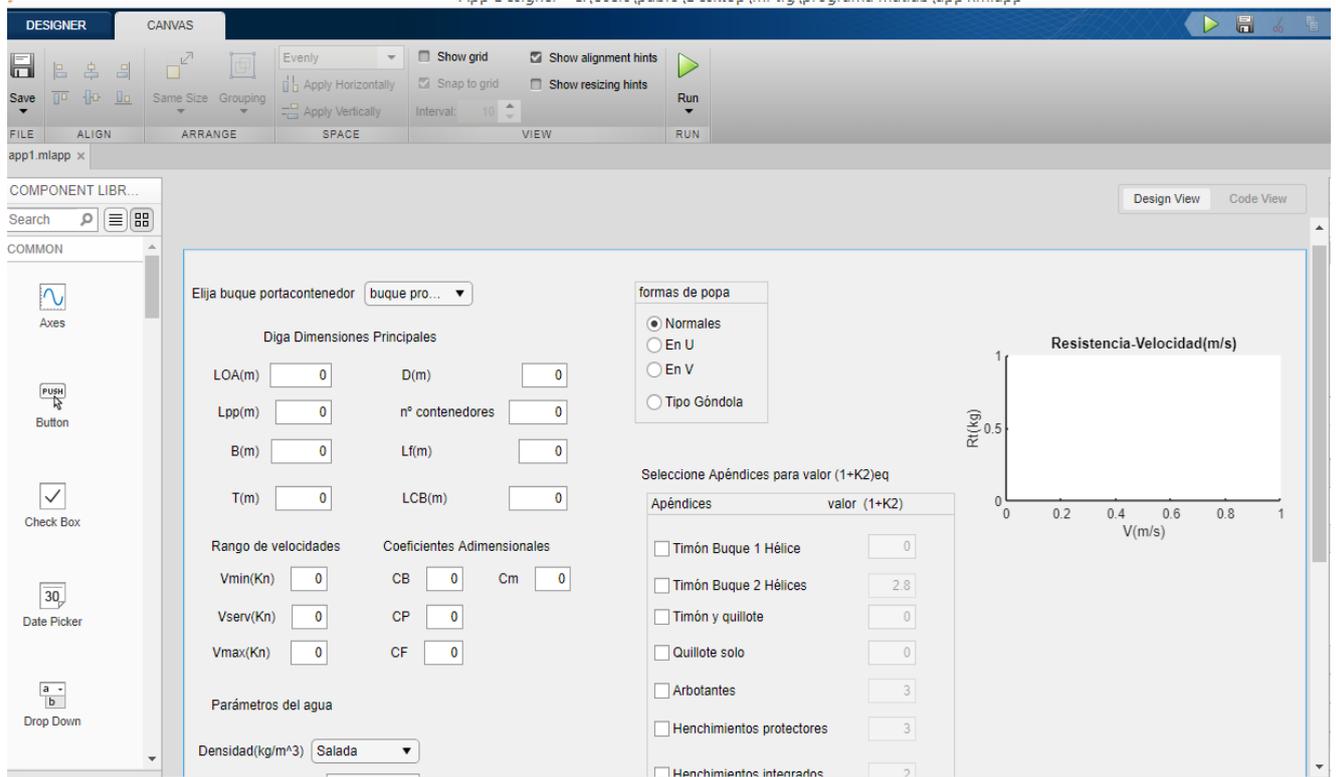


Imagen 23.3 Pantalla de inicio de la Interfaz.

23.3. Selección del Buque

Una vez le hemos dado al botón de correr, nos saldrá la interfaz que hemos visto anteriormente, pero ahora podremos interactuar con ella, y lo primero que tendremos que hacer es seleccionar qué portacontenedores queremos. Las opciones serían las siguientes:



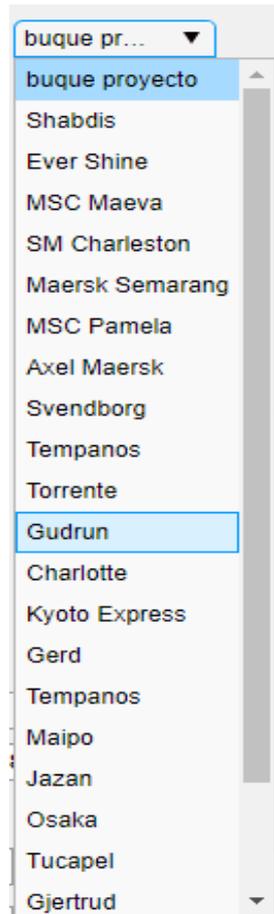


Imagen 23.4 Distintos buques a elegir en la Interfaz.

Como vemos, hay bastantes opciones de portacontenedores, donde primero seleccionaremos uno y al final del programa podremos seleccionar otro y comparar la resistencia que tiene uno y la que tiene otro.

Una vez seleccionado un portacontenedor de la lista, automáticamente nos aparecerán todos los parámetros del buque, es decir, dimensiones básicas, como pueden ser la eslora y la manga, sus coeficientes adimensionales, áreas mojadas...etc.

En la siguiente imagen vemos todos los parámetros mencionados anteriormente.



Elija buque portacontenedor

Diga Dimensiones Principales

LOA(m)	<input type="text" value="300"/>	D(m)	<input type="text" value="24.2"/>
Lpp(m)	<input type="text" value="285"/>	n° contenedores	<input type="text" value="7024"/>
B(m)	<input type="text" value="42.8"/>	Lf(m)	<input type="text" value="292.5"/>
T(m)	<input type="text" value="12.8"/>	LCB(m)	<input type="text" value="-0.0464"/>

Rango de velocidades

Vmin(Kn)	<input type="text" value="14.5"/>
Vserv(Kn)	<input type="text" value="25.2"/>
Vmax(Kn)	<input type="text" value="27.4"/>

Coefficientes Adimensionales

CB	<input type="text" value="0.67"/>	Cm	<input type="text" value="0.98"/>
CP	<input type="text" value="0.68"/>		
CF	<input type="text" value="0.77"/>		

Parámetros del agua

Densidad(kg/m³)

Viscosidad(m²/s)

Resto de parámetros

$\Delta(t)$	<input type="text" value="1.075e+05"/>	Vcarena(m ³)	<input type="text" value="1.076e+05"/>
Am(m ²)	<input type="text" value="538.5"/>	Sm(m ²)	<input type="text" value="1.374e+04"/>
Smap(m ²)	<input type="text" value="57.05"/>	Ae(m ²)	<input type="text" value="0"/>
Atb(m ²)	<input type="text" value="33.28"/>	Hb(m)	<input type="text" value="5.637"/>
le(°)	<input type="text" value="17.85"/>	Ks(μm)	<input type="text" value="0.00015"/>

Imagen 23.5 Valores iniciales de un buque cualquiera de la interfaz.

Si nos fijamos en la imagen, hay otra opción a seleccionar, que sería la densidad del agua donde nos encontremos. Ésta puede ser salada o dulce y, dependiendo de ella, cambiará el valor de la viscosidad cinemática. Por lo que, para poder calcular la resistencia al avance, tendremos que seleccionar una opción.

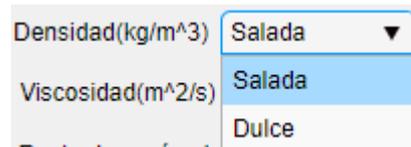


Imagen 23.6 Elección de agua salada o dulce.

23.4. Selección del tipo de Popa

Una vez seleccionado el buque, para poder calcular la resistencia deberemos seleccionar el tipo de popa que lleva nuestro buque. Las opciones son: normales, en V, en U o tipo góndola. Que, según la opción escogida, el programa seleccionará internamente un valor u otro para el cálculo de la resistencia.

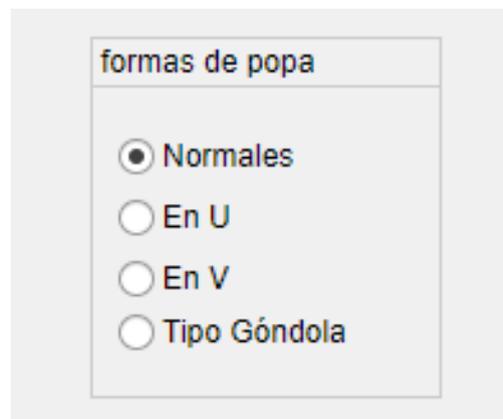


Imagen 23.7 Selección del tipo de popa.



23.5. Selección de los Apéndices y del Valor 1+K2

Seleccione Apéndices para valor (1+K2)eq

Apéndices	valor (1+K2)
<input type="checkbox"/> Timón Buque 1 Hélice	0
<input type="checkbox"/> Timón Buque 2 Hélices	2.8
<input type="checkbox"/> Timón y quillote	0
<input type="checkbox"/> Quillote solo	0
<input type="checkbox"/> Arbotantes	3
<input type="checkbox"/> Henchimientos protectores	3
<input type="checkbox"/> Henchimientos integrados	2
<input type="checkbox"/> Ejes	0
<input type="checkbox"/> Aletas estabilizadoras	2.7
<input type="checkbox"/> Domo	2.7
<input type="checkbox"/> Quillas de balance	1.4

Imagen 23.8 Opciones de apéndices.

Como vemos en la imagen, tenemos distintos apéndices, los cuales tienen un valor de 1+K2 fijos, pero hay algunos cuyos valores están dentro de unos rangos. Si los seleccionamos e introducimos un valor que está fuera de esos rangos, el programa automáticamente nos avisará de que hay un error y nos dirá dónde está y entre que valores debe estar.

Antes de mostrar dicho error hay que mencionar que, al seleccionar unos determinados apéndices, no podremos seleccionar otro. Este es el caso del timón buque 1 hélice, el cual, si se selecciona, no se podrán seleccionar ni timón buque 2 hélices ni timón y quillote. Como vemos en la siguiente imagen:



Seleccione Apéndices para valor (1+K2)eq

Apéndices	valor (1+K2)
<input checked="" type="checkbox"/> Timón Buque 1 Hélice	0
<input type="checkbox"/> Timón Buque 2 Hélices	2.8
<input type="checkbox"/> Timón y quillote	0
<input type="checkbox"/> Quillote solo	0
<input type="checkbox"/> Arbotantes	3
<input type="checkbox"/> Henchimientos protectores	3
<input type="checkbox"/> Henchimientos integrados	2
<input type="checkbox"/> Ejes	0
<input type="checkbox"/> Aletas estabilizadoras	2.7
<input type="checkbox"/> Domo	2.7
<input type="checkbox"/> Quillas de balance	1.4

Imagen 23.9 Selección de apéndices.

Lo mismo ocurre si seleccionamos timón buque 2 hélices, donde no podremos presionar las opciones de timón y quillote y timón buque 1 hélice.



Seleccione Apéndices para valor (1+K2)eq

Apéndices	valor (1+K2)
<input type="checkbox"/> Timón Buque 1 Hélice	0
<input checked="" type="checkbox"/> Timón Buque 2 Hélices	2.8
<input type="checkbox"/> Timón y quillote	0
<input type="checkbox"/> Quillote solo	0
<input type="checkbox"/> Arbotantes	3
<input type="checkbox"/> Henchimientos protectores	3
<input type="checkbox"/> Henchimientos integrados	2
<input type="checkbox"/> Ejes	0
<input type="checkbox"/> Aletas estabilizadoras	2.7
<input type="checkbox"/> Domo	2.7
<input type="checkbox"/> Quillas de balance	1.4

Imagen 23.10 Selección de apéndices 2.

Ahora si seleccionamos timón y quillote, no podremos presionar quillote solo, timón buque 1 hélice ni timón buque 2 hélices, ya que el programa tiene en cuenta los dos parámetros.



Seleccione Apéndices para valor (1+K2)eq

Apéndices	valor (1+K2)
<input type="checkbox"/> Timón Buque 1 Hélice	0
<input type="checkbox"/> Timón Buque 2 Hélices	2.8
<input checked="" type="checkbox"/> Timón y quillote	0
<input type="checkbox"/> Quillote solo	0
<input type="checkbox"/> Arbotantes	3
<input type="checkbox"/> Henchimientos protectores	3
<input type="checkbox"/> Henchimientos integrados	2
<input type="checkbox"/> Ejes	0
<input type="checkbox"/> Aletas estabilizadoras	2.7
<input type="checkbox"/> Domo	2.7
<input type="checkbox"/> Quillas de balance	1.4

Imagen 23.11 Selección de apéndices 3.

Aun así, para poder comprobar que hemos seleccionado todos los apéndices que queremos y sus respectivos valores correctamente, tendremos que presionar el botón de comprobar valor de 1+k2, el cual nos indicará si hay un error. Si no nos muestra ningún mensaje por pantalla, significa que está todo correcto.

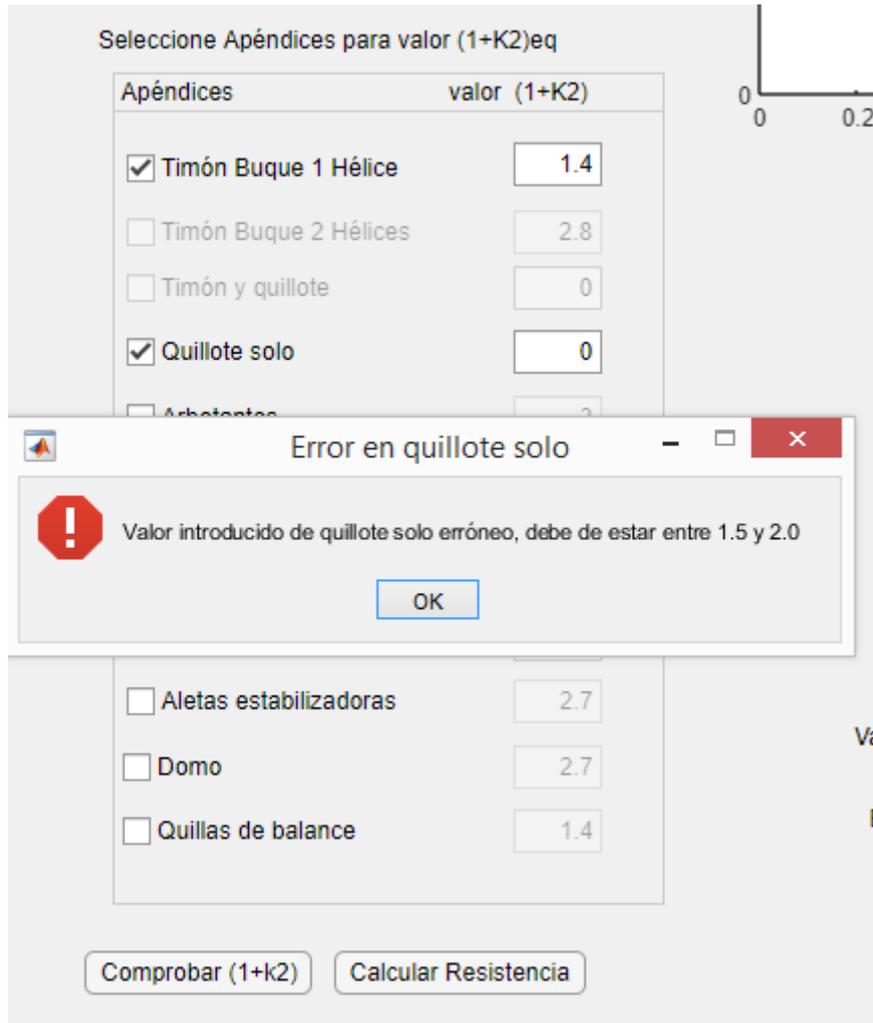


Imagen 23.12 Error al haber introducido valores no correctos.

Una vez que comprobamos que está todo correcto, ya podremos presionar el botón de calcular resistencia

23.6. Cálculo de la Resistencia

Como hemos mencionado anteriormente, el método a utilizar es el método de Holtrop y Mennen. Una vez presionamos dicho botón, nos aparecerá el valor de la resistencia del buque seleccionado a la velocidad correspondiente y también las EHP en Cv para vencer a ésta a la velocidad correspondiente.

Además, nos aparecerá una gráfica, la cual se muestra en escala semi-logarítmica, ya que la resistencia aumenta de forma exponencial con la velocidad y, normalmente, cuando se trata con curvas exponenciales, se usan este tipo de gráficas.



A continuación, podemos ver el valor de la resistencia, de las EHP y la curva resistencia velocidad de un caso determinado.

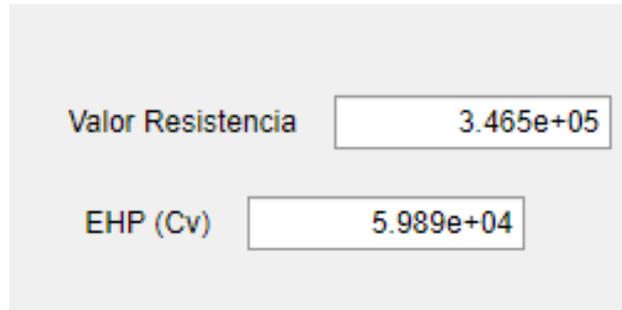


Imagen 23.13 Valores de Resistencia Total de un buque cualquiera de la interfaz.

Mencionar también que, dentro de nuestra gráfica, aparecerá un punto rojo, que representa la resistencia a la velocidad de servicio. Este punto se consigue interpolando polinómicamente con 4 puntos entre el rango de velocidades y la velocidad de servicio correspondiente, ya que en muchos casos la velocidad de servicio no nos va a coincidir exactamente con los saltos de velocidades dentro de los rangos establecidos.

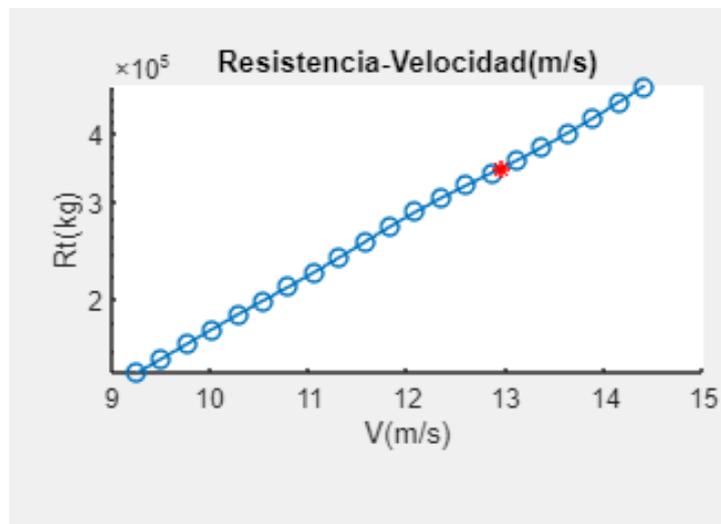


Imagen 23.14 Gráfica Resistencia-Velocidad.

Y finalmente, como hemos dicho anteriormente, podemos seleccionar otro buque y comparar la resistencia de ambos, ya que, dentro de la gráfica, el punto rojo señalado nos indica el valor de la resistencia a la velocidad correspondiente.

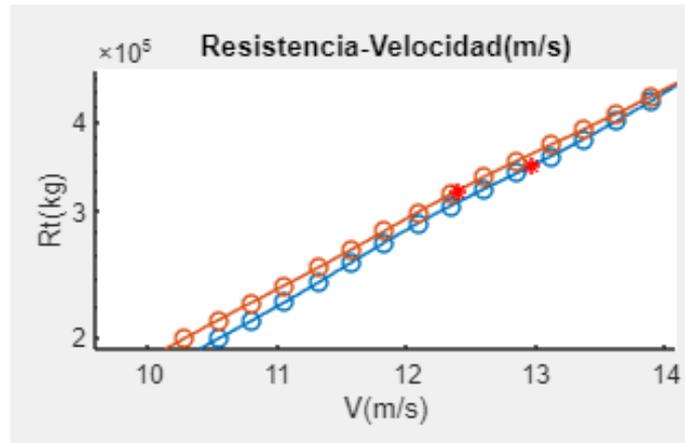


Imagen 23.15 Comparativa de dos buques en cuanto a resistencia y velocidad.

Donde la línea roja es de un buque y la azul del otro. Ahora, si ampliamos la gráfica dentro de nuestra interfaz y seleccionamos los puntos, vemos la resistencia y la velocidad de ambos.

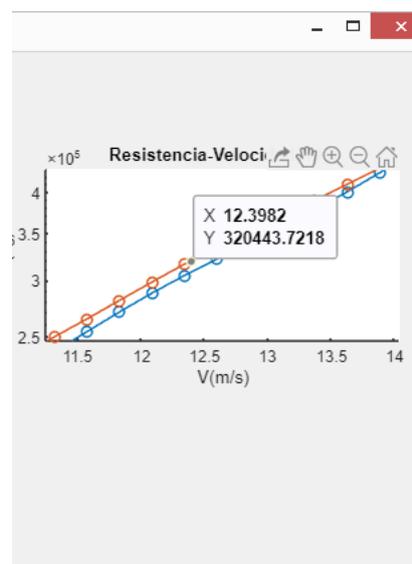
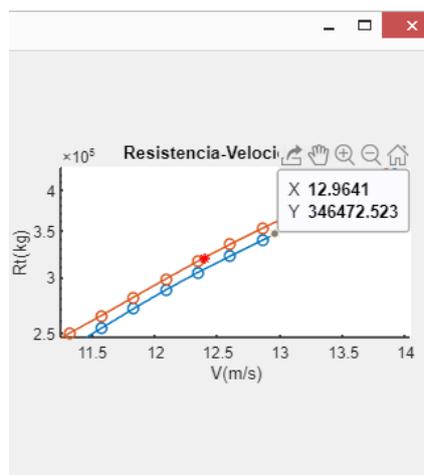


Imagen 23.16 Selección del punto exacto de la resistencia y la velocidad en la gráfica.



24. CÓDIGO DE MATLAB

```
classdef app1 < matlab.apps.AppBase
```

```
% Properties that correspond to app components
```

```
properties (Access = public)
```

```
    UIFigure                                matlab.ui.Figure
    ElijabuqueportacontenedorDropDownLabel matlab.ui.control.Label
    ElijabuqueportacontenedorDropDown     matlab.ui.control.DropDown
    DigaDimensionesPrincipalesLabel       matlab.ui.control.Label
    RangodevelocidadesLabel                matlab.ui.control.Label
    CoeficientesAdimensionalesLabel       matlab.ui.control.Label
    ParmetrosdelaguaLabel                  matlab.ui.control.Label
    Densidadkgm3DropDownLabel              matlab.ui.control.Label
    Densidadkgm3DropDown                   matlab.ui.control.DropDown
    RestodeparametrosLabel                  matlab.ui.control.Label
    LOAmEditField_2Label                    matlab.ui.control.Label
    LOAmEditField_2                         matlab.ui.control.NumericEditField
    LppmEditField_2Label                    matlab.ui.control.Label
    LppmEditField_2                         matlab.ui.control.NumericEditField
    BmEditField_2Label                       matlab.ui.control.Label
    BmEditField_2                           matlab.ui.control.NumericEditField
    TmEditField_2Label                       matlab.ui.control.Label
    TmEditField_2                           matlab.ui.control.NumericEditField
    DmEditField_2Label                       matlab.ui.control.Label
    DmEditField_2                           matlab.ui.control.NumericEditField
    ncontenedoresEditFieldLabel              matlab.ui.control.Label
    ncontenedoresEditField                  matlab.ui.control.NumericEditField
    LfmEditField_2Label                      matlab.ui.control.Label
    LfmEditField_2                          matlab.ui.control.NumericEditField
    LCBmEditField_2Label                     matlab.ui.control.Label
    LCBmEditField_2                         matlab.ui.control.NumericEditField
    VminKnEditFieldLabel                     matlab.ui.control.Label
    VminKnEditField                         matlab.ui.control.NumericEditField
```



VservKnEditFieldLabel	matlab.ui.control.Label
VservKnEditField	matlab.ui.control.NumericEditField
VmaxKnEditFieldLabel	matlab.ui.control.Label
VmaxKnEditField	matlab.ui.control.NumericEditField
CBEditField_2Label	matlab.ui.control.Label
CBEditField_2	matlab.ui.control.NumericEditField
CPEditField_2Label	matlab.ui.control.Label
CPEditField_2	matlab.ui.control.NumericEditField
CFEditField_2Label	matlab.ui.control.Label
CFEditField_2	matlab.ui.control.NumericEditField
Viscosidadm2sEditField_2Label	matlab.ui.control.Label
Viscosidadm2sEditField_2	matlab.ui.control.NumericEditField
tLabel	matlab.ui.control.Label
tEditField_2	matlab.ui.control.NumericEditField
Vcarenam3EditFieldLabel	matlab.ui.control.Label
Vcarenam3EditField	matlab.ui.control.NumericEditField
Amm2EditFieldLabel	matlab.ui.control.Label
Amm2EditField	matlab.ui.control.NumericEditField
Smm2EditFieldLabel	matlab.ui.control.Label
Smm2EditField	matlab.ui.control.NumericEditField
Smapm2EditFieldLabel	matlab.ui.control.Label
Smapm2EditField	matlab.ui.control.NumericEditField
Aem2EditFieldLabel	matlab.ui.control.Label
Aem2EditField	matlab.ui.control.NumericEditField
Atbm2EditFieldLabel	matlab.ui.control.Label
Atbm2EditField	matlab.ui.control.NumericEditField
HbmEditFieldLabel	matlab.ui.control.Label
HbmEditField	matlab.ui.control.NumericEditField
IeEditFieldLabel	matlab.ui.control.Label
IeEditField	matlab.ui.control.NumericEditField
KsmEditFieldLabel	matlab.ui.control.Label
KsmEditField	matlab.ui.control.NumericEditField
formasdepopaButtonGroup	matlab.ui.container.ButtonGroup
NormalesButton	matlab.ui.control.RadioButton
EnUButton	matlab.ui.control.RadioButton
EnVButton	matlab.ui.control.RadioButton



```
TipoGndolaButton          matlab.ui.control.RadioButton
CmEditFieldLabel          matlab.ui.control.Label
CmEditField                matlab.ui.control.NumericEditField
SeleccioneApndicesparavalor1K2eqLabel  matlab.ui.control.Label
Apndicesvalor1K2Panel     matlab.ui.container.Panel
TimnBuque1HliceCheckBox   matlab.ui.control.CheckBox
TimnBuque2HlicesCheckBox  matlab.ui.control.CheckBox
EditField                 matlab.ui.control.NumericEditField
TimnyquilloteCheckBox     matlab.ui.control.CheckBox
QuillotesoloCheckBox      matlab.ui.control.CheckBox
ArbotantesCheckBox        matlab.ui.control.CheckBox
HenchimientosprotectoresCheckBox  matlab.ui.control.CheckBox
HenchimientosintegradosCheckBox  matlab.ui.control.CheckBox
EjesCheckBox              matlab.ui.control.CheckBox
AletasestabilizadorasCheckBox  matlab.ui.control.CheckBox
DomoCheckBox              matlab.ui.control.CheckBox
QuillasdebalanceCheckBox  matlab.ui.control.CheckBox
EditField_2               matlab.ui.control.NumericEditField
EditField_3               matlab.ui.control.NumericEditField
EditField_4               matlab.ui.control.NumericEditField
EditField_5               matlab.ui.control.NumericEditField
EditField_6               matlab.ui.control.NumericEditField
EditField_7               matlab.ui.control.NumericEditField
EditField_8               matlab.ui.control.NumericEditField
EditField_9               matlab.ui.control.NumericEditField
EditField_10              matlab.ui.control.NumericEditField
EditField_11              matlab.ui.control.NumericEditField
Comprobar1k2Button        matlab.ui.control.Button
CalcularResistenciaButton  matlab.ui.control.Button
ValorResistenciaEditFieldLabel  matlab.ui.control.Label
ValorResistenciaEditField  matlab.ui.control.NumericEditField
UIAxes                    matlab.ui.control.UIAxes
EHPCvEditFieldLabel       matlab.ui.control.Label
EHPCvEditField            matlab.ui.control.NumericEditField
```

end



% Callbacks that handle component events

methods (Access = private)

% Value changed function: ElijabuqueportacontenedorDropDown

function ElijabuqueportacontenedorDropDownValueChanged(app,
event)

value = app.ElijabuqueportacontenedorDropDown.Value;

switch value

case 'buque proyecto'

Loa=319.878;

Lpp=304.78;

B=43.37;

T=14.48;

D=24.46;

ncontenedores=7900;

Lf=311.312;

Vmin=14.5;

Vserv=24.5;

Vmax=26.32;

Desp=128450483/1000;

LCB=-11.224;

CB=0.641;

CP=0.67;

CF=0.882;

Cm=0.963;

$F_n = (V_{serv} * 0.51445) / ((9.81 * L_f)^{0.5});$

$A_{tm} = B * T * C_m;$

Atb=31.154;

$V_{carena} = C_B * L_f * B * T;$

$S_m = L_f * (2 * T + B) * (C_m^5) * (0.453 + 0.4425 * C_B - 0.2862 * C_m -$
 $0.003467 * (B/T) + 0.3696 * C_F) + (2.38 * (A_{tb}/C_B));$

Hb=5.486;

Ks=0.00015;

$S_{map} = (0.01 * L_{pp} * T) * (1 + (25 * B^2) / (L_{pp}^2));$

Ie=16.9;



```
Ae=0;  
app.LOAmEditField_2.Value=Loa;  
app.LppmEditField_2.Value=Lpp;  
app.BmEditField_2.Value=B;  
app.TmEditField_2.Value=T;  
app.DmEditField_2.Value=D;  
app.ncontenedoresEditField.Value=ncontenedores;  
app.LfmEditField_2.Value=Lf;  
app.LCBmEditField_2.Value=LCB;  
app.VminKnEditField.Value=Vmin;  
app.VservKnEditField.Value=Vserv;  
app.VmaxKnEditField.Value=Vmax;  
app.tEditField_2.Value=Desp;  
app.CBEditField_2.Value=CB;  
app.CPEditField_2.Value=CP;  
app.CFEditField_2.Value=CF;  
app.CmEditField.Value=Cm;  
app.Atbm2EditField.Value=Atb;  
app.Smm2EditField.Value=Sm;  
app.HbmEditField.Value=Hb;  
app.Vcarenam3EditField.Value=Vcarena;  
app.Amm2EditField.Value=Atm;  
app.KsmEditField.Value=Ks;  
app.Smapm2EditField.Value=Smap;  
app.IeEditField.Value=Ie;  
app.Aem2EditField.Value=Ae;
```

```
case 'Shabdis'
```

```
Loa=299.92;  
Lpp=286.88;  
B=40;  
T=14.5;  
D=20.27;  
ncontenedores=6872;  
Lf=291.72;  
Vmin=14.5;  
Vserv=25;
```



```
Vmax=27;  
Desp=110400;  
CB=Desp/(1.0259*Lpp*B*T);  
Cm=1.006-0.0056*(CB^(-3.56));  
CP=CB/Cm;  
LCB=17.5*CP-12,5;  
CF=Cm*CP+0.1;  
Fn=(Vserv*0.51445)/((9.81*Lf)^0.5);  
Atm=B*T*Cm;  
Atb=((40*Fn)-3.5)*Atm/100;  
Vcarena=CB*Lf*B*T;  
Sm=Lf*(2*T+B)*(Cm^5)*(0.453+0.4425*CB-0.2862*Cm-  
0.003467*(B/T)+0.3696*CF)+(2.38*(Atb/CB));  
Hb=((3*Atb)/pi)^0.5;  
Ks=0.00015;  
Smap=(0.01*Lpp*T)*(1+(25*B^2)/(Lpp^2));  
Ie=125.67*(B/Lpp)-  
162.25*CP^2+234.32*CP^3+0,1551*LCB^3;  
Ae=0;  
app.Aem2EditField.Value=Ae;  
app.LOAmEditField_2.Value=Loa;  
app.LppmEditField_2.Value=Lpp;  
app.BmEditField_2.Value=B;  
app.TmEditField_2.Value=T;  
app.DmEditField_2.Value=D;  
app.ncontenedoresEditField.Value=ncontenedores;  
app.LfmEditField_2.Value=Lf;  
app.tEditField_2.Value=Desp;  
app.VservKnEditField.Value=Vserv;  
app.VminKnEditField.Value=Vmin;  
app.VmaxKnEditField.Value=Vmax;  
app.LCBmEditField_2.Value=LCB;  
app.CBEditField_2.Value=CB;  
app.CPEditField_2.Value=CP;  
app.CFEditField_2.Value=CF;  
app.CmEditField.Value=Cm;
```



```
app.Atbm2EditField.Value=Atb;
app.Smm2EditField.Value=Sm;
app.HbmEditField.Value=Hb;
app.Vcarenam3EditField.Value=Vcarena;
app.Amm2EditField.Value=Atm;
app.KsmEditField.Value=Ks;
app.Smapm2EditField.Value=Smap;
app.IeEditField.Value=Ie;
case 'Ever Shine'
Loa=300;
Lpp=285;
B=42.8;
T=12.8;
D=24.2;
ncontenedores=7024;
Lf=292.5;
Vmin=14.5;
Vserv=25.2;
Vmax=27.4;
Desp=107537;
CB=Desp/(1.0259*Lpp*B*T);
Cm=1.006-0.0056*(CB^(-3.56));
CP=CB/Cm;
LCB=17.5*CP-12,5;
CF=Cm*CP+0.1;
Fn=(Vserv*0.51445)/((9.81*Lf)^0.5);
Atm=B*T*Cm;
Atb=(((40*Fn)-3.5)*Atm)/100;
Vcarena=CB*Lf*B*T;
Sm=Lf*(2*T+B)*(Cm^5)*(0.453+0.4425*CB-0.2862*Cm-
0.003467*(B/T)+0.3696*CF)+(2.38*(Atb/CB));
Hb=((3*Atb)/pi)^0.5;
Ks=0.00015;
Smap=(0.01*Lpp*T)*(1+(25*B^2)/(Lpp^2));
Ie=125.67*(B/Lpp)-
162.25*CP^2+234.32*CP^3+0,1551*LCB^3;
```



```
Ae=0;  
app.Aem2EditField.Value=Ae;  
app.LOAmEditField_2.Value=Loa;  
app.LppmEditField_2.Value=Lpp;  
app.BmEditField_2.Value=B;  
app.TmEditField_2.Value=T;  
app.DmEditField_2.Value=D;  
app.ncontenedoresEditField.Value=ncontenedores;  
app.LfmEditField_2.Value=Lf;  
app.tEditField_2.Value=Desp;  
app.VservKnEditField.Value=Vserv;  
app.VminKnEditField.Value=Vmin;  
app.VmaxKnEditField.Value=Vmax;  
app.LCBmEditField_2.Value=LCB;  
app.CBEditField_2.Value=CB;  
app.CPEditField_2.Value=CP;  
app.CFEditField_2.Value=CF;  
app.CmEditField.Value=Cm;  
app.Atbm2EditField.Value=Atb;  
app.Smm2EditField.Value=Sm;  
app.HbmEditField.Value=Hb;  
app.Vcarenam3EditField.Value=Vcarena;  
app.Amm2EditField.Value=Atm;  
app.KsmEditField.Value=Ks;  
app.Smapm2EditField.Value=Smap;  
app.IeEditField.Value=Ie;
```

```
case 'MSC Maeva'
```

```
Loa=324.83;  
Lpp=309.2;  
B=42.93;  
T=14.5;  
D=24.6;  
ncontenedores=8034;  
Lf=316.71;  
Vmin=14.5;
```



```
Vserv=25;  
Vmax=27.3;  
Desp=135551;  
CB=Desp/(1.0259*Lpp*B*T);  
Cm=1.006-0.0056*(CB^(-3.56));  
CP=CB/Cm;  
LCB=17.5*CP-12,5;  
CF=Cm*CP+0.1;  
Fn=(Vserv*0.51445)/((9.81*Lf)^0.5);  
Atm=B*T*Cm;  
Atb=((40*Fn)-3.5)*Atm/100;  
Vcarena=CB*Lf*B*T;  
Sm=Lf*(2*T+B)*(Cm^5)*(0.453+0.4425*CB-0.2862*Cm-  
0.003467*(B/T)+0.3696*CF)+(2.38*(Atb/CB));  
Hb=((3*Atb)/pi)^0.5;  
Ks=0.00015;  
Smap=(0.01*Lpp*T)*(1+(25*B^2)/(Lpp^2));  
Ie=125.67*(B/Lpp)-  
162.25*CP^2+234.32*CP^3+0,1551*LCB^3;  
Ae=0;  
app.Aem2EditField.Value=Ae;  
app.LOAmEditField_2.Value=Loa;  
app.LppmEditField_2.Value=Lpp;  
app.BmEditField_2.Value=B;  
app.TmEditField_2.Value=T;  
app.DmEditField_2.Value=D;  
app.ncontenedoresEditField.Value=ncontenedores;  
app.LfmEditField_2.Value=Lf;  
app.tEditField_2.Value=Desp;  
app.VservKnEditField.Value=Vserv;  
app.VminKnEditField.Value=Vmin;  
app.VmaxKnEditField.Value=Vmax;  
app.LCBmEditField_2.Value=LCB;  
app.CBEditField_2.Value=CB;  
app.CPEditField_2.Value=CP;  
app.CFEditField_2.Value=CF;
```



```
app.CmEditField.Value=Cm;  
app.Atbm2EditField.Value=Atb;  
app.Smm2EditField.Value=Sm;  
app.HbmEditField.Value=Hb;  
app.Vcarenam3EditField.Value=Vcarena;  
app.Amm2EditField.Value=Atm;  
app.KsmEditField.Value=Ks;  
app.Smapm2EditField.Value=Smap;  
app.IeEditField.Value=Ie;
```

```
case 'SM Charleston'
```

```
Loa=334.08;  
Lpp=319;  
B=42.8;  
T=14.67;  
D=20.14;  
ncontenedores=8214;  
Lf=325.73;  
Vmin=14.5;  
Vserv=24.1;  
Vmax=26;  
Desp=135445;  
CB=Desp/(1.0259*Lpp*B*T);  
Cm=1.006-0.0056*(CB^(-3.56));  
CP=CB/Cm;  
LCB=17.5*CP-12,5;  
CF=Cm*CP+0.1;  
Fn=(Vserv*0.51445)/((9.81*Lf)^0.5);  
Atm=B*T*Cm;  
Atb=(((40*Fn)-3.5)*Atm)/100;  
Vcarena=CB*Lf*B*T;  
Sm=Lf*(2*T+B)*(Cm^5)*(0.453+0.4425*CB-0.2862*Cm-  
0.003467*(B/T)+0.3696*CF)+(2.38*(Atb/CB));  
Hb=((3*Atb)/pi)^0.5;  
Ks=0.00015;
```



```
Smap=(0.01*Lpp*T)*(1+(25*B^2)/(Lpp^2));  
Ie=125.67*(B/Lpp)-  
162.25*CP^2+234.32*CP^3+0,1551*LCB^3;  
Ae=0;  
app.Aem2EditField.Value=Ae;  
app.LOAmEditField_2.Value=Loa;  
app.LppmEditField_2.Value=Lpp;  
app.BmEditField_2.Value=B;  
app.TmEditField_2.Value=T;  
app.DmEditField_2.Value=D;  
app.ncontenedoresEditField.Value=ncontenedores;  
app.LfmEditField_2.Value=Lf;  
app.tEditField_2.Value=Desp;  
app.VservKnEditField.Value=Vserv;  
app.VminKnEditField.Value=Vmin;  
app.VmaxKnEditField.Value=Vmax;  
app.LCBmEditField_2.Value=LCB;  
app.CBEditField_2.Value=CB;  
app.CPEditField_2.Value=CP;  
app.CFEditField_2.Value=CF;  
app.CmEditField.Value=Cm;  
app.Atbm2EditField.Value=Atb;  
app.Smm2EditField.Value=Sm;  
app.HbmEditField.Value=Hb;  
app.Vcarenam3EditField.Value=Vcarena;  
app.Amm2EditField.Value=Atm;  
app.KsmEditField.Value=Ks;  
app.Smapm2EditField.Value=Smap;  
app.IeEditField.Value=Ie;
```

```
case 'MSC Pamela'
```

```
Loa=336.54;  
Lpp=317.22;  
B=45.64;  
T=15.5;  
D=27.2;
```



```
ncontenedores=9200;  
Lf=328.13;  
Vmin=14.5;  
Vserv=25;  
Vmax=27.1;  
Desp=153323;  
CB=Desp/(1.0259*Lpp*B*T);  
Cm=1.006-0.0056*(CB^(-3.56));  
CP=CB/Cm;  
LCB=17.5*CP-12,5;  
CF=Cm*CP+0.1;  
Fn=(Vserv*0.51445)/((9.81*Lf)^0.5);  
Atm=B*T*Cm;  
Atb=((40*Fn)-3.5)*Atm/100;  
Vcarena=CB*Lf*B*T;  
Sm=Lf*(2*T+B)*(Cm^5)*(0.453+0.4425*CB-0.2862*Cm-  
0.003467*(B/T)+0.3696*CF)+(2.38*(Atb/CB));  
Hb=((3*Atb)/pi)^0.5;  
Ks=0.00015;  
Smap=(0.01*Lpp*T)*(1+(25*B^2)/(Lpp^2));  
Ie=125.67*(B/Lpp)-  
162.25*CP^2+234.32*CP^3+0,1551*LCB^3;  
Ae=0;  
app.Aem2EditField.Value=Ae;  
app.LOAmEditField_2.Value=Loa;  
app.LppmEditField_2.Value=Lpp;  
app.BmEditField_2.Value=B;  
app.TmEditField_2.Value=T;  
app.DmEditField_2.Value=D;  
app.ncontenedoresEditField.Value=ncontenedores;  
app.LfmEditField_2.Value=Lf;  
app.tEditField_2.Value=Desp;  
app.VservKnEditField.Value=Vserv;  
app.VminKnEditField.Value=Vmin;  
app.VmaxKnEditField.Value=Vmax;  
app.LCBmEditField_2.Value=LCB;
```



```
app.CBEditField_2.Value=CB;  
app.CPEditField_2.Value=CP;  
app.CFEditField_2.Value=CF;  
app.CmEditField.Value=Cm;  
app.Atbm2EditField.Value=Atb;  
app.Smm2EditField.Value=Sm;  
app.HbmEditField.Value=Hb;  
app.Vcarenam3EditField.Value=Vcarena;  
app.Amm2EditField.Value=Atm;  
app.KsmEditField.Value=Ks;  
app.Smapm2EditField.Value=Smap;  
app.IeEditField.Value=Ie;
```

```
case 'Axel Maersk'
```

```
Loa=352.25;  
Lpp=336.4;  
B=42.94;  
T=15;  
D=24;  
ncontenedores=6600;  
Lf=343.44;  
Vmin=14.5;  
Vserv=26.5;  
Vmax=27.8;  
Desp=146777;  
CB=Desp/(1.0259*Lpp*B*T);  
Cm=1.006-0.0056*(CB^(-3.56));  
CP=CB/Cm;  
LCB=17.5*CP-12,5;  
CF=Cm*CP+0.1;  
Fn=(Vserv*0.51445)/((9.81*Lf)^0.5);  
Atm=B*T*Cm;  
Atb=((40*Fn)-3.5)*Atm/100;  
Vcarena=CB*Lf*B*T;
```



$$Sm=Lf*(2*T+B)*(Cm^5)*(0.453+0.4425*CB-0.2862*Cm-0.003467*(B/T)+0.3696*CF)+(2.38*(Atb/CB));$$

$$Hb=((3*Atb)/pi)^{0.5};$$

$$Ks=0.00015;$$

$$Smap=(0.01*Lpp*T)*(1+(25*B^2)/(Lpp^2));$$

$$Ie=125.67*(B/Lpp)-162.25*CP^2+234.32*CP^3+0,1551*LCB^3;$$

$$Ae=0;$$

$$app.Aem2EditField.Value=Ae;$$

$$app.LOAmEditField_2.Value=Loa;$$

$$app.LppmEditField_2.Value=Lpp;$$

$$app.BmEditField_2.Value=B;$$

$$app.TmEditField_2.Value=T;$$

$$app.DmEditField_2.Value=D;$$

$$app.ncontenedoresEditField.Value=ncontenedores;$$

$$app.LfmEditField_2.Value=Lf;$$

$$app.tEditField_2.Value=Desp;$$

$$app.VservKnEditField.Value=Vserv;$$

$$app.VminKnEditField.Value=Vmin;$$

$$app.VmaxKnEditField.Value=Vmax;$$

$$app.LCBmEditField_2.Value=LCB;$$

$$app.CBEditField_2.Value=CB;$$

$$app.CPEditField_2.Value=CP;$$

$$app.CFEditField_2.Value=CF;$$

$$app.CmEditField.Value=Cm;$$

$$app.Atbm2EditField.Value=Atb;$$

$$app.Smm2EditField.Value=Sm;$$

$$app.HbmEditField.Value=Hb;$$

$$app.Vcarenam3EditField.Value=Vcarena;$$

$$app.Amm2EditField.Value=Atm;$$

$$app.KsmEditField.Value=Ks;$$

$$app.Smappm2EditField.Value=Smapp;$$

$$app.IeEditField.Value=Ie;$$

case 'Svendborg '



```
Loa=346.98;
Lpp=331.5;
B=42.8;
T=14.5;
D=24.1;
ncontenedores=8160;
Lf=338.31;
Vmin=14.5;
Vserv=24.6;
Vmax=26.1;
Desp=142795;
CB=Desp/(1.0259*Lpp*B*T);
Cm=1.006-0.0056*(CB^(-3.56));
CP=CB/Cm;
LCB=17.5*CP-12,5;
CF=Cm*CP+0.1;
Fn=(Vserv*0.51445)/((9.81*Lf)^0.5);
Atm=B*T*Cm;
Atb=((40*Fn)-3.5)*Atm/100;
Vcarena=CB*Lf*B*T;
Sm=Lf*(2*T+B)*(Cm^5)*(0.453+0.4425*CB-0.2862*Cm-
0.003467*(B/T)+0.3696*CF)+(2.38*(Atb/CB));
Hb=((3*Atb)/pi)^0.5;
Ks=0.00015;
Smap=(0.01*Lpp*T)*(1+(25*B^2)/(Lpp^2));
Ie=125.67*(B/Lpp)-
162.25*CP^2+234.32*CP^3+0,1551*LCB^3;
Ae=0;
app.Aem2EditField.Value=Ae;
app.LOAmEditField_2.Value=Loa;
app.LppmEditField_2.Value=Lpp;
app.BmEditField_2.Value=B;
app.TmEditField_2.Value=T;
app.DmEditField_2.Value=D;
app.ncontenedoresEditField.Value=ncontenedores;
app.LfmEditField_2.Value=Lf;
```



```
app.tEditField_2.Value=Desp;  
app.VservKnEditField.Value=Vserv;  
app.VminKnEditField.Value=Vmin;  
app.VmaxKnEditField.Value=Vmax;  
app.LCBmEditField_2.Value=LCB;  
app.CBEditField_2.Value=CB;  
app.CPEditField_2.Value=CP;  
app.CFEditField_2.Value=CF;  
app.CmEditField.Value=Cm;  
app.Atbm2EditField.Value=Atb;  
app.Smm2EditField.Value=Sm;  
app.HbmEditField.Value=Hb;  
app.Vcarenam3EditField.Value=Vcarena;  
app.Amm2EditField.Value=Atm;  
app.KsmEditField.Value=Ks;  
app.Smapm2EditField.Value=Smap;  
app.IeEditField.Value=Ie;
```

```
case 'Tempanos'
```

```
Loa=299.96;  
Lpp=285;  
B=45.63;  
T=13.5;  
D=24.6;  
ncontenedores=8000;  
Lf=292.46;  
Vmin=14.5;  
Vserv=25.3;  
Vmax=27.6;  
Desp=123760;  
CB=Desp/(1.0259*Lpp*B*T);  
Cm=1.006-0.0056*(CB^(-3.56));  
CP=CB/Cm;  
LCB=17.5*CP-12,5;  
CF=Cm*CP+0.1;
```



```
Fn=(Vserv*0.51445)/((9.81*Lf)^0.5);
Atm=B*T*Cm;
Atb=(((40*Fn)-3.5)*Atm)/100;
Vcarena=CB*Lf*B*T;
Sm=Lf*(2*T+B)*(Cm^5)*(0.453+0.4425*CB-0.2862*Cm-
0.003467*(B/T)+0.3696*CF)+(2.38*(Atb/CB));
Hb=((3*Atb)/pi)^0.5;
Ks=0.00015;
Smap=(0.01*Lpp*T)*(1+(25*B^2)/(Lpp^2));
Ie=125.67*(B/Lpp)-
162.25*CP^2+234.32*CP^3+0,1551*LCB^3;
Ae=0;
app.Aem2EditField.Value=Ae;
app.LOAmEditField_2.Value=Loa;
app.LppmEditField_2.Value=Lpp;
app.BmEditField_2.Value=B;
app.TmEditField_2.Value=T;
app.DmEditField_2.Value=D;
app.ncontenedoresEditField.Value=ncontenedores;
app.LfmEditField_2.Value=Lf;
app.tEditField_2.Value=Desp;
app.VservKnEditField.Value=Vserv;
app.VminKnEditField.Value=Vmin;
app.VmaxKnEditField.Value=Vmax;
app.LCBmEditField_2.Value=LCB;
app.CBEditField_2.Value=CB;
app.CPEditField_2.Value=CP;
app.CFEditField_2.Value=CF;
app.CmEditField.Value=Cm;
app.Atm2EditField.Value=Atm;
app.Smm2EditField.Value=Sm;
app.HbmEditField.Value=Hb;
app.Vcarenam3EditField.Value=Vcarena;
app.Amm2EditField.Value=Atm;
app.KsmEditField.Value=Ks;
app.Smapm2EditField.Value=Smap;
```



app.IeEditField.Value=Ie;

```
case 'Torrente'  
    Loa=299.92;  
    Lpp=285;  
    B=45.63;  
    T=13.5;  
    D=24.6;  
    ncontenedores=8000;  
    Lf=292.42;  
    Vmin=14.5;  
    Vserv=25.3;  
    Vmax=27.2;  
    Desp=123761;  
    CB=Desp/(1.0259*Lpp*B*T);  
    Cm=1.006-0.0056*(CB^(-3.56));  
    CP=CB/Cm;  
    LCB=17.5*CP-12,5;  
    CF=Cm*CP+0.1;  
    Fn=(Vserv*0.51445)/((9.81*Lf)^0.5);  
    Atm=B*T*Cm;  
    Atb=((40*Fn)-3.5)*Atm/100;  
    Vcarena=CB*Lf*B*T;  
    Sm=Lf*(2*T+B)*(Cm^5)*(0.453+0.4425*CB-0.2862*Cm-  
0.003467*(B/T)+0.3696*CF)+(2.38*(Atb/CB));  
    Hb=((3*Atb)/pi)^0.5;  
    Ks=0.00015;  
    Smap=(0.01*Lpp*T)*(1+(25*B^2)/(Lpp^2));  
    Ie=125.67*(B/Lpp)-  
162.25*CP^2+234.32*CP^3+0,1551*LCB^3;  
    Ae=0;  
    app.Aem2EditField.Value=Ae;  
    app.LOAmEditField_2.Value=Loa;  
    app.LppmEditField_2.Value=Lpp;  
    app.BmEditField_2.Value=B;
```



```
app.TmEditField_2.Value=T;
app.DmEditField_2.Value=D;
app.ncontenedoresEditField.Value=ncontenedores;
app.LfmEditField_2.Value=Lf;
app.tEditField_2.Value=Desp;
app.VservKnEditField.Value=Vserv;
app.VminKnEditField.Value=Vmin;
app.VmaxKnEditField.Value=Vmax;
app.LCBmEditField_2.Value=LCB;
app.CBEditField_2.Value=CB;
app.CPEditField_2.Value=CP;
app.CFEditField_2.Value=CF;
app.CmEditField.Value=Cm;
app.Atbm2EditField.Value=Atb;
app.Smm2EditField.Value=Sm;
app.HbmEditField.Value=Hb;
app.Vcarenam3EditField.Value=Vcarena;
app.Amm2EditField.Value=Atm;
app.KsmEditField.Value=Ks;
app.Smapm2EditField.Value=Smap;
app.IeEditField.Value=Ie;
```

```
case 'Gudrun'
```

```
Loa=366.93;
Lpp=351.08;
B=42.94;
T=15;
D=24.1;
ncontenedores=9074;
Lf=357.76;
Vmin=14.5;
Vserv=24.6;
Vmax=26.1;
Desp=156301;
CB=Desp/(1.0259*Lpp*B*T);
```



```
Cm=1.006-0.0056*(CB^(-3.56));
CP=CB/Cm;
LCB=17.5*CP-12,5;
CF=Cm*CP+0.1;
Fn=(Vserv*0.51445)/((9.81*Lf)^0.5);
Atm=B*T*Cm;
Atb=((40*Fn)-3.5)*Atm/100;
Vcarena=CB*Lf*B*T;
Sm=Lf*(2*T+B)*(Cm^5)*(0.453+0.4425*CB-0.2862*Cm-
0.003467*(B/T)+0.3696*CF)+(2.38*(Atb/CB));
Hb=((3*Atb)/pi)^0.5;
Ks=0.00015;
Smap=(0.01*Lpp*T)*(1+(25*B^2)/(Lpp^2));
Ie=125.67*(B/Lpp)-
162.25*CP^2+234.32*CP^3+0,1551*LCB^3;
Ae=0;
app.Aem2EditField.Value=Ae;
app.LOAmEditField_2.Value=Loa;
app.LppmEditField_2.Value=Lpp;
app.BmEditField_2.Value=B;
app.TmEditField_2.Value=T;
app.DmEditField_2.Value=D;
app.ncontenedoresEditField.Value=ncontenedores;
app.LfmEditField_2.Value=Lf;
app.tEditField_2.Value=Desp;
app.VservKnEditField.Value=Vserv;
app.VminKnEditField.Value=Vmin;
app.VmaxKnEditField.Value=Vmax;
app.LCBmEditField_2.Value=LCB;
app.CBEditField_2.Value=CB;
app.CPEditField_2.Value=CP;
app.CFEditField_2.Value=CF;
app.CmEditField.Value=Cm;
app.Atm2EditField.Value=Atm;
app.Smm2EditField.Value=Sm;
app.HbmEditField.Value=Hb;
```



```
app.Vcarenam3EditField.Value=Vcarena;  
app.Amm2EditField.Value=Atm;  
app.KsmEditField.Value=Ks;  
app.Smapm2EditField.Value=Smap;  
app.IeEditField.Value=Ie;
```

```
case 'Charlotte'  
    Loa=346.98;  
    Lpp=331.54;  
    B=42.8;  
    T=14.93;  
    D=24.1;  
    ncontenedores=9612;  
    Lf=338.31;  
    Vmin=14.5;  
    Vserv=24.5;  
    Vmax=25.8;  
    Desp=142795;  
    CB=Desp/(1.0259*Lpp*B*T);  
    Cm=1.006-0.0056*(CB^(-3.56));  
    CP=CB/Cm;  
    LCB=17.5*CP-12,5;  
    CF=Cm*CP+0.1;  
    Fn=(Vserv*0.51445)/((9.81*Lf)^0.5);  
    Atm=B*T*Cm;  
    Atb=(((40*Fn)-3.5)*Atm)/100;  
    Vcarena=CB*Lf*B*T;  
    Sm=Lf*(2*T+B)*(Cm^5)*(0.453+0.4425*CB-0.2862*Cm-  
0.003467*(B/T)+0.3696*CF)+(2.38*(Atb/CB));  
    Hb=(((3*Atb)/pi)^0.5);  
    Ks=0.00015;  
    Smap=(0.01*Lpp*T)*(1+(25*B^2)/(Lpp^2));  
    Ie=125.67*(B/Lpp)-  
162.25*CP^2+234.32*CP^3+0,1551*LCB^3;  
    Ae=0;
```



```
app.Aem2EditField.Value=Ae;  
app.LOAmEditField_2.Value=Loa;  
app.LppmEditField_2.Value=Lpp;  
app.BmEditField_2.Value=B;  
app.TmEditField_2.Value=T;  
app.DmEditField_2.Value=D;  
app.ncontenedoresEditField.Value=ncontenedores;  
app.LfmEditField_2.Value=Lf;  
app.tEditField_2.Value=Desp;  
app.VservKnEditField.Value=Vserv;  
app.VminKnEditField.Value=Vmin;  
app.VmaxKnEditField.Value=Vmax;  
app.LCBmEditField_2.Value=LCB;  
app.CBEditField_2.Value=CB;  
app.CPEditField_2.Value=CP;  
app.CFEditField_2.Value=CF;  
app.CmEditField.Value=Cm;  
app.Atbm2EditField.Value=Atb;  
app.Smm2EditField.Value=Sm;  
app.HbmEditField.Value=Hb;  
app.Vcarenam3EditField.Value=Vcarena;  
app.Amm2EditField.Value=Atm;  
app.KsmEditField.Value=Ks;  
app.Smapm2EditField.Value=Smap;  
app.IeEditField.Value=Ie;
```

```
case 'Kyoto Express'
```

```
Loa=335;  
Lpp=319;  
B=42.94;  
T=14.61;  
D=24.5;  
ncontenedores=8235;  
Lf=326.63;  
Vmin=14.5;  
Vserv=25.2;
```



```
Vmax=26.8;
Desp=139011;
CB=Desp/(1.0259*Lpp*B*T);
Cm=1.006-0.0056*(CB^(-3.56));
CP=CB/Cm;
LCB=17.5*CP-12,5;
CF=Cm*CP+0.1;
Fn=(Vserv*0.51445)/((9.81*Lf)^0.5);
Atm=B*T*Cm;
Atb=((40*Fn)-3.5)*Atm/100;
Vcarena=CB*Lf*B*T;
Sm=Lf*(2*T+B)*(Cm^5)*(0.453+0.4425*CB-0.2862*Cm-
0.003467*(B/T)+0.3696*CF)+(2.38*(Atb/CB));
Hb=((3*Atb)/pi)^0.5;
Ks=0.00015;
Smap=(0.01*Lpp*T)*(1+(25*B^2)/(Lpp^2));
Ie=125.67*(B/Lpp)-
162.25*CP^2+234.32*CP^3+0,1551*LCB^3;
Ae=0;
app.Aem2EditField.Value=Ae;
app.LOAmEditField_2.Value=Loa;
app.LppmEditField_2.Value=Lpp;
app.BmEditField_2.Value=B;
app.TmEditField_2.Value=T;
app.DmEditField_2.Value=D;
app.ncontenedoresEditField.Value=ncontenedores;
app.LfmEditField_2.Value=Lf;
app.tEditField_2.Value=Desp;
app.VservKnEditField.Value=Vserv;
app.VminKnEditField.Value=Vmin;
app.VmaxKnEditField.Value=Vmax;
app.LCBmEditField_2.Value=LCB;
app.CBEditField_2.Value=CB;
app.CPEditField_2.Value=CP;
app.CFEditField_2.Value=CF;
app.CmEditField.Value=Cm;
```



```
app.Atb2EditField.Value=Atb;  
app.Smm2EditField.Value=Sm;  
app.HbmEditField.Value=Hb;  
app.Vcarenam3EditField.Value=Vcarena;  
app.Amm2EditField.Value=Atm;  
app.KsmEditField.Value=Ks;  
app.Smapm2EditField.Value=Smap;  
app.IeEditField.Value=Ie;
```

```
case 'Gerd'
```

```
Loa=366.93;  
Lpp=351.08;  
B=42.94;  
T=15;  
D=24.1;  
ncontenedores=6600;  
Lf=357.757;  
Vmin=14.5;  
Vserv=24.6;  
Vmax=25.9;  
Desp=156301;  
CB=Desp/(1.0259*Lpp*B*T);  
Cm=1.006-0.0056*(CB^(-3.56));  
CP=CB/Cm;  
LCB=17.5*CP-12,5;  
CF=Cm*CP+0.1;  
Fn=(Vserv*0.51445)/((9.81*Lf)^0.5);  
Atm=B*T*Cm;  
Atb=((40*Fn)-3.5)*Atm/100;  
Vcarena=CB*Lf*B*T;  
Sm=Lf*(2*T+B)*(Cm^5)*(0.453+0.4425*CB-0.2862*Cm-  
0.003467*(B/T)+0.3696*CF)+(2.38*(Atb/CB));  
Hb=((3*Atb)/pi)^0.5;  
Ks=0.00015;  
Smap=(0.01*Lpp*T)*(1+(25*B^2)/(Lpp^2));
```



```
Ie=125.67*(B/Lpp)-  
162.25*CP^2+234.32*CP^3+0,1551*LCB^3;  
Ae=0;  
app.Aem2EditField.Value=Ae;  
app.LOAmEditField_2.Value=Loa;  
app.LppmEditField_2.Value=Lpp;  
app.BmEditField_2.Value=B;  
app.TmEditField_2.Value=T;  
app.DmEditField_2.Value=D;  
app.ncontenedoresEditField.Value=ncontenedores;  
app.LfmEditField_2.Value=Lf;  
app.tEditField_2.Value=Desp;  
app.VservKnEditField.Value=Vserv;  
app.VminKnEditField.Value=Vmin;  
app.VmaxKnEditField.Value=Vmax;  
app.LCBmEditField_2.Value=LCB;  
app.CBEditField_2.Value=CB;  
app.CPEditField_2.Value=CP;  
app.CFEditField_2.Value=CF;  
app.CmEditField.Value=Cm;  
app.Atbm2EditField.Value=Atb;  
app.Smm2EditField.Value=Sm;  
app.HbmEditField.Value=Hb;  
app.Vcarenam3EditField.Value=Vcarena;  
app.Amm2EditField.Value=Atm;  
app.KsmEditField.Value=Ks;  
app.Smapm2EditField.Value=Smap;  
app.IeEditField.Value=Ie;
```

```
case 'Tempanos'
```

```
Loa=299.96;  
Lpp=285;  
B=45.63;  
T=13.5;  
D=24.6;  
ncontenedores=8000;
```



```
Lf=292.46;
Vmin=14.5;
Vserv=25.3;
Vmax=27.6;
Desp=123760;
CB=Desp/(1.0259*Lpp*B*T);
Cm=1.006-0.0056*(CB^(-3.56));
CP=CB/Cm;
LCB=17.5*CP-12,5;
CF=Cm*CP+0.1;
Fn=(Vserv*0.51445)/((9.81*Lf)^0.5);
Atm=B*T*Cm;
Atb=((40*Fn)-3.5)*Atm/100;
Vcarena=CB*Lf*B*T;
Sm=Lf*(2*T+B)*(Cm^5)*(0.453+0.4425*CB-0.2862*Cm-
0.003467*(B/T)+0.3696*CF)+(2.38*(Atb/CB));
Hb=((3*Atb)/pi)^0.5;
Ks=0.00015;
Smap=(0.01*Lpp*T)*(1+(25*B^2)/(Lpp^2));
Ie=125.67*(B/Lpp)-
162.25*CP^2+234.32*CP^3+0,1551*LCB^3;
Ae=0;
app.Aem2EditField.Value=Ae;
app.LOAmEditField_2.Value=Loa;
app.LppmEditField_2.Value=Lpp;
app.BmEditField_2.Value=B;
app.TmEditField_2.Value=T;
app.DmEditField_2.Value=D;
app.ncontenedoresEditField.Value=ncontenedores;
app.LfmEditField_2.Value=Lf;
app.tEditField_2.Value=Desp;
app.VservKnEditField.Value=Vserv;
app.VminKnEditField.Value=Vmin;
app.VmaxKnEditField.Value=Vmax;
app.LCBmEditField_2.Value=LCB;
app.CBEditField_2.Value=CB;
```



```
app.CPEditField_2.Value=CP;  
app.CFEditField_2.Value=CF;  
app.CmEditField.Value=Cm;  
app.Atbm2EditField.Value=Atb;  
app.Smm2EditField.Value=Sm;  
app.HbmEditField.Value=Hb;  
app.Vcarenam3EditField.Value=Vcarena;  
app.Amm2EditField.Value=Atm;  
app.KsmEditField.Value=Ks;  
app.Smapm2EditField.Value=Smap;  
app.IeEditField.Value=Ie;
```

```
case 'Maipo'
```

```
Loa=305.6;  
Lpp=293.16;  
B=40;  
T=14;  
D=24.2;  
ncontenedores=6589;  
Lf=297.96;  
Vmin=14.5;  
Vserv=25.5;  
Vmax=27.9;  
Desp=107656;  
CB=Desp/(1.0259*Lpp*B*T);  
Cm=1.006-0.0056*(CB^(-3.56));  
CP=CB/Cm;  
LCB=17.5*CP-12,5;  
CF=Cm*CP+0.1;  
Fn=(Vserv*0.51445)/((9.81*Lf)^0.5);  
Atm=B*T*Cm;  
Atb=(((40*Fn)-3.5)*Atm)/100;  
Vcarena=CB*Lf*B*T;  
Sm=Lf*(2*T+B)*(Cm^5)*(0.453+0.4425*CB-0.2862*Cm-  
0.003467*(B/T)+0.3696*CF)+(2.38*(Atb/CB));  
Hb=((3*Atb)/pi)^0.5;
```



```
Ks=0.00015;  
Smap=(0.01*Lpp*T)*(1+(25*B^2)/(Lpp^2));  
Ie=125.67*(B/Lpp)-  
162.25*CP^2+234.32*CP^3+0,1551*LCB^3;  
Ae=0;  
app.Aem2EditField.Value=Ae;  
app.LOAmEditField_2.Value=Loa;  
app.LppmEditField_2.Value=Lpp;  
app.BmEditField_2.Value=B;  
app.TmEditField_2.Value=T;  
app.DmEditField_2.Value=D;  
app.ncontenedoresEditField.Value=ncontenedores;  
app.LfmEditField_2.Value=Lf;  
app.tEditField_2.Value=Desp;  
app.VservKnEditField.Value=Vserv;  
app.VminKnEditField.Value=Vmin;  
app.VmaxKnEditField.Value=Vmax;  
app.LCBmEditField_2.Value=LCB;  
app.CBEditField_2.Value=CB;  
app.CPEditField_2.Value=CP;  
app.CFEditField_2.Value=CF;  
app.CmEditField.Value=Cm;  
app.Atbm2EditField.Value=Atb;  
app.Smm2EditField.Value=Sm;  
app.HbmEditField.Value=Hb;  
app.Vcarenam3EditField.Value=Vcarena;  
app.Amm2EditField.Value=Atm;  
app.KsmEditField.Value=Ks;  
app.Smapi2EditField.Value=Smapi;  
app.IeEditField.Value=Ie;
```

```
case 'Jazan'
```

```
Loa=306;  
Lpp=292;  
B=40.05;  
T=14.5;
```



```
D=24.5;
ncontenedores=6921;
Lf=298.35;
Vmin=14.5;
Vserv=25;
Vmax=26.8;
Desp=112683;
CB=Desp/(1.0259*Lpp*B*T);
Cm=1.006-0.0056*(CB^(-3.56));
CP=CB/Cm;
LCB=17.5*CP-12,5;
CF=Cm*CP+0.1;
Fn=(Vserv*0.51445)/((9.81*Lf)^0.5);
Atm=B*T*Cm;
Atb=((40*Fn)-3.5)*Atm/100;
Vcarena=CB*Lf*B*T;
Sm=Lf*(2*T+B)*(Cm^5)*(0.453+0.4425*CB-0.2862*Cm-
0.003467*(B/T)+0.3696*CF)+(2.38*(Atb/CB));
Hb=((3*Atb)/pi)^0.5;
Ks=0.00015;
Smap=(0.01*Lpp*T)*(1+(25*B^2)/(Lpp^2));
Ie=125.67*(B/Lpp)-
162.25*CP^2+234.32*CP^3+0,1551*LCB^3;
Ae=0;
app.Aem2EditField.Value=Ae;
app.LOAmEditField_2.Value=Loa;
app.LppmEditField_2.Value=Lpp;
app.BmEditField_2.Value=B;
app.TmEditField_2.Value=T;
app.DmEditField_2.Value=D;
app.ncontenedoresEditField.Value=ncontenedores;
app.LfmEditField_2.Value=Lf;
app.tEditField_2.Value=Desp;
app.VservKnEditField.Value=Vserv;
app.VminKnEditField.Value=Vmin;
app.VmaxKnEditField.Value=Vmax;
```



```
app.LCBmEditField_2.Value=LCB;  
app.CBEditField_2.Value=CB;  
app.CPEditField_2.Value=CP;  
app.CFEditField_2.Value=CF;  
app.CmEditField.Value=Cm;  
app.Atbm2EditField.Value=Atb;  
app.Smm2EditField.Value=Sm;  
app.HbmEditField.Value=Hb;  
app.Vcarenam3EditField.Value=Vcarena;  
app.Amm2EditField.Value=Atm;  
app.KsmEditField.Value=Ks;  
app.Smapm2EditField.Value=Smap;  
app.IeEditField.Value=Ie;
```

```
case 'Osaka'
```

```
Loa=335.47;  
Lpp=319;  
B=42.94;  
T=14.61;  
D=24.5;  
ncontenedores=8606;  
Lf=327.08;  
Vmin=14.5;  
Vserv=25.2;  
Vmax=27;  
Desp=139010;  
CB=Desp/(1.0259*Lpp*B*T);  
Cm=1.006-0.0056*(CB^(-3.56));  
CP=CB/Cm;  
LCB=17.5*CP-12,5;  
CF=Cm*CP+0.1;  
Fn=(Vserv*0.51445)/((9.81*Lf)^0.5);  
Atm=B*T*Cm;  
Atb=(((40*Fn)-3.5)*Atm)/100;  
Vcarena=CB*Lf*B*T;
```



$$S_m = L_f * (2 * T + B) * (C_m^5) * (0.453 + 0.4425 * C_B - 0.2862 * C_m - 0.003467 * (B/T) + 0.3696 * C_F) + (2.38 * (A_{tb}/C_B));$$

$$H_b = ((3 * A_{tb}) / \pi)^{0.5};$$

$$K_s = 0.00015;$$

$$S_{map} = (0.01 * L_{pp} * T) * (1 + (25 * B^2) / (L_{pp}^2));$$

$$I_e = 125.67 * (B / L_{pp}) - 162.25 * C_P^2 + 234.32 * C_P^3 + 0,1551 * L_{CB}^3;$$

$$A_e = 0;$$

$$\text{app.Aem2EditField.Value} = A_e;$$

$$\text{app.LOAmEditField_2.Value} = L_{oa};$$

$$\text{app.LppmEditField_2.Value} = L_{pp};$$

$$\text{app.BmEditField_2.Value} = B;$$

$$\text{app.TmEditField_2.Value} = T;$$

$$\text{app.DmEditField_2.Value} = D;$$

$$\text{app.ncontenedoresEditField.Value} = n_{\text{contenedores}};$$

$$\text{app.LfmEditField_2.Value} = L_f;$$

$$\text{app.tEditField_2.Value} = \text{Desp};$$

$$\text{app.VservKnEditField.Value} = V_{\text{serv}};$$

$$\text{app.VminKnEditField.Value} = V_{\text{min}};$$

$$\text{app.VmaxKnEditField.Value} = V_{\text{max}};$$

$$\text{app.LCBmEditField_2.Value} = L_{CB};$$

$$\text{app.CBEditField_2.Value} = C_B;$$

$$\text{app.CPEditField_2.Value} = C_P;$$

$$\text{app.CFEditField_2.Value} = C_F;$$

$$\text{app.CmEditField.Value} = C_m;$$

$$\text{app.Atbm2EditField.Value} = A_{tb};$$

$$\text{app.Smm2EditField.Value} = S_m;$$

$$\text{app.HbmEditField.Value} = H_b;$$

$$\text{app.Vcarenam3EditField.Value} = V_{\text{carena}};$$

$$\text{app.Amm2EditField.Value} = A_{tm};$$

$$\text{app.KsmEditField.Value} = K_s;$$

$$\text{app.Smapm2EditField.Value} = S_{map};$$

$$\text{app.IeEditField.Value} = I_e;$$

case 'Tucapel'

$$L_{oa} = 299.92;$$



```
Lpp=285;
B=45.63;
T=13.5;
D=24.6;
ncontenedores=8000;
Lf=292.42;
Vmin=14.5;
Vserv=25;
Vmax=26.6;
Desp=123761;
CB=Desp/(1.0259*Lpp*B*T);
Cm=1.006-0.0056*(CB^(-3.56));
CP=CB/Cm;
LCB=17.5*CP-12,5;
CF=Cm*CP+0.1;
Fn=(Vserv*0.51445)/((9.81*Lf)^0.5);
Atm=B*T*Cm;
Atb=((40*Fn)-3.5)*Atm/100;
Vcarena=CB*Lf*B*T;
Sm=Lf*(2*T+B)*(Cm^5)*(0.453+0.4425*CB-0.2862*Cm-
0.003467*(B/T)+0.3696*CF)+(2.38*(Atb/CB));
Hb=((3*Atb)/pi)^0.5;
Ks=0.00015;
Smap=(0.01*Lpp*T)*(1+(25*B^2)/(Lpp^2));
Ie=125.67*(B/Lpp)-
162.25*CP^2+234.32*CP^3+0,1551*LCB^3;
Ae=0;
app.Aem2EditField.Value=Ae;
app.LOAmEditField_2.Value=Loa;
app.LppmEditField_2.Value=Lpp;
app.BmEditField_2.Value=B;
app.TmEditField_2.Value=T;
app.DmEditField_2.Value=D;
app.ncontenedoresEditField.Value=ncontenedores;
app.LfmEditField_2.Value=Lf;
app.tEditField_2.Value=Desp;
```



```
app.VservKnEditField.Value=Vserv;  
app.VminKnEditField.Value=Vmin;  
app.VmaxKnEditField.Value=Vmax;  
app.LCBmEditField_2.Value=LCB;  
app.CBEditField_2.Value=CB;  
app.CPEditField_2.Value=CP;  
app.CFEditField_2.Value=CF;  
app.CmEditField.Value=Cm;  
app.Atbm2EditField.Value=Atb;  
app.Smm2EditField.Value=Sm;  
app.HbmEditField.Value=Hb;  
app.Vcarenam3EditField.Value=Vcarena;  
app.Amm2EditField.Value=Atm;  
app.KsmEditField.Value=Ks;  
app.Smapm2EditField.Value=Smap;  
app.IeEditField.Value=Ie;
```

```
case 'Gjertrud'
```

```
Loa=366.9;  
Lpp=351.03;  
B=42.8;  
T=15;  
D=24.1;  
ncontenedores=9074;  
Lf=357.73;  
Vmin=14.5;  
Vserv=25;  
Vmax=26.5;  
Desp=156301;  
CB=Desp/(1.0259*Lpp*B*T);  
Cm=1.006-0.0056*(CB^(-3.56));  
CP=CB/Cm;  
LCB=17.5*CP-12,5;  
CF=Cm*CP+0.1;  
Fn=(Vserv*0.51445)/((9.81*Lf)^0.5);  
Atm=B*T*Cm;
```



```
Atb=((40*Fn)-3.5)*Atm)/100;  
Vcarena=CB*Lf*B*T;  
Sm=Lf*(2*T+B)*(Cm^5)*(0.453+0.4425*CB-0.2862*Cm-  
0.003467*(B/T)+0.3696*CF)+(2.38*(Atb/CB));  
Hb=((3*Atb)/pi)^0.5;  
Ks=0.00015;  
Smap=(0.01*Lpp*T)*(1+(25*B^2)/(Lpp^2));  
Ie=125.67*(B/Lpp)-  
162.25*CP^2+234.32*CP^3+0,1551*LCB^3;  
Ae=0;  
app.Aem2EditField.Value=Ae;  
app.LOAmEditField_2.Value=Loa;  
app.LppmEditField_2.Value=Lpp;  
app.BmEditField_2.Value=B;  
app.TmEditField_2.Value=T;  
app.DmEditField_2.Value=D;  
app.ncontenedoresEditField.Value=ncontenedores;  
app.LfmEditField_2.Value=Lf;  
app.tEditField_2.Value=Desp;  
app.VservKnEditField.Value=Vserv;  
app.VminKnEditField.Value=Vmin;  
app.VmaxKnEditField.Value=Vmax;  
app.LCBmEditField_2.Value=LCB;  
app.CBEditField_2.Value=CB;  
app.CPEditField_2.Value=CP;  
app.CFEditField_2.Value=CF;  
app.CmEditField.Value=Cm;  
app.Atbm2EditField.Value=Atb;  
app.Smm2EditField.Value=Sm;  
app.HbmEditField.Value=Hb;  
app.Vcarenam3EditField.Value=Vcarena;  
app.Amm2EditField.Value=Atm;  
app.KsmEditField.Value=Ks;  
app.Smapm2EditField.Value=Smap;  
app.IeEditField.Value=Ie;
```



```
case 'Clifford'  
    Loa=346.98;  
    Lpp=331.5;  
    B=42.8;  
    T=14.5;  
    D=24.1;  
    ncontenedores=8160;  
    Lf=338.305;  
    Vmin=14.5;  
    Vserv=24.6;  
    Vmax=26.1;  
    Desp=142795;  
    CB=Desp/(1.0259*Lpp*B*T);  
    Cm=1.006-0.0056*(CB^(-3.56));  
    CP=CB/Cm;  
    LCB=17.5*CP-12,5;  
    CF=Cm*CP+0.1;  
    Fn=(Vserv*0.51445)/((9.81*Lf)^0.5);  
    Atm=B*T*Cm;  
    Atb=((40*Fn)-3.5)*Atm/100;  
    Vcarena=CB*Lf*B*T;  
    Sm=Lf*(2*T+B)*(Cm^5)*(0.453+0.4425*CB-0.2862*Cm-  
0.003467*(B/T)+0.3696*CF)+(2.38*(Atb/CB));  
    Hb=((3*Atb)/pi)^0.5;  
    Ks=0.00015;  
    Smap=(0.01*Lpp*T)*(1+(25*B^2)/(Lpp^2));  
    Ie=125.67*(B/Lpp)-  
162.25*CP^2+234.32*CP^3+0,1551*LCB^3;  
    Ae=0;  
    app.Aem2EditField.Value=Ae;  
    app.LOAmEditField_2.Value=Loa;  
    app.LppmEditField_2.Value=Lpp;  
    app.BmEditField_2.Value=B;  
    app.TmEditField_2.Value=T;  
    app.DmEditField_2.Value=D;  
    app.ncontenedoresEditField.Value=ncontenedores;
```



```
app.LfEditField_2.Value=Lf;  
app.tEditField_2.Value=Desp;  
app.VservKnEditField.Value=Vserv;  
app.VminKnEditField.Value=Vmin;  
app.VmaxKnEditField.Value=Vmax;  
app.LCBmEditField_2.Value=LCB;  
app.CBEditField_2.Value=CB;  
app.CPEditField_2.Value=CP;  
app.CFEditField_2.Value=CF;  
app.CmEditField.Value=Cm;  
app.Atbm2EditField.Value=Atb;  
app.Smm2EditField.Value=Sm;  
app.HbmEditField.Value=Hb;  
app.Vcarenam3EditField.Value=Vcarena;  
app.Amm2EditField.Value=Atm;  
app.KsmEditField.Value=Ks;  
app.Smapm2EditField.Value=Smap;  
app.IeEditField.Value=Ie;
```

```
case 'Ever Smart'
```

```
Loa=299.99;  
Lpp=285;  
B=42.91;  
T=14.2;  
D=24.2;  
ncontenedores=7024;  
Lf=292.49;  
Vmin=14.5;  
Vserv=23.5;  
Vmax=25;  
Desp=107537;  
CB=Desp/(1.0259*Lpp*B*T);  
Cm=1.006-0.0056*(CB^(-3.56));  
CP=CB/Cm;  
LCB=17.5*CP-12,5;  
CF=Cm*CP+0.1;
```



```
Fn=(Vserv*0.51445)/((9.81*Lf)^0.5);
Atm=B*T*Cm;
Atb=(((40*Fn)-3.5)*Atm)/100;
Vcarena=CB*Lf*B*T;
Sm=Lf*(2*T+B)*(Cm^5)*(0.453+0.4425*CB-0.2862*Cm-
0.003467*(B/T)+0.3696*CF)+(2.38*(Atb/CB));
Hb=((3*Atb)/pi)^0.5;
Ks=0.00015;
Smap=(0.01*Lpp*T)*(1+(25*B^2)/(Lpp^2));
Ie=125.67*(B/Lpp)-
162.25*CP^2+234.32*CP^3+0,1551*LCB^3;
Ae=0;
app.Aem2EditField.Value=Ae;
app.LOAmEditField_2.Value=Loa;
app.LppmEditField_2.Value=Lpp;
app.BmEditField_2.Value=B;
app.TmEditField_2.Value=T;
app.DmEditField_2.Value=D;
app.ncontenedoresEditField.Value=ncontenedores;
app.LfmEditField_2.Value=Lf;
app.tEditField_2.Value=Desp;
app.VservKnEditField.Value=Vserv;
app.VminKnEditField.Value=Vmin;
app.VmaxKnEditField.Value=Vmax;
app.LCBmEditField_2.Value=LCB;
app.CBEditField_2.Value=CB;
app.CPEditField_2.Value=CP;
app.CFEditField_2.Value=CF;
app.CmEditField.Value=Cm;
app.Atm2EditField.Value=Atm;
app.Smm2EditField.Value=Sm;
app.HbmEditField.Value=Hb;
app.Vcarenam3EditField.Value=Vcarena;
app.Amm2EditField.Value=Atm;
app.KsmEditField.Value=Ks;
app.Smapm2EditField.Value=Smap;
```



app.IeEditField.Value=Ie;

case 'Hamburgo'

Loa=334.11;

Lpp=319;

B=42.87;

T=14.61;

D=24.8;

ncontenedores=8600;

Lf=325.75;

Vmin=14.5;

Vserv=25;

Vmax=26.6;

Desp=136937;

CB=Desp/(1.0259*Lpp*B*T);

Cm=1.006-0.0056*(CB^(-3.56));

CP=CB/Cm;

LCB=17.5*CP-12,5;

CF=Cm*CP+0.1;

Fn=(Vserv*0.51445)/((9.81*Lf)^0.5);

Atm=B*T*Cm;

Atb=((40*Fn)-3.5)*Atm/100;

Vcarena=CB*Lf*B*T;

Sm=Lf*(2*T+B)*(Cm^5)*(0.453+0.4425*CB-0.2862*Cm-
0.003467*(B/T)+0.3696*CF)+(2.38*(Atb/CB));

Hb=((3*Atb)/pi)^0.5;

Ks=0.00015;

Smap=(0.01*Lpp*T)*(1+(25*B^2)/(Lpp^2));

Ie=125.67*(B/Lpp)-
162.25*CP^2+234.32*CP^3+0,1551*LCB^3;

Ae=0;

app.Aem2EditField.Value=Ae;

app.LOAmEditField_2.Value=Loa;

app.LppmEditField_2.Value=Lpp;

app.BmEditField_2.Value=B;

app.TmEditField_2.Value=T;



```
app.DmEditField_2.Value=D;
app.ncontenedoresEditField.Value=ncontenedores;
app.LfmEditField_2.Value=Lf;
app.tEditField_2.Value=Desp;
app.VservKnEditField.Value=Vserv;
app.VminKnEditField.Value=Vmin;
app.VmaxKnEditField.Value=Vmax;
app.LCBmEditField_2.Value=LCB;
app.CBEditField_2.Value=CB;
app.CPEditField_2.Value=CP;
app.CFEditField_2.Value=CF;
app.CmEditField.Value=Cm;
app.Atbm2EditField.Value=Atb;
app.Smm2EditField.Value=Sm;
app.HbmEditField.Value=Hb;
app.Vcarenam3EditField.Value=Vcarena;
app.Amm2EditField.Value=Atm;
app.KsmEditField.Value=Ks;
app.Smapm2EditField.Value=Smap;
app.IeEditField.Value=Ie;

end

end
```

```
% Value changed function: Densidadkgm3DropDown
function Densidadkgm3DropDownValueChanged(app, event)
    value = app.Densidadkgm3DropDown.Value;
    switch value
        case 'Salada'
            visc=1.883*10(-6);
            app.Viscosidadm2sEditField_2.Value=visc;

        case 'Dulce'
            visc=1.13902*10(-6);
            app.Viscosidadm2sEditField_2.Value=visc;
    end
```



end

% Value changed function: TimnBuque1HliceCheckBox

function TimnBuque1HliceCheckBoxValueChanged(app, event)

value = app.TimnBuque1HliceCheckBox.Value;

%app.EditField.Value=15;

if value==1

app.EditField.Enable='on';

app.EditField_2.Enable='off';

app.EditField_3.Enable='off';

app.TimnBuque2HlicesCheckBox.Enable='off';

app.TimnyquilloteCheckBox.Enable='off';

else

app.EditField_2.Enable='on';

app.EditField_3.Enable='on';

app.EditField.Enable='off';

app.TimnBuque2HlicesCheckBox.Enable='on';

app.TimnyquilloteCheckBox.Enable='on';

end

end

% Value changed function: EditField

function EditFieldValueChanged(app, event)

value = app.EditField.Value;

end



```
% Selection changed function: formasdepopaButtonGroup
function formasdepopaButtonGroupSelectionChanged(app, event)
    selectedButton =
app.formasdepopaButtonGroup.SelectedObject;
    Cstern=0;
    if app.NormalesButton.Value ==1
        Cstern=-25;
    elseif app.EnUButton.Value ==1
        Cstern=10;
    elseif app.EnVButton.Value ==1
        Cstern=-10;
    elseif app.NormalesButton ==1
        Cstern=0;
    end
end

% Size changed function: Apndicesvalor1K2Panel
function Apndicesvalor1K2PanelSizeChanged(app, event)
    position = app.Apndicesvalor1K2Panel.Position;

end

% Button pushed function: Comprobar1k2Button
function Comprobar1k2ButtonPushed(app, event)
    if
(app.TimnBuque1HliceCheckBox.Value==1)&&((app.EditField.Value<1.3)|| (a
pp.EditField.Value>1.5))
        errordlg('Valor del timón de una hélice debe estar
entre 1.3 y 1.5','Error en timón de una hélice')
    elseif
(app.TimnyquilloteCheckBox.Value==1)&&((app.EditField_3.Value<1.5)|| (a
pp.EditField_3.Value>2.0))
        errordlg('Valor introducido de Timón y quillote
Erróneo, debe de estar entre 1.5 y 2.0','Error en timón y quillote')
```



```
elseif
(app.QuillotesoloCheckBox.Value==1)&&((app.EditField_4.Value<1.5)||
p.EditField_4.Value>2.0))
    errordlg('Valor introducido de quillote solo erróneo,
debe de estar entre 1.5 y 2.0','Error en quillote solo')
elseif
(app.EjesCheckBox.Value==1)&&((app.EditField_8.Value<2.0)||
app.EditField_8.Value>4.0))
    errordlg('Valor introducido de ejes erróneo, debe de
estar entre 2.0 y 4.0','Error en ejes')
end
end
```

```
% Button pushed function: CalcularResistenciaButton
function CalcularResistenciaButtonPushed(app, event)
    Loa=app.LOAmEditField_2.Value;
    Lpp=app.LppmEditField_2.Value;
    B=app.BmEditField_2.Value;
    T=app.TmEditField_2.Value;
    D=app.DmEditField_2.Value;
    ncontenedores=app.ncontenedoresEditField.Value;
    Lf=app.LfmEditField_2.Value;
    Desp=app.tEditField_2.Value;
    Vserv=app.VservKnEditField.Value;
    Vmin=app.VminKnEditField.Value;
    Vmax=app.VmaxKnEditField.Value;
    LCB=app.LCBmEditField_2.Value;
    CB=app.CBEditField_2.Value;
    CP=app.CPEditField_2.Value;
    CF=app.CFEditField_2.Value;
    Cm=app.CmEditField.Value;
    Atb=app.Atbm2EditField.Value;
    Sm=app.Smm2EditField.Value;
    Hb=app.HbmEditField.Value;
    Vcarena=app.Vcarenam3EditField.Value;
```



```
Atm=app.Amm2EditField.Value;
Ks=app.KsmEditField.Value;
Smam=app.Smapm2EditField.Value;
Ie=app.IeEditField.Value;
Ae=app.Aem2EditField.Value;

switch app.Densidadkgm3DropDown.Value
    case 'Salada'
        visc=1.883*10^(-6);

    case 'Dulce'
        visc=1.13902*10^(-6);

end

if app.TipoGndolaButton.Value ==1
    Cstern=-25;
elseif app.EnUButton.Value ==1
    Cstern=10;
elseif app.EnVButton.Value ==1
    Cstern=-10;
elseif app.NormalesButton ==1
    Cstern=0;
end

Vnudos=(18:0.5:28);
Vms=Vnudos*0.51445;
Rn=(Lf*Vms/visc);
Fn=Vms/(Lf*9.807)^(1/2);
Fn1=(Vserv*0.51445)/(Lf*9.807)^(1/2);

%RESISTENCIA VISCOSA
Cstern=0;
if app.TipoGndolaButton.Value ==1
    Cstern=-25;
```



```
elseif app.EnUButton.Value ==1
    Cstern=10;
elseif app.EnVButton.Value ==1
    Cstern=-10;
elseif app.NormalesButton ==1
    Cstern=0;
end

Lr=Lf*(1-CP+0.06*CP*LCB/(4*CP-1));
C14=1+0.011*Cstern;
Cf=0.075./((log10(Rn)-2).^2);

k1=0.93+0.487118*C14*(B/Lf)^(1.06806)*(T/Lf)^(0.46106)*(Lf/Lr)^(0.1215
63)*(Lf^3)/Vcarena)^(0.36486)*(1-CP)^(-0.604247);
Resvisc=0.5*104.6089528*Sm*(Vms.^2).*Cf*k1;

%0,5*(G147/F147)*E147*C147^2*H147*D147

%RESISTENCIA DE LOS APÉNDICES
checktimbuque1helice=app.TimnBuque1HliceCheckBox.Value;
checktimbuque2helice=app.TimnBuque2HlicesCheckBox.Value;
checktimyquillote=app.TimnyquilloteCheckBox.Value;
checkquillotesolo=app.QuillotesoloCheckBox.Value;
checkarbotantes=app.ArbotantesCheckBox.Value;

checkhenchprotec=app.HenchimientosprotectoresCheckBox.Value;
checkhenchint=app.HenchimientosintegradosCheckBox.Value;
checkejes=app.EjesCheckBox.Value;
checkaletestabi=app.AletasestabilizadorasCheckBox.Value;
checkdomo=app.DomoCheckBox.Value;
checkquillasbalance=app.QuillasdebalanceCheckBox.Value;
sumatorio=0;
if checktimbuque1helice==1
    sumatorio=sumatorio+app.EditField.Value;
end
```



```
if checktimbuque2helice==1
    sumatorio=sumatorio+app.EditField_2.Value;
end
if checktimyquillote==1
    sumatorio=sumatorio+app.EditField_3.Value;
end
if checkquillotesolo==1
    sumatorio=sumatorio+app.EditField_4.Value;
end
if checkarbotantes==1
    sumatorio=sumatorio+app.EditField_5.Value;
end
if checkhenchprotec==1
    sumatorio=sumatorio+app.EditField_6.Value;
end
if checkhenchint==1
    sumatorio=sumatorio+app.EditField_7.Value;
end
if checkejes==1
    sumatorio=sumatorio+app.EditField_8.Value;
end
if checkaletestabi==1
    sumatorio=sumatorio+app.EditField_9.Value;
end
if checkdomo==1
    sumatorio=sumatorio+app.EditField_10.Value;
end
if checkquillasbalance==1
    sumatorio=sumatorio+app.EditField_11.Value;
end

restapendices=0.5*104.6089528*Smap*(Vms.^2).*Cf*sumatorio;

%RESISTENCIA POR FORMACIÓN DE OLAS

d=-0.9;
```



$$C3 = (0.56 \cdot Atb^{1.5}) / (B \cdot T \cdot ((0.31 \cdot Atb^{0.5}) + T - Hb));$$

$$\% = (0.56 \cdot Hoja1!D30^{1.5}) / ((Hoja1!D11 \cdot Hoja1!D12) \cdot (0.31 \cdot Hoja1!D30^{(1/2)} + Hoja1!D13 - Hoja1!D31))$$

$$C5 = 1 - ((0.8 \cdot Ae) / B \cdot T \cdot Cm);$$

$$C2 = \exp(-1.89 \cdot (C3^{0.5}));$$

$$\% = \text{EXP}(-1.89 \cdot (C46^{(1/2)}))$$

$$C7 = 0;$$

$$C16 = 0;$$

$$C15 = 0;$$

$$\lambda = 0;$$

$$m3 = -7.2035 \cdot ((B/Lf)^{0.326869}) \cdot ((T/B)^{0.605375});$$

$$C17 = 6919.3 \cdot (Cm)^{-$$

$$1.3346 \cdot ((Vcarena/Lf^3)^{2.009977}) \cdot ((Lf/(B-2))^{1.40692});$$

if B/Lf <= 0.11

$$C7 = 0.229577 \cdot ((B/Lf)^{0.33333});$$

elseif (B/Lf >= 0.11) || (B/Lf <= 0.25)

% 0.11 <= B/Lf <= 0.25

$$C7 = B/Lf;$$

else

$$C7 = 0.5 - 0.0625 \cdot (B/Lf);$$

end

$$C1 = 2223105 \cdot C7^3 \cdot 78613 \cdot ((T/B)^{1.07961}) \cdot (90 - Ie)^{(-1.37565)};$$

$$\% = 2223105 \cdot C42^3 \cdot 78613 \cdot (Hoja1!D12/Hoja1!D11)^{1.07961} \cdot (90 -$$

$$Hoja1!D34)^{(-1.37565)}$$

if CP <= 0.8

$$C16 = 8.07981 \cdot CP - 13.8673 \cdot CP^2 + 6.984388 \cdot CP^3;$$

else

$$C16 = 1.73014 - 0.7067 \cdot CP;$$

end

$$m1 = 0.0140407 \cdot (Lf/T) - 1.75254 \cdot ((Vcarena^{(1/3)})/Lf) -$$

$$4.79323 \cdot (B/Lf) - C16;$$

$$\% = 0.0140407 \cdot (Hoja1!D10/Hoja1!D12) -$$

$$1.75254 \cdot (Hoja1!D44^{(1/3)}/Hoja1!D10) - 4.79323 \cdot (Hoja1!D11/Hoja1!D10) - C53$$



```
if Lf^3/Vcarena<=512
    C15=-1.69385;
elseif 512<Lf^3/Vcarena<1727
    C15= -1.69385+((Lf/Vcarena^(1/3))-8)/2.36;
else
    C15=0;
end
m2=C15*CP^2*0.4*exp(-0.1*Fn.^-2);

if Lf/B<=12
    lambda=1.446*CP-0.03*(Lf/B);
else
    lambda=1.446*CP;
end

Rw=0;
Rwa04=0;
Rwb055=0;
m4=C15*0.4*exp(-0.034*Fn.^-3.29);
if Fn1<=0.4

Rw=1025.9*Vcarena*C1*C2*C5*exp(m1*Fn.^(d)+m2.*cos(lambda*Fn.^(-2)));

%K60*J60*G60*H60*I60*EXP(F60*D60^(L60)+E60*COS(M60*D60^(-2)))
elseif Fn1>0.55
    Rw=
        1025.9*Vcarena*C17*C2*C5*exp(m3*Fn.^(d)
+cos(lambda*Fn.^(-2)));
else

Rwa04=1025.9*Vcarena*C1*C2*C15*exp(m1*0.4^(d)+m4*cos(lambda*0.4^( -
2)));

Rwb055=1025.9*Vcarena*C17*C2*C5*exp(m3*0.55^(d)+m4*cos(lambda*0.55^( -
2)));
```



```
Rw=Rwa04+(10*Fn-4).*((Rwb055-Rwa04)/1.5);
```

```
end
```

```
%RESISTENCIA DE PRESIÓN PRODUCIDA POR EL BULBO CERCA DE LA  
%FLOTACIÓN, RB
```

```
Fni=Vms./(9.807*(T-Hb-0.25*(Atb)^0.5)+0.15*Vms.^2).^0.5;
```

```
Pb=(0.56*(Atb)^0.5)/(T-1.5*Hb);
```

```
Rb=0.11*exp((-3*Pb)^-
```

```
2))*((Fni.^3)*(Atb^1.5)*1025.9)/(1+Fni.^2);
```

```
%=0,11*EXP((-3*D88)^(-2))*(J88^3*G88^1,5*K88)/(1+J88^2)
```

```
%RESISTENCIA ADICIONAL DEBIDA A LA INMERSIÓN DEL ESPEJO,RTR
```

que

plano

poco

```
%el espejo o no.
```

```
FNnt=(Vms./(2*9.81*Ae/(B+B*CF))^0.5);
```

```
C6=0;
```

```
if FNnt<5
```

```
    C6=0.2*(1-0.2*FNnt);
```

```
else
```

```
    C6=0;
```

```
end
```

```
Rtr=0.5*104.6089528*Vms.^2*Ae*C6;
```

```
%RESISTENCIA DEBIDA A LA CORRELACIÓN MODELO-BUQUE,RA.
```

```
K3=1-((0.8*Ae)/B*T*Cm);
```

```
if T/Lf <=0.04
```



```
K4=T/Lf;
else
    K4=0.04;
end
K2=exp(-1.89*(K3)^0.5);
Ca=0.006*((Lf+100)^-0.16)-
0.00205+0.003*((Lf/7.5)^0.5)*(CB^4)*K2*(0.04-K4);
Ra=0.5*104.6089528*Sm*Vms.^2*Ca;

%RESISTENCIA TOTAL

Rt=Ra+Rw+Rtr+Resvisc+restapendices+Rb;

semilogy(app.UIAxes,Vms,Rt,'o-')
hold(app.UIAxes,"on")

%app.UIAxes.XLabel.String='Vms';
%app.UIAxes.YLabel.String='Rt';

K2=exp(-1.89*(K3)^0.5);
Ca=0.006*((Lf+100)^-0.16)-
0.00205+0.003*((Lf/7.5)^0.5)*(CB^4)*K2*(0.04-K4);
Ra=0.5*104.6089528*Sm*Vms.^2*Ca;

%RESISTENCIA TOTAL

Rt=Ra+Rw+Rtr+Resvisc+restapendices+Rb;

semilogy(app.UIAxes,Vms,Rt,'o-')
hold(app.UIAxes,"on")

%app.UIAxes.XLabel.String='Vms';
%app.UIAxes.YLabel.String='Rt';

[~,indice]=min(abs(Vms-Vserv*0.51445));
vectorV=Vms(indice-2:indice+2);
```



```
vectorR=Rt(indice-2:indice+2);  
p=polyfit(vectorV,vectorR,length(vectorV)-1);  
Rinterpolada=polyval(p,Vserv*0.51445);  
semilogy(app.UIAxes,Vserv*0.51445,Rinterpolada,'*r')  
  
app.ValorResistenciaEditField.Value=Rinterpolada;  
app.EHPCvEditField.Value=(Rinterpolada*Vserv*0.51445)/75;  
EHP=Rt.*Vms./75;  
  
Vnudos=[];  
Vms=[];  
Fn=[];  
Rn=[];  
Resvisc=[];  
Rw=[];  
Ra=[];  
restapendices=[];  
Rtr=[];  
Rt=[];  
EHP=[];
```

```
T=table(Vnudos,Vms,Fn,Rn,Resvisc,Rw,Ra,restapendices,Rtr,Rt,EHP)
```

```
end
```

```
% Value changed function: TimnyquilloteCheckBox
```

```
function TimnyquilloteCheckBoxValueChanged(app, event)
```

```
value = app.TimnyquilloteCheckBox.Value;
```

```
if value==1
```

```
    app.EditField_2.Enable='off';
```

```
    app.EditField_4.Enable='off';
```

```
    app.EditField.Enable='off';
```



```
app.TimnBuque1HliceCheckBox.Enable='off';
app.TimnBuque2HlicesCheckBox.Enable='off';
app.QuillotesoloCheckBox.Enable='off';
else
app.TimnBuque1HliceCheckBox.Enable='on';
app.TimnBuque2HlicesCheckBox.Enable='on';
app.QuillotesoloCheckBox.Enable='on';
    app.EditField_2.Enable='on';
app.EditField_4.Enable='on';
app.EditField.Enable='on';

end

end

% Value changed function: TimnBuque2HlicesCheckBox
function TimnBuque2HlicesCheckBoxValueChanged(app, event)
    value = app.TimnBuque2HlicesCheckBox.Value;
    if value==1
        app.EditField_2.Enable='on';
        app.EditField.Enable='off';
        app.EditField_3.Enable='off';

        app.TimnBuque1HliceCheckBox.Enable='off';
        app.TimnyquilloteCheckBox.Enable='off';
    else
        app.TimnBuque1HliceCheckBox.Enable='on';
        app.TimnyquilloteCheckBox.Enable='on';
        app.EditField.Enable='on';
        app.EditField_3.Enable='on';
        app.EditField_2.Enable='off';

    end

end
```



```
% Value changed function: Viscosidadm2sEditField_2
function Viscosidadm2sEditField_2ValueChanged(app, event)
    value = app.Viscosidadm2sEditField_2.Value;

end

% Value changed function: ValorResistenciaEditField
function ValorResistenciaEditFieldValueChanged(app, event)
    value = app.ValorResistenciaEditField.Value;

end

% Value changed function: ArbotantesCheckBox
function ArbotantesCheckBoxValueChanged(app, event)
    value = app.ArbotantesCheckBox.Value;
    if value==0
        app.EditField_5.Enable='off';

    else
        app.EditField_5.Enable='on';

    end

end

% Value changed function: HenchimientosprotectoresCheckBox
function HenchimientosprotectoresCheckBoxValueChanged(app,
event)
    value = app.HenchimientosprotectoresCheckBox.Value;
    if value==1
        app.EditField_6.Enable='on';
```



```
else
    app.EditField_6.Enable='off';

end

end

% Value changed function: HenchimientosintegradosCheckBox
function HenchimientosintegradosCheckBoxValueChanged(app,
event)

    value = app.HenchimientosintegradosCheckBox.Value;
    if value==0
        app.EditField_7.Enable='off';

    else
        app.EditField_7.Enable='on';

    end

end

% Value changed function: EjesCheckBox
function EjesCheckBoxValueChanged(app, event)
    value = app.EjesCheckBox.Value;
    if value==0
        app.EditField_8.Enable='off';

    else
        app.EditField_8.Enable='on';

    end

end
```



```
% Value changed function: AletasestabilizadorasCheckBox
function AletasestabilizadorasCheckBoxValueChanged(app, event)
    value = app.AletasestabilizadorasCheckBox.Value;
    if value==0
        app.EditField_9.Enable='off';

    else
        app.EditField_9.Enable='on';

    end
end

% Value changed function: DomoCheckBox
function DomoCheckBoxValueChanged(app, event)
    value = app.DomoCheckBox.Value;
    if value==0
        app.EditField_10.Enable='off';

    else
        app.EditField_10.Enable='on';

    end
end

% Value changed function: QuillasdebalanceCheckBox
function QuillasdebalanceCheckBoxValueChanged(app, event)
    value = app.QuillasdebalanceCheckBox.Value;
    if value==0
        app.EditField_11.Enable='off';

    else
        app.EditField_11.Enable='on';
```



```
end
end

% Value changed function: QuillotesoloCheckBox
function QuillotesoloCheckBoxValueChanged(app, event)
    value = app.QuillotesoloCheckBox.Value;
    if value==0
        app.EditField_4.Enable='off';

    else
        app.EditField_4.Enable='on';

    end

end

end

end

% Component initialization
methods (Access = private)

    % Create UIFigure and components
    function createComponents(app)

        % Create UIFigure and hide until all components are
created

        app.UIFigure = uifigure('Visible', 'off');
        app.UIFigure.Position = [100 100 1031 767];
        app.UIFigure.Name = 'UI Figure';

        % Create ElijabuqueportacontenedorDropDownLabel
```



```
app.ElijabuqueportacontenedorDropDownLabel =
uilabel(app.UIFigure);

app.ElijabuqueportacontenedorDropDownLabel.HorizontalAlignment =
'right';
app.ElijabuqueportacontenedorDropDownLabel.Position = [1
719 156 22];
app.ElijabuqueportacontenedorDropDownLabel.Text = 'Elija
buque portacontenedor';

% Create ElijabuqueportacontenedorDropDown
app.ElijabuqueportacontenedorDropDown =
uidropdown(app.UIFigure);
app.ElijabuqueportacontenedorDropDown.Items = {'buque
proyecto', 'Shabdis', 'Ever Shine', 'MSC Maeva', 'SM Charleston',
'Maersk Semarang', 'MSC Pamela', 'Axel Maersk', 'Svendborg ',
'Tempanos', 'Torrente', 'Gudrun', 'Charlotte', 'Kyoto Express',
'Gerd', 'Tempanos', 'Maipo', 'Jazan', 'Osaka', 'Tucapel', 'Gjertrud',
'Clifford', 'Ever Smart', 'Hamburgo'};
app.ElijabuqueportacontenedorDropDown.ValueChangedFcn =
createCallbackFcn(app, @ElijabuqueportacontenedorDropDownValueChanged,
true);
app.ElijabuqueportacontenedorDropDown.Position = [166 719
100 22];
app.ElijabuqueportacontenedorDropDown.Value = 'buque
proyecto';

% Create DigaDimensionesPrincipalesLabel
app.DigaDimensionesPrincipalesLabel =
uilabel(app.UIFigure);
app.DigaDimensionesPrincipalesLabel.Position = [73 680 170
22];
app.DigaDimensionesPrincipalesLabel.Text = {'Diga
Dimensiones Principales'; ''};
```



```
% Create RangodevelocidadesLabel
app.RangodevelocidadesLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.RangodevelocidadesLabel.Position = [25 493 124 22];
app.RangodevelocidadesLabel.Text = 'Rango de velocidades';

% Create CoeficientesAdimensionalesLabel
app.CoficientesAdimensionalesLabel =
uilabel(app.UIFigure);
app.CoficientesAdimensionalesLabel.Position = [183 493
160 22];
app.CoficientesAdimensionalesLabel.Text = 'Coeficientes
Adimensionales';

% Create ParmetrosdelaguaLabel
app.ParmetrosdelaguaLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.ParmetrosdelaguaLabel.Position = [25 351 117 22];
app.ParmetrosdelaguaLabel.Text = 'Parámetros del agua';

% Create Densidadkgm3DropDownLabel
app.Densidadkgm3DropDownLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.Densidadkgm3DropDownLabel.HorizontalAlignment =
'right';
app.Densidadkgm3DropDownLabel.Position = [7 310 103 22];
app.Densidadkgm3DropDownLabel.Text = 'Densidad(kg/m^3)';

% Create Densidadkgm3DropDown
app.Densidadkgm3DropDown = uidropdown(app.UIFigure);
app.Densidadkgm3DropDown.Items = {'Salada', 'Dulce'};
app.Densidadkgm3DropDown.ValueChangedFcn =
createCallbackFcn(app, @Densidadkgm3DropDownValueChanged, true);
app.Densidadkgm3DropDown.Position = [117 310 100 22];
app.Densidadkgm3DropDown.Value = 'Salada';
```



```
% Create RestodeparmetrosLabel
app.RestodeparmetrosLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.RestodeparmetrosLabel.Position = [18 247 118 22];
app.RestodeparmetrosLabel.Text = 'Resto de parámetros';

% Create LOAmEditField_2Label
app.LOAmEditField_2Label = uilabel(app.UIFigure);
app.LOAmEditField_2Label.HorizontalAlignment = 'right';
app.LOAmEditField_2Label.Position = [22 646 47 22];
app.LOAmEditField_2Label.Text = 'LOA(m)';

% Create LOAmEditField_2
app.LOAmEditField_2 = uieditfield(app.UIFigure,
'numeric');
app.LOAmEditField_2.Position = [79 646 57 22];

% Create LppmEditField_2Label
app.LppmEditField_2Label = uilabel(app.UIFigure);
app.LppmEditField_2Label.HorizontalAlignment = 'right';
app.LppmEditField_2Label.Position = [25 613 44 22];
app.LppmEditField_2Label.Text = 'Lpp(m)';

% Create LppmEditField_2
app.LppmEditField_2 = uieditfield(app.UIFigure,
'numeric');
app.LppmEditField_2.Position = [84 613 52 22];

% Create BmEditField_2Label
app.BmEditField_2Label = uilabel(app.UIFigure);
app.BmEditField_2Label.HorizontalAlignment = 'right';
app.BmEditField_2Label.Position = [27 578 42 22];
app.BmEditField_2Label.Text = 'B(m)';
```



```
% Create BmEditField_2
app.BmEditField_2 = uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');
app.BmEditField_2.Position = [80 578 56 22];

% Create TmEditField_2Label
app.TmEditField_2Label = uilabel(app.UIFigure);
app.TmEditField_2Label.HorizontalAlignment = 'right';
app.TmEditField_2Label.Position = [38 536 31 22];
app.TmEditField_2Label.Text = 'T(m)';

% Create TmEditField_2
app.TmEditField_2 = uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');
app.TmEditField_2.Position = [84 536 52 22];

% Create DmEditField_2Label
app.DmEditField_2Label = uilabel(app.UIFigure);
app.DmEditField_2Label.HorizontalAlignment = 'right';
app.DmEditField_2Label.Position = [195 646 32 22];
app.DmEditField_2Label.Text = 'D(m)';

% Create DmEditField_2
app.DmEditField_2 = uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');
app.DmEditField_2.Position = [311 646 42 22];

% Create ncontenedoresEditFieldLabel
app.ncontenedoresEditFieldLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.ncontenedoresEditFieldLabel.HorizontalAlignment =
'right';
app.ncontenedoresEditFieldLabel.Position = [193 613 93
22];
app.ncontenedoresEditFieldLabel.Text = 'nº contenedores';
```



```
% Create ncontenedoresEditField
app.ncontenedoresEditField = uieditfield(app.UIFigure,
'numeric');
app.ncontenedoresEditField.Position = [299 613 54 22];

% Create LfmEditField_2Label
app.LfmEditField_2Label = uilabel(app.UIFigure);
app.LfmEditField_2Label.HorizontalAlignment = 'right';
app.LfmEditField_2Label.Position = [195 578 33 22];
app.LfmEditField_2Label.Text = 'Lf(m)';

% Create LfmEditField_2
app.LfmEditField_2 = uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');
app.LfmEditField_2.Position = [308 578 45 22];

% Create LCBmEditField_2Label
app.LCBmEditField_2Label = uilabel(app.UIFigure);
app.LCBmEditField_2Label.HorizontalAlignment = 'right';
app.LCBmEditField_2Label.Position = [195 536 47 22];
app.LCBmEditField_2Label.Text = 'LCB(m)';

% Create LCBmEditField_2
app.LCBmEditField_2 = uieditfield(app.UIFigure,
'numeric');
app.LCBmEditField_2.Position = [299 536 54 22];

% Create VminKnEditFieldLabel
app.VminKnEditFieldLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.VminKnEditFieldLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.VminKnEditFieldLabel.Position = [27 464 56 22];
app.VminKnEditFieldLabel.Text = 'Vmin(Kn)';
```



```
% Create VminKnEditField
app.VminKnEditField = uieditfield(app.UIFigure,
'numeric');
app.VminKnEditField.Position = [98 464 34 22];

% Create VservKnEditFieldLabel
app.VservKnEditFieldLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.VservKnEditFieldLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.VservKnEditFieldLabel.Position = [25 430 59 22];
app.VservKnEditFieldLabel.Text = 'Vserv(Kn)';

% Create VservKnEditField
app.VservKnEditField = uieditfield(app.UIFigure,
'numeric');
app.VservKnEditField.Position = [99 430 33 22];

% Create VmaxKnEditFieldLabel
app.VmaxKnEditFieldLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.VmaxKnEditFieldLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.VmaxKnEditFieldLabel.Position = [20 398 59 22];
app.VmaxKnEditFieldLabel.Text = 'Vmax(Kn)';

% Create VmaxKnEditField
app.VmaxKnEditField = uieditfield(app.UIFigure,
'numeric');
app.VmaxKnEditField.Position = [98 398 34 22];

% Create CBEditField_2Label
app.CBEditField_2Label = uilabel(app.UIFigure);
app.CBEditField_2Label.HorizontalAlignment = 'right';
app.CBEditField_2Label.Position = [183 464 25 22];
app.CBEditField_2Label.Text = 'CB';
```



```
% Create CEditField_2
app.CEditField_2 = uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');
app.CEditField_2.Position = [223 464 34 22];

% Create CPEditField_2Label
app.CPEditField_2Label = uilabel(app.UIFigure);
app.CPEditField_2Label.HorizontalAlignment = 'right';
app.CPEditField_2Label.Position = [183 430 25 22];
app.CPEditField_2Label.Text = 'CP';

% Create CPEditField_2
app.CPEditField_2 = uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');
app.CPEditField_2.Position = [223 430 34 22];

% Create CFEditField_2Label
app.CFEditField_2Label = uilabel(app.UIFigure);
app.CFEditField_2Label.HorizontalAlignment = 'right';
app.CFEditField_2Label.Position = [181 398 25 22];
app.CFEditField_2Label.Text = 'CF';

% Create CFEditField_2
app.CFEditField_2 = uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');
app.CFEditField_2.Position = [221 398 36 22];

% Create Viscosidadm2sEditField_2Label
app.Viscosidadm2sEditField_2Label = uilabel(app.UIFigure);
app.Viscosidadm2sEditField_2Label.HorizontalAlignment =
'right';
app.Viscosidadm2sEditField_2Label.Position = [13 279 103
22];
app.Viscosidadm2sEditField_2Label.Text =
'Viscosidad(m^2/s)';
```



```
% Create Viscosidadm2sEditField_2
app.Viscosidadm2sEditField_2 = uieditfield(app.UIFigure,
'numeric');
app.Viscosidadm2sEditField_2.ValueChangedFcn =
createCallbackFcn(app, @Viscosidadm2sEditField_2ValueChanged, true);
app.Viscosidadm2sEditField_2.Position = [131 279 86 22];
app.Viscosidadm2sEditField_2.Value = 1.883e-06;

% Create tLabel
app.tLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.tLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.tLabel.Position = [25 216 25 22];
app.tLabel.Text = ' $\Delta(t)$ ';

% Create tEditField_2
app.tEditField_2 = uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');
app.tEditField_2.Position = [77 216 95 22];

% Create Vcarenam3EditFieldLabel
app.Vcarenam3EditFieldLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.Vcarenam3EditFieldLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.Vcarenam3EditFieldLabel.Position = [195 216 80 22];
app.Vcarenam3EditFieldLabel.Text = 'Vcarena(m^3)';

% Create Vcarenam3EditField
app.Vcarenam3EditField = uieditfield(app.UIFigure,
'numeric');
app.Vcarenam3EditField.Position = [293 216 75 22];

% Create Amm2EditFieldLabel
app.Amm2EditFieldLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.Amm2EditFieldLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.Amm2EditFieldLabel.Position = [19 181 54 22];
```



```
app.Amm2EditFieldLabel.Text = 'Am(m^2)';

% Create Amm2EditField
app.Amm2EditField = uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');
app.Amm2EditField.Position = [98 181 74 22];

% Create Smm2EditFieldLabel
app.Smm2EditFieldLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.Smm2EditFieldLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.Smm2EditFieldLabel.Position = [221 181 54 22];
app.Smm2EditFieldLabel.Text = 'Sm(m^2)';

% Create Smm2EditField
app.Smm2EditField = uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');
app.Smm2EditField.Position = [296 181 72 22];

% Create Smapm2EditFieldLabel
app.Smapm2EditFieldLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.Smapm2EditFieldLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.Smapm2EditFieldLabel.Position = [20 147 67 22];
app.Smapm2EditFieldLabel.Text = 'Smap(m^2)';

% Create Smapm2EditField
app.Smapm2EditField = uieditfield(app.UIFigure,
'numeric');
app.Smapm2EditField.Position = [105 147 66 22];

% Create Aem2EditFieldLabel
app.Aem2EditFieldLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.Aem2EditFieldLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.Aem2EditFieldLabel.Position = [225 147 50 22];
app.Aem2EditFieldLabel.Text = 'Ae(m^2)';
```



```
% Create Aem2EditField
app.Aem2EditField = uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');
app.Aem2EditField.Position = [292 147 76 22];

% Create Atbm2EditFieldLabel
app.Atbm2EditFieldLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.Atbm2EditFieldLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.Atbm2EditFieldLabel.Position = [13 106 54 22];
app.Atbm2EditFieldLabel.Text = 'Atb(m^2)';

% Create Atbm2EditField
app.Atbm2EditField = uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');
app.Atbm2EditField.Position = [94 106 80 22];

% Create HbmEditFieldLabel
app.HbmEditFieldLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.HbmEditFieldLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.HbmEditFieldLabel.Position = [236 106 39 22];
app.HbmEditFieldLabel.Text = 'Hb(m)';

% Create HbmEditField
app.HbmEditField = uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');
app.HbmEditField.Position = [309 106 59 22];

% Create IeEditFieldLabel
app.IeEditFieldLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.IeEditFieldLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.IeEditFieldLabel.Position = [19 72 28 22];
app.IeEditFieldLabel.Text = 'Ie(°)';
```



```
% Create IeEditField
app.IeEditField = uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');
app.IeEditField.Position = [109 72 65 22];

% Create KsmEditFieldLabel
app.KsmEditFieldLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.KsmEditFieldLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.KsmEditFieldLabel.Position = [231 72 44 22];
app.KsmEditFieldLabel.Text = 'Ks( $\mu$ m)';

% Create KsmEditField
app.KsmEditField = uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');
app.KsmEditField.Position = [290 72 78 22];

% Create formasdepopaButtonGroup
app.formasdepopaButtonGroup = uibuttongroup(app.UIFigure);
app.formasdepopaButtonGroup.SelectionChangedFcn =
createCallbackFcn(app, @formasdepopaButtonGroupSelectionChanged,
true);

app.formasdepopaButtonGroup.Title = 'formas de popa';
app.formasdepopaButtonGroup.Position = [415 614 123 127];

% Create NormalesButton
app.NormalesButton =
uiradiobutton(app.formasdepopaButtonGroup);
app.NormalesButton.Text = 'Normales';
app.NormalesButton.Position = [11 75 73 28];
app.NormalesButton.Value = true;

% Create EnUButton
app.EnUButton =
uiradiobutton(app.formasdepopaButtonGroup);
app.EnUButton.Text = 'En U';
```



```
app.EnUButton.Position = [11 59 65 22];

% Create EnVButton
app.EnVButton =
uiradiobutton(app.formasdepopaButtonGroup);
app.EnVButton.Text = 'En V';
app.EnVButton.Position = [11 37 65 22];

% Create TipoGndolaButton
app.TipoGndolaButton =
uiradiobutton(app.formasdepopaButtonGroup);
app.TipoGndolaButton.Text = 'Tipo Góndola';
app.TipoGndolaButton.Position = [11 8 94 22];

% Create CmEditFieldLabel
app.CmEditFieldLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.CmEditFieldLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.CmEditFieldLabel.Position = [283 464 25 22];
app.CmEditFieldLabel.Text = 'Cm';

% Create CmEditField
app.CmEditField = uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');
app.CmEditField.Position = [323 464 33 22];

% Create SeleccioneApndicesparavalor1K2eqLabel
app.SeleccioneApndicesparavalor1K2eqLabel =
uilabel(app.UIFigure);
app.SeleccioneApndicesparavalor1K2eqLabel.Position = [421
557 235 22];
app.SeleccioneApndicesparavalor1K2eqLabel.Text =
'Seleccione Apéndices para valor (1+K2)eq';
```



```
% Create Apndicesvalor1K2Panel
app.Apndicesvalor1K2Panel = uipanel(app.UIFigure);
app.Apndicesvalor1K2Panel.Title = 'Apéndices
valor (1+K2)';
app.Apndicesvalor1K2Panel.SizeChangedFcn =
createCallbackFcn(app, @Apndicesvalor1K2PanelSizeChanged, true);
app.Apndicesvalor1K2Panel.Position = [426 119 284 433];

% Create TimnBuque1HliceCheckBox
app.TimnBuque1HliceCheckBox =
uicheckbox(app.Apndicesvalor1K2Panel);
app.TimnBuque1HliceCheckBox.ValueChangedFcn =
createCallbackFcn(app, @TimnBuque1HliceCheckBoxValueChanged, true);
app.TimnBuque1HliceCheckBox.Text = 'Timón Buque 1 Hélice';
app.TimnBuque1HliceCheckBox.Position = [7 372 140 22];

% Create TimnBuque2HlicesCheckBox
app.TimnBuque2HlicesCheckBox =
uicheckbox(app.Apndicesvalor1K2Panel);
app.TimnBuque2HlicesCheckBox.ValueChangedFcn =
createCallbackFcn(app, @TimnBuque2HlicesCheckBoxValueChanged, true);
app.TimnBuque2HlicesCheckBox.Text = 'Timón Buque 2
Hélices';
app.TimnBuque2HlicesCheckBox.Position = [7 339 146 22];

% Create EditField
app.EditField = uieditfield(app.Apndicesvalor1K2Panel,
'numeric');
app.EditField.ValueChangedFcn = createCallbackFcn(app,
@EditFieldValueChanged, true);
app.EditField.Enable = 'off';
app.EditField.Position = [204 374 44 22];
```



```
% Create TimnyquilloteCheckBox
app.TimnyquilloteCheckBox =
uicheckbox(app.Apndicesvalor1K2Panel);
app.TimnyquilloteCheckBox.ValueChangedFcn =
createCallbackFcn(app, @TimnyquilloteCheckBoxValueChanged, true);
app.TimnyquilloteCheckBox.Text = 'Timón y quillote';
app.TimnyquilloteCheckBox.Position = [7 311 106 22];

% Create QuillotesoloCheckBox
app.QuillotesoloCheckBox =
uicheckbox(app.Apndicesvalor1K2Panel);
app.QuillotesoloCheckBox.ValueChangedFcn =
createCallbackFcn(app, @QuillotesoloCheckBoxValueChanged, true);
app.QuillotesoloCheckBox.Text = 'Quillote solo';
app.QuillotesoloCheckBox.Position = [7 279 88 22];

% Create ArbotantesCheckBox
app.ArbotantesCheckBox =
uicheckbox(app.Apndicesvalor1K2Panel);
app.ArbotantesCheckBox.ValueChangedFcn =
createCallbackFcn(app, @ArbotantesCheckBoxValueChanged, true);
app.ArbotantesCheckBox.Text = 'Arbotantes';
app.ArbotantesCheckBox.Position = [7 245 80 22];

% Create HENCHIMIENTOSPROTECTORESCheckBox
app.HenchimientosprotectoresCheckBox =
uicheckbox(app.Apndicesvalor1K2Panel);
app.HenchimientosprotectoresCheckBox.ValueChangedFcn =
createCallbackFcn(app, @HenchimientosprotectoresCheckBoxValueChanged,
true);
app.HenchimientosprotectoresCheckBox.Text = 'Henchimientos
protectores';
app.HenchimientosprotectoresCheckBox.Position = [7 211 165
22];
```



```
% Create HenchimientosintegradosCheckBox
app.HenchimientosintegradosCheckBox =
uicheckbox(app.Apndicesvalor1K2Panel);
app.HenchimientosintegradosCheckBox.ValueChangedFcn =
createCallbackFcn(app, @HenchimientosintegradosCheckBoxValueChanged,
true);
app.HenchimientosintegradosCheckBox.Text = 'Henchimientos
integrados';
app.HenchimientosintegradosCheckBox.Position = [7 170 161
22];

% Create EjesCheckBox
app.EjesCheckBox = uicheckbox(app.Apndicesvalor1K2Panel);
app.EjesCheckBox.ValueChangedFcn = createCallbackFcn(app,
@EjesCheckBoxValueChanged, true);
app.EjesCheckBox.Text = 'Ejes';
app.EjesCheckBox.Position = [7 128 45 22];

% Create AletasestabilizadorasCheckBox
app.AletasestabilizadorasCheckBox =
uicheckbox(app.Apndicesvalor1K2Panel);
app.AletasestabilizadorasCheckBox.ValueChangedFcn =
createCallbackFcn(app, @AletasestabilizadorasCheckBoxValueChanged,
true);
app.AletasestabilizadorasCheckBox.Text = 'Aletas
estabilizadoras';
app.AletasestabilizadorasCheckBox.Position = [7 97 139
22];

% Create DomoCheckBox
app.DomoCheckBox = uicheckbox(app.Apndicesvalor1K2Panel);
```



```
app.DomoCheckBox.ValueChangedFcn = createCallbackFcn(app,  
@DomoCheckBoxValueChanged, true);  
app.DomoCheckBox.Text = 'Domo';  
app.DomoCheckBox.Position = [5 62 54 22];  
  
% Create QuillasdebalanceCheckBox  
app.QuillasdebalanceCheckBox =  
uicheckbox(app.Apndicesvalor1K2Panel);  
app.QuillasdebalanceCheckBox.ValueChangedFcn =  
createCallbackFcn(app, @QuillasdebalanceCheckBoxValueChanged, true);  
app.QuillasdebalanceCheckBox.Text = 'Quillas de balance';  
app.QuillasdebalanceCheckBox.Position = [5 29 121 22];  
  
% Create EditField_2  
app.EditField_2 = uieditfield(app.Apndicesvalor1K2Panel,  
'numeric');  
app.EditField_2.Editable = 'off';  
app.EditField_2.Enable = 'off';  
app.EditField_2.Position = [204 339 44 22];  
app.EditField_2.Value = 2.8;  
  
% Create EditField_3  
app.EditField_3 = uieditfield(app.Apndicesvalor1K2Panel,  
'numeric');  
app.EditField_3.Enable = 'off';  
app.EditField_3.Position = [204 311 44 22];  
  
% Create EditField_4  
app.EditField_4 = uieditfield(app.Apndicesvalor1K2Panel,  
'numeric');  
app.EditField_4.Enable = 'off';  
app.EditField_4.Position = [204 279 44 22];
```



```
% Create EditField_5
app.EditField_5 = uieditfield(app.Apndicesvalor1K2Panel,
'numeric');
app.EditField_5.Editable = 'off';
app.EditField_5.Enable = 'off';
app.EditField_5.Position = [204 245 44 22];
app.EditField_5.Value = 3;

% Create EditField_6
app.EditField_6 = uieditfield(app.Apndicesvalor1K2Panel,
'numeric');
app.EditField_6.Editable = 'off';
app.EditField_6.Enable = 'off';
app.EditField_6.Position = [204 211 44 22];
app.EditField_6.Value = 3;

% Create EditField_7
app.EditField_7 = uieditfield(app.Apndicesvalor1K2Panel,
'numeric');
app.EditField_7.Editable = 'off';
app.EditField_7.Enable = 'off';
app.EditField_7.Position = [204 170 44 22];
app.EditField_7.Value = 2;

% Create EditField_8
app.EditField_8 = uieditfield(app.Apndicesvalor1K2Panel,
'numeric');
app.EditField_8.Enable = 'off';
app.EditField_8.Position = [204 128 44 22];

% Create EditField_9
app.EditField_9 = uieditfield(app.Apndicesvalor1K2Panel,
'numeric');
```



```
app.EditField_9.Editable = 'off';
app.EditField_9.Enable = 'off';
app.EditField_9.Position = [204 97 44 22];
app.EditField_9.Value = 2.7;

% Create EditField_10
app.EditField_10 = uieditfield(app.Apndicesvalor1k2Panel,
'numeric');
app.EditField_10.Editable = 'off';
app.EditField_10.Enable = 'off';
app.EditField_10.Position = [204 62 44 22];
app.EditField_10.Value = 2.7;

% Create EditField_11
app.EditField_11 = uieditfield(app.Apndicesvalor1k2Panel,
'numeric');
app.EditField_11.Editable = 'off';
app.EditField_11.Enable = 'off';
app.EditField_11.Position = [204 29 44 22];
app.EditField_11.Value = 1.4;

% Create Comprobar1k2Button
app.Comprobar1k2Button = uibutton(app.UIFigure, 'push');
app.Comprobar1k2Button.ButtonPushedFcn =
createCallbackFcn(app, @Comprobar1k2ButtonPushed, true);
app.Comprobar1k2Button.Position = [414 72 113 22];
app.Comprobar1k2Button.Text = 'Comprobar (1+k2)';

% Create CalcularResistenciaButton
app.CalcularResistenciaButton = uibutton(app.UIFigure,
'push');
app.CalcularResistenciaButton.ButtonPushedFcn =
createCallbackFcn(app, @CalcularResistenciaButtonPushed, true);
```



```
app.CalcularResistenciaButton.Position = [539 72 125 22];
app.CalcularResistenciaButton.Text = 'Calcular
Resistencia';

% Create ValorResistenciaEditFieldLabel
app.ValorResistenciaEditFieldLabel =
uilabel(app.UIFigure);
app.ValorResistenciaEditFieldLabel.HorizontalAlignment =
'right';
app.ValorResistenciaEditFieldLabel.Position = [805 195 98
22];
app.ValorResistenciaEditFieldLabel.Text = 'Valor
Resistencia';

% Create ValorResistenciaEditField
app.ValorResistenciaEditField = uieditfield(app.UIFigure,
'numeric');
app.ValorResistenciaEditField.ValueDisplayFormat =
'%5.2f';
app.ValorResistenciaEditField.ValueChangedFcn =
createCallbackFcn(app, @ValorResistenciaEditFieldValueChanged, true);
app.ValorResistenciaEditField.Position = [918 195 100 22];

% Create UIAxes
app.UIAxes = uiaxes(app.UIFigure);
title(app.UIAxes, 'Resistencia-Velocidad(m/s)')
xlabel(app.UIAxes, 'V(m/s)')
ylabel(app.UIAxes, 'Rt(kg)')
app.UIAxes.Position = [718 510 300 185];

% Create EHPCvEditFieldLabel
app.EHPCvEditFieldLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.EHPCvEditFieldLabel.HorizontalAlignment = 'right';
```



```
app.EHPCvEditFieldLabel.Position = [812 153 56 22];
app.EHPCvEditFieldLabel.Text = 'EHP (Cv)';

% Create EHPCvEditField
app.EHPCvEditField = ueditfield(app.UIFigure, 'numeric');
app.EHPCvEditField.ValueDisplayFormat = '%5.2f';
app.EHPCvEditField.Position = [883 153 100 22];

% Show the figure after all components are created
app.UIFigure.Visible = 'on';
end
end

% App creation and deletion
methods (Access = public)

% Construct app
function app = app1

% Create UIFigure and components
createComponents(app)

% Register the app with App Designer
registerApp(app, app.UIFigure)

if nargin == 0
    clear app
end
end

% Code that executes before app deletion
```



```
function delete(app)

    % Delete UIFigure when app is deleted
    delete(app.UIFigure)

end

end

end
```



25. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Pr.Dr. José Enrique Gutiérrez Romero. Asignatura de “Proyectos”
- [2] Pr.Dr. Jerónimo Antonio Esteve Pérez. Asignatura de “Tráfico Marítimo”
- [3] Pr.Dr. Jerónimo Antonio Esteve Pérez. Asignatura de “Comercio y Transporte Marítimo”
- [4] Pr.Dr. Domingo García López. Asignatura de “Resistencia y Propulsión del buque”
- [5] Pr.Dra. María Antonia Gómez García, Asignatura de “Sistemas Propulsivos”
- [6] PFC de Nadia Conde Alonso. “BUQUE PORTACONTENEDORES POST-PANAMAX 9000 TEUS. Elección de la cifra de mérito y definición de alternativas”.
- [7] PFC de Sara Álvarez González. “Buque Portacontenedores de 8250 TEUS y 10500 TPM”.
- [8] PFC de Jesús María Rodríguez Sanz. “PORTACONTENEDORES DE 650 TEUS”
- [9] PFC de Mauricio José Álvarez Sánchez. “BUQUE PORTACONTENEDORES FEEDER DE 2000 TEUS”
- [10] PFC de Jaime Palazón Martínez-Portillo. “PROYECTO DE ALARGAMIENTO DE UN BUQUE RO-LO”.
- [11] PFC de Sonia Martínez Muñoz. “Diseño de la línea de ejes de un buque Oceanográfico”.
- [12] El Proyecto Básico del Buque Mercante. Ricardo Alvariño, Juan José Azpiroz, Manuel Meizoso. I.S.B.N: 8492175097
- [13] Sociedad de Clasificación: Lloyd’s Register. Rules on Regulations for the classifications of Ships.
- [14] SOLAS versión reducida 2009. I.S.B.N: 80154197
- [15] NORMA ISO 6346. I.S.B.N: 298020030
- [16] KT, KQ and Efficiency curves for the Wageningen B-Series Propellers. M.M Bernitsas. D. Ray. P. Kinley. Department of Naval Architecture and Marine Engineering College of Engineering The University of Michigan.
- [17] Información técnica de buques portacontenedores. I.S.B.N: 386395000
- [18] <https://docplayer.net/48370380-The-wageningen-b-screw-series.html>
- [19] https://es.wikipedia.org/wiki/George_Gabriel_Stokes
- [20] https://es.wikipedia.org/wiki/Claude-Louis_Henri_Navier
- [21] <https://www.marinetraffic.com/en/ais/home/centerx:46.2/centery:19.6/zoom:2>
- [22] <https://www.fleetmon.com/>



- [23] <https://www.revistaquercus.es/noticia/7534/articulos/los-moluscos-que-nos-llegan-a-traves-del-canal-de-suez.html>
- [24] <https://noticiaslogisticaytransporte.com/logistica/30/03/2020/el-canal-de-panama-se-protege-del-coronavirus-para-garantizar-su-funcionamiento/149282.html>
- [25] <https://www.lr.org/es-es/>
- [26] <https://www.anave.es/ultimas-noticias/636-la-comision-aprueba-la-fusion-de-det-norske-veritas-y-germanischer-lloyd>
- [27] <https://www.tipo-de-cambio.com/divisas/estrecho-de-ormuz-el-canal-maritimo-mas-importante-del-mundo-para-el-petroleo/>
- [28] <https://www.maritimoportuario.cl/mp/los-buques-portacontenedores-de-ayer-y-hoy/>
- [29] <https://www.unav.edu/web/global-affairs/detalle/-/blogs/china-e-india-la-lucha-por-las-puertas-del-estrecho-de-malaca>
- [30] <https://www.wsj.com/articles/BL-173B-7617>
- [31] <https://www.masterlogistica.es/tipos-de-buques-portacontenedores/post-panamax/>
- [32] https://global.kawasaki.com/en/corp/newsroom/news/detail/?f=20210401_3017
- [33] https://man-es.com/applications/projectguides/2stroke/content/epub/K98ME-C7_1.pdf
- [34] https://es.wikipedia.org/wiki/Buque_portacontenedores
- [35] <https://gruasytransportes.wordpress.com/2017/04/08/barcos-portacontenedores-tipo-panamax-tipo-neopanamax-y-otros/>
- [36] <https://www.ngvglobal.com/blog/three-new-Ing-marine-engines-from-wingd-0606>
- [37] <https://vicsudt.com/en/ship-propulsion-engineering/aerodynamic-cfd/>
- [38] <https://vicsudt.com/ingenieria-de-propulsion/hidrodinamica-cfd/>
- [39] https://www.imus.us.es/DOC-COURSE18/assets/media/docs/Unit1/Course1_Session1.pdf