



GRADO EN ARQUITECTURA NAVAL E INGENIERÍA DE SISTEMAS MARINOS

2019



ALARGAMIENTO DE UN BUQUE ROLL ON – ROLL OFF

Director: Jerónimo Esteve Pérez

Autor: Rubén De La Cerda Sánchez

Abril de 2019

ALARGAMIENTO DE UN BUQUE TIPO RO-RO.

AGRADECIMIENTOS

A los profesores que tanto me han aportado durante estos años, a Jerónimo Esteve Pérez en especial por tutelar mi TFG y por la disposición y ayuda aportada, sin la cual no habría sido posible realizar este proyecto.

A mis compañeros de clase (y de vida) por toda la ayuda y apoyo recibido, y por hacer más amena esta etapa de mi vida. En especial a Manuel, Unai, Pablo, Andrés, Luis y Samuel.

Por último, pero no menos importante, a mi familia y a mi novia, por el apoyo y sacrificio realizado para que pueda estar hoy terminando este ciclo de estudios.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS.....	2
INTRODUCCIÓN.....	12
CAPÍTULO 1: ESTADO DEL BUQUE ANTES DEL ALARGAMIENTO.....	19
1. Modelado 3D de la carena del buque.	20
1.1. Generación de formas con Rhinoceros.	20
1.2. Ajuste de la superficie mediante Maxsurf Modeller.....	21
2. Planos de formas.....	22
3. Cálculo de la resistencia al avance.	24
4. Selección de una hélice perteneciente a la Serie B de Wageningen.....	33
CAPÍTULO 2: ALARGAMIENTO DEL BUQUE.	42
1. Estimación del aumento de Desplazamiento con la variación de la eslora:	43
2. Cálculo de la Resistencia al avance:.....	48
3. Determinación del alargamiento.....	55
CAPÍTULO 3: ESTADO DEL BUQUE TRAS EL ALARGAMIENTO.....	58
1. Adaptación del Modelo 3D a las nuevas dimensiones.	59
2. Nuevo plano de formas.....	60
3. Disposición general del buque Ro-Ro alargado.	62
4. Nueva capacidad de carga.	64
5. Cálculo del nuevo Peso en Rosca.	66
CAPÍTULO 4: CÁLCULO DEL ARQUEO, FRANCOBORDO Y NUEVA AUTONOMÍA	70
1. Cálculo del Francobordo.	71
1.1. Francobordo tabular.	72
1.2. Corrección por eslora inferior a 100 metros.	72
1.3. Corrección por coeficiente de bloque.	72
1.4. Corrección por puntal.	72
1.5. Corrección por superestructuras.	73
1.6. Corrección por arrufo.....	73
1.7. Cálculo del francobordo mínimo y calado máximo de verano.	74
1.8. Comprobación de la altura mínima de la proa.	74
2. Cálculo del Arqueo.....	76

2.1.	Cálculo del Arqueo Bruto.	76
2.2.	Cálculo del Arqueo Neto.	76
3.	Cálculo de la nueva autonomía.	78
	CAPÍTULO 5: CÁLCULO DE LOS SISTEMAS AFECTADOS POR EL ALARGAMIENTO	80
1.	Sistema de achique.	81
1.1.	Dimensionamiento del sistema.	81
1.2.	Modificaciones derivadas del alargamiento.	84
2.	Sistema de lastre.	85
3.	Sistema contra incendios.	87
3.1.	Modificaciones derivadas del alargamiento.	90
4.	Sistemas de casco: Fondeo, amarre y remolque.	92
4.1.	Dimensionamiento de los sistemas de casco.	92
4.2.	Modificaciones derivadas del alargamiento.	98
5.	Sistema de salvamento.	103
5.1.	Sistema de salvamento antes del alargamiento.	103
5.2.	Modificaciones derivadas del alargamiento.	105
	CAPÍTULO 6: COMPROBACIÓN DE LOS CRITERIOS DE ESTABILIDAD	107
1.	Condiciones de carga.	108
3.1.	Peso en Rosca.	108
1.1.	Tanques.	109
1.2.	Cargamento.	110
2.	Criterios de estabilidad.	112
3.	Estabilidad para la condición de carga 1.	113
3.1.	Equilibrium.	114
3.2.	Estabilidad a grandes ángulos.	115
3.3.	Comprobación de los criterios de estabilidad.	116
4.	Estabilidad para la condición de carga 2.	117
4.1.	Equilibrium.	118
4.2.	Estabilidad a grandes ángulos.	118
4.3.	Comprobación de los criterios de estabilidad.	120
5.	Estabilidad para la condición de carga 3.	121
5.1.	Equilibrium.	122
5.2.	Estabilidad a grandes ángulos.	122

5.3. Comprobación de los criterios de estabilidad.....	124
6. Estabilidad para la condición de carga 4.	125
6.1. Equilibrium.	126
6.2. Estabilidad a grandes ángulos.....	126
6.3. Comprobación de los criterios de estabilidad.....	128
CONCLUSIONES.....	129
BIBLIOGRAFÍA.....	130

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 0.1 Principales características del buque base de este TFG.	15
Tabla 0.2. Características de la carga rodada Roll Trailers 20'	16
Tabla 0.3. Características de la carga rodada Roll Trailers 40'	16
Tabla 0.4. Características de la carga rodada camión rígido.	16
Tabla 0.5. Características de la carga TEU.	17
Tabla 0.6. Características de la carga FEU.....	17
Tabla 0.7. Capacidad de carga de las distintas zonas del buque.	17
Tabla 1. 1. Rango de aplicación método de Holtrop and Mennen.	24
Tabla 1. 2. Valor del número de Froud en función de la velocidad	24
Tabla 1. 3. Valor del coeficiente C_{Stern} en función del tipo de popa	26
Tabla 1. 4. Valores del factor de formas por tipo de apéndice.	27
Tabla 1. 5. Datos iniciales para el cálculo de la resistencia al avance.....	30
Tabla 1. 6. Resultados cálculos resistencia viscosa.....	30
Tabla 1. 7. Resultados cálculo resistencia de los apéndices.....	30
Tabla 1. 8. Resultados cálculo resistencia por formación de olas.....	31
Tabla 1. 9. Resultados cálculo resistencia de presión del bulbo.....	31
Tabla 1. 10. Resultados cálculo resistencia inmersión del espejo.....	31
Tabla 1. 11. Resultados cálculo resistencia correlación modelo-buque.....	31
Tabla 1. 12. Valor de los huelgos mínimos de la hélice recomendados.....	34
Tabla 1. 13. Resultados cálculo coeficiente de succión	35
Tabla 1. 14. Resultados cálculo coeficiente de succión.	36
Tabla 1. 15. Relación AE /AO mínima y margen obtenidos.	37
Tabla 1. 16. Relación AE /AO mínima, rendimiento rotativo-relativo y margen finales.	37
Tabla 1. 17. Características de la hélice seleccionada.....	39
Tabla 1. 18. Resultados de las expresiones (1.40), (1.41) y (1.42) en función de la velocidad.....	40
Tabla 1. 19. Resultados de las expresiones (1.43), (1.44), (1.45) y (1.46) en función de la velocidad.....	41
Tabla 2. 1. Propiedades de los elementos	44
Tabla 2. 2.....	46
Tabla 2.3. Desplazamiento estimado del buque en función de la distancia alargada.....	48
Tabla 2.4. Características necesarias para calcular la resistencia al avance en función del valor del alargamiento, desde 0 hasta 12,8 metros.....	49

Tabla 2.5. Características necesarias para calcular la resistencia al avance en función del valor del alargamiento, desde 16,0 hasta 28,8 metros.	49
Tabla 2.6. Características necesarias para calcular la resistencia al avance en función del valor del alargamiento, desde 32,0 hasta 38,4 metros.	50
Tabla 2.7. Valores de la resistencia al avance y potencia efectiva en función de la velocidad, para un alargamiento de 3,2 metros.	50
Tabla 2.8. Valores de la resistencia al avance y potencia efectiva en función de la velocidad, para un alargamiento de 6,4 metros.	51
Tabla 2.9. Valores de la resistencia al avance y potencia efectiva en función de la velocidad, para un alargamiento de 9,6 metros.	51
Tabla 2.10. Valores de la resistencia al avance y potencia efectiva en función de la velocidad, para un alargamiento de 12,8 metros.	51
Tabla 2.11. Valores de la resistencia al avance y potencia efectiva en función de la velocidad, para un alargamiento de 16,0 metros.	52
Tabla 2.12. Valores de la resistencia al avance y potencia efectiva en función de la velocidad, para un alargamiento de 19,2 metros.	52
Tabla 2.13. Valores de la resistencia al avance y potencia efectiva en función de la velocidad, para un alargamiento de 22,4 metros.	52
Tabla 2.14. Valores de la resistencia al avance y potencia efectiva en función de la velocidad, para un alargamiento de 25,6 metros.	53
Tabla 2.15. Valores de la resistencia al avance y potencia efectiva en función de la velocidad, para un alargamiento de 28,8 metros.	53
Tabla 2.16. Valores de la resistencia al avance y potencia efectiva en función de la velocidad, para un alargamiento de 32,0 metros.	53
Tabla 2.17. Valores de la resistencia al avance y potencia efectiva en función de la velocidad, para un alargamiento de 35,2 metros.	54
Tabla 2.18. Valores de la resistencia al avance y potencia efectiva en función de la velocidad, para un alargamiento de 38,4 metros.	54
Tabla 2.19. Cálculo de la potencia efectiva disponible.	55
Tabla 3.1. Comparación capacidad de carga antes y después del alargamiento.	65
Tabla 3.2. Cálculo del centro de gravedad de la cuaderna maestra.	67
Tabla 3.3. Cálculo de la posición vertical del centro de gravedad del PR del buque tras el alargamiento.	67
Tabla 4.1 Resumen de los datos necesarios para el cálculo del francobordo.	72
Tabla 4.2. Cálculo del francobordo tabular para buques tipo B.	72
Tabla 4.3. Cálculo de la longitud efectiva de superestructuras.	73
Tabla 4.4. Cálculo de la reducción de francobordo por superestructuras.	73
Tabla 4.5. Cálculo del arrufo admisible en popa.	73
Tabla 4.6. Cálculo del arrufo admisible en proa.	74
Tabla 4.7 Cálculo del francobordo mínimo y calado de venaol.	74
Tabla 4.8. Cálculo del volumen total de espacios cerrados del buque.	76
Tabla 4.9. Resultados obtenidos del cálculo del arqueo bruto.	76
Tabla 4.10. Capacidad de cada uno de los tanques de combustible.	79
Tabla 5.1. Cálculo de los ramales de aspiración de sentinas de cada compartimento. ..	83

Tabla 5.2. Cálculo de los ramales de sentinas de cada compartimento, tras el alargamiento.	84
Tabla 5.3. Ángulos de escora y tiempo transcurrido durante la carga.....	85
Tabla 5.4. Características del ancla, cadena y cordamen para el numeral de equipo obtenido.	93
Tabla 5.5. Características de cadenas comerciales de la marca <i>Vicinay</i> , en función del grado de calidad.....	94
Tabla 5.6. Cálculo del volumen de la caja de cadenas.	95
Tabla 5.7. Características de las cadenas.....	95
Tabla 5.8. Resultado del cálculo de la potencia del molinete.....	96
Tabla 5.9. Cálculo de la velocidad de zarpado del molinete.	97
Tabla 5.10 Características de las estachas seleccionadas.	97
Tabla 5.11. Características de las bitas seleccionadas.....	98
Tabla 5.12. Características para el nuevo numeral de equipo.	99
Tabla 1.13. Características de cadenas comerciales de la marca <i>Vicinay</i> , en función del grado de calidad.....	99
Tabla 5.14. Cálculo del nuevo volumen de la caja de cadenas.	100
Tabla 5.15. Cálculo del nuevo diámetro del escobén.....	100
Tabla 5.16. Características de las nuevas cadenas.....	100
Tabla 5.17 Cálculo de la nueva potencia del molinete.....	101
Tabla 5.18. Resultado del cálculo de la nueva velocidad de izado.	101
Tabla 5.19. Características de las estachas comerciales seleccionadas tras el alargamiento.	102
Tabla 5.20. Características de los aros salvavidas SOLAS 74, L.S.A. CODE, 96/98EC IMO MSC 81(70).	106
Tabla 6.1. Cálculo del Peso en Rosca definitivo.	109
Tabla 6.2. Principales características de la calibración de los tanques mediante Maxsurf Stability.....	110
Tabla 6.2. Características de la distribución de la carga a bordo, para la condición de plena carga.....	111
Tabla 6.3. Partida de pesos en la condición de carga 1.	113
Tabla 6.4. Equilibrium en la condición de carga 1.....	114
Tabla 6.5. Estabilidad a grandes ángulos, desde 0 hasta 40 grados, en la condición de carga 1.....	115
Tabla 6.6. Estabilidad a grandes ángulos, desde 50 hasta 90 grados, en la condición de carga 1.....	115
Tabla 6.7. Comprobación de los criterios de estabilidad de la OMI, en la condición de carga 1.....	116
Tabla 6.8. Partida de pesos en la condición de carga 2.	117
Tabla 6.9. Equilibrium en la condición de carga 2.....	118
Tabla 6.10. Estabilidad a grandes ángulos, desde 0 hasta 40 grados, en la condición de carga 2.....	119
Tabla 6.11. Estabilidad a grandes ángulos, desde 50 hasta 90 grados, en la condición de carga 2.....	119

Tabla 6.12. Comprobación de los criterios de estabilidad de la OMI, en la condición de carga 2.....	120
Tabla 6.13. Partida de pesos en la condición de carga 3.	121
Tabla 6.14. Equilibrium en la condición de carga 3.....	122
Tabla 6.15. Estabilidad a grandes ángulos, desde 0 hasta 40 grados, en la condición de carga 3.....	123
Tabla 6.16. Estabilidad a grandes ángulos, desde 50 hasta 90 grados, en la condición de carga 3.....	123
Tabla 6.17. Comprobación de los criterios de estabilidad de la OMI, en la condición de carga 3.....	124
Tabla 6.18. Partida de pesos en la condición de carga 4.	125
Tabla 6.19. Equilibrium en la condición de carga 4.....	126
Tabla 6.20. Estabilidad a grandes ángulos, desde 0 hasta 40 grados, en la condición de carga 4.....	127
Tabla 6.21. Estabilidad a grandes ángulos, desde 50 hasta 90 grados, en la condición de carga 4.....	127
Tabla 6.22. Comprobación de los criterios de estabilidad de la OMI, en la condición de carga 4.....	128

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. 1. Curva resistencia al avance frente a velocidad.....	32
Gráfica 1. 2. Curva potencia efectiva frente a velocidad.....	32
Gráfica 1. 3. Curvas KT, 10KQ y rendimiento del propulsor aislado frente a grado de avance (J).....	36
Gráfica 1. 4. Resistencia al avance frente velocidad obtenida mediante Maxsurf Resistance.....	38
Gráfica 1. 5. Potencia efectiva frente a velocidad obtenida mediante Maxsurf Resistance.....	38
Gráfica 1. 6. Grado de avance (J) frente a relación K_T/J^2	39
Gráfica 1. 7. Curvas de Potencia al freno necesaria (BHP) y revoluciones por minuto frente a velocidad.....	41
Gráfica 2.1. Representación de la potencia efectiva en función de la velocidad para cada valor de alargamiento.	56
Gráfica 2.2. Potencia efectiva en función de la velocidad para un alargamiento de 25,6 metros.	57
Gráfica 4.1. Consumo de distintos motores comerciales frente a su potencia.	78
Gráfica 6.1. Curva de brazos adrizantes GZ, en la condición de carga 1.....	116
Gráfica 6.2. Curva de brazos adrizantes GZ, en la condición de carga 2.....	120
Gráfica 6.3. Curva de brazos adrizantes GZ, en la condición de carga 3.....	124
Gráfica 6.4. Curva de brazos adrizantes GZ, en la condición de carga 4.....	128

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 0.1. Transbordador para trenes en Escocia.	12
Figura 0.2. Buque Empire Baltic en el muelle.	13
Figura 0.3. Render de la serie de buques Mark V.	14
Figura 0.4. Buque MV Celine navegando.	14
Figura 1. 1. Modelización de las curvas que definen la carena.	20
Figura 1. 2. Superficie creada a partir de las curvas más representativas de la carena.	20
Figura 1. 3. Superficie ajustada mediante Maxsurf Modeler a las formas de la carena.	21
Figura 1. 4. Huelgos mínimos de la hélice.	34
Figura 2.1. Esquema de la distribución en eslora de la carga rodada.....	45
Figura 2.2. Esque de la distribución de la carga TEUs sobre la cubierta superior.	46
Figura 2.3. Distribución en manga de los carriles de carga en el cuerpo cilíndrico del buque.	47
Figura 3. 1. Fila de puntos de control sobre la superficie de la carena a 25,6 m de la sección 10.	59
Figura 3. 2. Modelo 3D de la carena alargada.....	59

Figura 5.1. Esquema del valor de H tomado.	92
Figura 5.2. Área tomada en cuenta en el cálculo de A	93
Figura 5.3. Valor de H tomado.	98
Figura 5.4. Área considerada.....	98
Figura 6.1. Imagen de la calibración de los tanques mediante Maxsurf Stability.	109

INTRODUCCIÓN

Se denomina Ro-Ro (Roll On-Roll Off) a aquel buque o barco que transporta cargamento rodado, ya sean automóviles, camiones, vehículos o cualquier otro tipo de cargamento rodado. Para facilitar el transporte de las cargas rodadas, estos barcos, tienen grandes cubiertas continuas en toda la eslora. La carga y descarga se realiza, generalmente, por los propios medios de la carga rodada, por lo que los Ro-Ro están dotados de rampas dispuestas en el costado o a la popa (ocasionalmente en proa tras una compuerta estanca). Para la distribución a bordo de la carga rodada, estos barcos suelen disponer de rampas interiores que comunican unas cubiertas con otras, elevadores para la carga rodada o incluso cubiertas elevables.

- Evolución histórica buques Ro-Ro:

Hasta mediados del siglo XIX, los vehículos se trataban como cualquier otra carga. Los depósitos de los automóviles se vaciaban y sus baterías se desconectaban antes de que las grúas los introdujeran en las bodegas de los cargueros. Una vez dentro se les amarraba para evitar que se desplazaran por la bodega. Esta operación resultaba larga y tediosa, y muchas veces los vehículos sufrían daños en el proceso.

En 1849 se construyó el primer transbordador para trenes, como respuesta a la necesidad de atravesar el Firth of Forth escocés, ya que la tecnología de construcción de puentes de la época no lo permitía. La *Edinburgh Leith and Newhaven Railway* contrató al ingeniero Thomas Bouch, que se encargó del diseño del ferry, las infraestructuras portuarias en cada orilla y las rampas, que incluían un sistema para variar su altura en función de la marea.

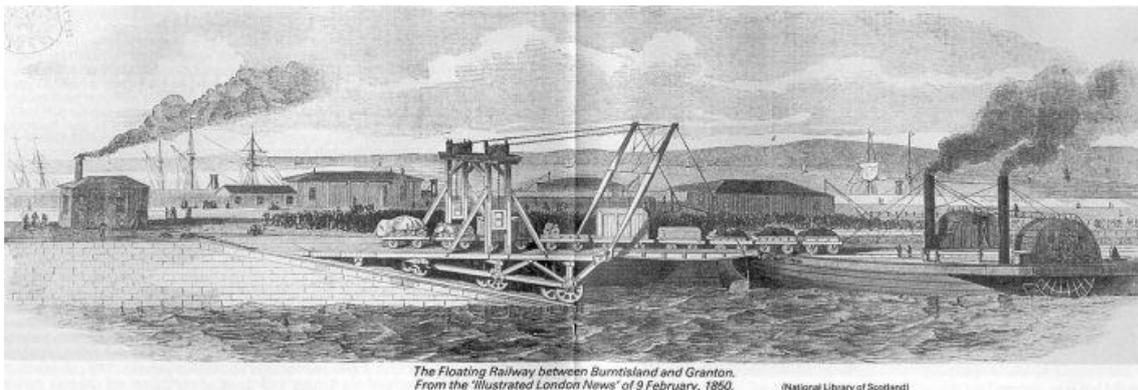


Figura 0.1. Transbordador para trenes en Escocia.

Este tipo de transbordadores de trenes se utilizaron ampliamente durante la Primera Guerra Mundial para el transporte de suministros, armas y maquinaria desde Inglaterra a las costas de Francia.

Durante la Segunda Guerra Mundial se produjo el desarrollo de los LST (Landing Ship Tank), buques de transporte de vehículos, carga y tropas que se desembarcaban

directamente en la orilla. En 1946, al finalizar la guerra, la *Atlantic Steam Navigation Company* se hizo con tres de ellos para su uso comercial, renombrándolos como *Empire Baltic*, *Empire Cedric* y *Empire Celtic*, poniendo el germen de los futuros buques Ro-Ro.

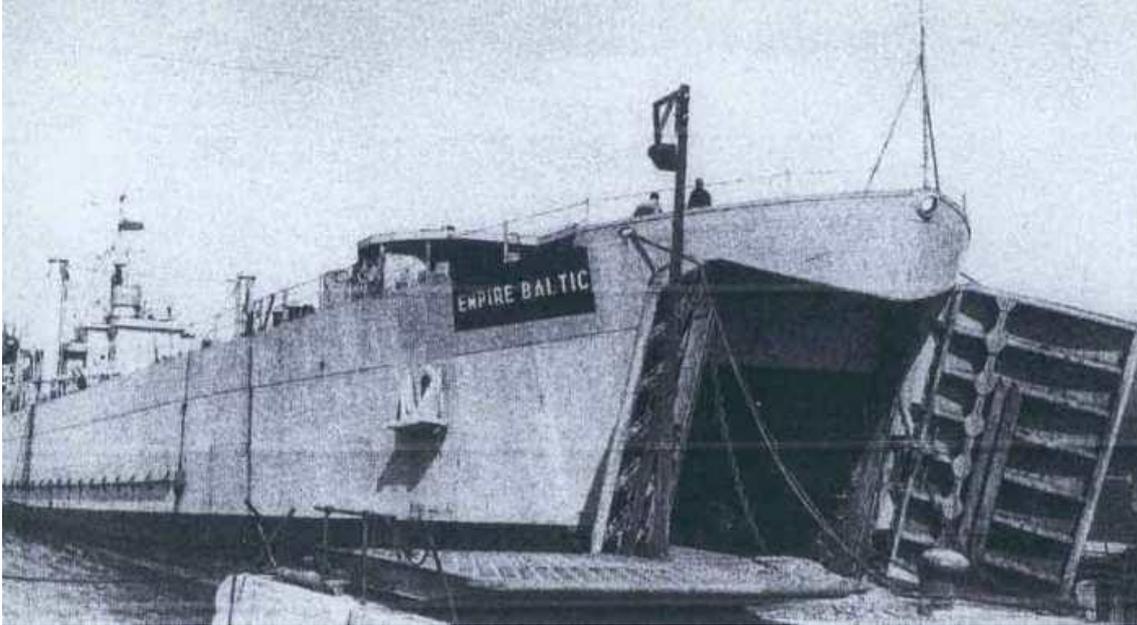


Figura 0.2. Buque Empire Baltic en el muelle.

En 1956 se construyó el primer Ro-Ro diseñado para ese trabajo, no adaptado, el *Searoad of Hyannis*, con capacidad para transportar tres camiones entre Hyannis, Massachusetts y la Isla de Nantucket.

En diciembre de 2007, las compañías *Wilhelmsen y Wallenius Lines* contrataron al astillero japonés *Mitsubishi Heavy Industries* la construcción de una nueva serie de buques Ro-Ro denominada *Mark V*, diseñada para el transporte de grandes cantidades de carga rodada, siendo un buque respetuoso con el medio ambiente.

Las medidas adoptadas en la fase de diseño para conseguir este objetivo pasaron por optimizar las formas del casco para reducir la resistencia al avance, reducir la emisión de gases contaminantes a la atmósfera o la protección reforzada contra derrames de hidrocarburos. Tanto es así que la optimización de las formas, junto con el estudio pormenorizado de las líneas del timón, consiguieron un ahorro de entre el 15 y el 20% de combustible comparado con buques similares. Mientras que en la cámara de máquinas llevan instalado un generador que aprovecha el calor de los gases de exhaustación para la generación de energía eléctrica.



Figura 0.3. Render de la serie de buques Mark V.

En marzo de 2011, coincidiendo con el 150 aniversario de *Wilhelmsen* se botaba el *MV Tonsberg*, el cuarto de la naviera con este nombre (es el nombre de la ciudad noruega donde se fundó la compañía en 1861), y el primero de los cuatro que forman la clase *Mark V*, convirtiéndose hasta ese momento en el buque Ro-Ro más grande del mundo.

Pero fue en el año 2018, cuando la naviera *CldN* bautizaba al buque Ro-Ro más grande del mundo hasta la fecha, el *MV Celine*, con una eslora de 235 meytros, y una capacidad de 8.000 metros lineales de carga.



Figura 0.4. Buque MV Celine navegando.

La principal característica de este tipo de buques es la *longitud de carril* o metros lineales de carga, siendo importantes otras características como el número total de coches o camiones que puede transportar y el puntal entre cubiertas.

El buque empleado como base para el desarrollo del presente TFG tiene una eslora de 101,5 m, un desplazamiento de 5877,4 toneladas, monta un motor Werkspoor-8TMS410 de 4117.63 kw a 570 rpm. En la Tabla 0.1 se muestran las principales características del buque.

Tabla 0.1 Principales características del buque base de este TFG.

Eslora Total	101.50 m
Eslora entre Perpendiculares	90.00 m
Manga de Trazado	16.50 m
Puntal Cubierta Superior	11.00 m
Puntal Cubierta Segunda	6.25 m
Calado Máximo de Verano	6.10 m
C_B	0.633
Velocidad de Servicio	13.8 nudos

El buque dispone de una rampa de carga y descarga a popa, superestructura donde se encuentra la habilitación y gobierno a proa, guardacalor a ambos costados en la vertical de la cámara de máquinas, la cual se encuentra a popa y de la que sale la línea de ejes que transmite el par a la única hélice de propulsión que dispone el barco, hélice de maniobra a proa, timón compensado y soportado sobre el talón del codaste, estructura longitudinal y dos tanques de adrizamiento uno a cada banda.

La zona de carga del buque está distribuida a lo largo de tres cubiertas, el bodeguín, la cubierta segunda, y sobre la cubierta principal. Sobre estas tres cubiertas el barco puede almacenar distintos tipos de carga rodada, y, solamente, sobre la cubierta superior también se pueden disponer contenedores de 20 o 40 pies (TEU's o FEU's) apilando una altura de dos contenedores. A continuación se describen cada una de las distintas cargas que puede transportar el buque objeto del presente TFG:

ALARGAMIENTO DE UN BUQUE TIPO RO-RO.

Tabla 0.2. Características de la carga rodada Roll Trailers 20'.

-Roll Trailers 20':		
	Longitud:	8.5 m
	Peso máximo:	30 Tm

Tabla 0.3. Características de la carga rodada Roll Trailers 40'.

-Roll Trailers 40':		
	Longitud:	16.5 m
	Peso máximo:	44 Tm

Tabla 0.4. Características de la carga rodada camión rígido.

-Camión rígido:		
	Longitud:	14.0 m
	Peso máximo:	25 Tm

ALARGAMIENTO DE UN BUQUE TIPO RO-RO.

Tabla 0.5. Características de la carga TEU.

-TEU (Twenty-foot Equivalent Unit):		
	Longitud:	6.0 m
	Peso máximo:	20.32 Tm
	(sólo en cubierta superior)	

Tabla 0.6. Características de la carga FEU.

-FEU (Forty-foot Equivalent Unit):		
	Longitud:	12.0 m
	Peso máximo:	30.48 Tm
	(sólo en cubierta superior)	

Aunque lo más habitual es transportar solamente el remolque de los Roll Trailers de 20 y 40 pies para así rentabilizar al máximo la capacidad de carga del barco, también se pueden transportar con la cabeza tractora o camión.

Las capacidades de carga de cada una de las zonas de carga se muestran en la Tabla 0.7.

Tabla 0.7. Capacidad de carga de las distintas zonas del buque.

Tipo de carga	Bodeguín	Entrepunte	Cubierta superior
Metros lineales	123.5	384.5	259.5
Roll Trailers 20'	19	60	35
Roll Trailers 40'	10	29	15
Camión Rígido	8	20	15
TEU's	-	-	88

Generalmente, un alargamiento se realiza para aumentar la capacidad de carga de un buque, o en ocasiones cuando el mismo, es transformado para realizar una tarea totalmente distinta para la que fue proyectado.

En este caso, el objeto del presente Trabajo Final de Grado es realizar un alargamiento del buque Ro-Ro presentado anteriormente, para así aumentar la capacidad de carga lo máximo posible. La principal restricción del proyecto es que debe realizarse de modo que no se tenga que cambiar la planta propulsora del mismo. Esto es, se conseguirá el alargamiento en base a una pérdida de velocidad del buque, la cual no debe ser mayor de 0,5 nudos con respecto a la velocidad de servicio original.

Conociendo esto, en el presente proyecto se ha determinado la magnitud óptima para cumplir con el objetivo. Para lo cual, partiendo del plano de formas original del buque, se ha modelizado la carena, se ha calculado la resistencia al avance, y se ha seleccionado una hélice, puesto que se desconocen las características propulsivas. Para así poder estimar la velocidad que podría alcanzar el buque una vez alargado.

Una vez determinada la magnitud del alargamiento, se han realizado los principales cálculos de arquitectura naval y los servicios que requiere el buque.

Por último, se ha comprobado que el buque, tras el alargamiento proyectado, sigue cumpliendo unos requisitos de estabilidad mínimos.

CAPÍTULO 1: ESTADO DEL BUQUE ANTES DEL ALARGAMIENTO

1. Modelado 3D de la carena del buque.

Partiendo del plano de formas del Ro-Ro se genera la superficie (o superficies) que definen el casco del mismo. Para realizar el modelado se utilizan dos programas distintos: *Rhinoceros* y *Maxsurf Modeler*.

1.1. Generación de formas con *Rhinoceros*.

Se inserta cada una de las vistas del plano (líneas de agua, longitudinales y caja de cuadernas) en su correspondiente vista en el programa (Top, Front y Right) y se traza cada una de las líneas, hasta formar un enjaretado tridimensional, véase Figura 1.

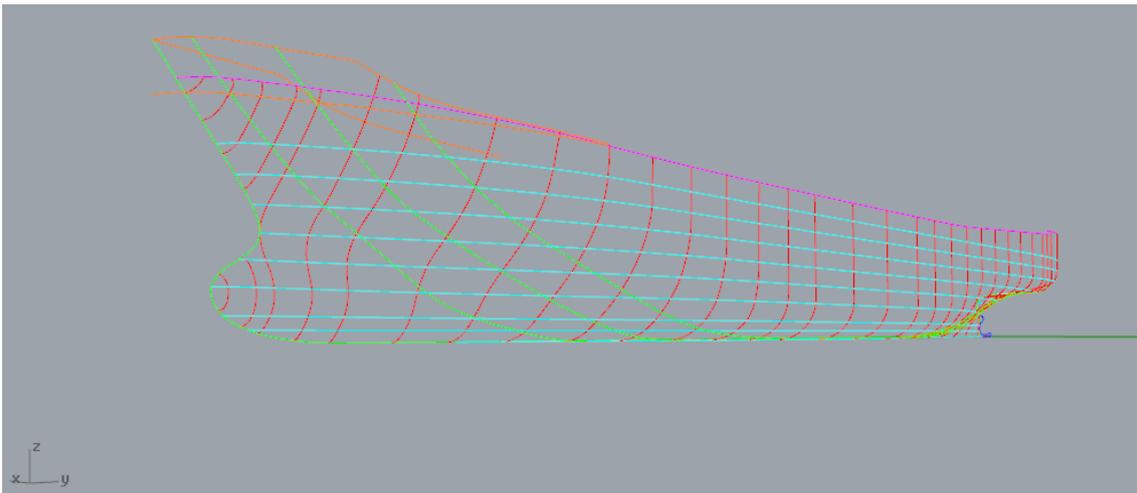


Figura 1. 1. Modelización de las curvas que definen la carena.

Una vez trazadas todas las líneas se seleccionan aquellas que caracterizan mejor las formas del casco y se genera una superficie que se aproxime lo máximo posible a la superficie final.

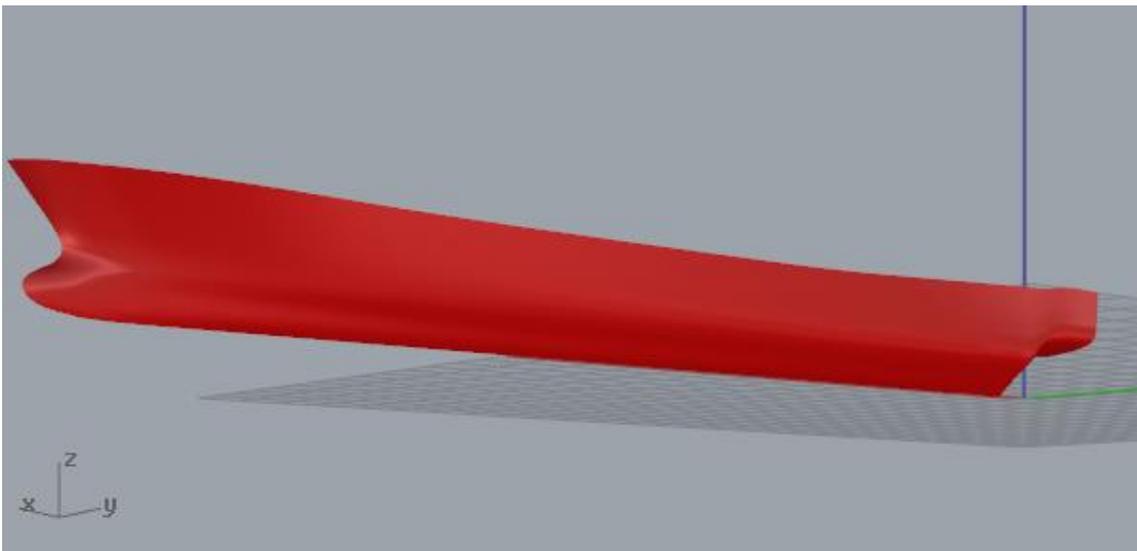


Figura 1. 2. Superficie creada a partir de las curvas más representativas de la carena.

1.2. Ajuste de la superficie mediante Maxsurf Modeller.

Obtenida la superficie en Rhinoceros, se ajustan ligeramente los puntos de control, reduciéndolos en número (cuanto menor sea la cantidad de los mismos más sencillo será el trabajar con ellos) y posteriormente se importa el archivo a Maxsurf Modeller.

Con el archivo importado en Maxsurf, se ajustan los puntos de control para hacer coincidir las secciones, longitudinales y líneas de agua con sus homólogas del plano de formas. Realizado lo anterior, ya quedaría modelada la carena del Ro-Ro, puesto que ésta es simétrica respecto a crujía, véase Figura 1.3.

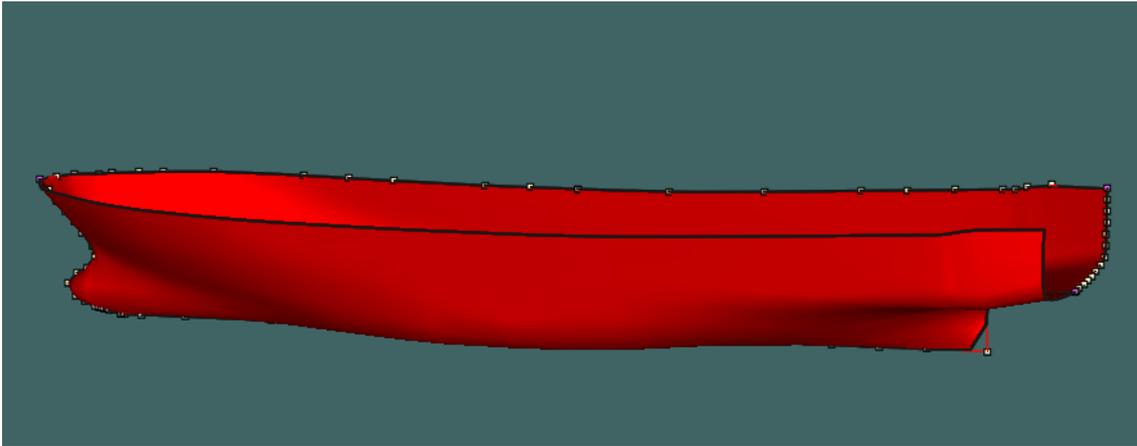


Figura 1. 3. Superficie ajustada mediante Maxsurf Modeler a las formas de la carena.

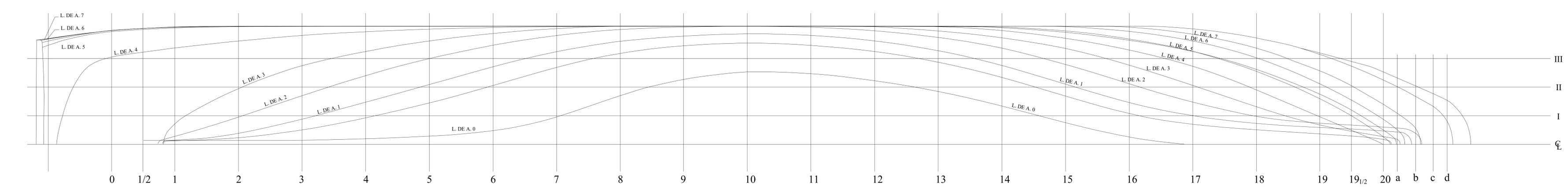
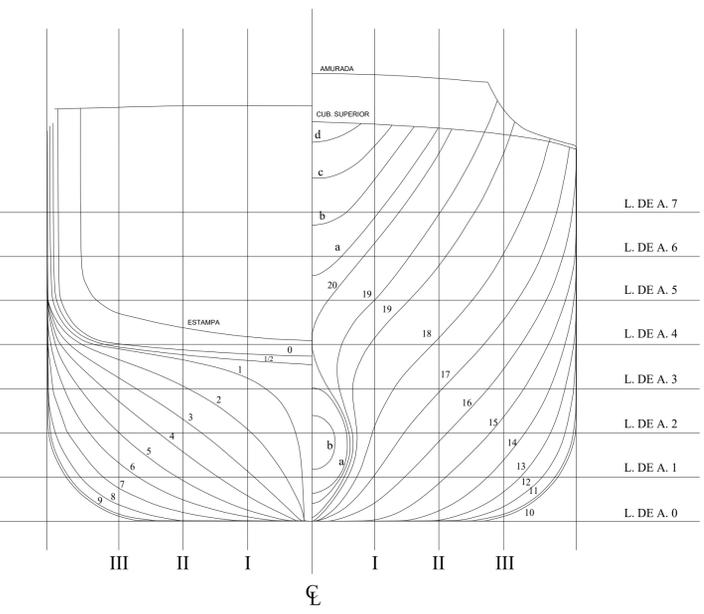
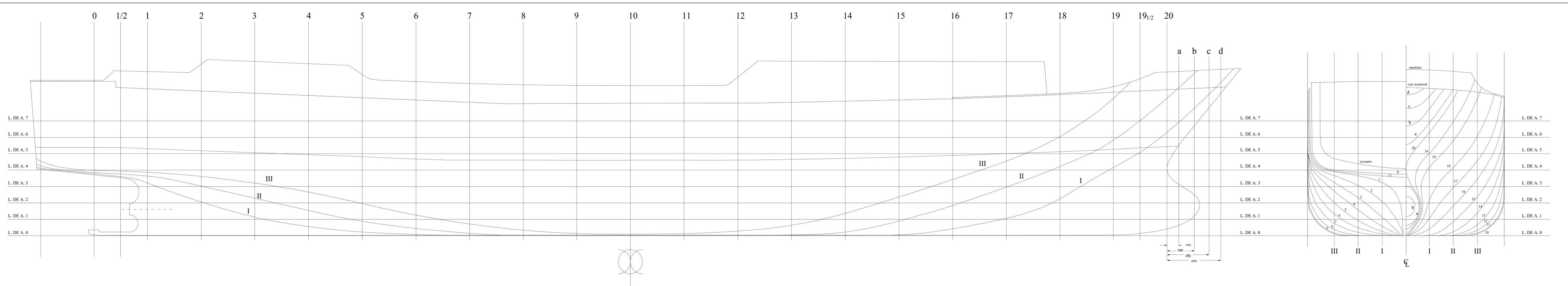
2. Planos de formas.

Una vez hecho el modelo 3D, es posible generar un nuevo plano de formas para el Ro-Ro. Se organiza la distancia entre secciones resultando un total de 21 con una distancia entre secciones de 4,5 metros, más una sección intermedia entre la 0 y la 1 (sección 1/2) y otra sección intermedia entre la 19 y la 20 (sección 19_{1/2}) para definir mejor las formas de popa y proa. Adicionalmente se añaden otras secciones (sección a y sección b) para representar las formas del bulbo y extremo de la proa.

La distancia entre longitudinales es de 2,0 metros resultando un total de 3 longitudinales.

Se establece un total de 7 líneas de agua, con una distancia entre líneas de agua de 1,3625 m.

Mediante Rhinoceros, se intersecciona los distintos planos a la distancia descrita anteriormente con el casco, se proyectan las líneas resultantes y se identifica cada una, obteniendo el plano de formas del buque Ro-Ro.



CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

Eslora total	101,500 m.
Eslora entre perpendiculares	90,000m.
Calado de trazado	5,450 m.
Manga de trazado	16,150m.
Puntal en la cub. Superior	11,000m.
Puntal en la cub. Segunda	6,250m.
Separación entre líneas de agua	1,3625 m.
Separación entre secciones	4,500 m.
Separación entre longitudinales	2,000 m.

**Universidad Politécnica
de Cartagena**

BUQUE TIPO RO-RO	
PLANO DE FORMAS	
ESCALA	ARCHIVO: Formas
1:100	FECHA: Abril 2019
	PLANO N°: 1 N° HOJAS: 1

FDO. RUBÉN DE LA CERDA
SÁNCHEZ

3. Cálculo de la resistencia al avance.

Para el cálculo de la resistencia al avance se utilizará el método de Holtrop y Mennen, un método estadístico obtenido a partir de regresiones matemáticas de los resultados de los ensayos del Canal de Wageningen y de resultados de pruebas de mar de buques construidos.

El método tiene un rango de aplicación para distintos tipos de buques, que para el caso de un buque Ro-Ro es el siguiente:

Tabla 1. 1. Rango de aplicación método de Holtrop and Mennen.

Fn _{máx}	C _p		L/B	
	min	máx	min	máx
0,35	0,55	0,67	5,3	8,0

- Comprobación del rango de aplicación.

- Número de Froud máximo de 0,35:

El número adimensional de Froud se calcula mediante la siguiente fórmula

$$Fn = \frac{V}{\sqrt{gL}} \quad (1.1)$$

Siendo V la velocidad del buque, g la gravedad y L la eslora en la flotación. Para un rango de velocidades de 10 a 15 nudos, el número de Froud sería:

Tabla 1. 2. Valor del número de Froud en función de la velocidad

V (nudos)	Fn
10,0	0,169
11,0	0,185
12,0	0,202
13,0	0,219
14,0	0,236
15,0	0,253

En ningún caso el número de Froud es superior al máximo.

- Coeficiente prismático entre 0,55 y 0,67:

El coeficiente prismático del buque es $C_p = 0,659$, luego se encuentra dentro del rango.

- Coeficiente L/B entre 5,3 y 8,0:

Teniendo la eslora un valor de 95,0 metros y la manga uno de 16,5 metros, el coeficiente L/B tiene un valor de 5,75, luego está dentro del rango.

- Descripción del método:

La resistencia al avance se calcula mediante el procedimiento de *Huges*, utilizando la línea básica de fricción de la ITTC-57. La resistencia al avance se divide en las siguientes componentes:

$$R_T = R_V + R_{AP} + R_W + R_B + R_{TR} + R_A \quad (1.2)$$

Siendo,

R_T = Resistencia 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 de estampa cuando están sumergidas.

R_A = Resistencia debida al coeficiente de correlación modelo-buque C_A .

Resistencia viscosa, R_V :

La resistencia viscosa se calcula con la siguiente expresión:

$$R_V = \frac{1}{2} \rho S V^2 C_F (1 + k_1) \quad (1.3)$$

Siendo,

C_F = Coeficiente de resistencia de fricción según fórmula ITTC-57.

$$C_F = \frac{0,075}{(\log Rn - 2)^2} \quad (1.4)$$

$(1+k_1)$ es un factor obtenido estadísticamente que toma el siguiente valor:

$$(1 + k_1) = 0,93 + 0,487118 C_{14} \left(\frac{B}{L_F}\right)^{1,06806} \left(\frac{T}{L_F}\right)^{0,46106} * \quad (1.5)$$

$$* \left(\frac{L_F}{L_R}\right)^{0,121563} \left(\frac{L_F^3}{\nabla}\right)^{0,36486} (1 - C_P)^{-0,604247}$$

$$\frac{L_R}{L_F} = 1 - C_P + \frac{0,06 * C_P * lcb}{4 C_P - 1} \quad (1.6)$$

C_P es el coeficiente prismático referido a la eslora en la flotación, lcb es la posición longitudinal del centro de carena a partir de la sección media como un porcentaje de L_F (positivo hacia proa y negativo hacia popa).

El coeficiente c_{14} pretende introducir la forma de popa en el factor de forma:

$$C_{14} = 1 + 0,011C_{stern} \quad (1.7)$$

Tabla 1. 3. Valor del coeficiente C_{stern} en función del tipo de popa.

Formas de Popa	C_{stern}
Popas tipo góndola	-25
Cuadernas en V	-10
Cuadernas normales	0
Cuadernas en U con popa Hogner	+10

Resistencia de los apéndices, R_{AP} :

La resistencia de los apéndices se calcula mediante la siguiente expresión:

$$R_{AP} = \frac{1}{2} \rho S_{AP} V^2 C_F (1 + k_2)_{eq} \quad (1.8)$$

Siendo,

C_F = Coeficiente de resistencia de fricción según fórmula ITTC-57.

$$(1 + k_2)_{eq} = \frac{\sum S_i (1 + k_2)_i}{\sum S_i} \quad (1.9)$$

S_i = Superficie mojada de cada apéndice.

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

El método proporciona los valores aproximados de $(1+k_2)$ para cada tipo de apéndice, véase Tabla 1.4.

Tabla 1. 4. Valores del factor de formas por tipo de apéndice.

Tipo de apéndice	(1+k ₂)
Timón buque 1 hélice	1,3 - 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 - 4,0
Aletas estabilizadoras	2,8
Domo	2,7
Quillas de balance	1,4

Resistencia por formación de olas, R_w:

La resistencia por formación de olas se calcula mediante la siguiente expresión:

$$R_w = \rho g \nabla C_1 C_2 C_5 e^{(m_1 F n^d + m_2 \cos(\lambda F n^{-2}))} \quad (1.10)$$

Donde:

$$C_1 = 2223105 C_7^{3,78613} (T/B)^{1,07961} (90 - i_E)^{-1,37565} \quad (1.11)$$

i_E= Semiángulo de entrada en la flotación (en grados).

$$C_7 = \frac{B}{L_F} \quad (1.12)$$

$$C_2 = e^{-1,89\sqrt{C_3}} \quad (1.13)$$

$$C_3 = \frac{0,56 A_{BT}^{1,5}}{B T (0,31 \sqrt{A_{BT}} + T_{PR} - h_B)} \quad (1.14)$$

A_{BT}= Área transversal del bulbo en la vertical de la intersección de la flotación con el perfil de proa (en m²).

h_B= Altura sobre la base del c.d.g. de la sección del bulbo de proa en la perpendicular de proa.

$$C_5 = 1 - \frac{0,8 A_{TR}}{B T_m C_M} \quad (1.15)$$

$$m_1 = 0,014047 \frac{L_F}{T} - 1,75254 \frac{\nabla^{\frac{1}{3}}}{L_F} - 4,79323 \frac{B}{L_F} - C_{16} \quad (1.16)$$

Donde C_{16} toma el valor de:

$$C_{16} = 8,07981 C_P - 13,8673 C_P^2 + 6,984388 C_P^3 \quad (1.17)$$

$$m_2 = C_{15} C_P^2 0,4 e^{(-0,1 Fn^2)} \quad (1.18)$$

Donde C_{15} toma el valor de -1,69385.

$$\lambda = 1,446 C_P - 0,03 L_F/B \quad (1.19)$$

d= -0,9.

Resistencia de presión producida por el bulbo, R_B :

La resistencia de presión producida por el bulbo se calcula mediante la siguiente expresión:

$$R_B = 0,11 e^{-3 P_B} \frac{Fn_i^3 A_{BT}^{1,5} \rho g}{(1 + Fn_i^2)} \quad (1.20)$$

Donde el coeficiente P_B es una medida para la parte que emerge de la proa y Fn_i es el número de Froude referido a la inmersión:

$$P_B = \frac{0,56 \sqrt{A_{BT}}}{(T_{PR} - 1,5 h_B)} \quad (1.21)$$

$$Fn_i = \frac{V}{\sqrt{g(T_{PR} - h_B 0,25 \sqrt{A_{BT}}) + 0,15 V^2}} \quad (1.22)$$

Resistencia adicional debida a la inmersión del espejo, R_{TR} :

La resistencia de presión debida a la parte sumergida del espejo se calcula mediante la expresión:

$$R_{TR} = \frac{1}{2} \rho V^2 A_{TR} C_6 \quad (1.23)$$

Donde:

$$C_6 = 0,02 (1 - 0,2 Fn_{NT}) \quad (1.24)$$

$$Fn_{NT} = \frac{V}{\sqrt{\frac{2gA_{TR}}{B + B C_F}}} \quad (1.25)$$

Resistencia debida a la correlación modelo-buque, R_A :

Esta componente tiene en cuenta la correlación modelo-buque, la rugosidad del casco y la resistencia del aire, y se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$R_A = \frac{1}{2} \rho S V^2 C_A \quad (1.26)$$

Siendo C_a el coeficiente de correlación modelo-buque, que para condiciones ideales de pruebas y para una rugosidad estándar de 150 μm se puede estimar por:

$$C_A = 0,006 (L_F + 100)^{-0,16} - 0,00205 + 0,003 \left(\frac{L_F}{7,5}\right)^{0,5} C_B^4 C_2 (0,04 - C_4) \quad (1.27)$$

Donde:

$$C_2 = e^{-1,89\sqrt{C_3}} \quad (1.28)$$

$$C_3 = 1 - \frac{0,8 A_{TR}}{B T_m C_M} \quad (1.29)$$

$C_4 = 0,04$.

- Cálculo de la resistencia al avance:

Se aplican las expresiones de cálculo mostradas anteriormente para la velocidad de proyecto del buque, que es de 13,8 nudos. Para poder efectuar esto son necesarios los siguientes datos de la geometría del buque, obtenidos del modelo 3D de la carena:

ALARGAMIENTO DE UN BUQUE TIPO RO-RO.

Tabla 1. 5. Datos iniciales para el cálculo de la resistencia al avance.

Magnitud	Abreviatura	Valor
Eslora en la flotación	L_F (m)	95
Eslora entre perpendiculares	L_{PP} (m)	90
Velocidad de proyecto	V (m/s)	7,099
Manga máxima	B (m)	16,5
Calado máximo de verano	T (m)	6,1
Volumen de carena	∇ (m^3)	5734,03
Coficiente de bloque	C_B	0,633
Coficiente de la maestra	C_M	0,955
Coficiente de la flotación	C_F	0,919
Coficiente prismático	C_P	0,659
Semiángulo de entrada en la flotación	I_E (grados)	27
Posición longitudinal del centro de carena	L_{cb} (%)	-1,34
Superficie mojada	S (m^2)	2019,029
Coficiente formas de popa	C_{stern}	0
	A_{BT} (m)	6,96
	h_B (m)	2.198
	A_{TR} (m^2)	3,238
Viscosidad cinemática del agua de mar	ν (m^2/s)	$1,18883 \cdot 10^{-6}$
Densidad del agua de mar	ρ (kg/m^3)	1026

A continuación se muestran los resultados de los cálculos descritos anteriormente:

Tabla 1. 6. Resultados cálculos resistencia viscosa.

Resistencia viscosa	
R_n	$5,676 \cdot 10^8$
C_F	$1,644 \cdot 10^{-3}$
L_R/L_F	0,308
C_{I4}	1,0
$(1+k_1)$	1,221
R_V (kg)	10682,02

Tabla 1. 7. Resultados cálculo resistencia de los apéndices.

Resistencia de los apéndices	
S (timón)	10,0
$(1+k_2)$ timón	1,4
S (eje)	3,14
$(1+k_2)$ eje	3
$(1+k_2)_{eq}$	1,782
S_{AP}	13,14
R_{AP} (kg)	995,599

Tabla 1. 8. Resultados cálculo resistencia por formación de olas.

Resistencia por formación de ola	
C_7	0,174
C_1	3,363
C_3	0,022
C_2	0,757
C_5	0,973
C_{16}	1,301
m_1	-2,245
C_{15}	-1,694
m_2	-0,046
λ	0,780
R_W (kg)	3514,251

Tabla 1. 9. Resultados cálculo resistencia de presión del bulbo.

Resistencia de P. Bulbo	
P_B	0,527
Fn_i	1,131
R_{AP} (kg)	0,263

Tabla 1. 10. Resultados cálculo resistencia inmersión del espejo.

Resistencia Inmersión Espejo	
Fn_{NT}	4,660
C_6	$1,4 \cdot 10^{-3}$
R_{TR} (kg)	113,815

Tabla 1. 11. Resultados cálculo resistencia correlación modelo-buque.

Resistencia correlación Modelo-Buque	
C_3	0,973
C_2	0,155
C_4	0,04
C_A	$5,3 \cdot 10^{-3}$
R_A (kg)	2824,379

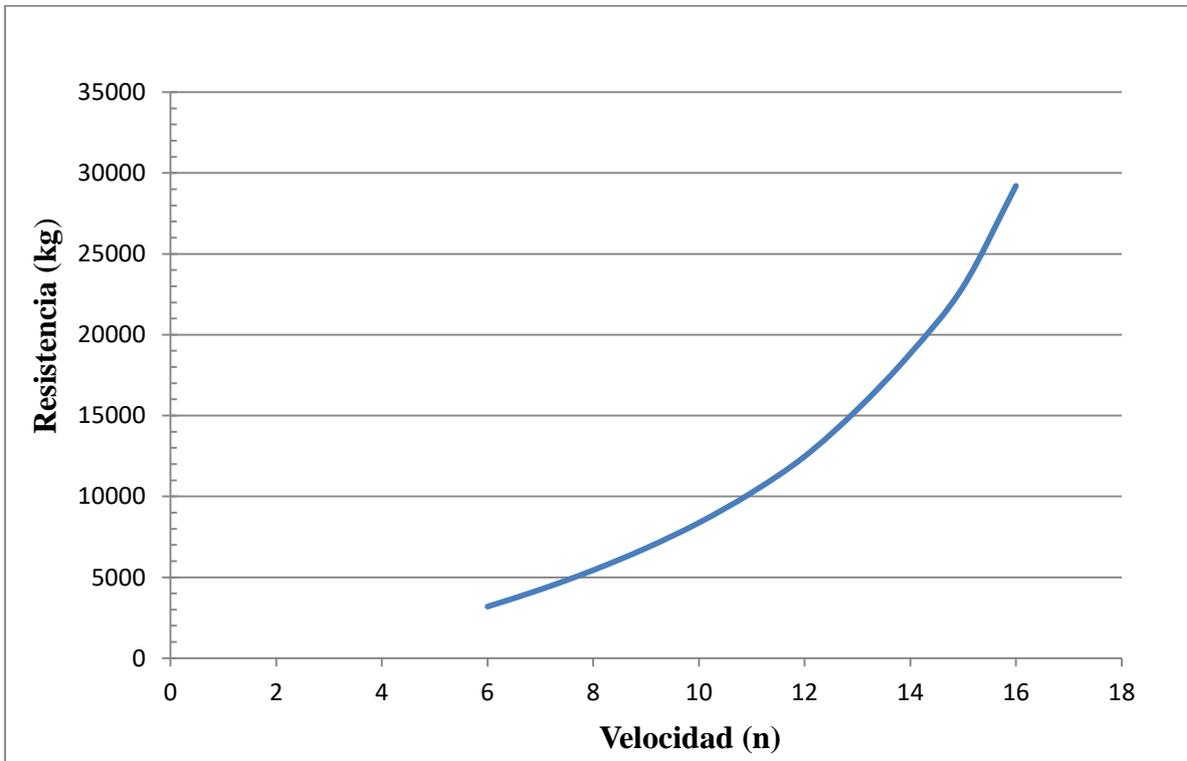
Sumando todas las componentes de la resistencia se obtiene una **resistencia al avance** de **18.130,332 kg**.

La potencia efectiva correspondiente se calcula del siguiente modo:

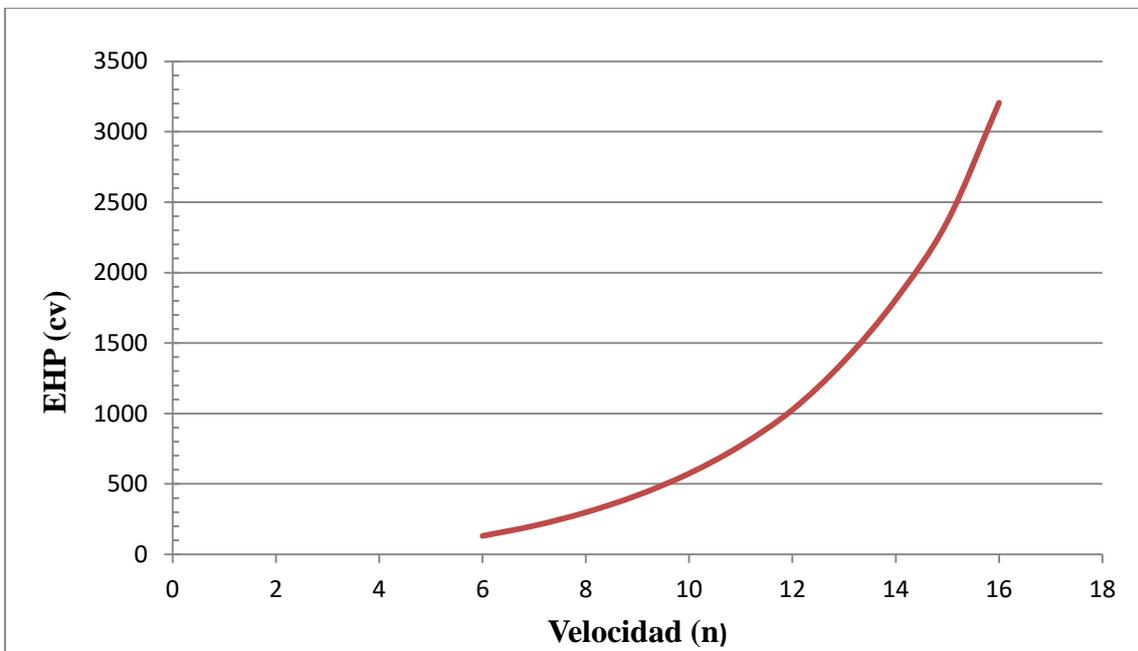
$$EHP (cv) = \frac{R_T(kg) V(m/s)}{75} \quad (1.30)$$

Resultando una potencia efectiva de 1716,195 cv.

Si se realizan los mismos cálculos para un rango de velocidades se obtienen las curvas de Resistencia al Avance y Potencia Efectiva en función de la velocidad, véanse Gráficas 1.1. y 1.2.



Gráfica 1. 1. Curva resistencia al avance frente a velocidad.



Gráfica 1. 2. Curva potencia efectiva frente a velocidad.

4. Selección de una hélice perteneciente a la Serie B de Wageningen.

Para la elección de un propulsor es necesario tener la potencia del motor que monta el barco, las revoluciones correspondientes, la velocidad que alcanzará el mismo, resistencia al avance a dicha velocidad, coeficiente de estela, coeficiente de succión, rendimiento rotativo-relativo, inmersión del eje y diámetro máximo de hélice según las formas del codaste.

Como se mencionó anteriormente, sí se dispone del dato de potencia instalada, ésta es de 4117,63 kW, pero el diseño se realizará para que la velocidad de proyecto (13,8 nudos) se alcance a una potencia del 85% del MCR, dicha potencia es 3499,986 kW. Las revoluciones correspondientes al 85% de la potencia del MCR son 570 revoluciones por minuto.

El barco dispone de una reductora acoplada al motor cuya relación de reducción es 3:1, por lo tanto, el eje girará a 190,0 rpm.

La resistencia al avance para la velocidad de 13,8 nudos ha sido calculada anteriormente.

Los coeficientes de estela, succión y rotativo-relativo se estimarán mediante el método de Holtrop and Mennen.

La inmersión del eje se puede obtener de los planos de formas del buque, siendo ésta de 3.9 metros.

El diámetro máximo de la hélice se obtendrá teniendo en cuenta la forma del codaste, según la geometría del mismo y la altura a la que se encuentra el eje de la hélice, siendo la dimensión restrictiva la distancia entre el eje de la hélice y el talón del codaste. Concretamente, esta distancia es de 1,9 metros, por lo que la hélice podría tener un diámetro de 3,8 metros como máximo. Pero a esa distancia habrá que restarle un huelgo mínimo a dejar entre hélice y codaste. Para obtener ese huelgo se utilizan los valores recomendados por la Sociedad de Clasificación Lloyd's Register of Shipping, véase Figura 1.4.

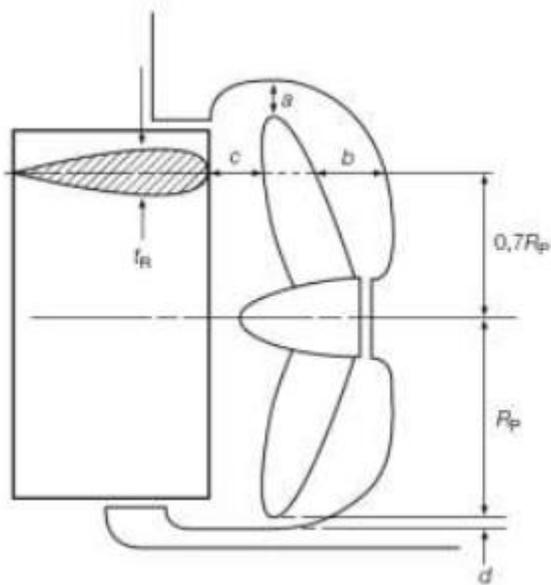


Figura 1. 4. Huegos mínimos de la hélice.

Tabla 1. 12. Valor de los huegos mínimos de la hélice recomendados.

a	d
1,0 K D	0,03 D

Siendo D el diámetro del propulsor y K :

$$K = \left(0,1 + \frac{L}{3050}\right) \left(\frac{3,48 C_B P}{L^2} + 0,3\right) \quad (1.31)$$

Donde P es la potencia en el eje en kW.

Luego suponiendo un diámetro de propulsor de 3,8 metros (máxima distancia disponible) los huegos a y b tendrían un valor de 0,687 y 0,114 metros, respectivamente. Cualquier hélice con un diámetro inferior a 3,8 metros tendrá que tener unos huegos menores, por lo que cumpliría con los huegos mínimos recomendados.

Para cumplir con el huego mínimo entre la hélice y la bovedilla del codaste, puesto que la distancia existente entre el eje y esa zona del codaste es de 2,5 metros, la hélice puede tener un radio máximo de $2,5 - 0,687 = 1,813$ metros.

Para cumplir con el huego mínimo entre la hélice y el talón del codaste, puesto que la distancia existente entre el eje y esa zona del codaste es de 1,9 metros, la hélice puede tener un radio máximo de $1,9 - 0,114 = 1,786$ metros.

En resumen, el **diámetro máximo** que podrá tener la hélice para cumplir con los huegos mínimos es de **3,572 metros**.

- Estimación de los coeficientes propulsivos:

Para estimar el coeficiente de succión, coeficiente de estela y rendimiento rotativo-relativo se utilizarán las fórmulas proporcionadas por el método de Holtrop and Mennen.

- Coeficiente de estela (w):

$$w = c_9 C_V \frac{L}{T_A} \left(0,0661875 + 1,21756 c_{11} \frac{C_V}{(1 - C_{P1})} \right) + 0,24558 \sqrt{\frac{B}{L(1 - C_{P1})}} \quad (1.32)$$

$$- \frac{0,09726}{0,95 - C_P} + \frac{0,11434}{0,95 - C_B} + 0,75 C_{stern} C_V + 0,002 C_{stern}$$

Donde

$$c_9 = \frac{B S}{L D T} \quad (1.33)$$

$$c_{11} = T/D \quad (1.34)$$

$$C_{P1} = 1,45 C_P - 0,315 - 0,0225 lcb \quad (1.35)$$

$$C_V = (1 + k) C_F + C_A \quad (1.36)$$

Aplicando las expresiones (1.32), (1.33), (1.34), (1.35) y (1.36) se obtiene,

Tabla 1. 13. Resultados cálculo coeficiente de succión

c_9	16,094
c_{11}	1,708
C_{P1}	0,671
C_V	$2,538 \cdot 10^3$
w	0,257

- Coeficiente de succión:

$$t = 0,001979 \frac{L}{(B - B C_{P1})} + 1,0585 c_{10} - 0,00524 - 0,1418 \frac{D^2}{B T} \quad (1.37)$$

$$+ 0,0015 C_{stern}$$

Donde,

$$c_{10} = B/L \quad (1.38)$$

Aplicando las expresiones (1.37) y (1.38) se obtiene,

Tabla 1. 14. Resultados cálculo coeficiente de succión.

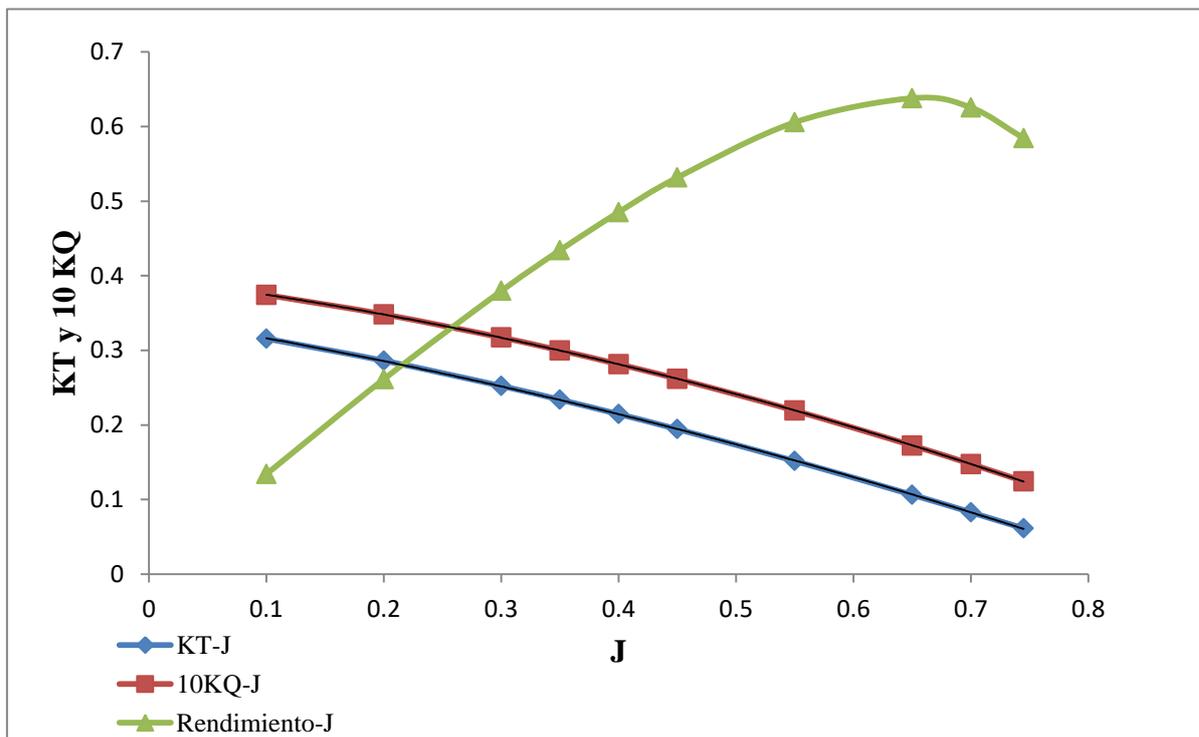
c_{10}	0,174
t	0,195

- Rendimiento Rotativo-Relativo:

$$\eta_R = 0,9922 - 0,05908 \frac{A_E}{A_O} + 0,07424 (C_P - 0,0225 lcb) \quad (1.39)$$

El rendimiento rotativo-relativo depende de la relación A_E/A_O y ésta a su vez depende de la hélice seleccionada, por lo que éste rendimiento se estimará de forma iterativa.

Una vez se han hallado los coeficientes propulsivos, se procede a programar en una hoja de cálculo las curvas K_T -J, K_Q -J y η_o de la serie de hélices utilizada.



Gráfica 1. 3. Curvas K_T , $10K_Q$ y rendimiento del propulsor aislado frente a grado de avance (J).

Del mismo modo, se programan las curvas B_P -1/J para Z (número de palas) = tres, cuatro, cinco y seis.

Se supone un A_E/A_O inicial de 0,5, lo que supone un rendimiento rotativo-relativo de 1,014. Ahora para cada número de palas se busca la relación A_E/A_O mínima para la que no cavita la hélice, obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 1. 15. Relación A_E / A_O mínima y margen obtenidos.

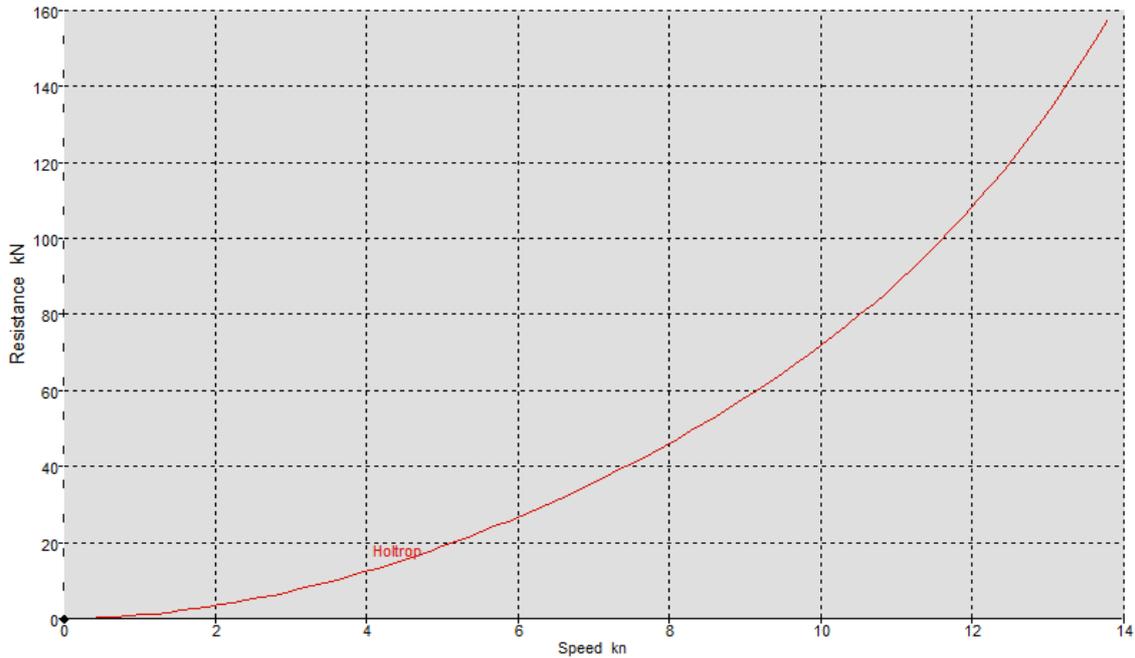
Número de palas (Z) = 3	
A_E / A_O Min	0,629
Margen (%)	33,38
Número de palas (Z) = 4	
A_E / A_O Min	0,676
Margen (%)	31,70
Número de palas (Z) = 5	
A_E / A_O Min	0,745
Margen (%)	26,42
Número de palas (Z) = 6	
A_E / A_O Min	0,807
Margen (%)	26,82

La relación A_E / A_O óptima no es la misma que la supuesta inicialmente, por lo que se itera hasta converger en una relación A_E / A_O y un rendimiento rotativo-relativo para cada número de palas, véase Tabla 1.16.

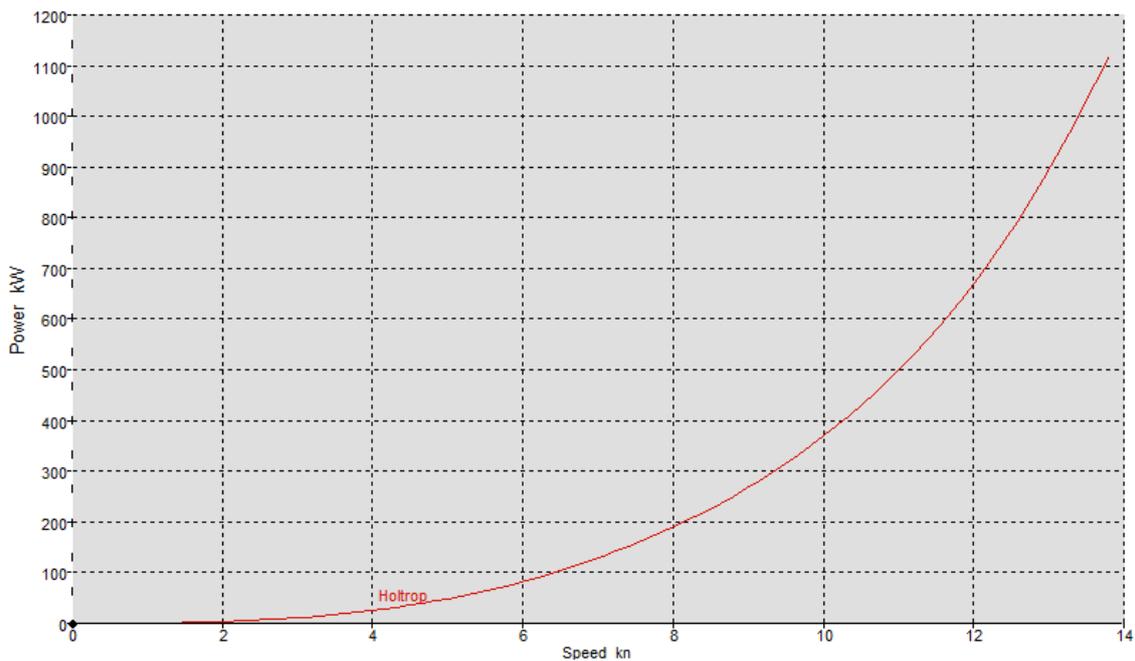
Tabla 1. 16. Relación A_E / A_O mínima, rendimiento rotativo-relativo y margen finales.

Número de palas (Z) = 3	
A_E / A_O Min	0,626
η_R	1,006
Margen (%)	35,25
Número de palas (Z) = 4	
A_E / A_O Min	0,672
η_R	1,004
Margen (%)	33,68
Número de palas (Z) = 5	
A_E / A_O Min	0,740
η_R	1,000
Margen (%)	25,63
Número de palas (Z) = 6	
A_E / A_O Min	0,799
η_R	0,996
Margen (%)	25,73

El margen (%) entre la potencia instalada y la potencia requerida del motor es demasiado abultado, soliendo estar, el margen buscado, en torno a un 10% por el estado de la mar durante las pruebas de mar, la rugosidad de la carena, viento, y otros posibles factores que influyan en el buque, e impidan que alcance la velocidad de proyecto durante las pruebas de mar del mismo. Esto podría hacer pensar que la potencia efectiva estimada mediante Holtrop sea errónea, por lo que se calcula la resistencia al avance y potencia efectiva con la ayuda del programa Maxsurf Resistance, véanse Gráficas 1.4. y 1.5.



Gráfica 1. 4. Resistencia al avance frente velocidad obtenida mediante Maxsurf Resistance.



Gráfica 1. 5. Potencia efectiva frente a velocidad obtenida mediante Maxsurf Resistance.

Los valores obtenidos mediante este método son muy próximos a los calculados mediante el método de *Holtrop and Mennen*, incluso algo menores (el margen sería mayor). Por lo que se dan por válidos los cálculos realizados en el apartado 3.

La existencia de un margen tan alto podría deberse a que el buque tenga acoplado un generador de cola en la reductora, información que se desconoce. Y, por tanto, no toda la potencia del motor principal sea utilizada para propulsión, sino que parte es utilizada

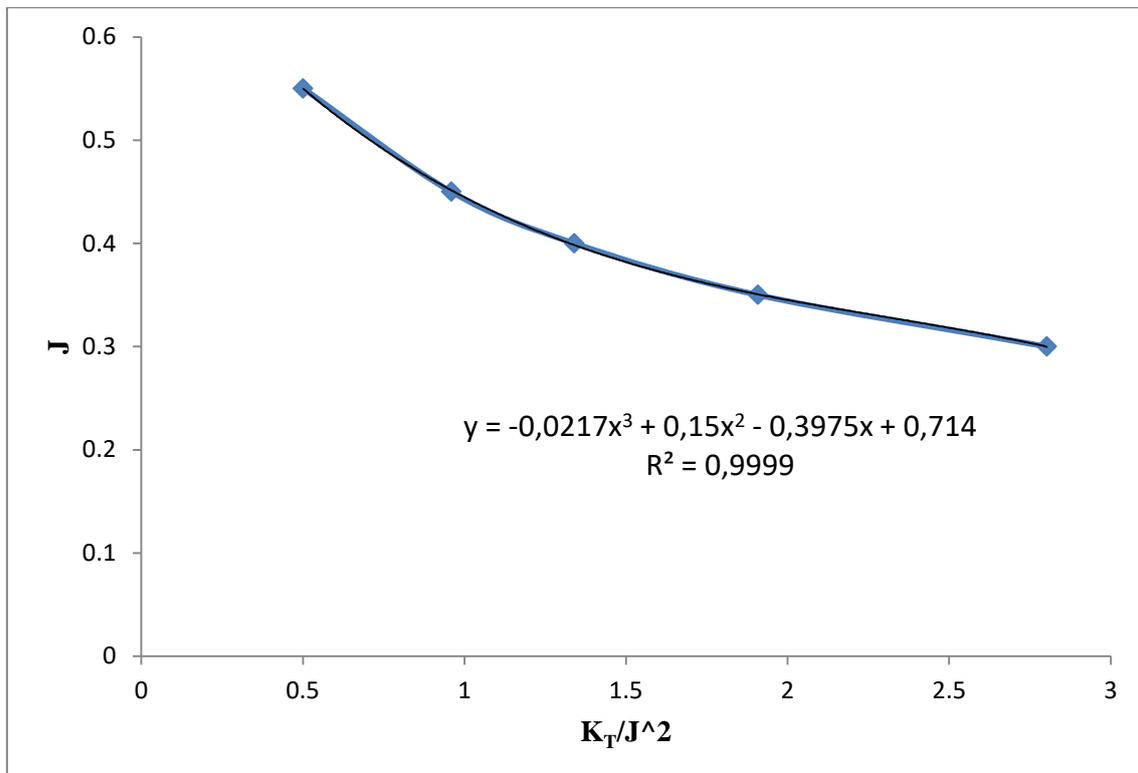
para generar energía. De cualquier modo, tras el alargamiento habría que mantener el mismo margen de potencia, ya que de lo contrario quizás se esté solicitando al motor una potencia mayor de la que se dispone para la propulsión.

La hélice que mayor margen proporciona es la 3 palas, pero para un barco de estas dimensiones y potencia no suelen utilizarse hélices con un número de palas tan bajo, puesto que ésta trabajaría muy cargada produciéndose un alto nivel de excitación en la hélice. Esto podría provocar grandes perturbaciones que se transmitirían al casco por mediación de los soportes de la línea de ejes (bocina y chumaceras). Por tanto, y puesto que la diferencia en el margen es pequeña, se opta por una hélice de cuatro palas, por lo que la hélice seleccionada tiene las siguientes características:

Tabla 1. 17. Características de la hélice seleccionada.

Hélice seleccionada	
Z (número de palas)	4
D (m)	3,572
A_E / A_O	0,672
P/D	0,759
η_o	0,539

Una vez seleccionada la hélice, se representa la curva $J-K_T/J^2$, véase Gráfica 1.6.



Gráfica 1. 6. Grado de avance (J) frente a relación K_T/J^2 .

Como se ha calculado previamente la resistencia al avance R_T se puede calcular el valor K_T/J^2 para cada valor de la velocidad con la siguiente expresión:

$$\frac{K_T}{J^2} = \frac{T}{\rho n^2 D^4} \frac{n^2 D^2}{V_A^2} = \frac{R_T}{\rho(1-t)D^2 V^2(1-w)^2} \quad (1.40)$$

Y una vez se obtiene K_T/J^2 , se puede calcular el valor de J mediante la regresión anterior,

$$J = -0,0217 \cdot \left(\frac{K_T}{J^2}\right)^3 + 0,15 \cdot \left(\frac{K_T}{J^2}\right)^2 - 0,3975 \cdot \frac{K_T}{J^2} + 0,714 \quad (1.41)$$

Y a su vez, una vez calculado J, se pueden calcular, a partir de las siguientes expresiones, revoluciones (1.42), par (1.44), potencia absorbida por la hélice (1.45) y potencia del motor (1.46):

$$n = \frac{V_A}{J \cdot D} \quad (1.42)$$

$$Q_0 = \rho \cdot n^2 \cdot D^5 \cdot K_Q \quad (1.43)$$

$$Q_B = \frac{Q_0}{n_R} \quad (1.44)$$

$$DHP_B = \frac{2 \cdot \pi \cdot n \cdot Q_B}{75} \quad (1.45)$$

$$BHP = \frac{DHP}{\eta_m} \quad (1.46)$$

Los resultados se resumen en las Tablas 1.18. y 1.19.

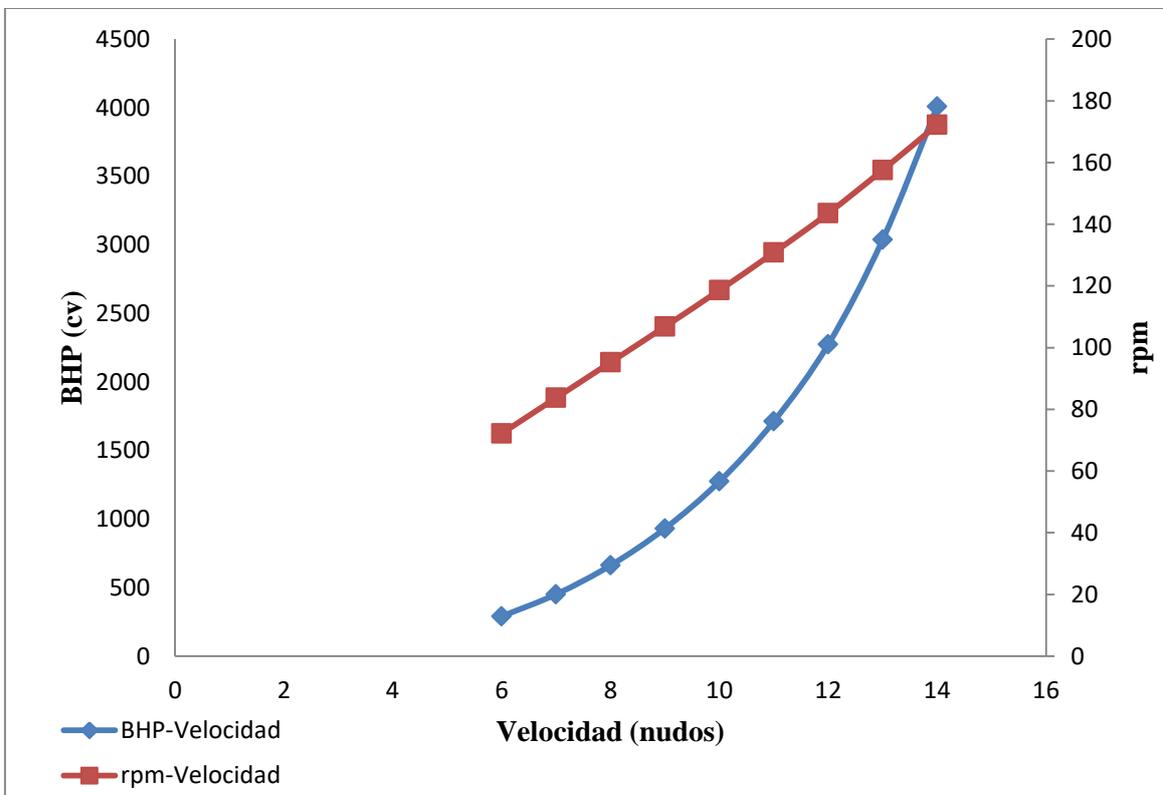
Tabla 1. 18. Resultados de las expresiones (1.40), (1.41) y (1.42) en función de la velocidad.

Velocidad (nudos)	Resistencia (kg)	K_T/J^2	J	n (rpm)
6.0	3186,892	0,564	0,534	72,192
7.0	4242,100	0,552	0,537	83,735
8.0	5440,206	0,542	0,539	95,248
9.0	6801,576	0,535	0,541	106,822
10.0	8373,540	0,534	0,541	118,607
11.0	10239,690	0,539	0,540	130,818
12.0	12472,127	0,552	0,537	143,563
13.0	15388,062	0,580	0,529	157,593
14.0	18835,826	0,613	0,522	172,245

ALARGAMIENTO DE UN BUQUE TIPO RO-RO.

Tabla 1. 19. Resultados de las expresiones (1.43), (1.44), (1.45) y (1.46) en función de la velocidad.

Velocidad (nudos)	K_Q	Q_0 (kg·m)	Q_B (kg·m)	DHP_B (cv)	BHP (cv)
6.0	0,309	2717,663	2708,185	272,982	290,407
7.0	0,307	3640,431	3627,734	424,142	451,215
8.0	0,306	4693,632	4677,261	622,036	661,740
9.0	0,306	5889,640	5869,099	875,383	931,259
10.0	0,305	7256,966	7231,655	1197,608	1274,051
11.0	0,306	8846,157	8815,303	1610,167	1712,943
12.0	0,307	10701,799	10664,474	2137,708	2274,157
13.0	0,310	13021,952	12976,534	2855,367	3037,624
14.0	0,314	15721,411	15666,578	3767,798	4008,295



Gráfica 1. 7. Curvas de Potencia al freno necesaria (BHP) y revoluciones por minuto frente a velocidad.

CAPÍTULO 2: ALARGAMIENTO DEL BUQUE.

1. Estimación del aumento de Desplazamiento con la variación de la eslora:

El alargamiento del buque hará que se vean afectadas algunas características del mismo, como es lógicamente la eslora, pero además se ven afectados otros parámetros como pueden ser el desplazamiento, el calado, el coeficiente de bloque C_B , etc. Lo que habrá que tener en cuenta para estimar la variación de resistencia que sufre el buque con el motivo del alargamiento.

En primer lugar, se va a estimar el aumento de desplazamiento que sufre el buque en función del aumento de la eslora, para ello se va a diferenciar la variación de desplazamiento en dos: variación del peso en rosca y variación de la carga o peso muerto.

$$\delta\Delta = \delta PR + \delta PM \quad (2.1)$$

Resultando, el desplazamiento final tras el alargamiento, la suma del desplazamiento inicial más la variación de desplazamiento.

$$\Delta' = \Delta + \delta\Delta = \Delta + (\delta PR + \delta PM) \quad (2.2)$$

-Cálculo del peso por metro lineal de la estructura:

La variación del peso en rosca resultante tras el alargamiento será el peso por metro lineal de la estructura en el cuerpo cilíndrico multiplicado por la longitud del alargamiento, por tanto será necesario calcular el peso por metro lineal de la estructura.

Partiendo de la cuaderna maestra, y puesto que el alargamiento será efectuado en el cuerpo cilíndrico, se estima el peso por metro lineal multiplicando la sección de la misma (sección de los refuerzos y planchas que la componen) por 1 metro y por la densidad del acero, siendo ésta última de 7850 kg/m^3 . A continuación se muestra una tabla con los cálculos efectuados:

ALARGAMIENTO DE UN BUQUE TIPO RO-RO.

Tabla 2. 1. Propiedades de los elementos

	ELEMENTO	ÁREA (mm²)	CANTIDA D	PESO*METRO (kg)
1	FORRO SUP	154.00	1	120,890
2	FORRO	67.000	1	525,950
3	FORRO Pantq A	5.026	1	39,454
4	FORRO Pantq B	5.026	1	39,454
5	FORRO Pantq C	5.026	1	39,454
6	FORRO Pantq D	6.897	1	54,141
7	FORRO Pantq E	5305,75	1	41,650
8	FORRO Pantq F	5305,75	1	41,650
9	FORRO Pantq G	5305,75	1	41,650
10	FORRO Pantq H	5305,75	1	41,650
11	FORRO Pantq I	5305,75	1	41,650
12	FONDO	47.975	1	376,604
13	LONG FONDO	1.620	7	89,019
14	LONG PANT A	1.620	1	12,717
15	LONG PANT B	1.620	1	12,717
16	REGALA	-	-	-
17	TAPA REGALA	-	-	-
18	LONG REGALA	-	-	-
19	CUB. SUP.	115.500	1	906,675
20	LONG CUB. SUP	1.944	10	152,604
21	ESLORAS C.SUP	7.750	1,5	91,256
22	CUB. SEG	115.500	1	906,675
23	LONG C.SEG.	1.944	10	152,604
24	ESLORAS C.SEG	7.750	1,5	91,256
25	TECHO DE FONDO	107.800	1	846,230
26	LONG T.D.FONDO	1.944	9	137,344
27	ESLORA FONDO	11.600	1	91,060
28	QUILLA VERTICAL	8337,5	1	65,449
29	QUILLA HORIZONTAL	17.325	1	136,001
			Suma=	5095,806

El peso por metro lineal de la cuaderna maestra estimado es de 5095,806 kg*m y, por lo tanto, el peso de la sección de cuerpo cilíndrico en la que se realizará el corte y posterior alargamiento es de 10191,612 kg*m puesto que la estructura es simétrica respecto a crujía. De tal forma que la variación del peso en rosca en función de la longitud alargada viene dada por la siguiente expresión:

$$\delta PR = 1019,612 (kg) * \frac{\delta L (m)}{1 (m)} \quad (2.3)$$

A continuación se calcula la variación de Peso en Rosca por metro lineal utilizando una fórmula estadística. La fórmula utilizada es la propuesta en el libro *El proyecto básico*

del buque mercante para estimar el Peso en Rosca de un buque tipo RO-RO (3.7.8.3- Buques RO-RO):

$$PR(t) = 0,03371 L_{PP}^{1,5} B D^{0,5} + 0,59996 MCO^{0,69965} + 9,5 \left(\frac{MCO}{N} \right)^{0,84999} + 0,03791 L_{PP} B D \quad (2.4)$$

Donde MCO es la Potencia máxima continua del motor propulsor en kW y N las revoluciones por minuto del motor.

Por tanto, la variación de Peso en Rosca por metro lineal se calculará del siguiente modo:

$$\delta PR = PR(L_{PP} = 91m) - PR(L_{PP} = 90m) \quad (2.5)$$

Siendo la manga del buque 16,5 m, el puntal 11,0 m, la variación de Peso en Rosca por metro lineal resultante es de:

$$\delta PR = 33204,79 (kg) \cdot \frac{\delta L (m)}{1 (m)} \quad (2.6)$$

Como se puede comprobar, la diferencia entre un método y otro es notoria. Por lo que la estimación a utilizar será la más desfavorable de las dos (segundo método), de modo que de haber sobreestimado el peso por metro lineal de la estructura resultará un margen de desplazamiento que podrá ser utilizado como Peso Muerto.

-Cálculo de la variación del peso muerto:

Para estimar cómo varía el peso muerto en función del alargamiento se comprueba que condición de carga es la más desfavorable, es decir, qué tipo de carga supone un mayor peso muerto y en consecuencia un mayor desplazamiento.

Para llevar a cabo lo dispuesto anteriormente se comprueba, para cada una de las cubiertas, qué tipo de carga tiene un mayor peso por metro de carril. Para realizar esto se tiene en cuenta un margen entre la carga rodada para poder trincarla de 0,40 metros.



Figura 2.1. Esquema de la distribución en eslora de la carga rodada.

ALARGAMIENTO DE UN BUQUE TIPO RO-RO.

Para estimar el Peso Muerto añadido se supone un peso de carga media para Roll Trailers y TEU's del 70% de su capacidad máxima, en el caso de los camiones rígidos el porcentaje de carga media será del 80%, ya que para este tipo de carga el peso de su carga interior supone un porcentaje menor del peso de la carga en su conjunto.

Tabla 2. 2

Tipo de carga	Longitud (m)	Longitud+Margen (m)	Peso medio (kg)	Peso/L.carril (kg/m)
Roll Trailers 20'	6,0	6,40	21000,00	3281,25
Roll Trailers 40'	12,0	12,40	30800,00	2493,87
Camión Rígido	14,0	14,40	20000,00	1388,89

La carga más desfavorable (la que supone un mayor Peso Muerto) son los Roll Trailers de 20 pies, en el caso del bodeguín y la bodega de entrepuente. Habrá que comprobar si en la cubierta superior lo es también ésta o, por el contrario, lo son los TEU's.

En el caso de los contenedores TEU, la disposición de la carga sobre la cubierta no se realiza del mismo modo que la carga rodada, ya que éstos no tienen por qué ir dispuestos siguiendo los carriles, además de poder apilarse 2 contenedores en altura.

En el cuerpo cilíndrico del buque se pueden disponer de 6 hileras de contenedores, juntando dos a dos y manteniendo una distancia con la siguiente pareja de 0,50 metros, tal y como se muestra en el siguiente esquema:

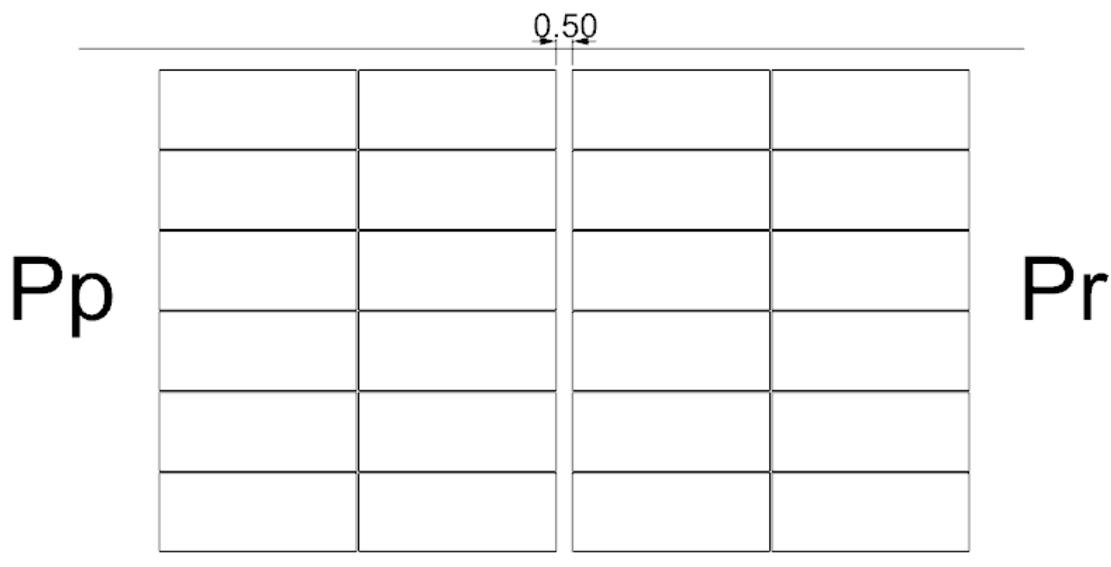


Figura 2.2. Esque de la distribución de la carga TEUs sobre la cubierta superior.

De modo que el peso de TEU's por metro de eslora es:

$$\delta PM_{TEU} = \frac{20320,0 (kg) \cdot 0,7 \cdot 6 (filas) \cdot 2 (columnas) \cdot 2 (alturas)}{6 (m) \cdot 2 + 0,5 (m)} \quad (2.7)$$

Para ver qué carga (TEU's o Roll Trailers 20') supone un mayor peso por metro de eslora, es necesario expresar el peso de Roll Trailers 20' en estos términos, para así poder comparar. El peso de Roll Trailers 20' por metro de eslora será su peso por longitud de carril multiplicado por el número de carriles en manga que hay en la cubierta superior en el cuerpo cilíndrico.

El Ro-Ro, en el lugar del alargamiento, dispone de 5 carriles de carga en las 3 distintas zonas de carga (bodeguín, bodega de entrepuente y cubierta superior), uno en crujía y dos a cada banda.



Figura 2.3. Distribución en manga de los carriles de carga en el cuerpo cilíndrico del buque.

En consecuencia, el peso de Roll Trailers 20' por metro de eslora será:

$$\delta PM_{Roll Trailers 20'} = 3281,25 \left(\frac{kg}{m} \right) \cdot 5 (carriles) \quad (2.8)$$

El peso de TEU's por metro de eslora es de 27310.08 kg/m, mientras que el peso de Roll Trailers 20' por metro de eslora es de 16406.25 kg/m.

Resumiendo, las cargas que suponen un mayor Peso Muerto son los Roll Trailers de 20 pies en bodeguín y bodega de entrepuente, y TEU's sobre la cubierta superior.

La variación de Peso Muerto resultante es:

$$\delta PM = 27310,08 + 16406,25 \cdot 2 (kg/m) \cdot \delta L (m) \quad (2.9)$$

$$\delta PM = 60122,58 \text{ (kg/m)} \cdot \delta L \text{ (m)} \quad (2.10)$$

2. Cálculo de la Resistencia al avance:

Una vez estimada la variación del desplazamiento del buque en función de la sección añadida, se vuelve a calcular la resistencia al avance mediante el mismo método utilizado en el Capítulo 1, para así poder determinar cuál será la longitud de cuerpo cilíndrico que se añadirá al RO-RO.

Para realizar lo dispuesto anteriormente, se han determinado distintos valores de δL equiespaciados, para los cuales se calcula su correspondiente desplazamiento:

$$\Delta'(\delta L) = \Delta + [\delta PR(\delta L) + \delta PM(\delta L)] \quad (2.11)$$

Tabla 2.3. Desplazamiento estimado del buque en función de la distancia alargada.

$\delta L \text{ (m)}$	$\Delta \text{ (t)}$
0	5877,381
3,2	6176,029
6,4	6474,676
9,6	6773,324
12,8	7071,972
16	7370,619
19,2	7669,267
22,4	7967,914
25,6	8266,562
28,8	8565,209
32	8863,857
35,2	9162,505
38,4	9461,152

Se realiza cada uno de los diferentes alargamientos a la carena del buque mediante el programa *Maxsurf Modeler*, posteriormente se exporta la carena a *Maxsurf Stability* donde se realiza un análisis hidrostático a la carena alargada con el valor del desplazamiento correspondiente, de modo que se obtiene el calado resultante para cada alargamiento.

Una vez obtenido el calado que resulta de alargar el buque una determinada distancia, se modifican los valores de referencia de calado y eslora entre perpendiculares en *Frame of Reference* y se calculan las hidrostáticas. De este modo se obtienen todos los datos necesarios para poder aplicar el método de *Holtrop and Mennen* a la carena alargada una vez determinada la distancia. A continuación, se muestra un resumen de los datos obtenidos de las hidrostáticas y carenas para cada uno de los valores de variación de eslora (δL):

ALARGAMIENTO DE UN BUQUE TIPO RO-RO.

Tabla 2.4. Características necesarias para calcular la resistencia al avance en función del valor del alargamiento, desde 0 hasta 12,8 metros.

Magnitud	$\delta L=0$ m	$\delta L=3,2$ m	$\delta L=6,4$ m	$\delta L=9,6$ m	$\delta L=12,8$ m
Δ (t)	5877,381	6176,029	6474,676	6773,324	7071,972
L_F (m)	95	98,049	101,243	104,436	107,632
L_{PP} (m)	90	93,194	96,389	99,583	102,779
B (m)	16.5	Cte.	Cte.	Cte.	Cte.
T (m)	6,1	6,095	6,084	6,072	6,062
∇ (m^3)	5734,03	6019,521	6310,601	6601,680	6892,759
C_B	0,0633	0,642	0,652	0,691	0,670
C_M	0,955	0,958	0,958	0,958	0,958
C_F	0,919	0,922	0,924	0,926	0,928
C_P	0,659	0,670	0,680	0,691	0,700
I_E (grados)	27	Cte.	Cte.	Cte.	Cte.
Lcb (%)	-1,34	-1,266	-1,205	-1,148	-1,094
S (m^2)	2019,029	2076,156	2160,432	2237,528	2316,934
A_{BT} (m)	6,96	Cte.	Cte.	Cte.	Cte.
h_B (m)	2,198	Cte.	Cte.	Cte.	Cte.
A_{TR} (m^2)	3,238	Cte.	Cte.	Cte.	Cte.

Tabla 2.5. Características necesarias para calcular la resistencia al avance en función del valor del alargamiento, desde 16,0 hasta 28,8 metros.

Magnitud	$\delta L=16,0$ m	$\delta L=19,2$ m	$\delta L=22,4$ m	$\delta L=25,6$ m	$\delta L=28,8$ m
Δ (t)	7370,619	7669,267	7967,914	8266,562	8565,209
L_F (m)	110,829	114,025	117,222	120,418	123,616
L_{PP} (m)	105,975	109,171	112,367	115,564	118,780
B (m)	Cte.	Cte.	Cte.	Cte.	Cte.
T (m)	6,054	6,045	6,036	6,028	6,020
∇ (m^3)	7183,839	7474,918	7765,998	8057,078	8348,157
C_B	0,679	0,686	0,694	0,701	0,707
C_M	0,958	0,958	0,958	0,958	0,958
C_F	0,929	0,931	0,932	0,935	0,935
C_P	0,708	0,716	0,724	0,732	0,739
I_E (grados)	Cte.	Cte.	Cte.	Cte.	Cte.
Lcb (%)	-1,039	-0,988	-0,955	-0,919	-0,889
S (m^2)	2397,129	2477,459	2563,218	2642,031	2721,353
A_{BT} (m)	Cte.	Cte.	Cte.	Cte.	Cte.
h_B (m)	Cte.	Cte.	Cte.	Cte.	Cte.
A_{TR} (m^2)	Cte.	Cte.	Cte.	Cte.	Cte.

Tabla 2.6. Características necesarias para calcular la resistencia al avance en función del valor del alargamiento, desde 32,0 hasta 38,4 metros.

Magnitud	$\delta L= 32,0$ m	$\delta L= 35,2$ m	$\delta L= 38,4$ m
Δ (t)	8863,857	9162,505	9461,152
L_F (m)	126,813	130,010	133,208
L_{PP} (m)	121,958	125,155	128,353
B (m)	Cte.	Cte.	Cte.
T (m)	6,014	6,008	6,002
∇ (m^3)	8639,237	8930,3164	9221,396
C_B	0,714	0,720	0,725
C_M	0,958	0,958	0,958
C_F	0,937	0,938	0,939
C_P	0,745	0,751	0,757
I_E (grados)	Cte.	Cte.	Cte.
Lcb (%)	-0,845	-0,811	-0,782
S (m^2)	2803,843	2884,099	2964,202
A_{BT} (m)	Cte.	Cte.	Cte.
h_B (m)	Cte.	Cte.	Cte.
A_{TR} (m^2)	Cte.	Cte.	Cte.

El semiángulo de entrada en la flotación y el área mojada del espejo se suponen constantes debido a que la variación de calado es muy pequeña, y la influencia de estos parámetros en la resistencia al avance es ínfima.

Una vez hallados todos los datos necesarios se estima la resistencia al avance, obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 2.7. Valores de la resistencia al avance y potencia efectiva en función de la velocidad, para un alargamiento de 3,2 metros.

$\delta L= 3.2$ m		
V (nudos)	Resistencia (kg)	EHP (cv)
9,0	6924,934	427,504
9,5	7693,300	501,324
10,0	8526,265	584,845
10,5	9425,868	678,879
11,0	10416,078	785,921
11,5	11523,007	908,962
12,0	12704,166	1045,705
12,5	14020,168	1202,113
13,0	15586,066	1389,830
13,5	17368,847	1608,373
14,0	19217,524	1845,472

ALARGAMIENTO DE UN BUQUE TIPO RO-RO.

Tabla 2.8. Valores de la resistencia al avance y potencia efectiva en función de la velocidad, para un alargamiento de 6,4 metros.

δL= 6.4 m		
V (nudos)	Resistencia (kg)	EHP (cv)
9,0	7122,561	439,704
9,5	7913,905	515,699
10,0	8767,216	601,373
10,5	9696,430	698,366
11,0	10701,313	807,443
11,5	11834,693	933,548
12,0	13066,700	1075,546
12,5	14382,832	1233,208
13,0	15915,721	1419,226
13,5	17734,903	1642,270
14,0	19709,154	1892,683

Tabla 2.9. Valores de la resistencia al avance y potencia efectiva en función de la velocidad, para un alargamiento de 9,6 metros.

δL= 9.6 m		
V (nudos)	Resistencia (kg)	EHP (cv)
9,0	7303,034	450,845
9,5	8115,089	528,809
10,0	8988,204	616,531
10,5	9942,860	716,115
11,0	10971,283	827,813
11,5	12113,510	955,542
12,0	13396,955	1102,730
12,5	14748,572	1264,567
13,0	16243,509	1448,455
13,5	18040,522	1670,570
14,0	20111,796	1931,349

Tabla 2.10. Valores de la resistencia al avance y potencia efectiva en función de la velocidad, para un alargamiento de 12,8 metros.

δL= 12.8 m		
V (nudos)	Resistencia (kg)	EHP (cv)
9,0	7484,689	462,060
9,5	8315,956	541,898
10,0	9211,544	631,851
10,5	10184,507	733,519
11,0	11244,215	848,406
11,5	12392,415	977,543
12,0	13702,011	1127,840
12,5	15112,901	1295,805
13,0	16599,949	1480,240
13,5	18338,196	1698,135
14,0	20426,214	1961,543

ALARGAMIENTO DE UN BUQUE TIPO RO-RO.

Tabla 2.11. Valores de la resistencia al avance y potencia efectiva en función de la velocidad, para un alargamiento de 16,0 metros.

δL= 16.0 m		
V (nudos)	Resistencia (kg)	EHP (cv)
9,0	7665,219	473,205
9,5	8515,825	554,922
10,0	9433,991	647,109
10,5	10423,701	750,746
11,0	11512,471	868,647
11,5	12677,995	1000,070
12,0	13991,156	1151,640
12,5	15458,673	1325,452
13,0	16978,526	1513,998
13,5	18662,051	1728,125
14,0	20703,498	1988,171

Tabla 2.12. Valores de la resistencia al avance y potencia efectiva en función de la velocidad, para un alargamiento de 19,2 metros.

δL= 19.2 m		
V (nudos)	Resistencia (kg)	EHP (cv)
9,0	7846,033	484,367
9,5	8717,037	568,034
10,0	9655,897	662,330
10,5	10666,463	768,231
11,0	11776,410	888,562
11,5	12973,573	1023,386
12,0	14283,275	1175,685
12,5	15785,500	1353,475
13,0	17371,327	1549,024
13,5	19032,973	1762,472
14,0	20995,282	2016,191

Tabla 2.13. Valores de la resistencia al avance y potencia efectiva en función de la velocidad, para un alargamiento de 22,4 metros.

δL= 22.4 m		
V (nudos)	Resistencia (kg)	EHP (cv)
9,0	8042,885	496,519
9,5	8936,110	582,310
10,0	9895,984	678,799
10,5	10933,524	787,465
11,0	12060,149	909,970
11,5	13296,516	1048,860
12,0	14615,165	1203,003
12,5	16125,057	1382,589
13,0	17787,121	1586,101
13,5	19478,805	1803,757
14,0	21366,231	2051,813

ALARGAMIENTO DE UN BUQUE TIPO RO-RO.

Tabla 2.14. Valores de la resistencia al avance y potencia efectiva en función de la velocidad, para un alargamiento de 25,6 metros.

δL= 25.6 m		
V (nudos)	Resistencia (kg)	EHP (cv)
9,0	8220,638	507,493
9,5	9133,354	595,163
10,0	10113,034	693,687
10,5	11175,180	804,870
11,0	12317,427	929,383
11,5	13583,376	1071,488
12,0	14928,816	1228,821
12,5	16425,755	1408,372
13,0	18139,563	1617,529
13,5	19904,439	1843,171
14,0	21749,609	2088,629

Tabla 2.15. Valores de la resistencia al avance y potencia efectiva en función de la velocidad, para un alargamiento de 28,8 metros.

δL= 28.8 m		
V (nudos)	Resistencia (kg)	EHP (cv)
9,0	8395,965	518,317
9,5	9327,497	607,814
10,0	10328,152	708,442
10,5	11410,503	821,819
11,0	12574,514	948,781
11,5	13856,388	1093,024
12,0	15241,884	1254,590
12,5	16729,217	1434,391
13,0	18455,006	1645,657
13,5	20306,401	1880,393
14,0	22164,411	2128,463

Tabla 2.16. Valores de la resistencia al avance y potencia efectiva en función de la velocidad, para un alargamiento de 32,0 metros.

δL= 32.0 m		
V (nudos)	Resistencia (kg)	EHP (cv)
9,0	8575,759	529,416
9,5	9526,825	620,803
10,0	10548,901	723,584
10,5	11649,358	839,022
11,0	12840,014	968,813
11,5	14131,770	1114,747
12,0	15556,279	1280,468
12,5	17053,822	1462,223
13,0	18763,731	1673,187
13,5	20682,599	1915,229
14,0	22602,697	2170,552

ALARGAMIENTO DE UN BUQUE TIPO RO-RO.

Tabla 2.17. Valores de la resistencia al avance y potencia efectiva en función de la velocidad, para un alargamiento de 35,2 metros.

$\delta L = 35.2 \text{ m}$		
V (nudos)	Resistencia (kg)	EHP (cv)
9,0	8749,555	540,145
9,5	9719,883	633,383
10,0	10761,773	738,186
10,5	11880,613	855,677
11,0	13096,944	988,199
11,5	14400,769	1135,966
12,0	15852,612	1304,860
12,5	17381,802	1490,345
13,0	19066,591	1700,193
13,5	21018,439	1946,329
14,0	23030,381	2211,623

Tabla 2.18. Valores de la resistencia al avance y potencia efectiva en función de la velocidad, para un alargamiento de 38,4 metros.

$\delta L = 38.4 \text{ m}$		
V (nudos)	Resistencia (kg)	EHP (cv)
9,0	8923,227	550,866
9,5	9912,731	645,950
10,0	10973,612	752,717
10,5	12113,455	872,447
11,0	13351,146	1007,380
11,5	14675,596	1157,645
12,0	16140,700	1328,573
12,5	17715,828	1518,985
13,0	19386,414	1728,712
13,5	21333,634	1975,516
14,0	23439,338	2250,895

3. Determinación del alargamiento.

Para determinar la magnitud del alargamiento es necesario conocer la potencia efectiva (EHP) máxima disponible que permite alcanzar el sistema propulsor (motor-reductora-hélice) instalado en el buque. Como uno de los principales requisitos del proyecto es realizar el alargamiento sin tener que cambiar la planta propulsora en base a una pérdida de velocidad, los coeficientes tanto mecánicos como propulsivos se mantendrán o se supondrá que no variarán como consecuencia de la variación del casco del buque.

Por tanto la potencia efectiva (EHP) disponible tras el alargamiento será la obtenida solicitando al motor la misma potencia (BHP) que se necesita para conseguir la velocidad de proyecto de 13,8 nudos para el buque original. Se calcula mediante la siguiente expresión:

$$EHP_{Disponibles}(cv) = BHP(cv) K_P \eta_M \eta_R \eta_H \eta_O \left(1 - \frac{Margen(\%)}{100}\right) \quad (2.12)$$

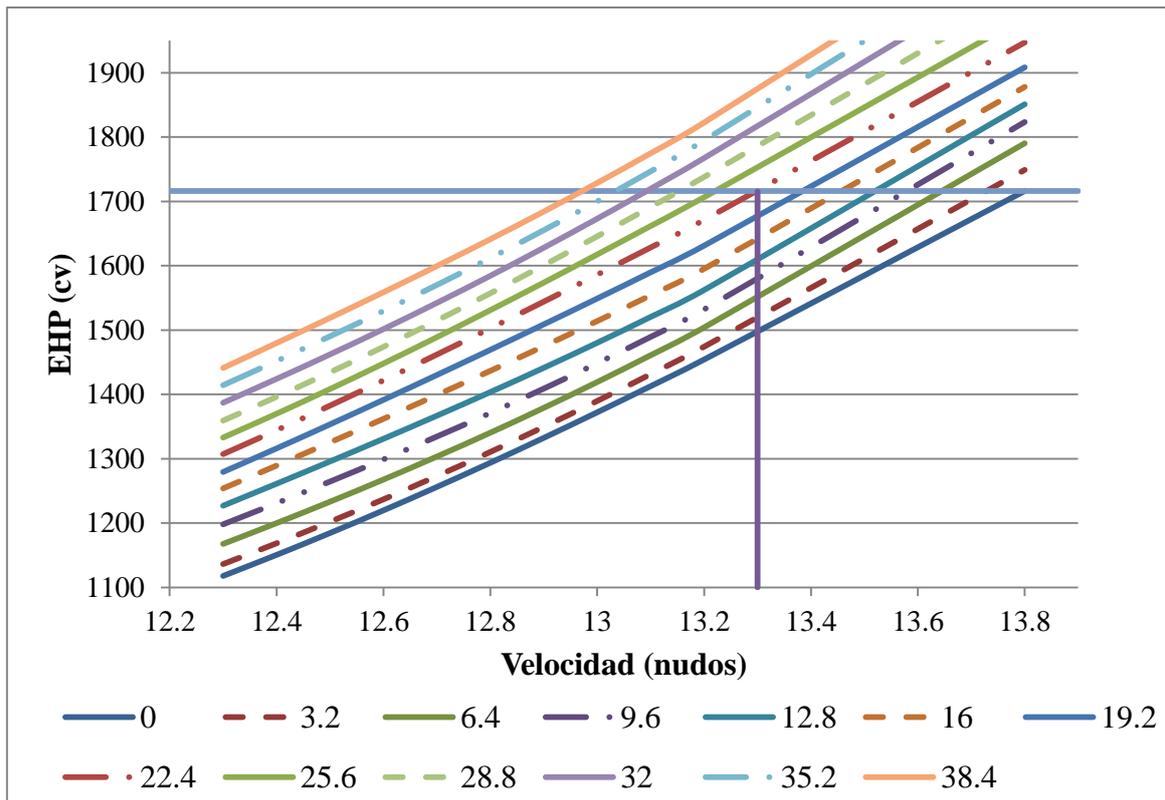
Donde:

Tabla 2.19. Cálculo de la potencia efectiva disponible.

BHP (cv)	5521,741
K _P	0,85
η _M	0,94
η _R	1,004
η _H	1,083
η _O	0,539
Margen (%)	33,68
EHP_{Disponibles} (cv)	1716,24

Dado que el requerimiento del proyecto es que el buque tenga una pérdida de velocidad máxima de 0,5 nudos, el alargamiento máximo que se podrá realizar será aquel cuya velocidad, para una potencia efectiva de 1716,24 cv, no sea menor de 13,3 nudos.

Representándose la potencia efectiva en función de la velocidad, y trazando una recta horizontal a la potencia efectiva de 1716,24 cv, se comprueba, para cada uno de los distintos alargamientos, qué velocidad alcanzaría el buque. Véase Gráfica 2.1.



Gráfica 2.1. Representación de la potencia efectiva en función de la velocidad para cada valor de alargamiento.

Como puede observarse, la pérdida máxima de 0,5 nudos se alcanza para un alargamiento de 22,4 metros.

La variación de eslora, para la cual, la pérdida de velocidad alcanza el valor máximo de 0,5 nudos, no es un múltiplo de la longitud de la carga y de este modo no se rentabilizará al máximo la capacidad de carga en función de la distancia alargada. Por lo tanto se obstará por alargar el buque el múltiplo de la longitud de carga inmediato superior o inferior a la distancia de 22,4 metros.

Optando por el múltiplo inmediato inferior, la velocidad alcanzada por el buque estaría dentro del margen de pérdida de velocidad máxima de 0,5 nudos. Por el contrario, si se opta por el múltiplo inmediato superior, la velocidad alcanzada por el buque sería menor de 13,3 nudos. Se calculará la velocidad alcanzada para el alargamiento correspondiente al múltiplo inmediato superior, y se valora si la diferencia entre esta velocidad y la correspondiente a la pérdida máxima (13,3 nudos) se compensa con el aumento de la capacidad de carga.

- Cálculo del múltiplo inmediatamente superior:

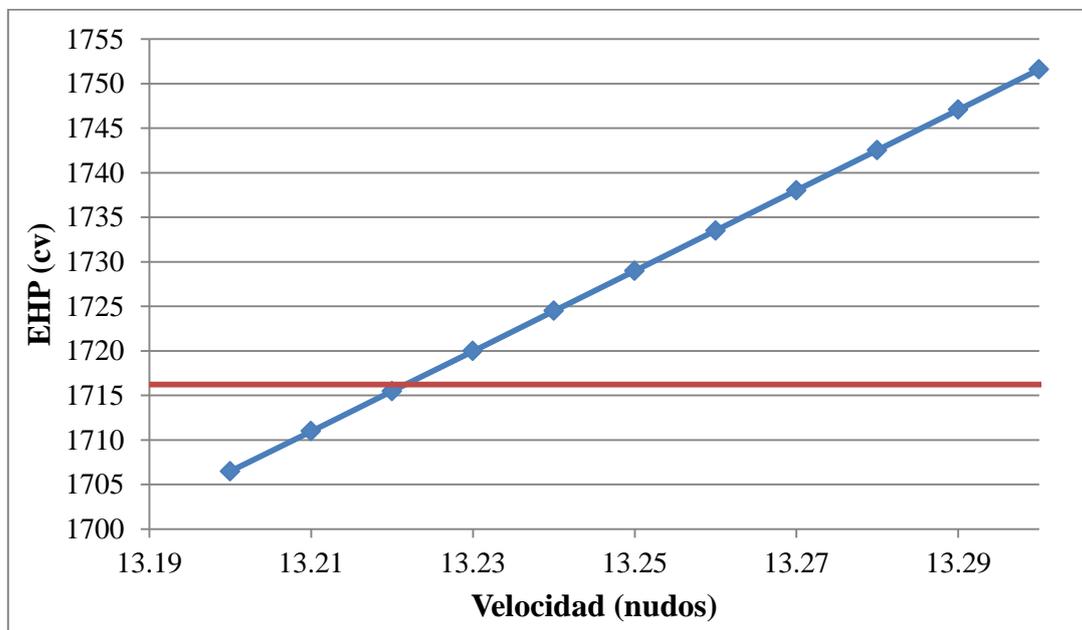
Para obtener el múltiplo inmediatamente superior a 22,4 metros, primero se ha de determinar cuál es el tipo de carga de referencia. Dado que los tipos de carga más restrictivos (como se ha visto en el apartado 1) son Roll Trailers de 20 pies tanto en

bodeguín como en bodega de entrepuente y TEU's sobre cubierta superior, y que la longitud requerida para estos tipos de carga es de 6,40 y 6,25 metros respectivamente, la longitud de referencia seleccionada es de 6,40 metros.

Dividiendo la longitud de 22,4 metros entre la longitud de referencia, se obtiene un factor de 3,5, por lo tanto el factor por el que habrá que multiplicar la longitud de referencia para obtener el múltiplo inmediato superior a 22,4 m es 4. Multiplicando la longitud de referencia por 4 se obtiene un alargamiento de 25,6 metros.

- Cálculo de la velocidad alcanzada:

Si se representa la Potencia Efectiva (EHP) frente a la velocidad para un alargamiento de 25,6 metros, se puede estimar la velocidad que alcanzaría el buque cortando la curva anterior con una recta horizontal que pase por una potencia efectiva de 1716,24 cv, véase Gráfica 2.2.



Gráfica 2.2. Potencia efectiva en función de la velocidad para un alargamiento de 25,6 metros.

La velocidad estimada que alcanza el buque, con un porcentaje de error muy pequeño, es de 13,223 nudos.

La pérdida de velocidad añadida que supone alargar el buque 25,6 metros con respecto a la velocidad de 13,3 nudos es mínima. Y comparándolo con la ventaja de rentabilizar al máximo la capacidad de carga, hace que se estime oportuno decantarse por un **alargamiento final de 25,6 metros.**

CAPÍTULO 3: ESTADO DEL BUQUE TRAS EL ALARGAMIENTO

1. Adaptación del Modelo 3D a las nuevas dimensiones.

Una vez determinada la eslora de la sección añadida al buque Ro-Ro, se modifica el Modelo 3D realizado de la carena original del buque para adaptarlo a la nueva forma. Dado que el alargamiento se realiza añadiendo una sección de cuerpo cilíndrico, de sección igual a la maestra y eslora 25,6 metros, no se verán afectados manga, puntal y área de la sección maestra. La principal modificación será en la eslora total del barco, que aumenta en la misma magnitud que la sección añadida.

Para llevar a cabo la transformación, se parte del archivo de *Maxsurf Modeler* con la carena original, se seleccionan todos los puntos de control pertenecientes a la mitad de Proa (desde la sección 10 en adelante, ésta no incluida) de la superficie y se desplazan longitudinalmente (manteniendo las coordenadas transversales y verticales) una distancia de 25,6 metros. Una vez realizado lo anterior, se añade una fila de puntos de control (véase Figura 3.1.) a una distancia longitudinal respecto el origen de 70,6 metros (25,6 m respecto a la sección 10), y se hace coincidir la posición transversal y vertical de los mismos con la posición de los respectivos puntos de control de la sección 10. De este modo se mantiene la forma del cuerpo cilíndrico, quedando así adaptado el Modelo 3D a la carena del buque alargado, véase Figura 3.2.

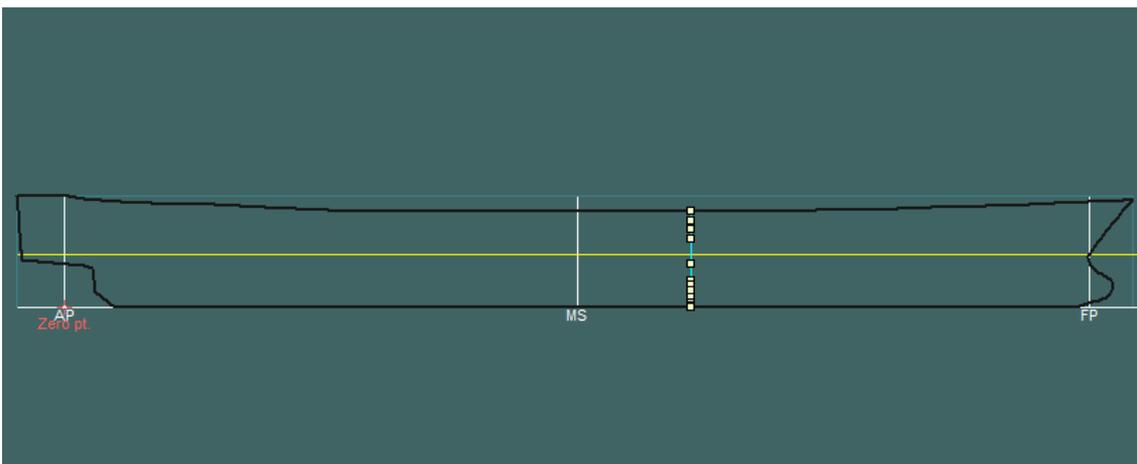


Figura 3. 1. Fila de puntos de control sobre la superficie de la carena a 25,6 m de la sección 10.

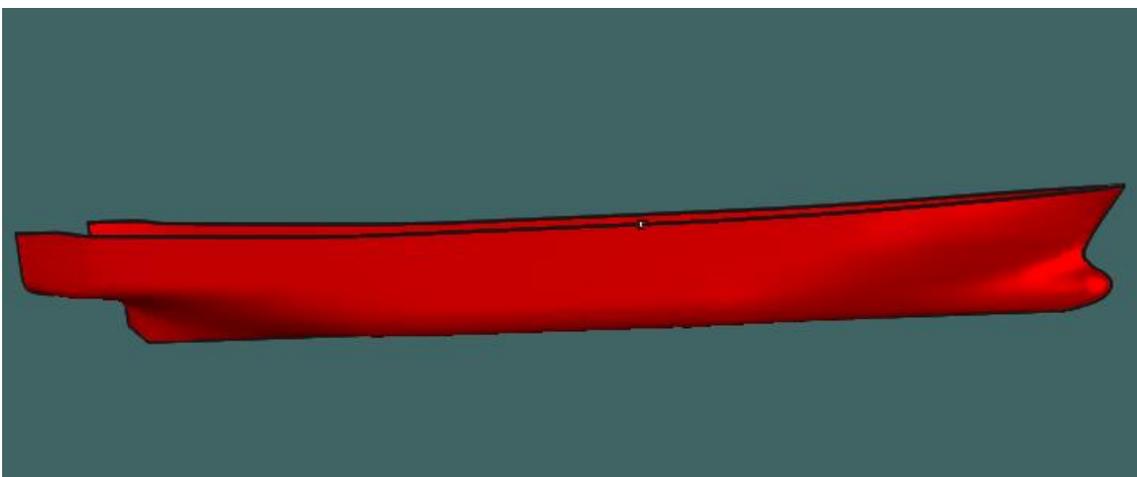
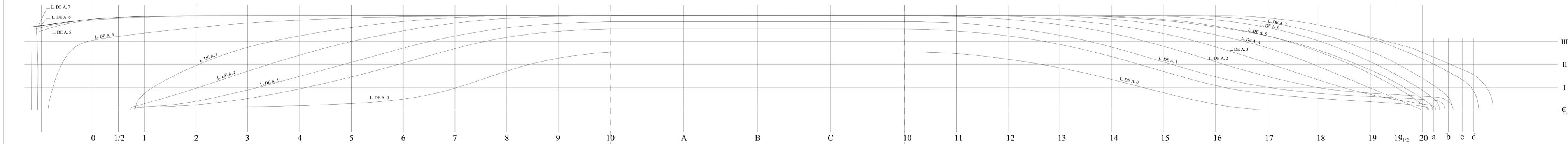
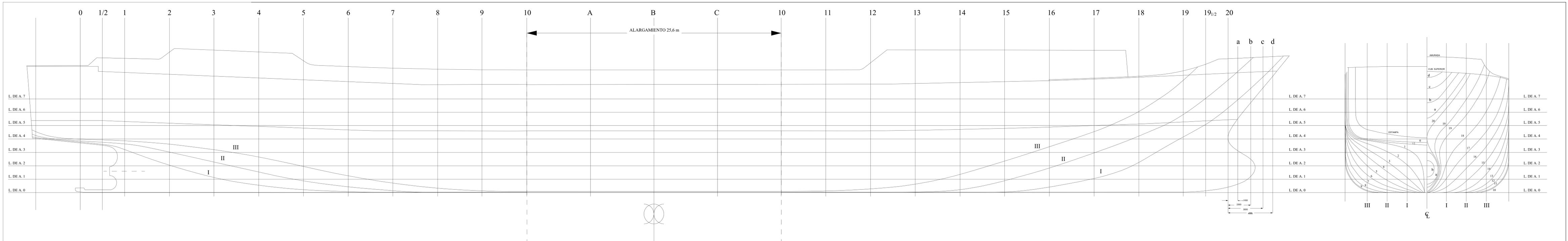


Figura 3. 2. Modelo 3D de la carena alargada.

2. Nuevo plano de formas.

Una vez modificada la carena, se puede realizar un nuevo plano de formas. Es realizado de la misma forma que el plano de formas del buque original, exceptuando que se añaden 3 secciones nuevas en la zona alargada (sección A, sección B y sección C), con una distancia entre secciones en la zona alargada de 6,4 metros.



CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

Eslera total	127,100 m.
Eslera entre perpendiculares	115,600 m.
Calado de trazado	5,450 m.
Manga de trazado	16,150 m.
Puntal en la cub. Superior	11,000 m.
Puntal en la cub. Segunda	6,250 m.
Separación entre líneas de agua	1,3625 m.
Separación entre secciones	4,500 m.
Separación entre secciones zona alargada	6,400 m.
Separación entre longitudinales	2,000 m.

Universidad Politécnica de Cartagena

BUQUE TIPO RO-RO

PLANO DE FORMAS

ESCALA	ARCHIVO: Formas	 FDO. RUBÉN DE LA CERDA SÁNCHEZ
1:100	FECHA: Abril 2019	
PLANO Nº: 1		Nº HOJAS: 1

3. Disposición general del buque Ro-Ro alargado.

Una vez, realizado el alargamiento, se puede realizar un nuevo plano de disposición general del buque. Se han añadido 4 nuevos tanques en el doblefondo, uno en cada costado, de lastre, y otros dos en crujía, de combustible.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20

A

B

C

D

E

F

G

H

I

J

A

B

C

D

E

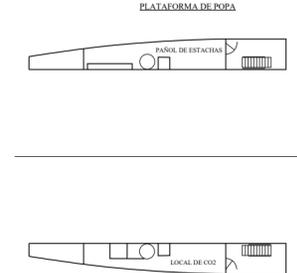
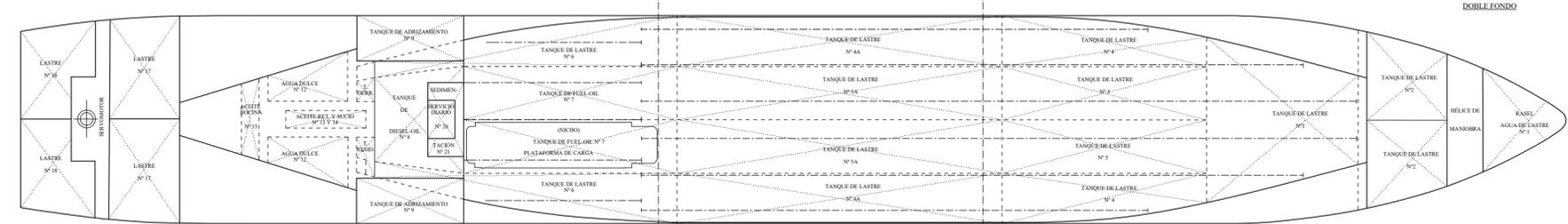
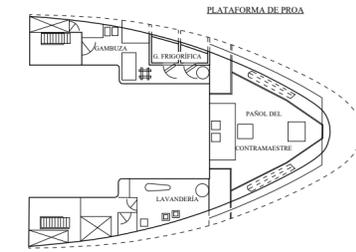
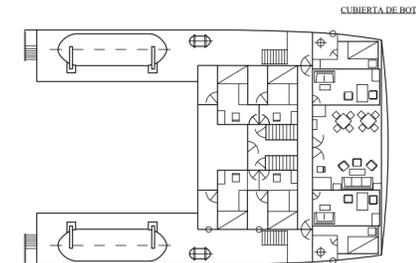
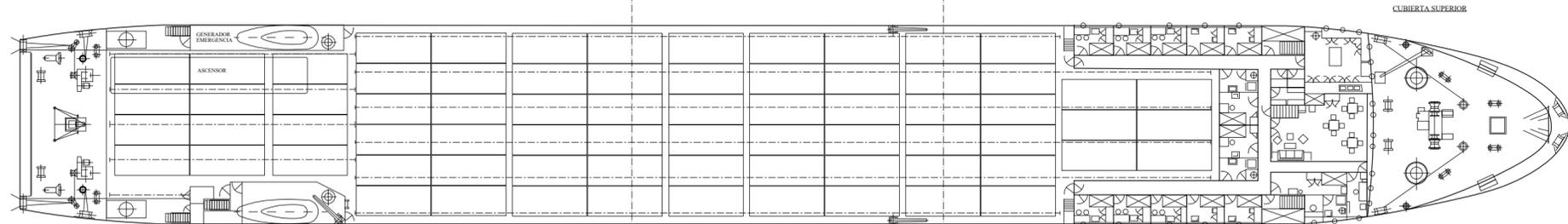
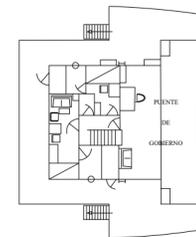
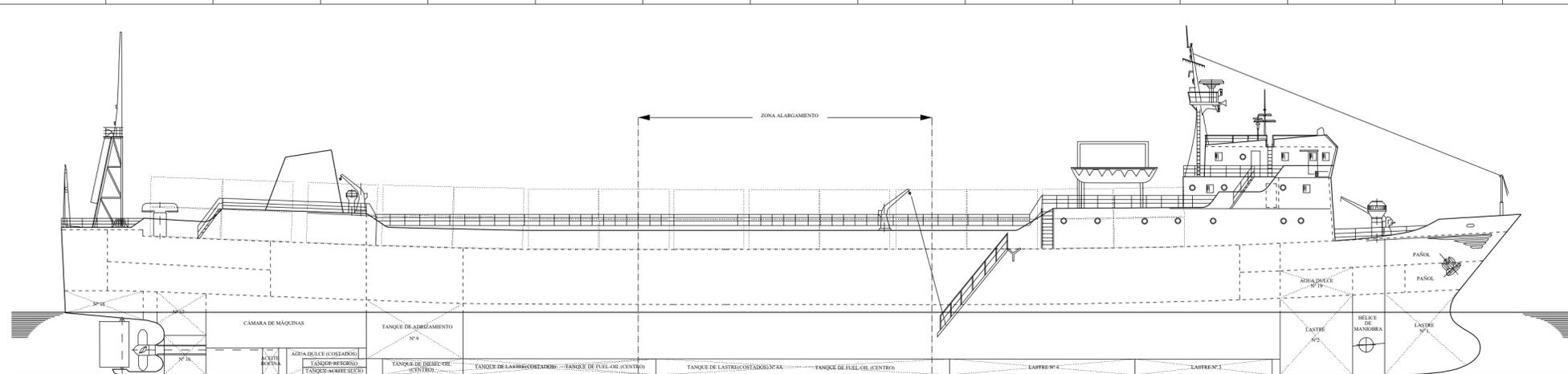
F

G

H

I

J



CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

Eslera entre perpendiculares	115.600 m.
Calado de trazado	5.450 m.
Manga de trazado	16.500 m.
Puntal cubierta superior	11.000 m.
Puntal cubierta segunda	6.250 m.
Metros lineales	1.202.500 m.

Universidad Politécnica de Cartagena		ETSINO
Buque tipo Ro-Ro		
PLANO DE DISPOSICIÓN GENERAL		
ESCALA	ARCHIVO: Disposición	
1:350	FECHA: Abril 2019	
	PLANO Nº: 1	Nº HOJAS: 1
	FDO. RUBÉN DE LA CERDA SÁNCHEZ	

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20

4. Nueva capacidad de carga.

Al realizar el alargamiento se consigue aumentar el espacio disponible para la carga y en consecuencia la capacidad de carga del buque Ro-Ro, objeto de este proyecto. Como se ha comentado anteriormente, la característica que mejor define la capacidad de carga de este tipo de buque es la longitud de carril o metros lineales. Mencionado esto, a continuación se muestra como ha variado esta magnitud como consecuencia de la modificación del barco.

Tanto en la cubierta superior como en la bodega de entrepuente, se mantiene la disposición existente de los carriles de carga, así que el alargamiento supone aumentar la longitud de carril existente antes del alargamiento en un valor igual a la magnitud del alargamiento multiplicada por el número de carriles de carga que hay en la sección donde se realiza el alargamiento. Dado que la distancia alargada es de 25,6 metros y el número de carriles de carga en la sección del alargamiento es 5, el aumento de metros lineales en ambas zonas de carga es de 128 m.

En el caso del bodeguín no ocurre lo mismo, ya que en esta zona de carga, tras el alargamiento, se puede reorganizar la disposición de los carriles para maximizar la capacidad de carga de esta bodega, resultando una disposición tal y como se muestra en el plano de disposición general. Los metros lineales tras el alargamiento será la suma de cada uno de los distintos carriles, siendo esta de 302,5 m.

En la Tabla 3.1 se muestra un resumen de la capacidad de carga antes y después del alargamiento.

ALARGAMIENTO DE UN BUQUE TIPO RO-RO.

Tabla 3.1. Comparación capacidad de carga antes y después del alargamiento.

	ANTES	DESPUÉS
Bodeguín		
Metros lineales	123,5	302,5
Roll Trailers 20'	19	45
Roll Trailers 40'	10	22
Camión rígido (14 m)	8	18
Bodega de Entrepunte		
Metros lineales	384,5	512,5
Roll Trailers 20'	60	81
Roll Trailers 40'	29	38
Camión rígido (14 m)	20	33
Cubierta Superior		
Metros lineales	259,5	387,5
Roll Trailers 20'	35	61
Roll Trailers 40'	15	26
Camión rígido (14 m)	15	23
TEU's	44 (+44)	72 (+72)
Total		
Metros lineales	767,5	1.202,5
Roll Trailers 20'	114	187
Roll Trailers 40'	54	86
Camión rígido (14 m)	43	74
TEU's	44 (+44)	72 +72)

5. Cálculo del nuevo Peso en Rosca.

El Peso en Rosca del buque Ro-Ro tras realizar el alargamiento será la suma del Peso en Rosca del buque original más el peso de la sección añadida. El Peso en Rosca del buque base de este TFG es un dato del que se dispone, siendo este de 1.785, 611 toneladas.

El peso de la sección añadida será el Peso en Rosca por metro lineal, estimado en el Capítulo 2, multiplicado por la longitud alargada.

$$P_{sección} = 33,205 \left(\frac{kg}{m} \right) \cdot 25,6(m) = 850,043 \text{ kg} \quad (3.1)$$

Por tanto, el **Peso en Rosca** del buque alargado es de **2.635,653 toneladas**.

La posición vertical del centro de gravedad del Peso en Rosca tras el alargamiento ($v.c.g.'$) se calcula teniendo en cuenta la variación que sufre la posición original del centro de gravedad al añadir la sección, véase la Fórmula 3.

$$v.c.g.' = \frac{PR \cdot v.c.g. + P_{sección} \cdot v.c.g._{sección}}{PR'} \quad (3.2)$$

Donde,

PR = Peso en Rosca del buque antes del alargamiento, en toneladas.

$v.c.g.$ = Posición vertical del centro de gravedad del Peso en Rosca del buque antes del alargamiento, en metros.

$P_{sección}$ = Peso de la sección añadida al buque, en toneladas.

$v.c.g._{sección}$ = Posición vertical del centro de gravedad de la sección añadida al buque, en metros.

PR' = Peso en Rosca del buque tras el alargamiento, en toneladas.

La posición vertical del centro de gravedad del buque en rosca antes del alargamiento, también es un dato del que se dispone, por lo que tan solo falta por conocer la posición vertical del centro de gravedad de la sección añadida. Este dato se estimará teniendo en cuenta la distribución del peso de los elementos de la cuaderna maestra, véase Tabla 3.2.

ALARGAMIENTO DE UN BUQUE TIPO RO-RO.

Tabla 3.2. Cálculo del centro de gravedad de la cuaderna maestra.

	ELEMENTO	(1) PESO*METRO (kg)	(2) V.C.G. (m)	(1)*(2)
1	FORRO SUP	120,890	10,45	1263,301
2	FORRO	525,950	6,55	3444,973
3	FORRO Pantq A	39,454	2,95	116,390
4	FORRO Pantq B	39,454	2,45	96,663
5	FORRO Pantq C	39,454	2	78,908
6	FORRO Pantq D	54,141	1,45	78,505
7	FORRO Pantq E	41,650	0,95	39,568
8	FORRO Pantq F	41,650	0,6	24,990
9	FORRO Pantq G	41,650	0,3	12,495
10	FORRO Pantq H	41,650	0,12	4,998
11	FORRO Pantq I	41,650	0,02	0,833
12	FONDO	376,604	0	0,000
13	LONG FONDO	89,019	0,1044	9,294
14	LONG PANT A	12,717	0,306	3,891
15	LONG PANT B	12,717	0,6566	8,350
16	REGALA	-	-	-
17	TAPA REGALA	-	-	-
18	LONG REGALA	-	-	-
19	CUB. SUP.	906,675	11	9973,425
20	LONG CUB. SUP	152,604	10,9	1663,384
21	ESLORAS C.SUP	91,256	10,643	971,240
22	CUB. SEG	906,675	6,25	5666,719
23	LONG C.SEG.	152,604	6,15	938,515
24	ESLORAS C.SEG	91,256	5,893	537,773
25	TECHO DE FONDO	846,230	1,45	1227,034
26	LONG T.D.FONDO	137,344	1,35	185,414
27	ESLORA FONDO	91,060	0,725	66,019
28	QUILLA VERTICAL	65,449	1,45	94,902
29	QUILLA HORIZONTAL	136,001	0,0075	1,020
	Suma=	5095,806	Suma=	26.508,600

$$v. c. g. sección = \frac{26.508,600}{5.095,806} = 5,202 m \quad (3.3)$$

Una vez obtenida la posición vertical del centro de gravedad de la sección, se puede calcular la posición vertical del centro de gravedad del buque alargado en rosca, en la Tabla 3.3 se muestran los resultados de aplicar la Fórmula 3.2.

Tabla 3.3. Cálculo de la posición vertical del centro de gravedad del PR del buque tras el alargamiento.

<i>PR</i> (t)	1.785,611
<i>v.c.g.</i> (m)	8,288
<i>P</i> _{sección} (t)	850,043
<i>v.c.g.sección</i> (m)	5,202
<i>PR'</i> (t)	2.635,653

v.c.g.' (m)	7,292
-------------	-------

La posición longitudinal del centro de gravedad del Peso en Rosca tras el alargamiento (l.c.g.) será el resultado de realizar dos procesos. Primero, de separar las dos mitades del buque una distancia de 25,6 metros (sin añadir masa) y, segundo, una vez separadas ambas mitades, añadir la sección de 25,6 metros entre ambas (añadiendo la masa correspondiente a la sección de 25,6 m).

Para poder calcular como varía la posición longitudinal del centro de gravedad al separar ambas mitades (primer proceso), es necesario conocer el peso de cada una de ellas y sus centros de gravedad. Esta información se obtendrá resolviendo el sistema de ecuaciones formado por las Fórmulas 3.4 y 3.5.

$$M1 \cdot CG1 + M2 \cdot CG2 = M3 \cdot CG3 \quad (3.4)$$

$$M1 + M2 = M3 \quad (3.5)$$

Donde,

$M1$ = masa de la mitad de popa del buque, en toneladas.

$CG1$ = centro de gravedad de la mitad de popa del buque, en metros.

$M2$ = Masa de la mitad de proa del buque, en toneladas.

$CG2$ = centro de gravedad de la mitad de proa del buque, en metros.

$M3$ = masa de ambas mitades del buque (Peso en Rosca del buque original), en toneladas.

$CG3$ = centro de gravedad de ambas masas, (Posición longitudinal del centro de gravedad del buque original en rosca), en metros.

$M3$ y $CG3$ son conocidos, siendo 1785,611 toneladas y 41,369 metros, respectivamente. El centro de gravedad de cada una de las mitades ($CG1$ y $CG2$) se supondrá que se encuentra en el centro de cada una de las mitades, es decir, $CG1$ estará a 1/4 de la eslora entre perpendiculares desde la perpendicular de popa ($CG1=22,5$ m) y $CG2$ estará a 1/4 de la eslora entre perpendiculares desde la perpendicular de proa ($CG2=67,5$ m). Resolviendo el sistema anterior, se obtiene unos valores de $M1$ y $M2$ de 1036,892 t y 748,718 t, respectivamente.

Una vez conocidos los datos anteriores, se puede calcular la variación de la posición longitudinal del centro de gravedad del buque en rosca producida por la separación de ambas mitades, según la Fórmula 3.6.

$$gg_1 = \frac{M2 \cdot 25,6}{PR} = \frac{748,718 \cdot 25,6}{1.785,611} = 10,734 \text{ m} \quad (3.6)$$

La posición resultante de este proceso será, por tanto, la posición inicial más la variación, obteniéndose una posición longitudinal del centro de gravedad del buque en rosca con ambas mitades separadas de 52,103 metros.

Una vez separadas ambas mitades, se añade la sección de 25,6 metros entre ambas (segundo proceso). La posición longitudinal del centro de gravedad del buque en rosca, resultante de realizar este segundo proceso, se calcula mediante la Fórmula 3.7.

$$l.c.g.' = \frac{PR \cdot 52,103 + P_{sección} \cdot l.c.g._{sección}}{PR'} \quad (3.7)$$

Donde $l.c.g.'$ es la posición longitudinal del centro de gravedad de la sección añadida, el cual se encuentra en la mitad de la sección, ya que la sección añadida se supone uniforme longitudinalmente. Dado que la sección mide 25,6 metros y que el inicio de la misma se encuentra coincidiendo con la sección media del buque sin alargar (45 metros), la posición longitudinal del centro de gravedad de la sección estará a $45+25,6/2= 57,8$ metros.

Aplicando la Fórmula 3.7 se obtiene una **posición longitudinal del centro de gravedad del Peso en Rosca** del buque tras el alargamiento de **53,94 metros**.

CAPÍTULO 4: CÁLCULO DEL ARQUEO, FRANCOBORDO Y NUEVA AUTONOMÍA

1. Cálculo del Francobordo.

El francobordo se define como la distancia vertical, medida en la sección media del buque, entre el borde superior de la línea de cubierta y el borde superior de la línea de francobordo. El francobordo es un elemento muy importante a tener en cuenta en el proyecto de un buque, y debe tener un valor mínimo, que será función del tipo de buque y sus características, establecido según el *Convenio Internacional de Líneas de Carga* de 1966.

Definiciones a tener en cuenta en el cálculo del francobordo:

- Eslora de francobordo (L): se tomará como eslora el 96% de la eslora total medida en una flotación cuya distancia al canto alto de la quilla sea igual al 85% del puntal mínimo de trazado, o la eslora medida en esa flotación desde la cara proel de la roda hasta el eje de la mecha del timón, si esta segunda magnitud es mayor.
- Manga de francobordo (B): será la manga máxima del buque, medida en el centro del mismo hasta la línea de trazado de la cuaderna.
- Puntal de trazado: será la distancia vertical medida desde el canto alto de la quilla hasta el canto alto del bao de la cubierta de francobordo en el costado.
- Puntal de francobordo (D): será el puntal de trazado en el centro del buque más el espesor de la cubierta de francobordo en el costado.
- Cubierta de francobordo: será normalmente la cubierta completa más alta expuesta a la intemperie y a la mar, dotados de medios permanentes de cierre en todas las aberturas en la parte expuesta de la misma, y bajo la cual todas las aberturas en los costados del buque estén dotadas de medios permanentes de cierre estanco.
- Coeficiente de bloque (C_b): vendrá dado por la Fórmula 4.1.

$$C_b = \frac{\nabla}{L \cdot B \cdot d_i} \quad (4.1)$$

Donde,

∇ = volumen del desplazamiento de trazado del buque, excluidos los apéndices, tomado a un calado de trazado d_i .

d_i = el 85% del puntal mínimo de trazado.

Tabla 4.1 Resumen de los datos necesarios para el cálculo del francobordo

Datos para el cálculo del francobordo	
Puntal mínimo de trazado (m)	6,25
Flotación al 85% del puntal de trazado (m)	5,313
Eslora $L_{Total} \cdot 0,96$ (m)	113,3
Eslora al eje de la mecha del timón (m)	115,6
Eslora de francobordo (m)	115,6
Manga de francobordo (m)	16,5
Espesor de la plancha de trancañil (mm)	14
Puntal de francobordo (m)	6,264
Volumen de desplazamiento al 85% del puntal (m ³)	6974,4
Coefficiente de bloque C_b	0,688

1.1. Francobordo tabular.

Dado que el buque es tipo B (Regla 27), el francobordo tabular es el obtenido de la tabla de francobordo para buques tipo B (Regla 28).

Tabla 4.2. Cálculo del francobordo tabular para buques tipo B

Eslora del buque (m)	Francobordo tabular (mm)
115	1587
116	1609
115,6	1600,2

1.2. Corrección por eslora inferior a 100 metros.

No aplica.

1.3. Corrección por coeficiente de bloque.

Según la Regla 30 del convenio, cuando el coeficiente de bloque sea superior a 0,68, el francobordo tabular se multiplica por el factor $(C_b+0,68)/1,36$.

En este caso, la **corrección por coeficiente de bloque** resultante es de **1,006**.

1.4. Corrección por puntal.

Según la Regla 31 del convenio, cuando D exceda de $L/15$, el francobordo se aumentará en $(D-L/15)R$ mm, siendo $R = L/0,48$ para esloras inferiores a 120 m y 250 para esloras de 120 m o mayores.

En este caso, D es menos de $L/15$, pero como el buque tiene superestructura cerrada que cubre más de $0,6 L$, también se aplica la corrección anterior (Regla 31.2).

El valor de la **corrección por puntal** resultante es de **-350,81 mm**.

1.5. Corrección por superestructuras.

Según la Regla 37 del convenio, cuando la longitud efectiva de superestructuras y troncos sea igual a 1 L, la reducción del francobordo será de 350 mm para 24 m de eslora del buque, 860 mm para 85 m de eslora y 1.070 mm para 122 m de eslora y esloras superiores. Para esloras intermedias se obtendrá por interpolación lineal.

Tabla 4.3. Cálculo de la longitud efectiva de superestructuras.

	Longitud (m)	Altura (m)	Long. Efectiva
Superestructura cerrada	115,6	4,7	115,6
TOTAL S=	115,6	E=	115,6

Porcentaje cubierto:

$$S/L = 1$$

$$E/L = 1$$

Tabla 4.4. Cálculo de la reducción de francobordo por superestructuras.

Eslora del buque (m)	Reducción por superestructura (mm)
85	860
122	1.070
115,6	1.033,68

1.6. Corrección por arrufo.

Siguiendo la Regla 38 del convenio,

Altura normal de la superestructura = 2.160 mm (Regla 33).

Altura real de la superestructura = 4.750 mm.

Tabla 4.5. Cálculo del arrufo admisible en popa.

Posición	Coord. Real (mm)	Valor Z (mm)	Factor	Producto
P _{PP}	1.300	2590	1	3890
1/6 desde P _{PP}	650	1150	3	5400
1/3 desde P _{PP}	15	287	3	906
Centro	0	0	1	0
Suma virtual =				10.196
Suma admisible P _{PP} =				10.196

Tabla 4.6. Cálculo del arrufo admisible en proa.

Posición	Coord. Real (mm)	Valor Z (mm)	Factor	Producto
Centro	0	0	1	0
1/3 desde P _{Pr}	80	287	3	1.101
1/6 desde P _{Pr}	380	1.150	3	4.590
P _{Pr}	1.050	2.590	1	3.640
Suma virtual =				9.331
Suma admisible P _{PP} =				9.331

NOTA: El valor de Z se suma al arrufo real por la Regla 38.5.

Suma arrufo normal popa = 3.236 mm.

Suma arrufo normal proa = 6.471 mm.

Total admisible = 19.527 mm.

Relación arrufo virtual/arrufo normal:

A popa = 3,151 (Exceso)

A proa = 1,442 (Exceso)

Corrección por arrufo resultante = -153,4 mm.

La reducción por arrufo no podrá ser mayor de 125 mm por cada 100 m de eslora del buque, por lo que la reducción por arrufo máxima será de **-144,5 mm**.

1.7. Cálculo del francobordo mínimo y calado máximo de verano.

Tabla 4.7 Cálculo del francobordo mínimo y calado de verano.

Francobordo tabular (mm)	1.600,2
Corrección por coeficiente de bloque	1,006
	1.609,8
Corrección por puntal (mm)	-350,8
Corrección por superestructuras (mm)	-1.033,68
Corrección por arrufo (mm)	-144,5
Francobordo mínimo o de verano (mm)	80,8
Puntal a la cubierta de francobordo (mm)	6.264
Calado máximo de verano (mm)	6.183,2

1.8. Comprobación de la altura mínima de la proa.

Según la Regla 39 del convenio, la altura de la proa (F_b), definida como la distancia vertical en la perpendicular de proa entre la línea de flotación correspondiente al francobordo de verano asignado y al asiento proyectado y la parte superior de la cubierta de intemperie en el costado, no será inferior al valor dado por la Fórmula 4.2.

$$F_b = \left(6075 \left(\frac{L}{100} \right) - 1875 \left(\frac{L}{100} \right)^2 + 200 \left(\frac{L}{100} \right)^3 \right) \cdot (2,08 + 0,609 \cdot C_b - 1,603 \cdot C_{wf} - 0,0129(L/d_i)) \quad (4.2)$$

Donde,

F_b = altura mínima de la proa calculada en mm.

L = eslora de francobordo, en metros.

B = manga de francobordo, en metros.

d_i = calado al 85% del puntal mínimo de trazado, en metros.

C_b = coeficiente de bloque definido anteriormente.

C_{wf} = coeficiente del área de la flotación a proa de $L/2$.

El valor de la altura mínima de la proa obtenido es de $F_b = 4.248,46$ mm, siendo la altura real de la misma de 6.726 milímetro.

2. Cálculo del Arqueo.

El nuevo buque, tras la transformación realizada, dispondrá de un nuevo arqueo, el cual es calculado a continuación.

El arqueo se calcula en conformidad con el Convenio de 1969 de la OMI.

2.1. Cálculo del Arqueo Bruto.

El arqueo bruto o GT (*Gross Tonnage*) se obtiene mediante la Fórmula 4.3.

$$GT = K_1 \cdot V \quad (4.3)$$

Donde,

$$K_1 = 0,2 + 0,02 \cdot \log_{10} V \quad (4.4)$$

V = volumen de todos los espacios cerrados, en metros cúbicos.

En la Tabla 4.8. se muestra el cálculo de todos los espacios cerrados a considerar en el cálculo del arqueo bruto.

Tabla 4.8. Cálculo del volumen total de espacios cerrados del buque.

Espacio cerrado	V (m³)
Volumen bajo Cubierta Superior	18.043,301
Habilitación	1.357,130
Puente de gobierno	270,180
Superestructura guardacalor Er	107,945
Superestructura guardacalor Br	71,621
TOTAL	19.850,177

Una vez calculado el total de espacios cerrados del buque, se pueden calcular los valores de K_1 y posteriormente GT, aplicando las Fórmulas 4.2. y 4.1., respectivamente. En la Tabla 4.9. se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 4.9. Resultados obtenidos del cálculo del arqueo bruto.

V (m ³)	19.850,177
K_1	0,286
GT	5.676,263

2.2. Cálculo del Arqueo Neto.

El arque neto (NT), para buques que no son de pasaje, se calcula mediante la Fórmula 4.3.

$$NT = K_2 \cdot V_C \cdot \left(\frac{4 \cdot d}{3 \cdot D}\right)^2 \quad (4.5)$$

Donde,

V_C = volumen total de los espacios de carga, en metros cúbicos.

d = calado de trazado en crujía, en metros.

D = puntal de trazado en crujía en metros.

Para el cálculo del volumen total de los espacios de carga, se ha tenido en cuenta el volumen del bodeguín y el volumen de la bodega de entrepuente. La zona de carga sobre la cubierta superior no se tiene en cuenta, puesto que ésta no se considera un espacio cerrado. El volumen del bodeguín es de 5.222,340 m³ y el de la bodega de entrepuente de 7.049,530 m³, por lo tanto, el volumen total de espacios de carga es de 12.271,870 metros cúbicos. El nuevo valor de K_2 , ahora considerando solo los espacios de carga, es de 0,282. El calado de trazado es de 6,183 metros y el puntal de trazado de 6,25 metros.

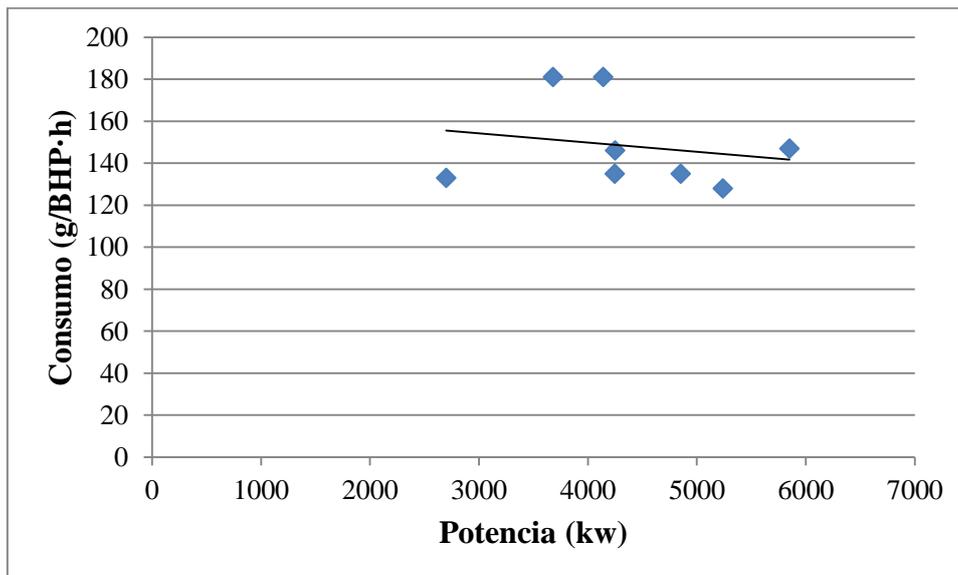
El factor $\left(\frac{4 \cdot d}{3 \cdot D}\right)^2$ no se tomará superior a la unidad.

Teniendo en cuenta todas las consideraciones anteriores, se obtiene un valor de arque neto **NT = 3.457,946**.

3. Cálculo de la nueva autonomía.

Tras el alargamiento del buque habrá variado su autonomía, puesto que se ha reducido la velocidad del buque, por un lado, y se han añadido tanque de combustible, por otro.

El consumo del motor principal del buque base de este TFG es un dato que se desconoce, por lo que se estimará el mismo en función de la potencia instalada. Para ello, se ha realizado una base de datos con diferentes motores y se calcula el consumo mediante una regresión lineal. En el Gráfico 4.1 se representa el consumo de cada motor (en g/BHP·h), frente a la potencia correspondiente (en kW).



Gráfica 4.1. Consumo de distintos motores comerciales frente a su potencia.

Utilizando la regresión obtenida para los datos anteriormente representados, se ha calculado un consumo efectivo de 152,0 g/BHP·h. Una vez estimado el consumo del motor, se calculara la autonomía mediante la Fórmula 4.6.

$$\text{Autonomía (millas)} = \frac{V \cdot T \cdot 10^6}{C \cdot P} \quad (4.6)$$

Donde,

V = velocidad de servicio del buque, en nudos.

T = Capacidad de los tanques de combustible, en toneladas.

C = Consumo efectivo del motor, en g/CV·h.

P = Potencia del motor, en CV.

En la Tabla 4.3 se muestra la capacidad de combustible de los tanques.

ALARGAMIENTO DE UN BUQUE TIPO RO-RO.

Tabla 4.10. Capacidad de cada uno de los tanques de combustible.

Tanque	Capacidad	
	(m ³)	(t)
Nº 5A Er Fuel-Oil	144,607	134,484
Nº 5A Br Fuel-Oil	144,607	134,484
Nº 7 Er Fuel-Oil	51,045	47,472
Nº 5 Br Fuel-Oil	94,619	87,995
	TOTAL=	404,435

Los tanques Nº 5A se han añadida tras el alargamiento, por lo que no se tienen en cuenta en el cálculo de la autonomía del buque antes del alargamiento. La velocidad de servicio del buque antes del alargamiento es de 13,8 nudos.

Teniendo en cuenta todo lo anterior, se obtiene una autonomía **antes del alargamiento** de **2.395,468 millas**.

Realizando la misma operación, esta vez con la velocidad de servicio estimada tras el alargamiento (13,223 nudos) y la totalidad de los tanques de combustible, se obtiene una autonomía **tras realizar el alargamiento** de **6.372,909 millas**.

CAPÍTULO 5: CÁLCULO DE LOS SISTEMAS AFECTADOS POR EL ALARGAMIENTO

Dado que se desconocen los elementos de los sistemas que tiene el buque base de este proyecto, en este capítulo, se estimarán los elementos que componen cada uno de los diferentes sistemas y, posteriormente, se determinará qué debiera de ser cambiado en cada uno de ellos tras realizar el alargamiento del Ro-Ro.

1. Sistema de achique.

Se estimará el sistema de achique, del que debe estar provisto el buque, y posteriormente se determinan las modificaciones del mismo, derivadas del alargamiento.

1.1. Dimensionamiento del sistema.

Los compartimentos situados por encima de la flotación, se podrán achicar por gravedad mediante imbornales. En aquellos, por debajo de la flotación, se deberán colocar los medios necesarios para poder achicar cualquier espacio o local, como mínimo por una aspiración cuando el buque se encuentre con asiento normal, ya sea adrizado o escorado menos de 5 grados.

- Achique en bodegas:

El buque solamente cuenta con una bodega por debajo de la línea de flotación (bodeguín), pero, debido a sus dimensiones, también se dispondrán aspiraciones en la bodega de entrepuente, ya que la entrada de una gran cantidad de agua en la misma podría provocar grandes momentos por superficies libres. Las aspiraciones en las bodegas, al tener más de 30 metros de eslora ambas, se situarán 2 a cada banda (4 en cada bodega), cercanas a los dos mamparos transversales que las delimitan.

La válvula de retención y cierre del ramal de achique del bodeguín, irá situada dentro de la propia Cámara de Máquinas y unida al colector general de sentinas.

- Achique en Cámara de Máquinas:

En Cámara de Máquinas, las aspiraciones de achique deben estar situadas de tal manera que sea posible achicar el agua contenida en ella por dos aspiraciones por lo menos, cuando el barco, con asiento normal, se encuentre adrizado o escorado menos de 5 grados. Por lo tanto, se colocan dos aspiraciones a cada banda (un total de 4). En caso de existir algún nicho se deberá colocar aspiraciones adicionales para poder achicar esas zonas, también en los cofferdams.

El sistema constará de una red de tuberías o ramales, que enlazan con el colector principal. En los espacios de máquinas debe poder efectuarse el achique de sentinas de varias formas distintas en función de la situación en la que se encuentre el buque en cada momento.

- Sistema Principal: Se utilizará cuando exista una entrada incontrolada de agua de mar en la Cámara de Máquinas. En este caso, las bombas principales, que serán centrífugas y autocebantes, aspirarán de la red de tuberías, dando salida directa al mar sin pasar por el separador de sentinas.
- Sistema de aspiración directa: Está formado por dos aspiraciones, una a cada banda, conectadas cada una de ellas a una tubería de aspiración directa, que irán directamente a las bombas principales de achique, sin pasar por el colector

principal. Este sistema será utilizado en caso de que el colector principal de sentinas quede fuera de servicio.

- Sistema de emergencia o socorro: Además de las dos formas anteriores de achique, la bomba independiente de mayor caudal no dedicada al achique instalada en la Cámara de Máquinas, deberá tener una aspiración directa para poder achicar en caso de fallo en los dos sistemas anteriores.
- Sistema ordinario: En las operaciones normales del buque, podrán entrar pequeñas cantidades de agua en Cámara de Máquinas, que se mezclen con aceites, combustible o cualquier otro fluido. Estas mezclas, llamadas aguas aceitosas, deberán ser aspiradas a través del sistema principal tuberías, pero sin ser descargadas directamente al mar. Estas aguas deberán ser enviadas, por bombas de desplazamiento positivo hasta un separador de sentinas.

- Achique en otros espacios:

Se colocarán dos pozos de aspiraciones de sentinas en el local del servomotor, uno en cada costado, y lo más cercanas del mamparo de proa, debido al arrufo que presenta la cubierta en esta zona. El achique de estos pozos se podrá realizar con un bombín manual o mecánicamente.

El agua y posible fango que arrastre la cadena, se achicará de la caja de cadenas mediante una bomba mecánica o un bombín manual.

El túnel de la línea de ejes se achicará por medio de una tubería conectada directamente al colector principal de sentinas. El diámetro de dicha tubería será de, al menos, 60 mm.

- Cálculo de tuberías y bombas de achique.

El diámetro del colector principal, al cual se conecta la red de tuberías de bodegas, se calcula según queda definido por el SOLAS, mediante la Fórmula 5.1.

$$dm = 25 + 1,68\sqrt{L(B + C)} \quad (5.1)$$

Donde,

dm = diámetro mínimo del interior del colector, en milímetro.

L = Eslora entre perpendiculares del buque, en metros.

B = Manga del buque, en metros.

C = Puntal del buque a la cubierta de francobordo, en metros.

Para los datos del buque Ro-Ro, se obtiene un diámetro del colector de **$dm = 109,423$ mm.**

El diámetro mínimo interior de las tuberías de aspiración directa es igual al del colector principal.

El buque deberá contar con dos bombas centrífugas e independientes del motor principal, para el sistema de achique. El caudal de dichas bombas se calcula mediante la Fórmula 5.2.

$$Q = \frac{5,75}{10^3} \cdot dm^2 \quad (5.2)$$

Donde,

Q = caudal de cada una de las bombas, en metros cúbicos / hora.

dm = diámetro mínimo del interior del colector principal de sentinas, en milímetros.

Se obtiene un **caudal** para las **bombas de achique** de **68,847 m³/h.**

El diámetro interior de la tubería de cada ramal se calcula mediante la Fórmula 5.3.

$$db = 25 + 2,16\sqrt{C(B + D)} \quad (5.3)$$

Donde,

db = diámetro interior del ramal de aspiración de sentinas, en milímetros.

C = eslora del compartimento, en metros.

B = Manga del buque, en metros.

D = Puntal del buque a la cubierta de francobordo, en metros.

En la Tabla 5.1 se muestra el diámetro obtenido de los ramales para cada uno de los compartimentos.

Tabla 5.1. Cálculo de los ramales de aspiración de sentinas de cada compartimento.

Compartimento	Eslora (m)	db (mm)
Bodega de Entrepunte	89,30	122,56
Bodeguín	45,60	94,371
Cámara de Máquinas	22,45	73,815
Local del servomotor	3,05	42,993
Caja de cadenas	1,80	38,822

El diámetro de los ramales no deberá ser en ningún caso inferior a 50,0 mm, por lo que el diámetro de los ramales del local del servomotor y de las cajas de cadenas será de 50,0 mm.

Además, las Sociedades de Clasificación permiten que si al calcular el valor del diámetro de un ramal, se obtiene un valor superior a 100,0 mm, se tome como diámetro

de dichos ramales 100,0 mm, por lo que el ramal de la bodega de entrepuente será de 100,0 milímetros.

1.2. Modificaciones derivadas del alargamiento.

Con el alargamiento, no se añade ningún compartimento nuevo, tan solo aumenta la eslora de ambas bodegas (en el doble fondo se añaden tanques, que se podrán achicar con el sistema de lastre), por lo que no será necesario añadir aspiraciones de sentinas adicionales. Sí se verán afectados el diámetro del colector principal, los diámetros de los ramales de bodegas, y caudal necesario de las bombas de achique. Por lo que se deberán cambiar estos elementos en caso de que los que disponga el buque no cumplan con lo determinado a continuación.

Dado que la nueva eslora entre perpendiculares es de 115,6 metros, el diámetro interior del colector principal es de 111, 155 milímetros. El caudal de las bombas de achique, teniendo en cuenta el nuevo diámetro del colector, es de 71,043 m³/h. En la Tabla 5.2 se muestran el nuevo diámetro de los ramales.

Tabla 5.2. Cálculo de los ramales de sentinas de cada compartimento, tras el alargamiento.

Compartimento	Eslora (m)	db (mm)
Bodega de Entrepuente	114,90	135,43
Bodeguín	71,20	111,93
Cámara de Máquinas	22,45	73,815
Local del servomotor	3,05	42,993
Caja de cadenas	1,80	38,822

De nuevo, los ramales inferiores a 50,0 mm y superiores a 100,0 mm tomarán estos valores, respectivamente. Por lo tanto, el único ramal que debe ser cambiado es el del bodeguín, en caso de que la tubería que monte el buque tuviera un diámetro inferior a 100,0 milímetros.

2. Sistema de lastre.

El sistema de lastre se dimensiona con la condición de que el mismo, sea capaz de corregir las posibles escoras que se produzcan durante las operaciones de carga y descarga en puerto.

El buque dispone de una rampa para la carga y descarga a popa. Ésta es capaz de rotar una cierta inclinación sobre su eje horizontal en el caso de que varíe el trimado del buque durante la carga y descarga. En el caso de los movimientos de balance, la rampa no es capaz de rotar, por lo que será necesario corregir las posibles escoras que sufra el buque. Las bombas de lastre deberán ser capaces de lastrar los tanques de adrizamiento con la cantidad de agua necesaria, en el tiempo necesario, para corregir la escora. Se ha establecido un ángulo de escora máximo de 3°. Se considerará la opción más desfavorable, que consiste en cargar Roll Trailers 40' de 30,8 toneladas sobre la cubierta superior, a una banda. Se supondrá un tiempo por movimiento de carga de 3 minutos.

En la Tabla 5.3 se muestra el ángulo de escora calculado que resulta de cargar un número determinado de unidades de carga.

Tabla 5.3. Ángulos de escora y tiempo transcurrido durante la carga.

Unidades cargadas	Ángulo de escora	Tiempo de carga
	(deg)	(min)
1	0,6	4
2	1,3	8
3	2,2	12
4	3,1	16

Se ha utilizado para los cálculos la situación de carga del buque en lastre, para la cual el valor del GM es de 3,227 m.

Se comprueba que se alcanzan los 3 grados de escora al cargar 4 Roll Trailers 40', y el tiempo transcurrido es de 16 minutos.

Se ha obtenido, mediante la ayuda de *Maxsurf Stability*, que la condición de llenado del tanque de adrizamiento de la banda contraria para contrarrestar la escora es del 100%. Dicho tanque tiene una capacidad de 103,687 m³, por lo que las bombas de achique deberán tener un caudal de 6,48 m³/h (388,826 m³/h).

El sistema de lastre estará conformado por dos tomas de mar, situadas en los pantoques de la Cámara de Máquinas, una en cada costado, unidas ambas por un colector que atravesará la Cámara de Máquinas de banda a banda. Además, habrá una toma de mar alta, un poco por debajo de la flotación del buque en rosca y conectada con el colector. Completarán el sistema, los tanques de lastre distribuidos por el doblefondo y piques de proa y popa (ver plano de disposición general), y la red de tuberías de lastrado/delastrado y aireación de cada uno de los tanques.

ALARGAMIENTO DE UN BUQUE TIPO RO-RO.

Tras el alargamiento se han añadido dos tanques de lastre adicionales (Nº 4A Er y Nº 4A Br), con sus correspondientes tuberías de lastrado/deslastrado y aireación. El resto del sistema no se ve modificado.

3. Sistema contra incendios.

El sistema contraincendios estará dimensionado de modo que sea capaz de prever, detectar y sofocar un incendio producido a bordo del buque. Para lo cual, será necesario cumplir con lo prescrito en el SOLAS Capítulo II-2.

El buque deberá disponer de un sistema fijo de detección de incendios, de alarma contraincendios y detección de humo.

- Protección de los espacios de máquinas:

Se instalará un sistema fijo de detección de incendios y de alarma contraincendios en los espacios de máquinas sin dotación permanente, y los espacios de máquinas con equipos accionados por telemando y espacios de máquinas propulsoras principales y auxiliares o generación de energía.

- Detectores de humo en los espacios de alojamiento:

Se instalarán detectores de humo en todas las escaleras, todos los pasillos y todas las vías de evacuación situados dentro de los espacios de alojamiento.

- Método de protección de incendios en los espacios de alojamiento, de servicio y puestos de control:

En estos espacios, el buque deberá estar protegido con un sistema fijo de detección de incendios y de alarma contraincendios y/o un sistema automático de rociadores, detección de incendios y alarma contraincendios, según el método de protección adoptado. Se podrá adoptar tres tipos de métodos.

- Método IC: Compuesto por un sistema fijo de detección de incendios y de alarma contraincendios instalado y dispuesto de manera que detecte la presencia de humo en todos los pasillos, escaleras y vías de evacuación situados dentro de los espacios de alojamientos.
- Método IIC: Compuesto por un sistema automático de rociadores, detección de incendios y alarma contraincendios, dispuesto de manera que proteja los espacios de alojamiento, cocinas y otros espacios de servicio. Además, dispondrá de un sistema fijo de detección de incendios y de alarma contraincendios instalado y dispuesto de manera que permita detectar la presencia de humo en todos los pasillos, escaleras y las vías de evacuación situados dentro de los espacios de alojamiento.
- Método IIIC: Compuesto por un sistema fijo de detección de incendios y de alarma contraincendios instalado y dispuesto de manera que permita detectar la presencia de un incendio en todos los espacios de alojamiento y de servicio, y la presencia de humo en los pasillos, escaleras y vías de evacuación situados dentro de los espacios de alojamiento. Además, dispondrá de un sistema fijo de detección de incendios y de alarma contraincendios instalado y dispuesto de

,anera que permita detectar la presencia de humo en todos los pasillos, escaleras y las vías de evacuación situados dentro de los espacios de alojamiento.

Se instalarán, también, avisadores de accionamiento manual en todos los espacios de alojamiento, espacios de servicio y puestos de control. En los pasillos de cada cubierta habrá avisadores de accionamiento manual fácilmente accesibles, de manera que ninguna parte del pasillo diste una distancia mayor de 20 m de uno de los avisadores.

- Control de la propagación del humo:

Según la Regla 8 del Capítulo II-2 del SOLAS, se instalarán dos medios de suministro de aire distintos e independientes para los puestos de control situados fuera de los espacios de máquinas, cuyas respectivas tomas de aire estén dispuestas de manera que el peligro de que el humo se introduzca simultáneamente por ambas sea mínimo.

En los espacios de máquinas, se tomarán las medidas oportunas para permitir la extracción del humo. Esta función puede ser cumplida por el sistema de ventilación normal.

- Contención del incendio:

Según la Regla 9 del Capítulo II-2 del SOLAS, se deberá poder contener un incendio en el espacio de origen, para lo cual se deberán cumplir las prescripciones siguientes:

- El buque estará subdividido con contornos que ofrezcan resistencia estructural y térmica.
- El aislamiento térmico de los contornos será tal que proteja debidamente del riesgo de incendio que presenten ese espacio y los adyacentes.
- Se mantendrá la integridad al fuego de las divisiones en las aberturas y penetraciones.

Para cumplir con lo prescrito anteriormente, los mamparos y cubiertas que dividen el buque las principales zonas verticales y horizontales, se clasifican según:

- DIVISIONES DE CLASE ‘A’: Formadas por mamparos y cubiertas de acero u otro material equivalente, deben estar debidamente reforzados, construidos de manera que impidan el paso del humo y de las llamas hasta el final de una hora de ensayo estándar de exposición al fuego, y deberán estar aislados con materiales incombustibles aprobados, de manera que la temperatura media de la cara no expuesta no suba más de 13°C por encima de la temperatura inicial y que la temperatura no suba en ningún punto del mismo más de 180 °C por encima de la temperatura inicial en los intervalos de 60 minutos (Clase “A-60”), 30 minutos (Clase “A-30”), 15 minutos (Clase “A-15”), 0 minutos (Clase “A-0”).
- DIVISIONES DE CLASE ‘B’: Formadas por mamparos, cubiertas, cielos rasos y forros interiores construidos de manera que impidan el paso de las llamas hasta el final de la primera media hora de ensayo estándar de

exposición al fuego, y tener un valor de aislamiento tal que la temperatura media en la cara no expuesta no suba más de 139°C por encima de la temperatura inicial, y que la temperatura no suba en ningún punto más de 225°C por encima de la temperatura inicial, en los intervalos de 15 minutos (Clase “B-15”), 0 minutos (Clase “B-0”).

- DIVISIONES DE CLASE ‘C’: Construidos con materiales incombustibles aprobados, sin ser necesario que se ajusten a las prescripciones relativas al paso del humo y llamas, ni a las limitaciones de tiempo.

Los mamparos situados dentro de las zonas de alojamiento deberán ser de un tipo u otro en función del método de protección que disponga el buque (Método IC, IIC o IIC). Tras el alargamiento no es necesario cambiar los tipos de mamparos, ni el método de protección que disponga el buque en las zonas de alojamiento.

Tras el alargamiento no se añade ningún mamparo adicional, pero sí se añaden secciones nuevas de cubierta, tanto en la cubierta superior, como en la cubierta segunda y el doble fondo. Esta cubierta añadida deberá ser del mismo tipo que la ya existente, y que según la tabla 9.6 del CapítuloII-2 del SOLAS será:

- Tipo A-0 para el doblefondo.
- Tipo A-30 para la cubierta segunda y cubierta superior.

El resto de mamparos y cubiertas del buque original ya debe cumplir con lo prescrito en el convenio, y no se ven modificados con el alargamiento.

- Lucha contra incendios:

El buque estará provisto de bombas, colectores, bocas y mangueras contraincendios que cumplan las prescripciones de la Regla 10 del Capítulo II-2 del SOLAS.

El abastecimiento de agua en la situación de buque en dique o puerto cuando los medios a bordo estén inoperativos o sean insuficientes, se realizara desde tierra. Para ellos el buque contará con al menos una conexión internacional a tierra en cada banda.

El buque deberá contar con al menos dos bombas contraincendios, las cuales serán independientes de la maquinaria principal del buque. Además, se dispondrá de otra bomba de emergencia que estará situada en un compartimento distinto a las bombas principales contraincendios.

El caudal de las bombas contraincendios deberá exceder en un tercio el caudal que debe evacuar cada una de las bombas de sentinas. Por lo tanto, el caudal requerido es de 91,796 m³/h.

Cada una de las bombas contraincendios prescritas (sin tener en cuenta la bomba de emergencia) tendrá una capacidad no inferior al 80 % de la capacidad total exigida dividida por el número de bombas contraincendios prescritas, que nunca será menor de

25 m³/h. Por lo que se disponen de dos bombas, con un caudal mínimo cada una de 45,898 m³/h.

La bomba contraincendios de emergencia tendrá un caudal mínimo del 40% de la capacidad total exigida, resultando 36,718 m³/h.

La presión requerida por las bocas contraincendios será de 0,25 N/mm² al tratarse de un buque de carga de arqueo bruto inferior a 6000 GT.

El diámetro del colector de contraincendios será suficiente para que pase el caudal total requerido con una velocidad entre 2 y 3 m/s. Para un caudal de 91,796 m³/h y una velocidad de 2,5 m/s, se obtiene un diámetro de 113,958 milímetros.

El número y la distribución de las bocas de incendio serán tales que, dos chorros por lo menos que no emanen de la misma boca, puedan dirigirse sobre un punto cualquiera del buque normalmente accesible a la tripulación durante la navegación. Uno de estos chorros, por lo menos, provendrá de una manguera de una sola pieza.

El buque dispondrá de una manguera por cada boca de incendios, más una manguera adicional por cada 30 metros de eslora del buque. Al tratarse de un buque de 90 m de eslora, deberá llevar 3 mangueras adicionales.

El buque deberá disponer de un adecuado número de extintores portátiles distribuidos en los espacios de alojamiento y de servicio y los puestos de control. En todo caso, el número de extintores portátiles que llevará el buque no será inferior a 5.

El buque deberá ir dotado de un sistema fijo de extinción de incendios, que podrá ser uno de los citados a continuación:

- Sistema fijo de extinción de incendios por gas.
- Sistema fijo de extinción de incendios a base de espuma de alta expansión.
- Sistema fijo de extinción de incendios por aspersion de agua a presión.

En este caso, el sistema de extinción de incendios dentro de la Cámara de Máquinas es mediante CO₂.

En la zona de bodegas el buque deberá contar con un sistema de ventilación mecánica, suficiente para dar al menos 6 renovaciones de aire por hora.

3.1. Modificaciones derivadas del alargamiento.

Tras realizar el alargamiento del buque, no será necesario cambiar los sistemas de detección de incendios, de alarma y detección de humo, de los espacios destinados al alojamiento, servicio y puestos de control. Tampoco será necesario modificar el método de protección que disponga el buque, ni el tipo de compartimentado o subdivisión (teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente sobre las tres zonas de cubierta añadida). El número de extintores portátiles y el sistema de extinción de incendios de la Cámara de Máquinas tampoco se ven afectados. Sí habrá que añadir bocas

contraincendios en las distintas cubiertas en la zona alargada, será suficiente con una en cada zona, puesto que la distancia alargada es de 25,6 metros y la distancia de las mangueras que normalmente se instalan es de 15 m (juntando dos de ellas 30 m). El número de mangueras adicionales a llevar, además de las correspondientes a las nuevas bocas contraincendios, será de 4 en lugar de 3.

También se ven afectados el caudal de las bombas contraincendios (no el número), siendo el nuevo caudal requerido de 94,724 m³/h, siendo el de cada una de las bombas de al menos 47,362 m³/h. El nuevo caudal de la bomba de emergencia será de 37,890 m³/h. La nueva velocidad del agua a través del colector de contraincendios es de 2,58 m/s.

4. Sistemas de casco: Fondeo, amarre y remolque.

Con el aumento de la eslora del buque, se ven modificados muchos valores de los que depende el numeral de equipo (factor determinante de los sistemas de casco), como pueden ser el desplazamiento en la flotación de verano o el área proyectada sobre el plano de crujía. En consecuencia, el alargamiento podría provocar que algunos sistemas o algunos elementos de los mismos tengan que ser modificados.

Debido a que no se dispone de la información necesaria de todos los sistemas, se calcularán los principales elementos de los sistemas de casco que debiera tener el buque original y posteriormente las modificaciones necesarias tras el alargamiento.

4.1. Dimensionamiento de los sistemas de casco.

Para poder determinar cada uno de los elementos que componen los sistemas de casco, primero es necesario calcular el numeral de equipo, esto se realizara según normativa de la sociedad de clasificación *Lloyd's Register of Shipping*. Se define como numeral de equipo (NA) al número dado por la Fórmula 5.4.

$$NA = \Delta^{2/3} + 2BH + 0.1A \quad (5.4)$$

Donde,

Δ = desplazamiento correspondiente a la flotación de verano, en toneladas.

B = manga de trazado, en metros.

H = altura desde la flotación hasta el techo de la caseta más alta que tenga una manga mayor de $B/4$, en metros.

A = área en el plano de crujía, por encima de la flotación, del casco y superestructuras de casetas con una manga superior a $B/4$, en metros cuadrados.

El calado de la flotación de verano del buque original es de 6,1 metros, y el desplazamiento correspondiente a esa flotación es de 5877,381 toneladas. La manga de trazado es de 16,5 metros. El valor de H es el correspondiente al techo de la caseta del puente de gobierno, tal y como se muestra en la Figura 5.1.

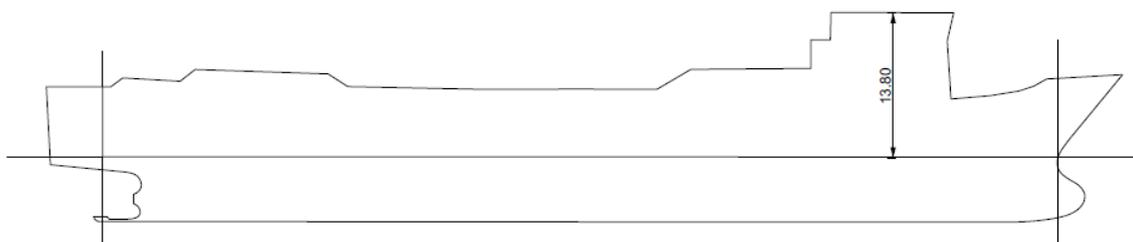


Figura 5.1. Esquema del valor de H tomado.

El valor de A es de 732,70 metros cuadrados, para la obtención de esta área se han tenido en cuenta las superficies remarcadas en la Figura 5.2.

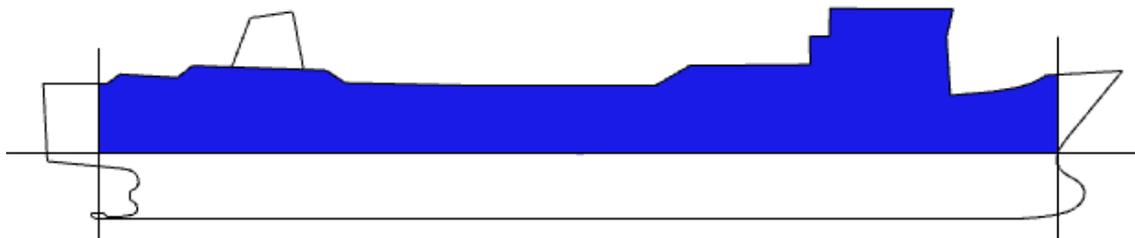


Figura 5.2. Área tenida en cuenta en el cálculo de A

La amurada ha sido tenida en cuenta, ya que tiene una altura sobre la cubierta de francobordo superior a 1.5 metros.

El numeral de equipo calculado con los datos anteriormente dispuestos es 854,35. Se toma como numeral de equipo el valor inmediatamente inferior que se obtenga de la tabla de numeral de quipo, $NA = 840$.

Tabla 5.4. Características del ancla, cadena y cordamen para el numeral de equipo obtenido.

Características del ancla, cadena y cordamen para NA = 840			
Anclas principales articuladas (tipo Hall)	Número	De servicio	2
		Respeto	1
		Total	3
	Masa unitaria (kg)	2.640	
Ancla de espía	Masa (incluido el cepo) (kg)		880
Cadenas con concreto	Diámetro nominal (mm)	Q ₁	52
		Q ₂	46
		Q ₃	40
	Longitud total (m)		467,5
Cables de acero galvanizado o estachas de fibra textil	Remolque	Longitud (m)	190
		Carga de rotura (kN)	515
	Cable para el ancla de espía	Longitud (m)	180
		Carga de rotura (kN)	335
	Amarras	Longitud (m)	170
		Número	4
		Carga de rotura (kN)	200

- Anclas:

El buque dispondrá de un total de cuatro anclas, dos anclas de servicio tipo *Hall* de 2,64 toneladas cada una de ellas, un ancla de respeto de las mismas características que las anteriores y un ancla de espía (a popa) tipo *Hall* de 880 kg.

- Cadena:

El buque lleva a bordo un total de 467,5 metros de cadena, puesto que la longitud de cada largo está normalizada y es de 27,5 metros, el número total de largos es de 17. Un

ancla debe llevar 8 y la otra 9. El diámetro nominal del redondo del que se parte para fabricar los eslabones de la cadena dependerá de la calidad de la misma, en la Tabla 5.5 se muestran las características de la cadena en función del grado de calidad, de la empresa *Vicinay cadenas S.A.*

Tabla 5.5. Características de cadenas comerciales de la marca *Vicinay*, en función del grado de calidad.

Grado de Calidad	Diámetro nominal, d (mm)	Carga de rotura (kN)	Peso por largo (kg)	Peso cadena (kg)
Q ₁	52	1.060	1.675	28.475
Q ₂	46	1.170	1.320	22.440
Q ₃	40	1.280	995	16.915

- Caja de cadenas:

La caja de cadenas es el local donde se estiban las cadenas de las anclas cuando el buque no se encuentra fondeado. Esta se localiza en el pique de proa, debajo del molinete y lo más próximo a su vertical. Deberán haber dos cajas de cadenas independientes para cada una de las cadenas, si éstas están juntas tendrán un mamparo de separación entre ambas. El buque base de este TFG dispone de dos cajas de cadenas semejantes con un diámetro máximo cada una de 1,81 metros y una altura de 4,81 metros.

A continuación se calcula el volumen necesario de la caja de cadenas para los distintos diámetros anteriores. El volumen necesario de la caja de cadenas será el volumen aparente ocupado por las cadenas (V), calculado según la Formula 5.. más un espacio para la sentina en la parte inferior de 0,5 metros y un espacio superior para el paso de hombre de 1,2 metros.

$$V = 0,082 \cdot d^2 \cdot L \cdot 10^{-4} \quad (5.5)$$

Donde,

V = volumen aparente ocupado por la cadena, en metros cúbicos.

d = diámetro nominal de la cadena, en milímetros.

L = longitud de la cadena, en metros.

La longitud de la cadena es la longitud de un largo (27,5 m) multiplicada por el número de largos de cada cadena, en este caso la cadena con un mayor número de largos tiene 9, por lo que la longitud de la cadena será de 247,5 metros.

Para calcular la altura necesaria de las cajas de cadenas se fijará el diámetro de la misma en 1,81 metros (diámetro máximo de la caja de cadenas real), y se comprobará que la altura necesaria de la caja de cadenas no exceda de la real. La altura necesaria de la caja de cadenas (H) se calcula según la Fórmula 5.6.

$$H(m) = h(m) + 0,5 + 1,2 \quad (5.6)$$

Donde,

$$h(m) = \frac{4 \cdot V(m^3)}{\pi \cdot 1,81^2} \quad (5.7)$$

Tabla 5.6. Cálculo del volumen de la caja de cadenas.

Grado de Calidad	Diámetro nominal, d (mm)	Volumen ocupado, V (m ³)	Altura ocupada, h (m)	Altura caja de cadenas, H (m)
Q ₁	52	5,488	2,133	3,833
Q ₂	46	4,294	1,669	3,369
Q ₃	40	3,247	1,262	2,962

Como se puede observar, la cadena con un grado de calidad más bajo (Q₁) y, también, la que mayor volumen de caja de cadenas necesita, podría estibarse en las cajas de cadenas del buque, por lo que se supondrá que las cadenas embarcadas en el Ro-Ro tienen las características mostradas en la Tabla 5.7.

Tabla 5.7. Características de las cadenas.

Características de la cadena (grado Q₁)	
Diámetro (mm)	52
Carga de pruebas (kN)	739
Carga de rotura (kN)	1.060
Peso de un largo de cadena (kg)	1.675
Peso cadena de 8 largos (kg)	13.400
Peso cadena de 9 largos (kg)	15.075
Peso total de cadenas (kg)	28.475

- Escobén:

El escobén es un conducto circular que conecta la cubierta del castillo o de proa y la amura del buque a ambos lados de la roda, por el que pasan las cadenas de las anclas, y en los que se alojan la caña de cada ancla.

El diámetro mínimo del interior del escobén es el mayor valor de los calculados mediante las Fórmulas 5.8 y 5.9.

$$D_1 = [(100 - d)0,03867 + 7,5]d = 486,5 \text{ mm} \quad (5.8)$$

$$D_2 = 9 \cdot d = 468 \text{ mm} \quad (5.9)$$

Por lo tanto el diámetro interior del escobén es de 486,5 milímetros. Para conocer el diámetro exterior, es preciso calcular el espesor del escobén en la parte superior del mismo (e_{sup}) y en la parte inferior (e_{inf}). Estos espesores se calculan mediante las Formulas 5.10 y 5.11.

$$e_{sup} = 0,6 \cdot d = 31,2 \text{ mm} \quad (5.10)$$

$$e_{inf} = 0,7 \cdot d = 36,4 \text{ mm} \quad (5.11)$$

El diámetro exterior del escobén es la suma del diámetro interior y ambos espesores, véase Fórmula 5.12.

$$D_{ext} = D_{int} + e_{sup} + e_{inf} = 554,1 \text{ mm} \quad (5.12)$$

- Molinete:

El molinete es la máquina empleada para arriar e izar las cadenas y anclas durante las operaciones de fondeo y leva de anclas. La potencia del mismo puede calcularse teniendo en cuenta la masa del ancla y tres largos de cadena, el rendimiento del molinete (se tomará un valor estándar de 0,46) y una velocidad de izado o velocidad larga (se fijará en un valor estándar de 10 m/min), véase Fórmula 5.13.

$$P = \frac{0,87 (3 \cdot P_c + P_a)V}{60 \cdot 75 \cdot \eta} \quad (5.13)$$

Donde,

P_c = masa de un largo de cadena, en kilogramos.

P_a = masa del ancla, en kilogramos.

V = velocidad de izado, en m/min.

η = rendimiento del molinete.

En la Tabla 5.8. se muestran los resultados de aplicar la expresión anterior.

Tabla 5.8. Resultado del cálculo de la potencia del molinete.

P_c (kg)	1.675
P_a (kg)	2.640
V (m/min)	10,0
η	0,46
P (cv)	32,215

Una vez calculada la potencia del molinete, se puede calcular la velocidad de zarpado o velocidad corta. Esta se calcula teniendo en cuenta el poder de agarre del ancla (H_o), el cual se puede estimar como 3,5 veces el peso del ancla. Por lo que añadiendo a la Fórmula 5.13 el poder de agarre del ancla y despejando la velocidad, se llega a la siguiente expresión.

$$v_{zarpado} = \frac{60 \cdot 75 \cdot \eta \cdot P}{0,87 (P_c + P_a) + H_o} \quad (5.14)$$

En la Tabla 5.9 se muestran los resultados de aplicar la Fórmula 5.14.

Tabla 5.9. Cálculo de la velocidad de zarpado del molinete.

P_c (kg)	1,675
P_a (kg)	2,640
P (cv)	32,215
η	0,46
H_o (kg)	9,240
$V_{zarpado}$ (m/min)	4,192

En caso de avería, y de que toda la cadena se vaya al fondo junto al ancla, el sistema debe ser capaz de izar la cadena entera junto al ancla. La velocidad en avería se calcula del mismo modo, pero ahora teniendo en cuenta los 9 largos de la cadena, véase la Fórmula 5.15.

$$v_{averia} = \frac{60 \cdot 75 \cdot \eta \cdot P}{0,87 (9 \cdot P_c + P_a)} \quad (5.15)$$

Aplicando la Fórmula 5.15. se obtiene una **velocidad en avería** de **4,327 m/min**.

- Estachas y cables:

De la tabla de numeral de equipo se han extraído las longitudes y carga de rotura mínimas que deberán tener los cables y estachas para remolque, ancla de espía y amarras. A continuación se seleccionan estachas comerciales para cada uno de los distintos usos, todas ellas de la empresa Cordelería Domenech S.A.

- En el caso del remolque la longitud es de 190 metros, y una carga de rotura de 515 kN.
- Para el ancla espía se necesita una longitud de 180 metros, con una carga de rotura de 335 kN.
- En el caso de las amarras, la tabla indica el número mínimo de las mismas que deberá llevar el buque, pero por lo general los armadores optan por embarcar de 1,5 a 2 veces la cantidad mínima requerida. Se ha optado por llevar un 50% más de la cantidad mínima indicada y, puesto que la tabla marca 4, se llevará un total de 6 amarras. Su longitud deberá de ser 170 metros y la carga mínima de rotura de 200 kN.

En la Tabla 5.10 se indican las características de cada una de las estachas seleccionadas.

Tabla 5.10 Características de las estachas seleccionadas.

	Remolque	Ancla de espía	Amarras (x6)
Material	RILON	RILON	RILENE
Carga de rotura (kg)	55.880	35.760	23.870
Peso rollo 200 m (kg)	406	252	256
Diámetro (mm)	56,34	44,56	40,43

- Bitas:

Las bitas son unos elementos que van soldados sobre la cubierta a proa y a popa, para hacer firmes los cabos durante las operaciones de amarre y remolque. Para su selección se tendrá que tener en cuenta que puedan resistir una fuerza mayor a la carga de rotura de los cabos o estachas y tener una envergadura tal que permita hacer firme sobre ellas los cabos o estachas del diámetro necesario. El buque cuenta con cuatro bitas a proa y dos a popa. De las cuatro de proa, dos de ellas se deben poder emplear, además de para el amarre, para el remolque. También, las dos de popa deben poder usarse para amarre y remolque. En la Tabla 5.11 se muestran las características de cada una de las bitas seleccionadas.

Tabla 5.11. Características de las bitas seleccionadas.

Nº	DN	Carga máx. (t)	Peso (kg)
1	710	70	2.550
2	710	70	2.550
3	500	32	1.173
4	500	32	1.173
5	710	70	2.550
6	710	70	2.550

4.2. *Modificaciones derivadas del alargamiento.*

Será necesario recalcular el numeral de equipo, para lo cual habrá que tener presente la variación producida en el francobordo y, en consecuencia, en la flotación de máxima carga de verano. El nuevo calado de verano es de 6,183 metros, el desplazamiento para dicha flotación es de 8559,0 toneladas, la manga máxima de trazado no varía, el nuevo valor de H es 13,73 metros, véase Figura 5.3, y el nuevo valor de A es 891,251 metros cuadrados.

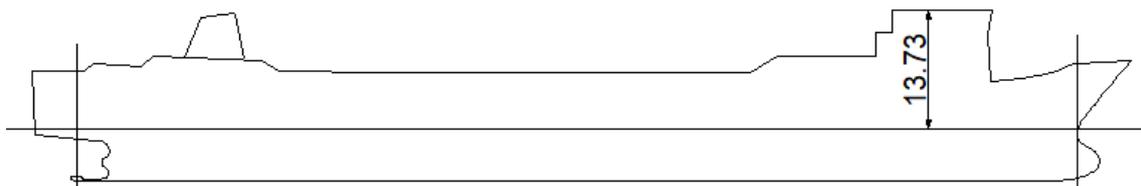


Figura 5.3. Valor de H tomado.

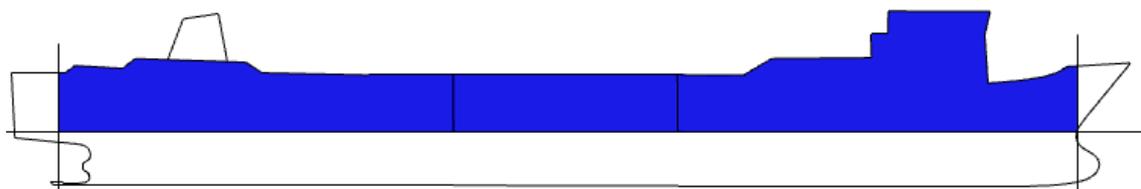


Figura 5.4. Área considerada

Con estos valores se obtiene un nuevo numeral de equipo de 960,3, siendo el inmediatamente inferior en la tabla el numeral de equipo $NA = 910$.

En la tabla 5.12 se muestran las características de anclas, cadena y cordamen para el nuevo numeral de equipo obtenido.

Tabla 5.12. Características para el nuevo numeral de equipo.

Características del ancla, cadena y cordamen para NA = 910			
Anclas principales articuladas (tipo Hall)	Número	De servicio	2
		Respeto	1
		Total	3
	Masa unitaria (kg)	2.850	
Ancla de espía	Masa (incluido el cepo) (kg)		950
Cadenas con concreto	Diámetro nominal (mm)	Q ₁	54
		Q ₂	48
		Q ₃	42
	Longitud total (m)		495
Cables de acero galvanizado o estachas de fibra textil	Remolque	Longitud (m)	190
		Carga de rotura (kN)	555
	Cable para el ancla de espía	Longitud (m)	180
		Carga de rotura (kN)	355
	Amarras	Longitud (m)	170
		Número	4
		Carga de rotura (kN)	215

- Anclas:

El buque seguirá necesitando de un total de 4 anclas, dos de servicio, una de respeto y otra de espía, pero será necesario cambiarlas todas para cumplir con el nuevo peso requerido por cada una de ellas.

- Cadena:

Tras el alargamiento del buque, éste deberá llevar a bordo un total de 495 metros de cadena, puesto que la longitud de cada largo está normalizada y es de 27,5 metros, el número total de largos es de 18. Ambas anclas llevan 9 largos. El diámetro nominal del redondo del que se parte para fabricar los eslabones de la cadena dependerá de la calidad de la misma, en la Tabla 5.13 se muestran las características de la cadena en función del grado de calidad, de la empresa *Vicinay cadenas S.A.*

Tabla 1.13. Características de cadenas comerciales de la marca *Vicinay*, en función del grado de calidad.

Grado de Calidad	Diámetro nominal, d (mm)	Carga de rotura (kN)	Peso por largo (kg)	Peso cadena (kg)
Q ₁	54	1.140	1.820	32.760
Q ₂	48	1.280	1.440	25.920
Q ₃	42	1.400	1.100	19.800

- Comprobación de la caja de cadenas:

Se debe comprobar que las cajas de cadenas del buque tienen el volumen necesario o, si por el contrario, habría que modificarlas.

El nuevo volumen necesario para la cadena, según el grado de calidad, y la altura necesaria de la caja de cadenas (fijando el diámetro de la misma en el diámetro máximo real de 1,81 m) se muestran en la Tabla 5.14.

Tabla 5.14. Cálculo del nuevo volumen de la caja de cadenas.

Grado de Calidad	Diámetro nominal, d (mm)	Volumen ocupado, V (m³)	Altura ocupada, h (m)	Altura caja de cadenas, H (m)
Q ₁	54	5,918	2,326	4,026
Q ₂	48	4,676	1,837	3,537
Q ₃	42	3,580	1,407	3,107

Las cajas de cadenas del buque tienen las dimensiones suficientes para estibar cualquiera de las distintas cadenas, con los distintos grados de calidad.

- Comprobación del escobén:

Los nuevos diámetros del interior del escoben calculados mediante las Fórmulas 5.8 y 5.9 para cadenas de los tres grados de calidad son los mostrados en la Tabla 5.15.

Tabla 5.15. Cálculo del nuevo diámetro del escobén.

Grado de Calidad	Diámetro nominal de la cadena (mm)	Diámetro interior del escobén (mm)
Q ₁	54	501,06
Q ₂	48	456,52
Q ₃	42	409,20

Dado que el diámetro interior del escobén que se ha estimado para el buque original es de 486,5 mm, se opta por seleccionar la cadena de un grado de calidad Q₂ y de este modo evitar tener que cambiar los escobenes del buque.

En la Tabla 5.16 se muestran las características de las nuevas cadenas embarcadas tras el alargamiento.

Tabla 5.16. Características de las nuevas cadenas.

Características de la cadena (grado Q₂)	
Diámetro (mm)	48
Carga de pruebas (kN)	908
Carga de rotura (kN)	1.280
Peso de un largo de cadena (kg)	1.440
Peso de cada cadena (kg)	12.960

Peso total de cadenas (kg)	25.920
----------------------------	--------

- Comprobación del molinete:

Una vez seleccionadas las nuevas anclas y cadenas, se procede a comprobar si la potencia estimada del molinete que monta el buque original es suficiente. Aplicando de nuevo la Fórmula 5., teniendo en cuenta el nuevo peso del ancla y de un largo de cadena se obtienen los resultados mostrados en la Tabla 5.17.

Tabla 5.17 Cálculo de la nueva potencia del molinete.

P_c (kg)	1.440
P_a (kg)	2.850
V (m/min)	10,0
η	0,46
P (cv)	30,135

La potencia necesaria es inferior a la del molinete que monta el buque antes del alargamiento, por lo que no es necesario cambiar el molinete.

La nueva velocidad de izado se calcula teniendo en cuenta la potencia del molinete que monta el buque (siendo ésta de 32,215 cv), según la Fórmula 5.16.

$$v_{izado} = \frac{60 \cdot 75 \cdot \eta \cdot P}{0,87 (3 \cdot P_c + P_a)} \quad (5.16)$$

Donde,

P_c = masa de un largo de cadena, en kilogramos.

P_a = masa del ancla, en kilogramos.

P = potencia del molinete, en cv.

η = rendimiento del molinete.

En la Tabla 5.18 se muestran los resultados de aplicar la expresión anterior.

Tabla 5.18. Resultado del cálculo de la nueva velocidad de izado.

P_c (kg)	1.440
P_a (kg)	2.850
P (cv)	32,215
η	0,46
V_{izado} (m/min)	10,69

La nueva **velocidad de zarpado**, aplicando la Fórmula 5., y teniendo en cuenta el nuevo peso de un largo de cadena (1.440 kg) y el nuevo peso y poder de agarre del ancla (2.850 kg y 9.975 kg, respectivamente), es de **4,113 m/min**.

La nueva **velocidad en avería**, aplicando la Fórmula 5., y teniendo en cuenta el nuevo peso de un largo de cadena (1.440 kg) y el nuevo peso y poder de agarre del ancla (2.850 kg y 9.975 kg, respectivamente), es de **4,848 m/min**.

- Estachas y cables:

De la tabla de numeral de equipo se han extraído las nuevas longitudes y carga de rotura mínimas que deberán tener los cables y estachas para remolque, ancla de espía y amarras tras el alargamiento. A continuación se seleccionan estachas comerciales para cada uno de los distintos usos, todas ellas de la empresa Cordelería Domenech S.A.

- En el caso del remolque la longitud es igual, 190 metros, y la nueva carga de rotura de 555 kN.
- Para el ancla espía la longitud necesaria también es igual, de 180 metros, con una nueva carga de rotura de 355 kN.
- En el caso de las amarras, el número mínimo que debe llevar a bordo sigue siendo 4, y seleccionando de nuevo un 50% más del mínimo requerido hace un total de 6 amarras. Su nueva longitud deberá ser de 170 metros y la nueva carga mínima de rotura de 215 kN.

En la Tabla 5.19 se indican las características de cada una de las estachas seleccionadas.

Tabla 5.19. Características de las estachas comerciales seleccionadas tras el alargamiento.

	Remolque	Ancla de espía	Amarras (x6)
Material	RILON	RILON	RILENE
Carga de rotura (kg)	63.700	41.850	23.870
Peso rollo 200 m (kg)	466	300	256
Diámetro (mm)	60,48	48,38	40,43
Cambia SÍ/NO	SÍ	SÍ	NO

- Bitas:

Tras el alargamiento no es necesario modificar las bitas, puesto que éstas siguen siendo válidas.

5. Sistema de salvamento.

Es importante comprobar que tras el alargamiento, el buque, sigue cumpliendo con lo dispuesto en el Convenio SOLAS en referencia a los medios de salvamento que el Ro-Ro debe llevar a bordo. Debido a esto, a continuación se determinan los medios de salvamento requeridos por el buque original (antes del alargamiento) y, posteriormente, se detallan las modificaciones que hubiere que hacer tras el alargamiento.

5.1. Sistema de salvamento antes del alargamiento.

- Comunicaciones:

- Según la Regla 6.2.1 del Convenio SOLAS, Parte B, Capítulo III, Sección I:

En todo buque de carga de arqueo bruto igual o superior a 500 se proveerán por lo menos tres aparatos radiotelefónicos bidireccionales de ondas métricas.

- Según la Regla 6.2.2 del Convenio SOLAS, Parte B, Capítulo III, Sección I:

Todo buque de carga de arqueo bruto igual o superior a 500 llevará por lo menos un dispositivo de localización y salvamento a cada banda.

- Según la Regla 6.3 del Convenio SOLAS, Parte B, Capítulo III, Sección I:

Se llevarán por lo menos 12 cohetes lanzabengalas con paracaídas, estibados en el puente de navegación o cerca de éste.

- Según la Regla 6.4 del Convenio SOLAS, Parte B, Capítulo III, Sección I:

Se proveerá de un sistema de emergencia constituido por un equipo fijo o portátil, o por ambos, para comunicaciones bidireccionales entre puestos de control de emergencia, puestos de reunión y de embarco y puntos estratégicos a bordo.

Se proveerá un sistema de alarma general de emergencia, el cual deberá ser audible en todos los espacios de alojamiento y en los espacios en los que normalmente trabaje la tripulación. Este sistema estará complementado por un sistema megafónico.

- Aros salvavidas:

Según la Regla 32.1.1 del Convenio SOLAS, Parte B, Capítulo III, Sección III, y al tratarse de un buque de eslora menor de 100 metros, debe llevar un mínimo de 8 aros salvavidas. Según la Regla 7.1 del Convenio SOLAS, Parte B, Capítulo III, Sección I, los aros salvavidas irán distribuidos de modo que estén fácilmente disponibles a ambas

bandas del buque, y, en la medida de lo posible, en todas las cubiertas expuestas que se extiendan hasta el costado del buque; habrá por lo menos uno en las proximidades de la popa. Irán estibados de modo que sea posible soltarlos rápidamente, y no estarán sujetos de ningún modo por elementos de fijación permanente. A cada banda del buque habrá como mínimo un aro salvavidas provisto de una rabiza flotante de una longitud igual por lo menos al doble de la altura a la cual vaya estibado por encima de la flotación de navegación marítima con calado mínimo, o a 30 metros, si este valor es superior. De los 8 aros salvavidas, al menos 4 estarán provistos de luces de encendido automático, al menos dos de estos aros llevarán también señales fumígenas de funcionamiento automático, y se podrán soltar rápidamente desde el puente de navegación. Los aros salvavidas provistos de luces y de señales fumígenas irán distribuidos por igual a ambas bandas del buque, y no serán los que están provistos de rabiza.

- Chalecos salvavidas:

- Según la Regla 7.2 del Convenio SOLAS, Parte B, Capítulo III, Sección I:

Se proveerá un chaleco salvavidas para cada una de las personas que vayan a bordo. Además, un número suficiente de chalecos salvavidas para las personas encargadas de la guardia, los cuales deberán ir estibados en el puente, la cámara de control de máquinas y cualquier otro puesto que tenga dotación de guardia. Los chalecos salvavidas se colocarán de modo que sean fácilmente accesibles y su emplazamiento estará claramente indicado.

- Trajes de inmersión y trajes de protección contra la intemperie:

- Según la Regla 7.3 del Convenio SOLAS, Parte B, Capítulo III, Sección I:

Para cada una de las personas designadas como tripulantes del bote de rescate o como miembros de la cuadrilla encargada del sistema de evacuación marina se proveerá un traje de inmersión de talla adecuada o un traje de protección contra la intemperie de talla adecuada.

- Según la Regla 32.3 del Convenio SOLAS, Parte B, Capítulo III, Sección III:

Se proveerá de un traje de inmersión de tamaño adecuado a cada persona a bordo del buque. Los trajes de inmersión estarán ubicados de modo que sean fácilmente accesibles, y esa ubicación se indicará claramente.

Los trajes de inmersión provistos en la presente regla podrán utilizarse para cumplir lo prescrito en la Regla 7.3 (la regla citada anteriormente).

- Aparatos lanzacabos:

- Según la Regla 18 del Convenio SOLAS, Parte B, Capítulo III, Sección I:

Se proveerá un aparato lanzacabos.

- Embarcaciones de supervivencia y botes de rescate:

- Según la Regla 31.1.1 del Convenio SOLAS, Parte B, Capítulo III, Sección III para buques de carga se dispone:

Uno o varios botes salvavidas totalmente cerrados y cuya capacidad conjunta a cada banda baste para dar cabida al número total de personas que vayan a bordo.

En este caso, el Ro-Ro base de este TFG cuenta con un bote salvavidas a cada banda.

Además, una o varias balsas salvavidas inflables o rígidas, cuya masa sea inferior a 185 kg, estibadas en un emplazamiento que permita su fácil traslado de una banda a otra en el mismo nivel de la cubierta expuesta y cuya capacidad conjunta baste para dar cabida al número total de personas que vayan a bordo. Si la balsa o las balsas salvavidas no tienen una masa inferior a 185 kg o no están estibadas en un emplazamiento que permita su fácil traslado de una banda a otra en el mismo nivel de la cubierta expuesta, la capacidad total disponible en cada banda bastará para dar cabida al número total de personas que vayan a bordo.

El Ro-Ro dispone de una balsa salvavidas inflable a cada banda.

- Según la Regla 31.2 del Convenio SOLAS, Parte B, Capítulo III, Sección III para buques de carga se dispone:

Llevarán al menos un bote de rescate. Podrá aceptarse un bote salvavidas como un bote de rescate a condición de que dicho bote salvavidas y sus medios de puesta a flote y recuperación cumplan también lo prescrito para los botes de rescate.

En este caso, uno de los botes salvavidas del buque Ro-Ro cumplirá la función de bote de rescate.

5.2. Modificaciones derivadas del alargamiento.

La única modificación a considerar tras el alargamiento consiste en añadir dos aros salvavidas a los 8 ya dispuestos, para hacer un total de 10 aros salvavidas y cumplir con lo prescrito en la Regla 32.1 del Convenio SOLAS, Parte B, Capítulo III, Sección III, ya que la nueva eslora del buque Ro-Ro está entre 100 y 150 metros.

De los dos aros salvavidas añadidos, al menos uno de ellos irá provisto de luces de encendido automático, para que al menos la mitad del total de aros salvavidas a bordo sigan manteniendo este elemento.

Se han seleccionado aros salvavidas de la empresa Eval S.A., cuyas características se muestran en la Tabla 5.20.

Tabla 5.20. Características de los aros salvavidas SOLAS 74, L.S.A. CODE, 96/98EC IMO MSC 81(70).

Aros salvavidas CODE 2012-1	
Diámetro interior (cm)	44,5
Diámetro exterior (cm)	71,5
Peso unitario (kg)	2,5
Número	2

CAPÍTULO 6: COMPROBACIÓN DE LOS CRITERIOS DE ESTABILIDAD

Tras el alargamiento del buque Ro-Ro, son muchas de sus características las que se ven modificadas, por lo que las condiciones de estabilidad habrán variado. En el presente Capítulo, se comprobará que el buque sigue cumpliendo con los requisitos de estabilidad requeridos por la administración, en las posibles condiciones de carga en las que se podrá encontrar el barco durante la explotación del mismo.

1. Condiciones de carga.

Las condiciones de carga para las cuales se deben comprobar los criterios de estabilidad son las siguientes:

- Condición 1: Buque en la condición de salida a plena carga, distribuida ésta de forma homogénea en todos los espacios de carga y con la totalidad de provisiones y combustible.
- Condición 2: Buque en la condición de llegada a plena carga, distribuida ésta de forma homogénea en todos los espacios de carga y con el 10 % de provisiones y combustible.
- Condición 3: Buque en la condición de salida en lastre, sin carga, pero con la totalidad de provisiones y combustible.
- Condición 4: Buque en la condición de llegada en lastre, sin carga, pero con el 10 % de provisiones y combustible.

Las principales partidas de pesos están formadas por el Peso en Rosca, los tanques y el cargamento. A continuación se detallan cada una de estas partidas.

3.1. *Peso en Rosca.*

El Peso en Rosca del buque tras el alargamiento, ha sido estimado en el Capítulo 3, pero hay que tener en cuenta las modificaciones realizadas en los sistemas para así obtener el Peso en Rosca definitivo. Los sistemas auxiliares se han tenido en cuenta en la estimación inicial del peso en rosca, puesto que en la fórmula utilizada (Fórmula 2.4.) del libro *Proyecto básico del buque mercante* está implícito el peso de los sistemas auxiliares, además, la variación en los mismos no es muy relevante. En el caso de los sistemas de casco, salvamento y luces, sí habrá que tener en cuenta las modificaciones realizadas, aunque la variación de estos dos últimos es insignificante en comparación con el Peso en Rosca del buque y con la variación en los sistemas de casco (modificación más relevante).

En la Tabla 6.1. se muestran las modificaciones producidas en el Peso en Rosca y el valor del mismo y de su centro de gravedad final.

Tabla 6.1. Cálculo del Peso en Rosca definitivo.

Elemento	Peso a desembarcar	Peso a embarcar	Diferencia	l.c.g.	v.c.g.	t.c.g.
	(t)	(t)	(t)	(m)	(m)	(m)
PR estimado			2.635,653	53,94	7,292	0,0
Anclas de servicio	5,28	5,70	+0,420	116,0	9,22	0,0
Ancla de respeto	2,64	2,85	+0,210	103,0	11,6	0,0
Ancla espía	0,88	0,95	+0,070	-3,1	12,65	0,0
Cadena Er	13,4	12,96	-0,440	110,9	8,65	1,0
Cadena Br	15,075	12,96	-2,115	110,9	8,65	-1,0
Estacha remolque	0,406	0,466	+0,060	114,1	9,7	0,0
Cable ancla espía	0,252	0,300	+0,048	-3,1	12,65	0,0
Aros salvavidas		0,005	+0,005	57,8	13,4	0,0
PR Final		Suma=	2.633,911	53,9	7,292	0,0

1.1. Tanques.

El buque cuenta con diversos tanques de lastre, agua dulce, combustible, aceite, etc, distribuidos a lo largo del doble fondo, y los piques de popa y proa, tal y como se puede comprobar en el Plano de Disposición General. Tras modelar los mamparos que los delimitan, se pueden calibrar los tanques con la ayuda del programa *Maxsurf Stability*. En la Tabla 6.2 se muestran las principales características de la calibración de los tanques.

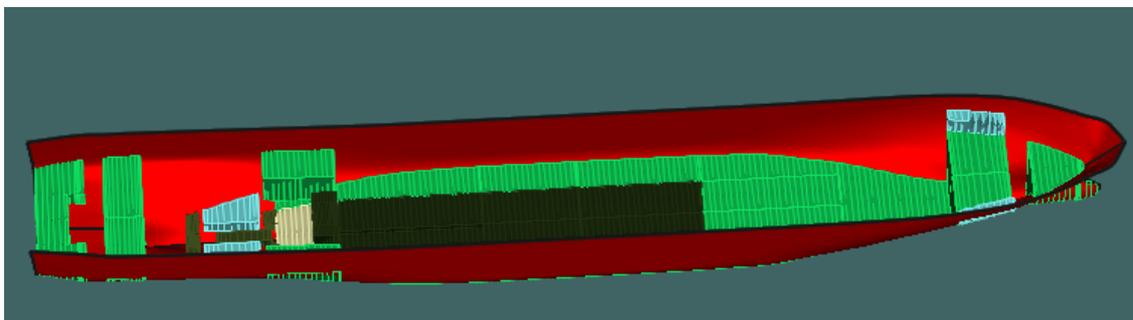


Figura 6.1. Imagen de la calibración de los tanques mediante Maxsurf Stability.

Tabla 6.2. Principales características de la calibración de los tanques mediante Maxsurf Stability.

Principales características de los Tanques					
Tanque	Capacidad		LCG	TCG	VCG
	(m ³)	(T)	(m)	(m)	(m)
Nº 1 Rasel de Proa	94,22	96,57	112,84	0,00	4,11
Nº 2 Er. Trimado	132,63	135,94	103,86	1,94	4,38
Nº 2 Br. Trimado	132,63	135,94	103,86	-1,94	4,38
Nº 3 Tanque Lastre	103,37	105,96	93,47	0,00	0,82
Nº 4 Er. Tanque Lastre	46,22	47,38	78,73	5,43	0,87
Nº 4 Br. Tanque Lastre	46,22	47,38	78,73	-5,43	0,87
Nº 5 Er. Tanque Lastre	89,10	91,33	80,16	2,08	0,74
Nº 5 Br. Tanque Lastre	89,10	91,33	80,16	-2,08	0,74
Nº 4A Er. Tanque Lastre	102,41	104,97	59,26	5,66	0,82
Nº 4A Br. Tanque Lastre	102,41	104,97	59,26	-5,66	0,82
Nº 5A Er. Tanque Fuel-Oil	144,61	134,48	59,32	2,10	0,73
Nº 5A Br. Tanque Fuel-Oil	144,61	134,48	59,32	-2,10	0,73
Nº 6 Er. Tanque Lastre	59,16	60,64	38,18	5,20	0,894
Nº 6 Br. Tanque Lastre	59,16	60,64	38,18	5,20	0,894
Nº 7 Er. Tanque Fuel-Oil	51,05	47,47	38,28	2,07	0,39
Nº 7 Br. Tanque Fuel-Oil	94,62	87,99	38,20	-2,09	0,74
Nº 8 Tanque Diesel-Oil	56,88	49,48	26,43	0,00	0,82
Nº 9 Er. Tanque Adrizamiento	103,69	106,28	25,70	6,09	4,37
Nº 9 Br. Tanque Adrizamiento	103,69	106,28	25,70	-6,09	4,37
Nº 10 Derrames	2,35	2,17	22,04	-2,17	0,96
Nº 11 Residuos	2,35	2,17	22,04	2,17	0,96
Nº 12 Er. Agua Dulce	16,54	16,54	18,05	2,41	1,73
Nº 12 Br. Agua Dulce	16,54	16,54	18,05	-2,41	1,73
Nº 13 Aceite Retorno	6,33	5,85	18,86	0,00	1,07
Nº 14 Aceite Sucio	5,94	5,49	18,91	0,00	0,38
Nº 15 Aceite Bocina	2,14	1,98	12,93	0,00	1,49
Nº 16 Tanque Lastre	12,33	12,64	5,90	0,00	2,34
Nº 17 Er. Tanque Lastre	84,68	86,79	5,27	3,37	5,86
Nº 17 Br. Tanque Lastre	84,68	86,79	5,27	-3,37	5,86
Nº 18 Er. Tanque Lastre	56,74	58,15	-2,28	6,54	3,78
Nº 18 Br. Tanque Lastre	56,74	58,15	-2,28	6,54	-3,78
Nº 19 Er. Agua Dulce	13,49	13,49	104,03	6,12	8,34
Nº 19 Br. Agua Dulce	13,49	13,49	104,03	-6,12	8,34
Nº 20 Servicio Diario	28,48	26,49	28,05	0,00	3,50
Nº 21 Sedimentación	38,34	35,65	28,58	0,00	3,90

1.2. Cargamento.

La condición de carga con la que se da un mayor desplazamiento, como se mostró anteriormente, es con TEU's sobre la cubierta superior, y Roll Trailer's de 20 pies en bodega de entrepuente y bodeguín. El peso de la carga se supondrá que es homogéneo.

En la Tabla 6.3. se muestra el peso del cargamento en cada una de las 3 zonas de carga y su centro de gravedad.

Tabla 6.2. Características de la distribución de la carga a bordo, para la condición de plena carga.

Zona de carga	Peso carga (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)
Bodeguín	1.170,0	64,05	0,00	2,75
Entrepunte	1.944,0	55,05	0,00	8,20
Cub. Superior	1.140,0	52,40	-0,165	12,90

La situación de máxima carga estudiada se corresponde a Roll Trailers 20' de 26 toneladas en bodeguín, Roll Trailers 20' de 24 toneladas en bodega de entrepuente, y TEU's de 12 toneladas (1º fila) y TEU's de 8 toneladas (2º fila) sobre cubierta superior. La posición longitudinal y transversal del centro de gravedad de cada una de las cargas, se ha supuesto en el centro de las mismas, mientras que la posición vertical del centro de gravedad de cada una de las cargas, se ha supuesto a un porcentaje de la altura de cada carga, equivalente al porcentaje de carga con respecto su capacidad máxima.

2. Criterios de estabilidad.

Se comprobará que el buque cumple con los criterios de estabilidad marcados por la OMI y transcritos en el *Boletín Oficial del Estado* en el BOE-5295 del año 2011, los cuales son:

- El área bajo la curva de brazos adrizantes (brazos GZ) no será inferior a 0,055 metro·radián hasta un ángulo de escora de 30°.
- El área bajo la curva de brazos adrizantes hasta un ángulo de 40°, no debe ser inferior a 0,09 metro·radian.
- El área bajo la curva de brazos adrizantes entre los ángulos de escora de 30° y 40°, o entre 30° y el ángulo de inundación progresiva si éste es inferior a 40°, no será inferior a 0,03 metro·radián.
- El brazo adrizante GZ será como mínimo de 0,2 m a un ángulo de escora igual o superior a 30°.
- El brazo adrizante máximo corresponderá a un ángulo de escora no inferior a 25°.
- La altura metacéntrica inicial GM_0 (corregida por los efectos de las superficies libres) no será inferior a 0,15 metros.

3. Estabilidad para la condición de carga 1.

En la condición de carga 1, correspondiente al buque en la condición de salida a plena carga, se tiene la partida de pesos mostrada en la Tabla 6.3. Compruébese que en esta condición, el buque, va lastrado parcialmente para corregir escora y trimado y tener unas mejores condiciones de navegabilidad.

Tabla 6.3. Partida de pesos en la condición de carga 1.

Elemento	Cant.	Peso (t)	L_G (m)	T_G (m)	V_G (m)
Acero continuo	1	2.633,911	53,900	0,000	7,292
Carga Bodeguín	1	1.170,000	64,050	0,000	2,750
Carga Entrepunte	1	1944,000	55,050	0,000	8,200
Carga Cub. Superior	1	1140,000	52,400	-0,165	12,900
Nº 1 Rasel de Proa	100%	96,570	112,837	0,000	4,112
Nº 2 Er. Trimado	100%	135,942	103,860	1,943	4,380
Nº 2 Br. Trimado	0%	0,000	101,030	0,000	0,009
Nº 3 Tanque Lastre	0%	0,000	96,839	0,000	0,007
Nº 4 Er. Tanque Lastre	0%	0,000	72,226	2,802	0,017
Nº 4 Br. Tanque Lastre	0%	0,000	72,226	-2,802	0,017
Nº 5 Er. Tanque Lastre	0%	0,000	72,771	0,016	0,000
Nº 5 Br. Tanque Lastre	0%	0,000	72,771	-0,016	0,000
Nº 4A Er. Tanque Lastre	0%	0,000	48,231	4,204	0,010
Nº 4A Br. Tanque Lastre	0%	0,000	48,231	-4,204	0,010
Nº 5A Er. Tanque Fuel-Oil	100%	134,484	59,318	2,098	0,727
Nº 5A Br. Tanque Fuel-Oil	100%	134,484	59,318	-2,098	0,727
Nº 6 Er. Tanque Lastre	0%	0,000	45,655	4,205	0,010
Nº 6 Br. Tanque Lastre	0%	0,000	45,655	-4,205	0,010
Nº 7 Er. Tanque Fuel-Oil	100%	47,472	38,282	2,072	0,389
Nº 7 Br. Tanque Fuel-Oil	100%	87,995	38,198	-2,086	0,737
Nº 8 Tanque Diesel-Oil	100%	49,484	26,429	0,000	0,817
Nº 9 Er. Tanque Adrizamiento	0%	0,000	27,501	5,123	1,450
Nº 9 Br. Tanque Adrizamiento	0%	0,000	27,501	-5,123	1,450
Nº 10 Derrames	0%	0,000	22,712	-1,400	0,160
Nº 11 Residuos	0%	0,000	22,712	1,400	0,160
Nº 12 Er. Agua Dulce	100%	16,542	18,051	2,406	1,730
Nº 12 Br. Agua Dulce	100%	16,542	18,051	-2,406	1,730
Nº 13 Aceite Retorno	100%	5,852	18,860	0,000	1,066
Nº 14 Aceite Sucio	100%	5,491	18,906	0,000	0,378
Nº 15 Aceite Bocina	100%	1,976	12,932	0,000	1,495
Nº 16 Tanque Lastre	0%	0,000	6,307	0,000	0,018
Nº 17 Er. Tanque Lastre	0%	0,000	5,828	0,643	3,430
Nº 17 Br. Tanque Lastre	0%	0,000	5,828	-0,643	3,430
Nº 18 Er. Tanque Lastre	0%	0,000	0,000	0,000	5,155
Nº 18 Br. Tanque Lastre	0%	0,000	0,000	0,000	5,155
Nº 19 Er. Agua Dulce	100%	13,489	104,030	6,116	8,336
Nº 19 Br. Agua Dulce	100%	13,489	104,030	-6,116	8,336
Nº 20 Servicio Diario	100%	26,485	28,050	0,000	3,500
Nº 21 Sedimentación	100%	35,65	28,58	0,00	3,90
Provisiones	1	5,000	104,600	0,000	10,500

ALARGAMIENTO DE UN BUQUE TIPO RO-RO.

Cargos-Fonda	1	3,000	102,220	0,000	13,000
Cargos-Maquinas	1	8,000	109,600	0,000	8,000
Cargos y equipo	1	14,000	78,010	0,000	8,940
Tripulantes-Efectos	1	3,000	98,020	0,000	13,500
Total Loadcase		7742,560	56,776	-0,001	7,131
FS correction					0,000
VCG fluid					7,131

3.1. Equilibrium.

Tabla 6.4. Equilibrium en la condición de carga 1.

Equilibrium	
Calado en la sección media (m)	5,713
Desplazamiento (t)	7743
Calado en proa (m)	5,628
Calado en popa (m) 11,665	5,798
Calado en el centro de flotación (m)	5,722
Trimado (m)	0,170
Eslora en la flotación (m)	120,382
Manga en la flotación (m)	16,535
Superficie mojada (m ²)	2562,392
Área de la flotación (m ²)	1756,784
Coefficiente prismático CP	0,722
Coefficiente de bloque CB	0,692
Coefficiente de la maestra CM	0,959
Coefficiente de la flotación CF	0,919
Centro de carena LCB (m)	56,773
Centro de la flotación LCF (m)	51,599
Centro de carena KB (m)	3,172
Centro de gravedad KG (m)	7,131
Radio metacéntrico transversal BMt (m)	4,744
Radio metacéntrico longitudinal BMI (m)	229,451
Altura metacéntrica transversal GMt (m)	0,784
Altura metacéntrica longitudinal GMI (m)	225,492
Altura metacentro transversal KMt (m)	7,915
Altura metacentro longitudinal (m) 234,747	232,622
Toneladas por centímetro de inmersión TCI (t/cm)	18,007
Momento para alterar el trimado un centímetro MT (t·m)	150,954
Radio metacéntrico RM (t·m)	105,968
Ángulo de inclinación de la cubierta (deg)	0,0843
Ángulo de trimado ϕ (deg)	0,0843

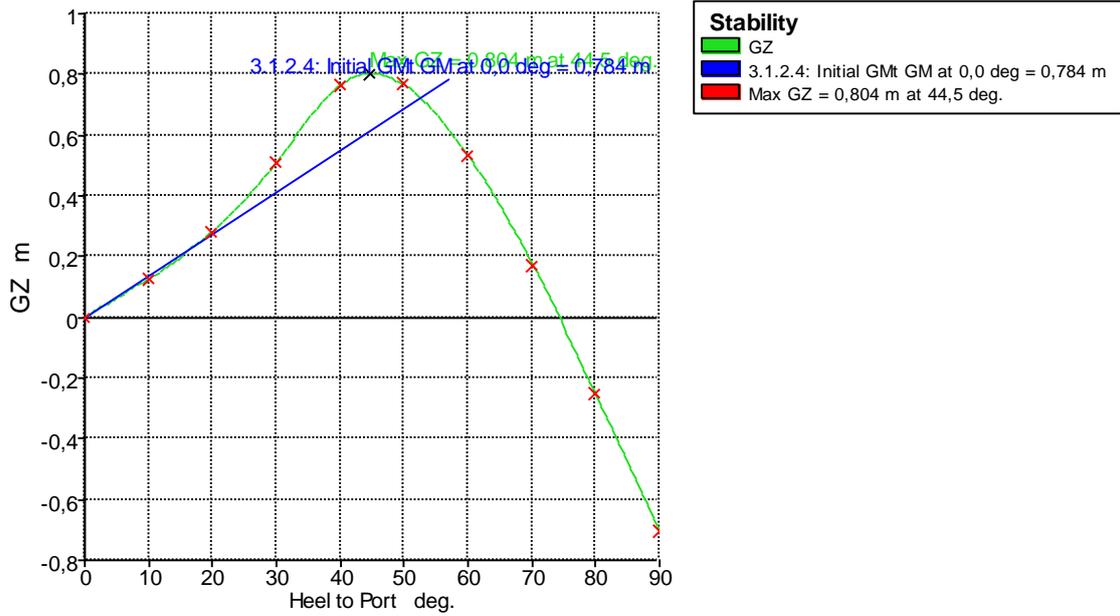
3.2. Estabilidad a grandes ángulos.

Tabla 6.5. Estabilidad a grandes ángulos, desde 0 hasta 40 grados, en la condición de carga 1.

Ángulo de escora	0	10	20	30	40
Brazo adrizante GZ (m)	-0,001	0,128	0,282	0,510	0,766
Área bajo la curva GZ (m·deg)	0,0000	0,0110	0,0460	0,1138	0,2269
Desplazamiento (t)	7743	7743	7743	7743	7743
Calado en proa (m)	5,628	5,654	5,685	5,650	5,500
Calado en popa (m)	5,798	5,703	5,482	5,149	4,614
Eslora en la flotación (m)	120,382	120,466	120,554	120,643	120,745
Manga en la flotación (m)	16,535	16,789	17,551	18,203	16,966
Superficie mojada (m ²)	2562,392	2535,029	2532,563	2557,113	2619,820
Área en la flotación (m ²)	1756,784	1734,882	1763,451	1819,112	1778,746
Coefficiente prismático CP	0,722	0,728	0,741	0,757	0,777
Coefficiente de bloque CB	0,692	0,685	0,667	0,665	0,763
Centro de carena LCB (m)	56,773	56,774	56,783	56,792	56,800
Centro de la flotación LCF (m)	51,599	52,853	54,019	54,803	54,837
Máx. inclinación cubierta (deg)	0,0843	10,0000	20,0002	30,0007	40,0012
Ángulo de trimado ϕ (deg)	0,0843	0,0239	-0,1005	-0,2483	-0,4391

Tabla 6.6. Estabilidad a grandes ángulos, desde 50 hasta 90 grados, en la condición de carga 1.

Ángulo de escora	50	60	70	80	90
Brazo adrizante GZ (m)	0,768	0,533	0,173	-0,253	-0,706
Área bajo la curva GZ (m·deg)	0,3651	0,4811	0,5439	0,5375	0,4541
Desplazamiento (t)	7743	7743	7743	7743	7743
Calado en proa (m)	5,375	5,203	4,911	4,266	n/a
Calado en popa (m)	3,804	2,608	0,453	-5,844	n/a
Eslora en la flotación (m)	120,923	121,262	123,800	124,564	125,284
Manga en la flotación (m)	14,363	12,966	12,564	11,679	11,637
Superficie mojada (m ²)	2668,854	2689,835	2688,582	2677,943	2678,524
Área en la flotación (m ²)	1593,275	1464,119	1396,460	1335,580	1307,496
Coefficiente prismático CP	0,796	0,809	0,818	0,824	0,829
Coefficiente de bloque CB	0,993	1,319	2,084	0,000	0,000
Centro de carena LCB (m)	56,815	56,824	56,835	56,844	56,854
Centro de la flotación LCF (m)	54,975	55,692	56,722	58,196	58,883
Máx. inclinación cubierta (deg)	50,0018	60,0021	70,0018	80,0012	90,0000
Ángulo de trimado ϕ (deg)	-0,7778	-1,2854	-2,2075	-4,9957	n/a



Gráfica 6.1. Curva de brazos adrizantes GZ, en la condición de carga 1.

3.3. Comprobación de los criterios de estabilidad.

Tabla 6.7. Comprobación de los criterios de estabilidad de la OMI, en la condición de carga 1.

Criterio	Límite	Obtenido
1. Area 0 to 30	$\geq 0,055$ m.rad	0,1138
2. Area 0 to 40	$\geq 0,090$ m.rad	0,2269
3. Area 30 to 40	$\geq 0,030$ m.rad	0,1131
4. Max GZ at 30 or greater	$\geq 0,200$ m	0,804
5. Angle of maximum GZ	$\geq 25,0$ deg	44,5
6. Initial GM _t	$\geq 0,150$ m	0,784

4. Estabilidad para la condición de carga 2.

Tabla 6.8. Partida de pesos en la condición de carga 2.

Elemento	Cant.	Peso (t)	L _G (m)	T _G (m)	V _G (m)
Acero continuo	1	2.633,911	53,900	0,000	7,292
Carga Bodeguín	1	1.170,000	64,050	0,000	2,750
Carga Entrepunte	1	1944,000	55,050	0,000	8,200
Carga Cub. Superior	1	1140,000	52,400	-0,165	12,900
Nº 1 Rasel de Proa	0%	0,000	112,903	0,000	0,001
Nº 2 Er. Trimado	0%	0,000	101,030	0,000	0,009
Nº 2 Br. Trimado	0%	0,000	101,030	0,000	0,009
Nº 3 Tanque Lastre	100%	105,955	93,473	0,000	0,823
Nº 4 Er. Tanque Lastre	100%	47,375	78,726	5,425	0,868
Nº 4 Br. Tanque Lastre	0%	0,000	72,226	-2,802	0,017
Nº 5 Er. Tanque Lastre	0%	0,000	72,771	0,016	0,000
Nº 5 Br. Tanque Lastre	0%	0,000	72,771	-0,016	0,000
Nº 4A Er. Tanque Lastre	0%	0,000	48,231	4,204	0,010
Nº 4A Br. Tanque Lastre	0%	0,000	48,231	-4,204	0,010
Nº 5A Er. Tanque Fuel-Oil	10%	13,448	59,299	2,076	0,076
Nº 5A Br. Tanque Fuel-Oil	10%	13,448	59,299	-2,076	0,076
Nº 6 Er. Tanque Lastre	0%	0,000	45,655	4,205	0,010
Nº 6 Br. Tanque Lastre	0%	0,000	45,655	-4,205	0,010
Nº 7 Er. Tanque Fuel-Oil	10%	4,747	39,290	1,938	0,052
Nº 7 Br. Tanque Fuel-Oil	10%	8,800	38,875	-1,983	0,090
Nº 8 Tanque Diesel-Oil	10%	4,948	26,635	0,000	0,179
Nº 9 Er. Tanque Adrizamiento	0%	0,000	27,501	5,123	1,450
Nº 9 Br. Tanque Adrizamiento	0%	0,000	27,501	-5,123	1,450
Nº 10 Derrames	100%	2,168	22,039	-2,168	0,955
Nº 11 Residuos	100%	2,168	22,039	2,168	0,955
Nº 12 Er. Agua Dulce	10%	1,654	18,867	1,810	0,851
Nº 12 Br. Agua Dulce	10%	1,654	18,867	-1,810	0,851
Nº 13 Aceite Retorno	100%	5,852	18,860	0,000	1,066
Nº 14 Aceite Sucio	100%	5,491	18,906	0,000	0,378
Nº 15 Aceite Bocina	100%	1,976	12,932	0,000	1,495
Nº 16 Tanque Lastre	0%	0,000	6,307	0,000	0,018
Nº 17 Er. Tanque Lastre	0%	0,000	5,828	0,643	3,430
Nº 17 Br. Tanque Lastre	0%	0,000	5,828	-0,643	3,430
Nº 18 Er. Tanque Lastre	0%	0,000	0,000	0,000	5,155
Nº 18 Br. Tanque Lastre	0%	0,000	0,000	0,000	5,155
Nº 19 Er. Agua Dulce	10%	1,349	103,366	5,950	7,178
Nº 19 Br. Agua Dulce	10%	1,349	103,366	-5,950	7,178
Nº 20 Servicio Diario	100%	26,485	28,050	0,000	3,500
Nº 21 Sedimentación	100%	35,65	28,58	0,00	3,90
Provisiones	0,1	0,500	104,600	0,000	10,500
Cargos-Fonda	1	3,000	102,220	0,000	13,000
Cargos-Maquinas	1	8,000	109,600	0,000	8,000
Cargos y equipo	1	14,000	78,010	0,000	8,940
Tripulantes-Efectos	1	3,000	98,020	0,000	13,500
Total Loadcase		7200,931	56,188	0,008	7,432

FS correction					0,077
VCG fluid					7,510

4.1. Equilibrium.

Tabla 6.9. Equilibrium en la condición de carga 2.

Equilibrium	
Calado en la sección media (m)	5,383
Desplazamiento (t)	7201
Calado en proa (m)	5,056
Calado en popa (m) 11,665	5,710
Calado en el centro de flotación (m)	5,420
Trimado (m)	0,654
Eslora en la flotación (m)	120,563
Manga en la flotación (m)	16,536
Superficie mojada (m ²)	2473,193
Área de la flotación (m ²)	1728,356
Coefficiente prismático CP	0,707
Coefficiente de bloque CB	0,683
Coefficiente de la maestra CM	0,966
Coefficiente de la flotación CF	0,904
Centro de carena LCB (m)	56,160
Centro de la flotación LCF (m)	51,351
Centro de carena KB (m)	2,995
Centro de gravedad KG (m)	7,510
Radio metacéntrico transversal BMt (m)	4,964
Radio metacéntrico longitudinal BMI (m)	236,732
Altura metacéntrica transversal GMt (m)	0,449
Altura metacéntrica longitudinal GMI (m)	232,217
Altura metacentro transversal KMt (m)	7,958
Altura metacentro longitudinal (m) 234,747	239,723
Toneladas por centímetro de inmersión TCI (t/cm)	17,716
Momento para alterar el trimado un centímetro MT (t·m)	144,575
Radio metacéntrico RM (t·m)	56,376
Ángulo de inclinación de la cubierta (deg)	0,3242
Ángulo de trimado ϕ (deg)	0,3242

4.2. Estabilidad a grandes ángulos.

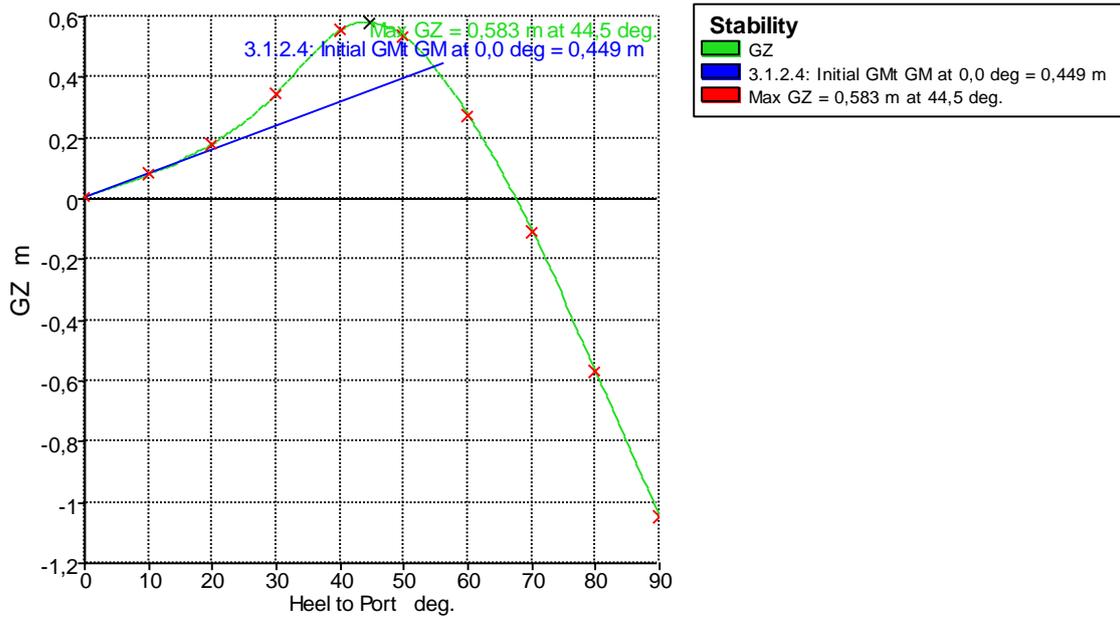
ALARGAMIENTO DE UN BUQUE TIPO RO-RO.

Tabla 6.10. Estabilidad a grandes ángulos, desde 0 hasta 40 grados, en la condición de carga 2.

Ángulo de escora	0	10	20	30	40
Brazo adrizante GZ (m)	0,008	0,080	0,180	0,347	0,557
Área bajo la curva GZ (m·deg)	0,0000	0,0075	0,0296	0,0742	0,1544
Desplazamiento (t)	7201	7201	7201	7201	7201
Calado en proa (m)	5,056	5,092	5,129	5,089	4,879
Calado en popa (m)	5,710	5,601	5,363	5,010	4,437
Eslora en la flotación (m)	120,563	120,619	120,683	120,797	121,041
Manga en la flotación (m)	16,536	16,791	17,477	17,935	17,045
Superficie mojada (m ²)	2473,193	2447,544	2447,371	2471,794	2516,687
Área en la flotación (m ²)	1728,356	1708,576	1734,139	1781,784	1781,552
Coefficiente prismático CP	0,707	0,714	0,733	0,758	0,777
Coefficiente de bloque CB	0,683	0,677	0,663	0,671	0,765
Centro de carena LCB (m)	56,160	56,168	56,179	56,191	56,201
Centro de la flotación LCF (m)	51,351	52,574	53,703	54,501	54,891
Máx. inclinación cubierta (deg)	0,3242	10,0031	20,0003	30,0000	40,0003
Ángulo de trimado ϕ (deg)	0,3242	0,2522	0,1159	-0,0391	-0,2186

Tabla 6.11. Estabilidad a grandes ángulos, desde 50 hasta 90 grados, en la condición de carga 2.

Ángulo de escora	50	60	70	80	90
Brazo adrizante GZ (m)	0,538	0,277	-0,111	-0,567	-1,048
Área bajo la curva GZ (m·deg)	0,2540	0,3277	0,3435	0,2850	0,1442
Desplazamiento (t)	7201	7201	7201	7201	7201
Calado en proa (m)	4,578	4,150	3,369	1,266	n/a
Calado en popa (m)	3,546	2,204	-0,230	-7,402	n/a
Eslora en la flotación (m)	121,619	122,455	123,153	124,253	124,971
Manga en la flotación (m)	14,422	13,063	12,805	11,919	11,339
Superficie mojada (m ²)	2556,048	2571,968	2571,111	2566,076	2563,985
Área en la flotación (m ²)	1605,160	1480,173	1397,539	1328,330	1287,507
Coefficiente prismático CP	0,795	0,806	0,812	0,817	0,822
Coefficiente de bloque CB	1,044	1,508	3,312	0,000	0,000
Centro de carena LCB (m)	56,215	56,230	56,240	56,251	56,262
Centro de la flotación LCF (m)	55,107	55,984	56,940	58,292	58,392
Máx. inclinación cubierta (deg)	50,0008	60,0012	70,0012	80,0009	90,0000
Ángulo de trimado ϕ (deg)	-0,5108	-0,9639	-1,7823	-4,2857	n/a



Gráfica 6.2. Curva de brazos adrizantes GZ, en la condición de carga 2.

4.3. Comprobación de los criterios de estabilidad.

Tabla 6.12. Comprobación de los criterios de estabilidad de la OMI, en la condición de carga 2.

Criterio	Límite	Obtenido
1. Area 0 to 30	$\geq 0,055$ m.rad	0,0742
2. Area 0 to 40	$\geq 0,090$ m.rad	0,1544
3. Area 30 to 40	$\geq 0,030$ m.rad	0,0802
4. Max GZ at 30 or greater	$\geq 0,200$ m	0,583
5. Angle of maximum GZ	$\geq 25,0$ deg	44,5
6. Initial GM _t	$\geq 0,150$ m	0,449

5. Estabilidad para la condición de carga 3.

Tabla 6.13. Partida de pesos en la condición de carga 3.

Elemento	Cant.	Peso (t)	L _G (m)	T _G (m)	V _G (m)
Acero continuo	1	2.633,911	53,900	0,000	7,292
Carga Bodeguín	-	-	-	-	-
Carga Entrepunte	-	-	-	-	-
Carga Cub. Superior	-	-	-	-	-
Nº 1 Rasel de Proa	100%	96,570	112,837	0,000	4,112
Nº 2 Er. Trimado	0%	0,000	101,030	0,000	0,009
Nº 2 Br. Trimado	0%	0,000	101,030	0,000	0,009
Nº 3 Tanque Lastre	100%	105,955	93,473	0,000	0,823
Nº 4 Er. Tanque Lastre	100%	47,375	78,726	5,425	0,868
Nº 4 Br. Tanque Lastre	100%	47,375	78,726	-5,425	0,868
Nº 5 Er. Tanque Lastre	100%	91,329	80,163	2,084	0,737
Nº 5 Br. Tanque Lastre	100%	91,329	80,163	-2,084	0,737
Nº 4A Er. Tanque Lastre	100%	104,973	59,261	5,657	0,818
Nº 4A Br. Tanque Lastre	100%	104,973	59,261	-5,657	0,818
Nº 5A Er. Tanque Fuel-Oil	100%	134,484	59,318	2,098	0,727
Nº 5A Br. Tanque Fuel-Oil	100%	134,484	59,318	-2,098	0,727
Nº 6 Er. Tanque Lastre	0%	0,000	45,655	4,205	0,010
Nº 6 Br. Tanque Lastre	0%	0,000	45,655	-4,205	0,010
Nº 7 Er. Tanque Fuel-Oil	100%	47,472	38,282	2,072	0,389
Nº 7 Br. Tanque Fuel-Oil	100%	87,995	38,198	-2,086	0,737
Nº 8 Tanque Diesel-Oil	100%	49,484	26,429	0,000	0,817
Nº 9 Er. Tanque Adrizamiento	0%	0,000	27,501	5,123	1,450
Nº 9 Br. Tanque Adrizamiento	0%	0,000	27,501	-5,123	1,450
Nº 10 Derrames	100%	0,000	22,712	-1,400	0,160
Nº 11 Residuos	100%	0,000	22,712	1,400	0,160
Nº 12 Er. Agua Dulce	100%	16,542	18,051	2,406	1,730
Nº 12 Br. Agua Dulce	100%	16,542	18,051	-2,406	1,730
Nº 13 Aceite Retorno	100%	5,852	18,860	0,000	1,066
Nº 14 Aceite Sucio	100%	5,491	18,906	0,000	0,378
Nº 15 Aceite Bocina	100%	1,976	12,932	0,000	1,495
Nº 16 Tanque Lastre	100%	12,642	5,901	0,000	2,337
Nº 17 Er. Tanque Lastre	0%	0,000	5,828	0,643	3,430
Nº 17 Br. Tanque Lastre	0%	0,000	5,828	-0,643	3,430
Nº 18 Er. Tanque Lastre	0%	0,000	0,000	0,000	5,155
Nº 18 Br. Tanque Lastre	0%	0,000	0,000	0,000	5,155
Nº 19 Er. Agua Dulce	100%	13,489	104,030	6,116	8,336
Nº 19 Br. Agua Dulce	100%	13,489	104,030	-6,116	8,336
Nº 20 Servicio Diario	100%	26,485	28,050	0,000	3,500
Nº 21 Sedimentación	100%	35,65	28,58	0,00	3,90
Provisiones	1	5,000	104,600	0,000	10,500
Cargos-Fonda	1	3,000	102,220	0,000	13,000
Cargos-Maquinas	1	8,000	109,600	0,000	8,000
Cargos y equipo	1	14,000	78,010	0,000	8,940
Tripulantes-Efectos	1	3,000	98,020	0,000	13,500
Total Loadcase		3958,868	57,673	0,022	5,370

FS correction					0,000
VCG fluid					5,370

5.1. Equilibrium.

Tabla 6.14. Equilibrium en la condición de carga 3.

Equilibrium	
Calado en la sección media (m)	3,335
Desplazamiento (t)	3959
Calado en proa (m)	3,114
Calado en popa (m) 11,665	3,556
Calado en el centro de flotación (m)	3,338
Trimado (m)	0,442
Eslora en la flotación (m)	114,788
Manga en la flotación (m)	16,562
Superficie mojada (m ²)	1801,107
Área de la flotación (m ²)	1416,409
Coefficiente prismático CP	0,646
Coefficiente de bloque CB	0,605
Coefficiente de la maestra CM	0,936
Coefficiente de la flotación CF	0,739
Centro de carena LCB (m)	57,659
Centro de la flotación LCF (m)	57,183
Centro de carena KB (m)	1,834
Centro de gravedad KG (m)	5,370
Radio metacéntrico transversal BMt (m)	6,764
Radio metacéntrico longitudinal BMI (m)	256,518
Altura metacéntrica transversal GMt (m)	3,228
Altura metacéntrica longitudinal GMI (m)	252,982
Altura metacentro transversal KMt (m)	8,598
Altura metacentro longitudinal (m) 234,747	258,340
Toneladas por centímetro de inmersión TCI (t/cm)	14,518
Momento para alterar el trimado un centímetro MT (t·m)	86,591
Radio metacéntrico RM (t·m)	223,033
Ángulo de inclinación de la cubierta (deg)	0,5539
Ángulo de trimado ϕ (deg)	0,2190

5.2. Estabilidad a grandes ángulos.

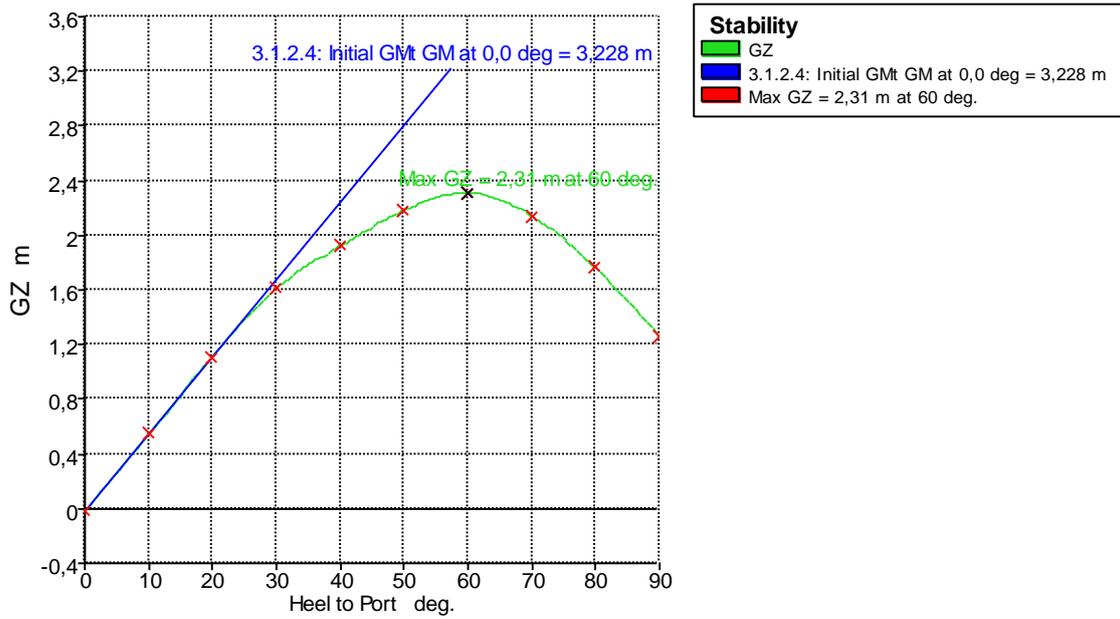
ALARGAMIENTO DE UN BUQUE TIPO RO-RO.

Tabla 6.15. Estabilidad a grandes ángulos, desde 0 hasta 40 grados, en la condición de carga 3.

Ángulo de escora	0	10	20	30	40
Brazo adrizante GZ (m)	-0,022	0,544	1,108	1,608	1,922
Área bajo la curva GZ (m·deg)	0,0000	0,0456	0,1899	0,4291	0,7390
Desplazamiento (t)	3959	3959	3959	3959	3959
Calado en proa (m)	3,114	3,104	3,065	2,946	2,553
Calado en popa (m)	3,556	3,499	3,254	2,703	1,772
Eslora en la flotación (m)	114,788	114,791	118,686	122,455	123,341
Manga en la flotación (m)	16,561	16,552	16,246	15,189	14,388
Superficie mojada (m ²)	1801,078	1810,663	1851,960	1855,147	1838,536
Área en la flotación (m ²)	1416,367	1427,058	1467,114	1461,483	1453,059
Coefficiente prismático CP	0,646	0,653	0,674	0,696	0,696
Coefficiente de bloque CB	0,605	0,612	0,651	0,780	1,092
Centro de carena LCB (m)	57,659	57,661	57,664	57,674	57,695
Centro de la flotación LCF (m)	57,183	57,028	55,978	55,777	56,084
Máx. inclinación cubierta (deg)	0,2191	10,0018	20,0002	30,0002	40,0009
Ángulo de trimado ϕ (deg)	0,2191	0,1957	0,0935	-0,1205	-0,3869

Tabla 6.16. Estabilidad a grandes ángulos, desde 50 hasta 90 grados, en la condición de carga 3.

Ángulo de escora	50	60	70	80	90
Brazo adrizante GZ (m)	2,178	2,310	2,143	1,764	1,262
Área bajo la curva GZ (m·deg)	1,0973	1,4923	1,8850	2,2283	2,4934
Desplazamiento (t)	3959	3959	3959	3959	3959
Calado en proa (m)	1,700	0,218	-2,649	-11,264	n/a
Calado en popa (m)	0,249	-2,508	-7,980	-23,812	n/a
Eslora en la flotación (m)	123,179	122,309	118,524	120,934	123,532
Manga en la flotación (m)	14,684	13,597	12,013	11,335	11,041
Superficie mojada (m ²)	1848,386	1848,238	1829,583	1833,019	1843,997
Área en la flotación (m ²)	1497,035	1392,083	1258,060	1181,774	1146,922
Coefficiente prismático CP	0,689	0,685	0,690	0,702	0,718
Coefficiente de bloque CB	2,423	0,000	0,000	0,000	0,000
Centro de carena LCB (m)	57,713	57,729	57,749	57,776	57,803
Centro de la flotación LCF (m)	56,715	56,466	55,271	55,412	55,690
Máx. inclinación cubierta (deg)	50,0016	60,0023	70,0026	80,0018	90,0000
Ángulo de trimado ϕ (deg)	-0,7186	-1,3505	-2,6389	-6,1918	n/a



Gráfica 6.3. Curva de brazos adrizantes GZ, en la condición de carga 3.

5.3. Comprobación de los criterios de estabilidad.

Tabla 6.17. Comprobación de los criterios de estabilidad de la OMI, en la condición de carga 3.

Criterio	Límite	Obtenido
1. Area 0 to 30	$\geq 0,055$ m.rad	0,4291
2. Area 0 to 40	$\geq 0,090$ m.rad	0,7390
3. Area 30 to 40	$\geq 0,030$ m.rad	0,3099
4. Max GZ at 30 or greater	$\geq 0,200$ m	2,310
5. Angle of maximum GZ	$\geq 25,0$ deg	60,0
6. Initial GM_t	$\geq 0,150$ m	3,228

6. Estabilidad para la condición de carga 4.

Tabla 6.18. Partida de pesos en la condición de carga 4.

Elemento	Cant.	Peso (t)	L_G (m)	T_G (m)	V_G (m)
Acero continuo	1	2.633,911	53,900	0,000	7,292
Carga Bodeguín	-	-	-	-	-
Carga Entrepunte	-	-	-	-	-
Carga Cub. Superior	-	-	-	-	-
Nº 1 Rasel de Proa	100%	96,570	112,837	0,000	4,112
Nº 2 Er. Trimado	0%	0,000	101,030	0,000	0,009
Nº 2 Br. Trimado	0%	0,000	101,030	0,000	0,009
Nº 3 Tanque Lastre	100%	105,955	93,473	0,000	0,823
Nº 4 Er. Tanque Lastre	100%	47,375	78,726	5,425	0,868
Nº 4 Br. Tanque Lastre	100%	47,375	78,726	-5,425	0,868
Nº 5 Er. Tanque Lastre	100%	91,329	80,163	2,084	0,737
Nº 5 Br. Tanque Lastre	100%	91,329	80,163	-2,084	0,737
Nº 4A Er. Tanque Lastre	100%	104,973	59,261	5,657	0,818
Nº 4A Br. Tanque Lastre	100%	104,973	59,261	-5,657	0,818
Nº 5A Er. Tanque Fuel-Oil	10%	13,448	59,299	2,076	0,076
Nº 5A Br. Tanque Fuel-Oil	10%	13,448	59,299	-2,076	0,076
Nº 6 Er. Tanque Lastre	0%	0,000	45,655	4,205	0,010
Nº 6 Br. Tanque Lastre	0%	0,000	45,655	-4,205	0,010
Nº 7 Er. Tanque Fuel-Oil	10%	4,747	39,290	1,938	0,052
Nº 7 Br. Tanque Fuel-Oil	10%	8,800	38,875	-1,983	0,090
Nº 8 Tanque Diesel-Oil	10%	4,948	26,635	0,000	0,179
Nº 9 Er. Tanque Adrizamiento	0%	0,000	27,501	5,123	1,450
Nº 9 Br. Tanque Adrizamiento	0%	0,000	27,501	-5,123	1,450
Nº 10 Derrames	100%	2,168	22,039	-2,168	0,955
Nº 11 Residuos	100%	2,168	22,039	2,168	0,955
Nº 12 Er. Agua Dulce	10%	1,654	18,867	1,810	0,851
Nº 12 Br. Agua Dulce	10%	1,654	18,867	-1,810	0,851
Nº 13 Aceite Retorno	100%	5,852	18,860	0,000	1,066
Nº 14 Aceite Sucio	100%	5,491	18,906	0,000	0,378
Nº 15 Aceite Bocina	100%	1,976	12,932	0,000	1,495
Nº 16 Tanque Lastre	100%	12,642	5,901	0,000	2,337
Nº 17 Er. Tanque Lastre	0%	0,000	5,828	0,643	3,430
Nº 17 Br. Tanque Lastre	0%	0,000	5,828	-0,643	3,430
Nº 18 Er. Tanque Lastre	0%	0,000	0,000	0,000	5,155
Nº 18 Br. Tanque Lastre	0%	0,000	0,000	0,000	5,155
Nº 19 Er. Agua Dulce	10%	1,349	103,366	5,950	7,178
Nº 19 Br. Agua Dulce	10%	1,349	103,366	-5,950	7,178
Nº 20 Servicio Diario	100%	26,485	28,050	0,000	3,500
Nº 21 Sedimentación	100%	35,65	28,58	0,00	3,90
Provisiones	0,1	0,500	104,600	0,000	10,500
Cargos-Fonda	1	3,000	102,220	0,000	13,000
Cargos-Maquinas	1	8,000	109,600	0,000	8,000
Cargos y equipo	1	14,000	78,010	0,000	8,940
Tripulantes-Efectos	1	3,000	98,020	0,000	13,500
Total Loadcase		3491,785	58,596	-0,002	5,910

FS correction					0,167
VCG fluid					6,078

6.1. Equilibrium.

Tabla 6.19. Equilibrium en la condición de carga 4.

Equilibrium	
Calado en la sección media (m)	3,011
Desplazamiento (t)	3492
Calado en proa (m)	2,975
Calado en popa (m) 11,665	3,046
Calado en el centro de flotación (m)	3,011
Trimado (m)	0,071
Eslora en la flotación (m)	114,855
Manga en la flotación (m)	16,553
Superficie mojada (m ²)	1714,831
Área de la flotación (m ²)	1382,573
Coefficiente prismático CP	0,645
Coefficiente de bloque CB	0,591
Coefficiente de la maestra CM	0,916
Coefficiente de la flotación CF	0,722
Centro de carena LCB (m)	58,589
Centro de la flotación LCF (m)	57,788
Centro de carena KB (m)	1,653
Centro de gravedad KG (m)	6,078
Radio metacéntrico transversal BMt (m)	7,382
Radio metacéntrico longitudinal BMI (m)	274,917
Altura metacéntrica transversal GMt (m)	2,957
Altura metacéntrica longitudinal GMI (m)	270,492
Altura metacentro transversal KMt (m)	9,034
Altura metacentro longitudinal (m) 234,747	276,570
Toneladas por centímetro de inmersión TCI (t/cm)	14,171
Momento para alterar el trimado un centímetro MT (t·m)	81,661
Radio metacéntrico RM (t·m)	180,177
Ángulo de inclinación de la cubierta (deg)	0,0353
Ángulo de trimado ϕ (deg)	0,0353

6.2. Estabilidad a grandes ángulos.

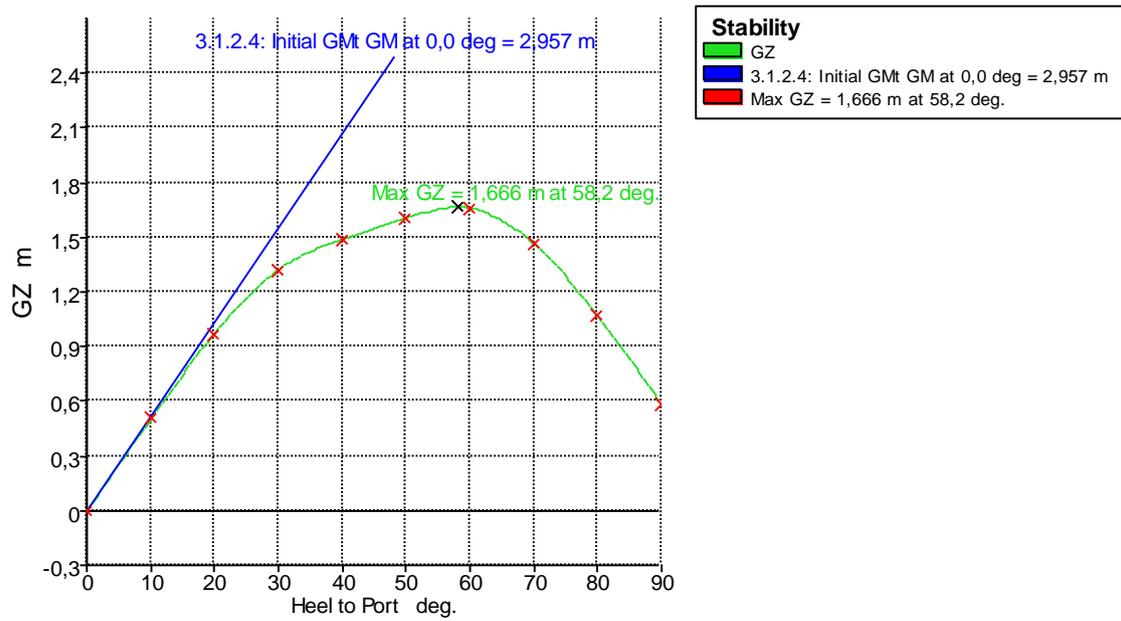
ALARGAMIENTO DE UN BUQUE TIPO RO-RO.

Tabla 6.20. Estabilidad a grandes ángulos, desde 0 hasta 40 grados, en la condición de carga 4.

Ángulo de escora	0	10	20	30	40
Brazo adrizante GZ (m)	-0,002	0,504	0,966	1,322	1,486
Área bajo la curva GZ (m·deg)	0,0000	0,0441	0,1732	0,3753	0,6224
Desplazamiento (t)	3492	3492	3492	3492	3492
Calado en proa (m)	2,975	2,958	2,886	2,717	2,286
Calado en popa (m)	3,046	2,988	2,761	2,200	1,205
Eslora en la flotación (m)	114,855	114,862	114,895	120,615	123,247
Manga en la flotación (m)	16,553	16,377	15,878	14,544	13,896
Superficie mojada (m ²)	1714,831	1718,878	1732,782	1733,434	1715,682
Área en la flotación (m ²)	1382,573	1381,993	1391,268	1382,329	1372,777
Coefficiente prismático CP	0,645	0,652	0,666	0,674	0,671
Coefficiente de bloque CB	0,591	0,605	0,657	0,830	1,251
Centro de carena LCB (m)	58,589	58,594	58,599	58,608	58,630
Centro de la flotación LCF (m)	57,788	57,754	57,430	56,534	56,717
Máx. inclinación cubierta (deg)	0,0353	10,0000	20,0001	30,0007	40,0017
Ángulo de trimado ϕ (deg)	0,0353	0,0149	-0,0616	-0,2563	-0,5351

Tabla 6.21. Estabilidad a grandes ángulos, desde 50 hasta 90 grados, en la condición de carga 4.

Ángulo de escora	50	60	70	80	90
Brazo adrizante GZ (m)	1,600	1,662	1,461	1,074	0,580
Área bajo la curva GZ (m·deg)	0,8917	1,1788	1,4551	1,6784	1,8236
Desplazamiento (t)	3492	3492	3492	3492	3492
Calado en proa (m)	1,404	-0,216	-3,424	-12,887	n/a
Calado en popa (m)	-0,429	-3,397	-9,321	-26,614	n/a
Eslora en la flotación (m)	123,015	119,348	117,723	120,286	123,137
Manga en la flotación (m)	14,202	13,399	11,980	11,298	11,007
Superficie mojada (m ²)	1716,445	1721,716	1717,704	1727,965	1739,320
Área en la flotación (m ²)	1402,056	1340,901	1231,367	1163,258	1128,192
Coefficiente prismático CP	0,659	0,653	0,661	0,674	0,692
Coefficiente de bloque CB	4,474	0,000	0,000	0,000	0,000
Centro de carena LCB (m)	58,650	58,667	58,698	58,722	58,742
Centro de la flotación LCF (m)	57,662	56,693	55,248	55,224	55,560
Máx. inclinación cubierta (deg)	50,0025	60,0031	70,0032	80,0021	90,0000
Ángulo de trimado ϕ (deg)	-0,9078	-1,5756	-2,9189	-6,7683	n/a



Gráfica 6.4. Curva de brazos adrizantes GZ, en la condición de carga 4.

6.3. Comprobación de los criterios de estabilidad.

Tabla 6.22. Comprobación de los criterios de estabilidad de la OMI, en la condición de carga 4.

Criterio	Límite	Obtenido
1. Area 0 to 30	$\geq 0,055$ m.rad	0,3753
2. Area 0 to 40	$\geq 0,090$ m.rad	0,6224
3. Area 30 to 40	$\geq 0,030$ m.rad	0,2470
4. Max GZ at 30 or greater	$\geq 0,200$ m	1,666
5. Angle of maximum GZ	$\geq 25,0$ deg	58,2
6. Initial GM _t	$\geq 0,150$ m	2,957

CONCLUSIONES

Tras realizar el alargamiento, se ha conseguido aumentar la capacidad de carga en un total de 435 metros lineales, 179 m en el bodeguín, 128 en la bodega de entrepuente y 128 en la cubierta superior. Además, la situación del buque a plena carga determinada corresponde a Roll Trailers 20' de 26 toneladas en bodeguín, Roll Trailers 20' de 24 toneladas en bodega de entrepuente, TEU's de 12 toneladas en la 1º fila sobre cubierta superior y TEU's de 8 toneladas en la 2º fila. Cuando antes del alargamiento, la situación del buque a plena carga correspondía a la misma distribución, pero con pesos de 22, 18, 12 y 8 toneladas respectivamente. Se debe prestar especial importancia a la carga sobre la cubierta superior, más aún cuando esta sea contenerizada, ya que debido a su altura, y si las bodegas inferiores no están lo suficientemente cargadas, se podría producir una pérdida de la estabilidad. Este inconveniente también lo presentaba el buque antes del alargamiento, incluso en un mayor grado.

El buque, a lo largo de su vida útil se encontrará con infinitas situaciones de carga, ya que es un buque de volumen. Considerando una distribución del peso de la carga homogéneo por toda la superficie ocupada por la carga, se necesita lastre para mantener unas buenas condiciones de navegabilidad. Pero esto es una situación que en la práctica no se produce, puesto que cada una de las unidades de carga embarcadas tendrá un peso distinto. Es por esto, que el Capitán del Ro-Ro, durante las operaciones de carga y descarga, y con la ayuda de unas tablas de carga, debe indicar la posición de cada una de las cargas para conseguir que el buque quede sin escora y con un nivel de trimado adecuado, sin la necesidad de lastrar el buque.

BIBLIOGRAFÍA

-HOLTROP, J., MENNEN, G.G.J. “An approximate power prediction method”.
Intercional Shipbuilding Progress. Vol. 29, July 1982.

-Evolución histórica de los buques Ro-Ro:
<https://vadebarcos.net/2014/09/14/buques-carga-rodada-ro-ro-mv-tonsberg/>

-Clasificación de los buques, Jerónimo Esteve Pérez (asignatura Fundamentos de tráfico marítimo)

-<https://www.fomento.gob.es/transporte-terrestre/inspeccion-y-seguridad-en-el-transporte/pesos-y-dimensiones/pesos>.

-Equipos y servicios: Fondeo, amarre y remolque, Eduardo Comas Turne.

-El proyecto básico del buque mercante, Ricardo Alvariño, Juan José Azpíroz, Manuel Meizso.

-Apuntes de la asignatura Sistemas Auxiliares, José Esteban Otón Tortosa.

-Apuntes de la asignatura Hidrostática y Estabilidad, Domingo García López.

-Apuntes de la asignatura Hidrodinámica, Resistencia y Propulsión.

-Apuntes de la asignatura Proyectos, José Enrique Gutiérrez Romero, Leandro Ruiz Peñalver.

-BOE A-2011-5295 Código Internacional de Estabilidad sin averías.

-Convenio internacional sobre líneas de carga, 1966.