

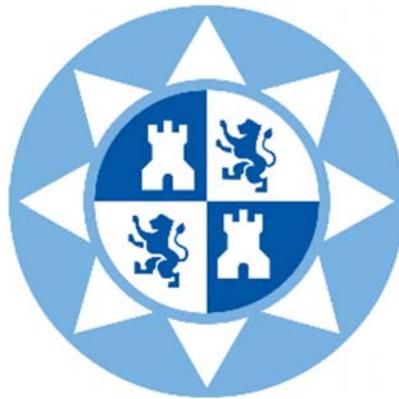


Escuela Técnica  
Superior  
de Ingeniería  
Naval y Oceánica

# GRADO EN ARQUITECTURA NAVAL E INGENIERÍA DE SISTEMAS MARINOS

## TRABAJO FIN DE GRADO

### PROYECTO DE ALARGAMIENTO DE UN BUQUE RO-LO



Universidad  
Politécnica  
de Cartagena

TUTOR: Jerónimo Esteve Pérez

ALUMNO: Jaime Palazón Martínez-Portillo

# ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS .....	11
OBJETIVO DEL TFG .....	13
INTRODUCCIÓN .....	15
CAPITULO 1. CARACTERÍSTICAS DEL BUQUE A TRANSFORMAR .....	17
1.1    MODELADO POR MAXSURF. ....	18
1.2    PLANO DE FORMAS .....	20
1.3    CÁLCULO DATOS INICIALES .....	20
1.3.1    Peso muerto .....	20
1.3.2    Peso en rosca .....	24
1.4    CÁLCULO RESISTENCIA AL AVANCE.....	25
1.4.1 Resistencia viscosa.....	26
1.4.2 Resistencia por formación de olas .....	28
1.4.3 Resistencia debido a la presencia de bulbo.....	30
1.4.4 Resistencia debido a la inmersión del espejo.....	31
1.4.5 Resistencia debida a la correlación modelo-buque.....	31
1.4.6 Resistencia debido a los apéndices .....	33
1.5    CÁLCULO DE LOS COEFICIENTES PROPULSIVOS.....	34
1.5.1    Coeficiente de succión .....	34
1.5.2    Coeficiente de estela.....	34
1.6    SELECCIÓN DE LA HÉLICE .....	36
1.6.1    Determinación del número de palas .....	36
1.6.2    Determinación del diámetro .....	37
1.6.3    Determinación de la relación área expandida-área disco .....	40
1.6.4    Determinación del rendimiento del propulsor aislado en aguas abiertas .....	42
1.7    SELECCIÓN DEL MOTOR .....	45
1.7.1 Potencia instalada en el buque .....	45
1.7.2 Rendimiento de la carena.....	46
1.7.3 El rendimiento rotativo-relativo.....	47
1.7.3 Rendimiento del propulsor aislado en aguas abiertas .....	47
1.7.4 Motor instalado .....	47
CAPÍTULO 2. APLICACIÓN DE LA ESPIRAL DE PROYECTO PARA DESARROLLAR EL ALARGAMIENTO DEL BUQUE. ....	51
2.1 ESTIMACIÓN DE LA ESLORA DE ALARGAMIENTO.....	51

2.2 CÁLCULO DEL NUEVO PESO EN ROSCA .....	52
2.3 NUEVA CAPACIDAD DE CARGA.....	57
2.3 DISTRIBUCIÓN DE LOS TANQUES TRAS EL ALARGAMIENTO .....	58
2.4 LASTRE FIJO .....	60
2.5 COMPROBACIÓN DE LOS CRITERIOS DE ESTABILIDAD DEL BUQUE ALARGADO.....	63
2.5.1 Condición de plena carga, salida de puerto (condición 1).....	64
2.5.2 Condición de plena carga, llegada a puerto (condición 2).....	67
2.5.3 Condición de lastre, salida de puerto (condición 3).....	70
2.5.4 Condición de lastre, llegada a puerto (condición 4) .....	72
2.6 FRANCOBORDO .....	75
2.7 DETERMINACIÓN DE LA NUEVA VELOCIDAD .....	82
CAPÍTULO 3. PLANO DE FORMAS Y PLANOS DE DISPOSICIÓN GENERAL DEL BUQUE ALARGADO.....	89
CAPÍTULO 4. CÁLCULO DEL ARQUEO.....	91
CAPÍTULO 5. SISTEMAS Y SERVICIOS MODIFICADOS POR EL ALARGAMIENTO. ....	97
5.1 SISTEMA DE ACHIQUE.....	97
5.2 SISTEMA CONTRAINCENDIOS. ....	99
5.2.1 Número de bombas principales de emergencia .....	100
5.2.2 Bomba de emergencia.....	100
5.2.3 Capacidad de las bombas contraincendios.....	100
5.2.4 Diámetro y presión del colector contraincendios.....	101
5.4.5 Número y distribución de las bocas contraincendios.....	102
5.4.6 Mangueras contraincendios .....	102
5.3 SISTEMA DE FONDEO, AMARRE Y REMOLQUE. ....	103
5.3.1 Equipo de fondeo .....	103
5.3.2 Selección de anclas y cadenas.....	104
5.3.3 Caja de cadenas.....	107
5.3.4 Escobén.....	108
5.3.5 Molinete .....	111
5.3.6 Equipo de amarre. ....	113
5.3.7 Bitas .....	114
5.4 MEDIOS DE SALVAMENTO .....	116
5.4.1 Comunicaciones.....	116
5.4.2 Bengalas.....	116

5.4.3 Sistemas de comunicaciones de a bordo y sistema de alarma .....	117
5.4.4 Aros salvavidas .....	117
5.4.5 Chalecos salvavidas .....	118
5.5 APLICACIÓN DEL CÓDIGO INTERNACIONAL PARA PREVENIR ABORDAJES (RIPA). .....	118
CAPÍTULO 6: SEGUNDA VUELTA A LA ESPIRAL DE PROYECTO. ....	119
6.1 EVALUACIÓN DE LOS CRITERIOS DE ESTABILIDAD.....	121
6.1.1 Condición de plena carga, salida de puerto (condición 1).....	121
6.1.2 Condición de plena carga, llegada a puerto (condición 2).....	123
6.1.3 Condición de lastre, salida de puerto (condición 3).....	126
6.1.4 Condición de lastre, llegada a puerto (condición 4). ....	128
6.2 COMPROBACIÓN DE LA RESISTENCIA AL AVANCE Y LA POTENCIA PROPULSORA NECESARIA.....	131
CAPÍTULO 7: DATOS ECONÓMICOS .....	137
CONCLUSIONES .....	147
BIBLIOGRAFÍA.....	151
ANEXO: PLANOS .....	153

## TABLAS

Tabla 1.1 Tipos de carga. ....	17
Tabla 1.2 Distribución de unidades de carga por cubierta y peso asociado.....	21
Tabla 1.3 Distribución de remolques de 20 pies y coches por cubierta. ....	21
Tabla 1.4 Coordenadas del centro de gravedad resultantes para cada cubierta con la distribución de carga. ....	22
Tabla 1.5 Características de los tanques del buque sin transformar.....	22
Tabla 1.6 Resultante fluidos de los tanques. ....	23
Tabla 1.7 Distribución de pesos. ....	24
Tabla 1.8 Datos iniciales. ....	24
Tabla 1.9 Rangos específicos RORO.....	25
Tabla 1.10 Valores de la constante en función de la forma de la cuaderna. ....	27
Tabla 1.11 Resultado resistencia viscosa. ....	28
Tabla 1.12 Resultado resistencia por formación de olas.....	30
Tabla 1.13 Resultado resistencia por la presencia de bulbo.....	31
Tabla 1.14 Resultado resistencia inmersión de espejo.....	31
Tabla 1.15 Resultado resistencia correlación.....	32
Tabla 1.16 Valores $1+k_2$ .....	33
Tabla 1.17 Resultado resistencia por apéndices.....	34
Tabla 1.18 Valor coeficiente de estela. ....	36
Tabla 1.19. Valor del huelgo calculado a la mayor potencia que se va a instalar en el buque	39
Tabla 1.20 Constantes para el coeficiente de diámetro óptimo para hélices de 4 palas.....	40
Tabla 1.21 Parámetros de la hélice seleccionada. ....	42
Tabla 1.22 Constantes del rendimiento del propulsor aislado. ....	42
Tabla 1.23 Relaciones de reducción de la reductora seleccionada. ....	44
Tabla 1.24 Datos necesarios de la hélice para la estimación de potencia. ....	45
Tabla 1.25 Rendimiento mecánico.....	46
Tabla 1.26 Valores de los rendimientos y de los BHP necesarios. ....	48
Tabla 1.27 Comprobación motor seleccionado.....	49
Tabla 2.1 Longitud de los remolques y coches. ....	51
Tabla 2.2 Componentes de posición, peso y momentos del cuerpo de popa del buque. ....	54
Tabla 2.3 Resultantes de peso, momento y posición longitudinal del centro de gravedad del cuerpo de popa del buque transformado. ....	54
Tabla 2.4 Resultantes de peso, momento y posición longitudinal del centro de gravedad del bloque de cuerpo cilíndrico añadido para alargar el buque.....	54
Tabla 2.5 Componentes de posición, peso y momentos del cuerpo de proa del buque. ....	55
Tabla 2.6 Resultantes de peso, momento y posición longitudinal del centro de gravedad del cuerpo de proa del buque transformado. ....	55
Tabla 2.7 Posición longitudinal del peso en rosca del buque transformado. ....	55
Tabla 2.8 Posición vertical del peso en rosca.....	56
Tabla 2.9 Comparación de la capacidad de carga del buque sin transformar y una vez alargado. ....	57
Tabla 2.10 Distribución de peso de las unidades de carga por cubiertas y coordenadas del centro de gravedad resultantes. ....	58

Tabla 2.11 Resultantes de peso y coordenadas del centro de gravedad de la carga en el buque transformado.....	58
Tabla 2.12 Características de los tanques tras el alargamiento del buque. ....	59
Tabla 2.13 Incumplimiento de los criterios de estabilidad del buque en rosca.....	60
Tabla 2.14 Lastre fijo inicial introducido.....	61
Tabla 2.15 Cumplimiento criterios de estabilidad buque rosca. ....	61
Tabla 2.16 Distribución y cantidad de carga que el buque alargado puede transportar sin lastre fijo extra. ....	61
Tabla 2.17 Cumplimiento de los criterios de estabilidad con 875 toneladas de carga en la cubierta shelter. ....	62
Tabla 2.18 Cantidad y disposición de lastre fijo en los tanques 9 A (ER),9 A (BR), 10 A (ER),10 A (BR). ....	62
Tabla 2.19 Distribución final de peso en rosca y carga por cubiertas.....	62
Tabla 2.20 Cumplimiento de los criterios de estabilidad para la situación de carga final. ....	63
Tabla 2.21 Distribución de pesos en la condición a plena carga, salida de puerto, 100% de consumos. ....	65
Tabla 2.22 Características hidrostáticas para la condición 1, para ángulos entre 0 y 40. ....	65
Tabla 2.23 Características hidrostáticas para la condición 1, para ángulos entre 50 y 90. ....	66
Tabla 2.24 Evaluación de criterios de estabilidad para la condición 1. ....	66
Tabla 2.25 Distribución de pesos de la condición 2.....	68
Tabla 2.26 Características hidrostáticas para la condición 2, para ángulos entre 0 y 40. ....	68
Tabla 2.27 Características hidrostáticas para la condición 2, para ángulos entre 50 y 90. ....	69
Tabla 2.28 Evaluación de criterios de estabilidad para la condición 2. ....	70
Tabla 2.29 Distribución de pesos para la condición 3.....	70
Tabla 2.30 Características hidrostáticas para la condición 3, para ángulos entre 0 y 40. ....	71
Tabla 2.31 Características hidrostáticas para la condición 3, para ángulos entre 50 y 90. ....	71
Tabla 2.32 Evaluación de criterios de estabilidad para la condición 3. ....	72
Tabla 2.33 Distribución de pesos para la condición 4.....	73
Tabla 2.34 Características hidrostáticas para la condición 4, para ángulos entre 0 y 40. ....	73
Tabla 2.35 Características hidrostáticas para la condición 4, para ángulos entre 40 y 90. ....	74
Tabla 2.36 Evaluación de criterios de estabilidad para la condición 4. ....	74
Tabla 2.37 Determinación de la eslora de francobordo. ....	76
Tabla 2.38 Datos iniciales para el Francobordo.....	76
Tabla 2.39 Valor de Z. ....	77
Tabla 2.40 Arrufo virtual en proa.....	77
Tabla 2.41 Arrufo virtual en popa.....	78
Tabla 2.42 Arrufo normal en popa. ....	78
Tabla 2.43 Arrufo normal en proa.....	78
Tabla 2.44 Corrección por arrufo. ....	79
Tabla 2.45 Francobordo corregido. ....	79
Tabla 2.46 Altura de proa.....	80
Tabla 2.47 Valor del francobordo para las diferentes líneas de carga. ....	80
Tabla 2.48 Distribución de pesos en la condición 1.....	82
Tabla 2.49 Datos iniciales buque alargado.....	82
Tabla 2.50 Valor resistencia viscosa. ....	83
Tabla 2.51 Valor resistencia por formación de olas.....	83
Tabla 2.52 Valor resistencia por bulbo. ....	84

Tabla 2.53 Valor resistencia por correlación. ....	84
Tabla 2.54 Valor resistencia por inmersión de espejo. ....	84
Tabla 2.55 Valor resistencia por los apéndices. ....	85
Tabla 2.56 Valor resistencia total. ....	85
Tabla 2.57 Valor coeficiente de estela. ....	85
Tabla 2.58 Valor del coeficiente de succión. ....	85
Tabla 2.59 Demostración cavitación de la hélice. ....	86
Tabla 2.60 Datos nueva hélice montada. ....	87
Tabla 2.61 BHP necesarios. ....	87
Tabla 2.62 Verificación del alargamiento. ....	87
Tabla 3.1 Volumen de los espacios cerrados. ....	94
Tabla 4.2 Resultado Arqueo Bruto. ....	95
Tabla 4.3 Volumen de espacios cerrados del buque sin transformar. ....	95
Tabla 4.4 Arqueo bruto del buque sin transformar. ....	95
Tabla 4.5 Volumen cerrado de los espacios de carga del buque alargado. ....	96
Tabla 4.6 Valor arqueo neto. ....	96
Tabla 5.1 Cálculo del diámetro del colector principal de achique. ....	98
Tabla 5.2 Diámetro de los ramales del sistema de achique. ....	98
Tabla 5.3 Caudal individual de las bombas de achique. ....	99
Tabla 5.4 Caudal y diámetro de las bombas del buque sin transformar. ....	99
Tabla 5.5 Comparación de caudales. ....	99
Tabla 5.6 Caudales bombas contraincendios. ....	101
Tabla 5.7 Diámetro del colector principal. ....	101
Tabla 5.8 Nueva velocidad. ....	101
Tabla 5.9 Número de bocas contraincendios. ....	102
Tabla 5.10 Velocidades de atraque en función del desplazamiento del buque. ....	103
Tabla 5.11 Componentes y valor del numeral de equipo correspondiente al buque sin alargar. ....	104
Tabla 5.12 Componentes y valor del numeral de equipo correspondiente al buque alargado. ....	104
Tabla 5.13 Número y características de las anclas que tiene que montar el buque sin alargar. ....	105
Tabla 5.14 Diámetros, número de largos de cadena y longitud de cadena de anclas para el buque sin transformar. ....	105
Tabla 5.15 Número y características de las anclas que tiene que montar el buque alargado. ....	105
Tabla 5.16 Datos sobre la cadena a bordo. ....	105
Tabla 5.17 Especificaciones para las cadenas del buque sin alargar. ....	106
Tabla 5.18 Especificaciones para las cadenas del buque alargado. ....	106
Tabla 5.19 Volumen de cadena para el buque transformado en función de la calidad de la cadena. ....	107
Tabla 5.20 Volumen total de la caja de cadena para el buque transformado en función de la calidad de la cadena. ....	108
Tabla 5.21 Características cadena seleccionada. ....	108
Tabla 5.22 Diámetro escoben del buque inicial. ....	109
Tabla 5.23 Diámetro escoben seleccionado para el buque transformado. ....	109
Tabla 5.24 Potencia molinetes del buque sin transformar. ....	111
Tabla 5.25 Potencia molinetes del buque alargado. ....	111
Tabla 5.26 Velocidad de izada. ....	112

Tabla 5.27 Velocidad en caso de avería.....	112
Tabla 5.28 Características del cabo de remolque.....	113
Tabla 5.29 Cable ancla espía.....	113
Tabla 5.30 Amarras seleccionadas.....	113
Tabla 5.31 Materiales de construcción para la fabricación de bitas.....	115
Tabla 5.32 Carga de rotura de las bitas.....	115
Tabla 5.33 Características de las bitas seleccionadas.....	115
Tabla 6.1 Características de las amarras a desechar del buque transformado.....	119
Tabla 6.2 Característica del cabo de remolque a desechar del buque transformado.....	119
Tabla 6.3 Coordenadas de la localización de los elementos del sistema de fondeo y amarre a desembarcar del buque transformado.....	120
Tabla 6.4 Coordenadas de la localización de los elementos del sistema de fondeo y amarre a embarcar del buque transformado.....	120
Tabla 6.5 Obtención de las coordenadas del nuevo peso en rosca tras embarcar y desembarcar los elementos mencionados.....	120
Tabla 6.6 Distribución de pesos en la condición a plena carga, salida de puerto, 100% de consumos.....	121
Tabla 6.7 Características hidrostáticas para la condición 1, para ángulos entre 0 y 40.....	122
Tabla 6.8 Características hidrostáticas para la condición 1, para ángulos entre 40 y 90.....	122
Tabla 6.9 Evaluación de criterios de estabilidad para la condición 1.....	123
Tabla 6.10 Distribución de pesos de la condición 2.....	124
Tabla 6.11 Características hidrostáticas para la condición 2, para ángulos entre 0 y 40.....	124
Tabla 6.12 Características hidrostáticas para la condición 2, para ángulos entre 40 y 90.....	125
Tabla 6.13 Evaluación de criterios de estabilidad para la condición 2.....	126
Tabla 6.14 Distribución de pesos para la condición 3.....	126
Tabla 6.15 Características hidrostáticas para la condición 3, para ángulos entre 0 y 40.....	127
Tabla 6.16 Características hidrostáticas para la condición 3, para ángulos entre 40 y 90.....	127
Tabla 6.17 Evaluación de criterios de estabilidad para la condición 3.....	128
Tabla 6.18 Distribución de pesos para la condición 4.....	129
Tabla 6.19 Características hidrostáticas para la condición 4, para ángulos entre 0 y 40.....	129
Tabla 6.20 Tabla 0.19 Características hidrostáticas para la condición 4, para ángulos entre 40 y 90.....	130
Tabla 6.21 Evaluación de criterios de estabilidad para la condición 4.....	130
Tabla 6.22 Parámetros de arquitectura naval para el buque alargado.....	131
Tabla 6.23 Valor de la resistencia viscosa para el buque transformado.....	132
Tabla 6.24 Valor de resistencia por formación de olas para el buque alargado.....	132
Tabla 6.25 Valor de la resistencia por la presencia de bulbo para el buque alargado.....	132
Tabla 6.26 Valor de la resistencia por correlación para el buque alargado.....	133
Tabla 6.27 Valor de la resistencia debido a la inmersión del espejo para el buque alargado.....	133
Tabla 6.28 Valor de la resistencia debida a los apéndices para el buque alargado.....	133
Tabla 6.29 Valor de la resistencia total para el buque alargado.....	133
Tabla 6.30 Valor del coeficiente de estela.....	134
Tabla 6.31 Valor del coeficiente de succión.....	134
Tabla 6.32 Parámetros característicos de la hélice seleccionada.....	134
Tabla 6.33 Valor de la potencia instalada necesaria.....	135
Tabla 6.34 Comprobación de la potencia necesaria con respecto al motor seleccionado.....	135
Tabla 7.1 Consumos del motor. Fuente: "Wärtsilä 26 Catalogue".....	137

Tabla 7.2 Coste de combustible por trayecto. ....	138
Tabla 7.3 Factor corrector puerto de Valencia. ....	139
Tabla 7.4 Tarifa por entrada y estancia en puerto. ....	139
Tabla 7.5 Factor de bonificación puerto de Valencia.....	140
Tabla 7.6 Aplicación de la bonificación del puerto de Valencia. ....	140
Tabla 7.7 Bonificación de la tasa de amarre y desamarre en función del número de escalas.140	
Tabla 7.8 Comparación de la tasa de amarre y desamarre entre el buque transformado y el buque sin transformar.....	141
Tabla 7.9 Tarifas por practicaaje en buques de transporte marítimo de corta distancia en el puerto de Valencia. ....	141
Tabla 7.10 Comparación de tarifas de practicaaje entre el buque transformado y el buque sin transformar en el puerto de Valencia. ....	141
Tabla 7.11 Factor de corrección puerto de Palma de Mallorca.....	142
Tabla 7.12 Tarifa por entrada y estancia en el puerto de Palma de Mallorca. ....	142
Tabla 7.13 Factor de bonificación puerto de Palma de Mallorca.....	143
Tabla 7.14 Aplicación de la bonificación del puerto de Palma de Mallorca. ....	143
Tabla 7.15 Tasas por amarre y desamarre en el puerto de Palma de Mallorca desglosado según el tipo de buque. ....	144
Tabla 7.16 Comparación entre el buque transformado y el buque sin transformar de la tasa de amarre en el puerto de Palma de Mallorca. ....	144
Tabla 7.17 Criterios para el cálculo de la tarifa de practicaaje en el puerto de Palma de Mallorca. Fuente: "Autoridad portuaria de Mallorca".....	144
Tabla 7.18 Comparación entre el buque transformado y el buque sin transformar respecto de la tarifa de practicaaje en el puerto de Palma de Mallorca. ....	145
Tabla 7.19 Ingresos brutos por viaje. ....	145
Tabla 7.20 Desglose de partidas por viaje redondo. ....	145
Tabla 7.21 Diferencia del número de trayectos entre el buque sin transformar y el buque transformado.....	146
Tabla 7.22 Comparación diaria y anual de los ingresos netos que recibe el armador con el buque transformado y que el buque sin transformar.....	146
Tabla 7.23 Diferencia de ingresos netos. ....	146
Tabla 8.1 Incremento de los metros lineales. ....	149

## FIGURAS

Figura 1.1 Timón del buque. ....	33
Figura 1.2 Codaste.....	37
Figura 1.3 Esquema huelgos mínimos Fuente "Lloyd's Register of Shipping" .....	38
Figura 1.4 Representación reductora seleccionada. ....	45
Figura 1.5 Catálogo motores. Fuente:"Wärtsila 2018" .....	48
Figura 1.6 Gráfico funcionamiento del motor. Fuente:"Wärtsila 2018" .....	49
Figura 2.1 Vista transversal tanques de lastre fijo. ....	60
Figura 2.2 Marcas de Francobordo. Fuente: "Apuntes de proyectos ETSINO" .....	81
Figura 4.1 Abertura frontal.....	92
Figura 4.2 Aberturas laterales a proa del buque.....	93
Figura 4.3 Aberturas en la parte central a popa de sección media. ....	93
Figura 4.4 Visión en perfil de las aberturas que se encuentran a la altura de la perpendicular de popa. ....	94
Figura 4.5 Visión en planta de los compartimentos a los que pertenecen las aberturas que se encuentran a la altura de la perpendicular de popa. ....	94
Figura 5.1 Representación ancla tipo Hall. ....	110
Figura 5.2 Medidas ancla tipo Hall. ....	110
Figura 5.3 Representación tipo de bita seleccionada. ....	114
Figura 5.4 Dimensiones en planta. ....	114
Figura 5.5 Dimensiones en perfil. ....	114
Figura 7.1 Distancia entre Valencia y Palma de Mallorca. ....	137

## GRÁFICOS

Gráfico 2.1 Distribución del peso en rosca a lo largo de la eslora del buque sin transformar. 53	
Gráfico 2.2 Distribución de toneladas por metro del peso en rosca del buque sin transformar. ....	53
Gráfico 2.3 Distribución del peso en rosca a lo largo de la eslora del buque alargado. ....	56
Gráfico 2.4 Distribución de toneladas por metro del peso en rosca del buque alargado. ....	57
Gráfico 2.5 Curva GZ plena carga, salida de puerto. ....	67
Gráfico 2.6 Curva GZ plena carga, llegada a puerto.....	69
Gráfico 2.7 Curva GZ en lastre, salida de puerto.....	72
Gráfico 2.8 Curva GZ en lastre, llegada a puerto.....	75
Gráfico 6.1 Curva GZ para la condición 1. ....	123
Gráfico 6.2 Gráfica GZ para la condición 2.....	125
Gráfico 6.3 Curva GZ para la condición 3. ....	128
Gráfico 6.4 Curva GZ para la condición 4.....	130

## ILUSTRACIONES

Ilustración 1.1 Buque Ro-Ro pionero. ....	15
Ilustración 1.2 Buque Ro-Ro Tonsberg.....	16
Ilustración 1.3 Disposición de las secciones en el Desing Grid de Maxsurf Modeler.....	18
Ilustración 1.4 Ajuste líneas de agua en la parte de popa del buque.....	19
Ilustración 1.5 Comando para añadir superficies planas.....	19
Ilustración 1.6 Selección de superficies. ....	20
Ilustración 5.1 Aparatos radioeléctricos bidireccionales de ondas métricas.....	116
Ilustración 5.2 Aro salvavidas con señal luminosa y rabiza flotante. ....	117

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a todos los profesores que me han prestado su tiempo y me han transmitido los conocimientos necesarios que me han permitido realizar este proyecto, en especial a Don Jerónimo Esteve Pérez por haberme guiado incansablemente durante todo el desarrollo de este trabajo.

También quiero mencionar a todos aquellos compañeros que ahora ya son muy buenos amigos y que con ellos se ha hecho esta etapa mucho más divertida de lo que imaginaba.

Por último, quería agradecer a toda mi familia su apoyo y paciencia que han tenido conmigo durante toda esta etapa.



## OBJETIVO DEL TFG

El objetivo de este Trabajo Fin de Grado (TFG) consiste en llevar a cabo la transformación por alargamiento de un buque Roll-On/Lift-Of (Ro-Lo). La realización del alargamiento está basada en incrementar la capacidad de carga del buque sin cambiar la planta propulsora, lo que desemboca inevitablemente en una pérdida de velocidad. Concretamente, la premisa de cálculo que se aplica es realizar el alargamiento que permita maximizar la capacidad de carga con una pérdida de velocidad no superior a un nudo.

Los buques RO-LO se caracterizan por cuantificar su capacidad de carga en la cantidad de metros lineales que tienen el conjunto de sus bodegas para poder transportar carga rodada. Para este tipo de buques, la velocidad también es un punto crítico pues compiten en el mismo mercado prácticamente que los portacontenedores. Los buques portacontenedores, al ser buques rápidos, obligan a los RO-LO a no descuidar este aspecto. Es por ello que la pérdida de velocidad se ha de acotar ya que en caso contrario se estaría perdiendo competitividad frente a los buques portacontenedores.

Partiendo del buque Ro-Lo sin transformar se calculará su resistencia al avance y potencia necesaria para desplazarse a una velocidad de servicio de 13 nudos, porque no se dispone de estos datos como información de partida. Una vez realizados estos cálculos se procederá a evaluar distintos valores de alargamiento para seleccionar el que cumpla, de forma conjunta, con dos criterios, maximizar la capacidad de carga a consta de la menor pérdida de velocidad. Tras seleccionar el alargamiento óptimo que cumpla con los criterios anteriores se procederá a comprobar y calcular los parámetros del buque que se ven afectados como consecuencia del alargamiento. Entre estos criterios se encuentran: la estabilidad, el francobordo, el arqueo y los sistemas, para asegurarse de que cumplen, y, por tanto, verificar que el alargamiento seleccionado es viable desde todos los puntos de vista técnicos.

Finalmente, se realizará una estimación económica del efecto que tiene el alargamiento en la explotación del buque. Concretamente, se evaluará la explotación del buque en una ruta regular entre Valencia- Palma de Mallorca.



## INTRODUCCIÓN

Con la revolución industrial que supuso la producción del coche en serie por parte de Henry Ford en 1908, se generó una necesidad de transportar este tipo de carga a lo largo de los grandes lagos americanos para su comercialización. Inicialmente se consideraba dicha carga como una más a transportar en buques de carga general, lo que suponía un coste de tiempo elevado en cuanto a la estiba y trincaje. Es por ello por lo que se desarrolló la idea de los buques de carga rodada, la cual se tiene constancia que se hizo realidad entre 1920 y 1930. Sin embargo, hasta la segunda guerra mundial, con la necesidad de transportar carros de combate hacia Europa, cuando verdaderamente se asentó dicho concepto de buque.

Durante la Segunda Guerra Mundial se produjo el desarrollo de los *Landing Ship Tank* (LST), buques de transporte de vehículos, carga y tropas que 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* (véase Ilustración 1.1), *Empire Cedric* y *Empire Celtic*, poniendo el germen de los futuros buques Ro-Ro.

Finalmente, en 1956 se botó el primer buque proyectado para transportar carga rodada que no era una remodelación de otro buque. Dicho buque fue el *Searoad of Hyannis*, que cubría una ruta entre Massachusetts y la isla de Nantucket, con capacidad para 3 camiones.

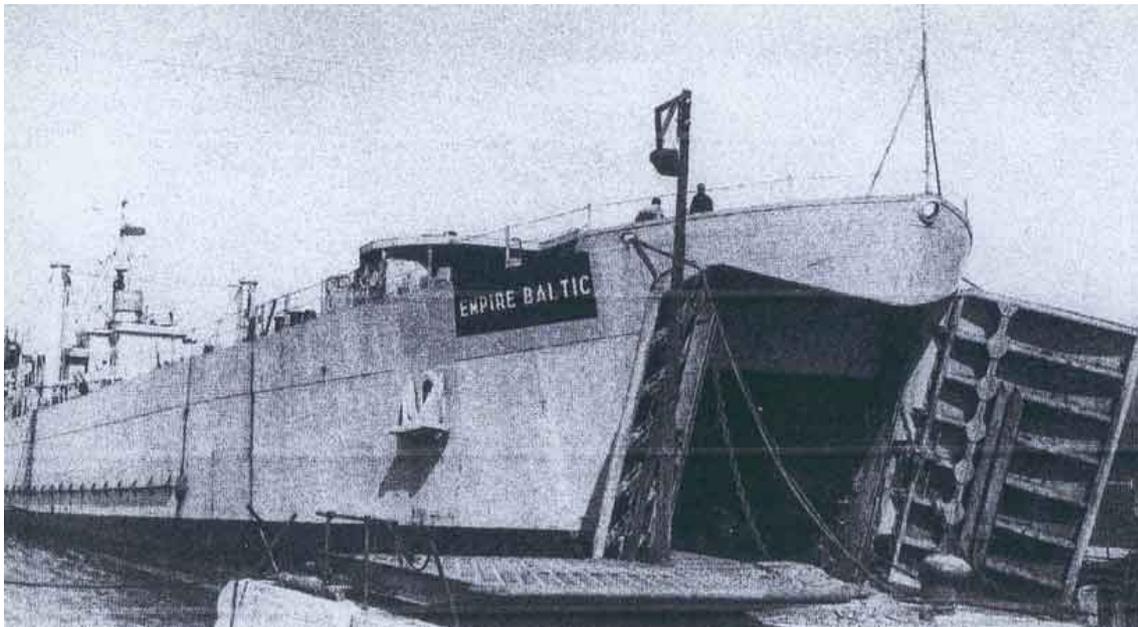


Ilustración 1.1 Buque Ro-Ro pionero.

El buque RO-RO es, básicamente, un buque especializado en el transporte de carga rodada, que integra e incorpora en su concepción un sistema de transporte de este tipo de carga, constituyendo una prolongación de la red viaria en el interior del buque (véase Ilustración 1.2). En rutas de navegación corta es frecuente que realicen transporte combinado de personas y cargas, bien los propios conductores de los vehículos o pasajeros.

Estos buques sirven para conectar, entre otros, entre países desarrollados y en vías de desarrollo de gran capacidad importadora, pero con escasa infraestructura portuaria, por ejemplo, entre

Europa y los países del Golfo Pérsico, tratando de aprovechar el gran éxito conseguido con el tráfico de contenedores. El primer buque con rampa de popa angulada fue el Paralla. Dicha rampa permitió realizar operaciones de carga y descarga con independencia de las instalaciones del puerto.

Al comprobarse que este tipo de buques podía competir en tráficos remotos, el proyecto del buque RO-RO evolucionó para hacer frente a las nuevas necesidades que el mercado demandaba:

- Por un lado, cuando la unidad de carga son tráilers, estos en travesías cortas permanece en el buque. Sin embargo, al ser un elemento caro no puede inmovilizarse durante un largo período de tiempo; por tanto, se procedió a retirar las cabezas tractoras desplazando únicamente el remolque con su mercancía trincada en su interior (como es el caso a estudio). De este modo, la cabeza tractora únicamente se emplea para aproximar la carga al buque.
- Por otro lado, el aumento de las distancias provocó que dichos buques tuvieran que tener velocidades elevadas para poder competir con los buques portacontenedores, su principal competidor.



Ilustración 1.2 Buque Ro-Ro Tonsberg.

# CAPITULO 1. CARACTERÍSTICAS DEL BUQUE A TRANSFORMAR

El buque al que se le va a realizar el alargamiento es un buque con una eslora total de 116,2 metros y 18,35 de manga de trazado. El buque desarrolla una velocidad de 13 nudos. El armador quiere obtener el alargamiento óptimo de este buque que le permita aumentar su capacidad de carga, pero sin perder más de un nudo de velocidad.

Como información de partida para realizar el presente TFG se ha proporcionado la distribución de pesos a lo largo de la eslora, el peso, las dimensiones de las diferentes unidades de carga que el buque puede transportar y los distintos planos de disposición general en función del tipo de unidad de carga, un listado en el que se detallan los centros de gravedad, la densidad del fluido que albergan y la capacidad de cada uno de los tanques que tiene este buque antes de ser alargado junto con sus respectivos planos de disposición a bordo.

En cuanto a los tipos de carga, como se ha comentado anteriormente, tanto las dimensiones como el peso estimado serán dados como datos del TFG.

A continuación, se resumen los distintos datos necesarios para la realización del TFG en cuanto a diferentes unidades de carga:

Tabla 1.1 Tipos de carga.

<b>TIPO DE UNIDAD DE CARGA</b>		<b>PESO (tn)</b>	<b>LONGITUD (m)</b>	<b>COORDENADA VERTICAL DEL CENTRO DE GRAVEDAD (m)</b>
<b>REMOLQUES</b>	<b>20 pies</b>	13,2	6,1	2,4
	<b>40 pies</b>	25,8	12,2	2,4
	<b>14 metros</b>	30,2	14	2,4
<b>COCHES</b>		1,9	5	0,6

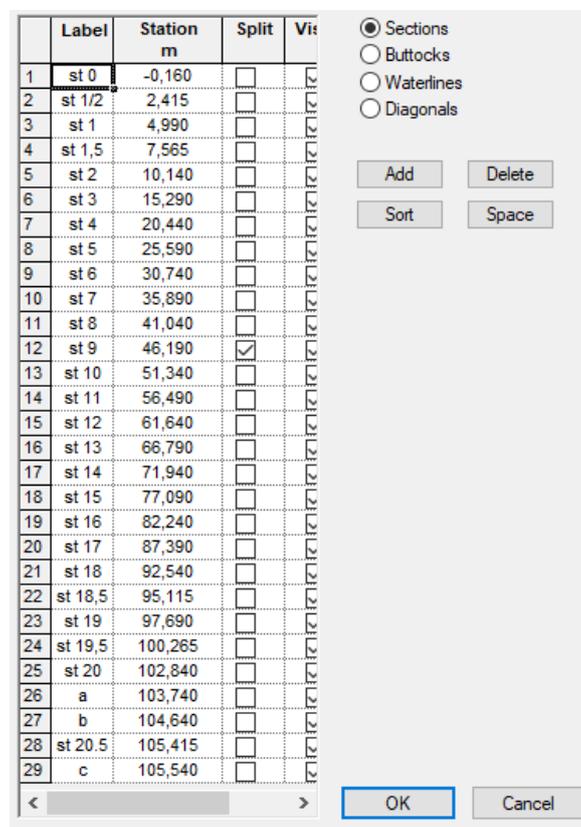
En este punto, se procederá a realizar el modelado de las formas mediante el programa *Maxsurf* con el fin de obtener la carena y poder realizar el estudio para obtener los datos de arquitectura naval con el fin de poder predecir la potencia a instalar, y poder comprobar si se cumplen los criterios de estabilidad. Para ello se emplearán los planos de formas facilitados para realizar este TFG.

## 1.1 MODELADO POR MAXSURF.

Para generar las formas en el programa de modelado de *Maxsurf*, se puede comenzar desde cero, a través de la generación de una superficie con forma de semicilindro a la cual se le darán las medidas de trazado del buque a estudio, o modificando las formas de alguno de los modelos predeterminados con los que cuenta *Maxsurf* para adaptarlas al buque objeto de la transformación.

En este caso se optará por la segunda opción. El siguiente paso consiste en introducir las imágenes del plano de formas, situarlas correctamente y escalarlas en sus vistas correspondientes.

A continuación, se introducirán las secciones (vease Ilustración 1.3), líneas de agua y longitudinales en las posiciones que dicte el plano de formas del que se dispone.



	Label	Station m	Split	Vis
1	st 0	-0,160	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	st 1/2	2,415	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	st 1	4,990	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	st 1,5	7,565	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	st 2	10,140	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6	st 3	15,290	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7	st 4	20,440	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8	st 5	25,590	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9	st 6	30,740	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10	st 7	35,890	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11	st 8	41,040	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12	st 9	46,190	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13	st 10	51,340	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
14	st 11	56,490	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
15	st 12	61,640	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
16	st 13	66,790	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
17	st 14	71,940	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
18	st 15	77,090	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
19	st 16	82,240	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
20	st 17	87,390	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
21	st 18	92,540	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
22	st 18,5	95,115	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
23	st 19	97,690	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
24	st 19,5	100,265	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
25	st 20	102,840	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
26	a	103,740	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
27	b	104,640	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
28	st 20.5	105,415	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
29	c	105,540	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Ilustración 1.3. Disposición de las secciones en el *Desing Grid* de *Maxsurf Modeler*.

Tras introducirlas se procederá a activar la malla de puntos de control para ir ajustándola hasta conseguir que tanto las secciones como los longitudinales y líneas de agua se ajusten a las distintas imágenes en las distintas vistas con una malla lo más uniforme posible en las 3 vistas (véase Ilustración 1.4).

Para ello, se empleará como punto de apoyo el uso de filas o columnas de puntos de control, pero siempre con el menor número posible pues un exceso de filas y columnas supondrá una dificultad extra a la hora de obtener una malla uniforme.

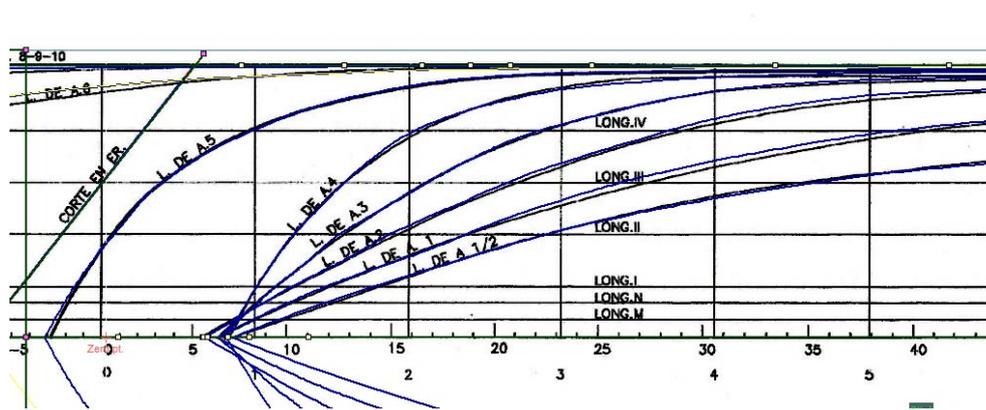


Ilustración 1.4. Ajuste líneas de agua en la parte de popa del buque.

Como el buque a estudio cuenta con una rampa a popa, hace que las formas en popa no sean simétricas con respecto a crujía. Para lograr obtener las formas deseadas se procederá a anular la simetría, de forma que el programa solo nos muestre la parte modelada.

Como la rampa se encuentra en la parte de estribor, se duplicará la mitad del buque realizada y se reflejará con respecto a crujía con el fin de que las modificaciones que se le realicen a estribor no afecten a la parte de babor.

El siguiente paso consiste en ir creando los planos que cortarán a la parte de estribor (véase Ilustración 1.5).

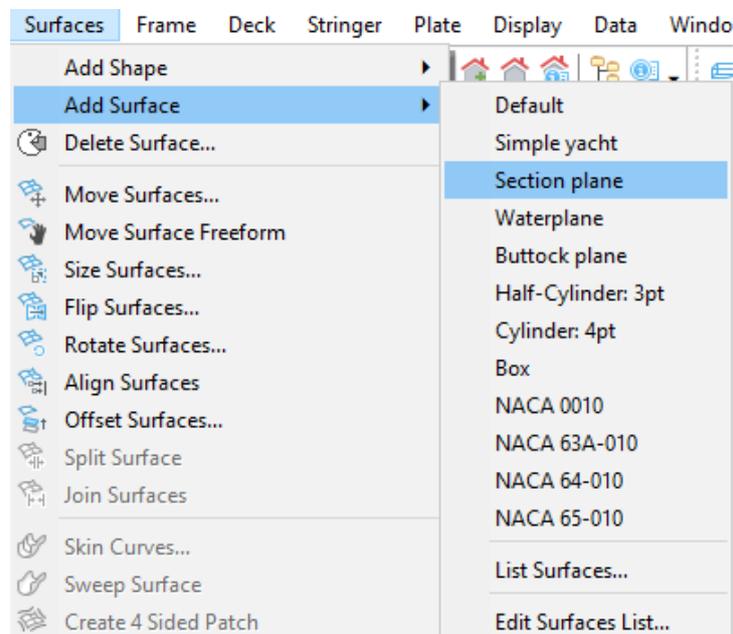


Ilustración 1.5. Comando para añadir superficies planas.

Con el fin de poder modelar correctamente la rampa con la que cuenta este buque, se ha de cortar el casco modelado originalmente con los últimos planos creados. Para ello se debe de indicar al programa con qué planos se autoriza a cortar la popa del buque (véase Ilustración 1.6), para que, posteriormente, a la hora de cortar la popa, se pueda realizar.

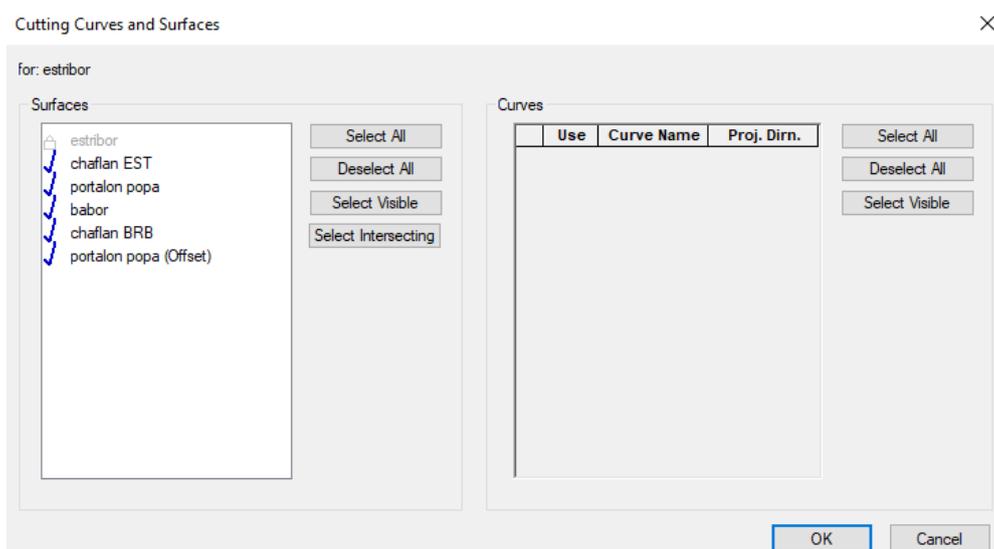


Ilustración 1.6. Selección de superficies.

## 1.2 PLANO DE FORMAS

El plano de formas se encuentra anexado al final del documento.

## 1.3 CÁLCULO DATOS INICIALES

Con el fin de poder obtener los datos necesarios para el cálculo de la resistencia total al avance y por ende la determinación de la potencia instalada en el buque a estudio se empleará el programa *Maxsurf Stability*.

Una vez que se ha modelado la carena con *Maxsurf Modeler*, el siguiente paso a realizar será calcular una estimación del peso que lleva dicho buque en la condición de plena carga a la salida de puerto, pues es la condición que va a generar un mayor desplazamiento y por tanto será la condición más desfavorable para el cálculo de la potencia a instalar.

El desplazamiento de un buque se divide en peso muerto y en peso en rosca:

$$\Delta = PR + PM \quad (1)$$

### 1.3.1 Peso muerto

El peso muerto (PM) es el peso de la carga máxima que puede transportar el buque (carga útil), más el combustible en los tanques, aceites lubricantes, agua dulce, víveres, pertrechos, y tripulación y sus efectos, es decir, todos los pesos variables del buque. En este proyecto se realizará un desglose del peso muerto en la carga útil a transportar cuando el buque va a plena carga, y la capacidad del conjunto total de los tanques de combustible, aceites, agua dulce, etc.

- Carga útil: al disponer de 3 unidades de carga diferentes se evaluarán todas ellas a fin de determinar la que mayor desplazamiento genera (véase Tabla 1.2).

Tabla 1.2 Distribución de unidades de carga por cubierta y peso asociado

<b>TONELADAS DE CARGA POR CUBIERTA</b>			
<b>CUBIERTAS</b>	<b>20 pies (tn)</b>	<b>14 metros (tn)</b>	<b>40 pies (tn)</b>
<b>Cubierta de Intemperie</b>	148	0	0
<b>Cubierta Shelter</b>	871,2	785,2	825,6
<b>Cubierta Principal</b>	924	875,8	928,8
<b>Cubierta de doble fondo</b>	396	392,6	361,2
<b>TOTAL</b>	<b>2.339,2</b>	<b>2.053,6</b>	<b>2.115,6</b>

Como se puede observar, la que más desplazamiento genera es la de remolques de 20 pies en cubiertas shelter, principal, doble fondo, y en la cubierta de intemperie solo se alojarán coches.

Por ello se procederá a realizar el estudio de la posición resultante de la carga (véase Tabla 1.4) en cada cubierta aplicando momentos de transferencia con el apoyo de los planos de disposición general para dicha combinación de carga. Cabe destacar que, a raíz de mediciones realizadas en los planos, la separación longitudinal entre módulos de carga será de 30 centímetros.

Tras realizar dicha distribución se pueden extraer de los planos el total de unidades de carga rodada capaz de transportar el buque (véase Tabla 1.3).

Tabla 1.3 Distribución de remolques de 20 pies y coches por cubierta.

<b>CARGA RODADA</b>		<b>Buque sin transformar</b>	
		<b>Unidades de carga</b>	<b>Peso (tn)</b>
<b>REMOLQUES</b>	<b>Cubierta de doble fondo</b>	30	396
	<b>Cubierta principal</b>	70	924
	<b>Cubierta shelter</b>	66	871,2
<b>COCHES</b>	<b>Cubierta de intemperie</b>	80	148
<b>TOTAL</b>		<b>236</b>	<b>2.339,2</b>

Como sistema de referencia se ha determinado que la intersección de la línea base con la perpendicular de popa se considere el origen de coordenadas. Lo que se encuentre a estribor de crujía se considerará positivo.

Tabla 1.4 Coordenadas del centro de gravedad resultantes para cada cubierta con la distribución de carga.

<b>CUBIERTAS</b>	<b>XG (m)</b>	<b>YG (m)</b>	<b>KG (m)</b>
<b>Cubierta de Intemperie</b>	56,33	0	17,5
<b>Cubierta Shelter</b>	47,16	0	15
<b>Cubierta Principal</b>	45,34	0	8,7
<b>Cubierta de Doble fondo</b>	49,35	0	4,18

La posición transversal de las resultantes es nula, pues las distribuciones con respecto a crujía son simétricas en todas las cubiertas.

La cuantía de peso muerto que representan los líquidos en los tanques en la condición de tanques llenos al 100% se calcula a partir de la capacidad y densidad del fluido que contiene. También es necesario conocer la resultante del centro de gravedad de los líquidos en los tanques. Para el cálculo de la resultante de peso y coordenadas del centro de gravedad se parte de las características de cada tanque del buque sin transformar (véase Tabla 1.5).

Tabla 1.5 Características de los tanques del buque sin transformar.

<b>CARACTERÍSTICAS DE LOS TANQUES DEL BUQUE SIN TRANSFORMAR</b>						
<b>DENOMINACIÓN DEL TANQUE</b>	<b>XG (m)</b>	<b>YG (m)</b>	<b>KG (m)</b>	<b>Volumen (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Tipo de fluido</b>	<b>Densidad (tn/m<sup>3</sup>)</b>
<b>USO DIARIO D.O CEN</b>	15,64	-8,475	10,242	5,65	diesel oil	0,87
<b>USO DIARIO D.O COS</b>	15,64	-7,225	10,242	5,65	diesel oil	0,87
<b>LODOS</b>	23,692	3,145	0,947	7,7	lodos	1
<b>REBOSES ACEITE</b>	13,19	0	0,83	4,13	aceite	0,924
<b>AS.REFRIG BOCINA</b>	5,305	0	2,472	14,93	lastre	1,026
<b>ACEITE DIVERSOS</b>	9,34	-6,07	5,4	0,35	aceite	0,924
<b>ALMACEN ACEITE AUX</b>	8,861	-6,475	6	2,56	aceite	0,924
<b>ALMACEN ACEITE PR</b>	8,513	-7,653	6	8,13	aceite	0,924
<b>REBOSES F.O</b>	23,342	-2,391	0,908	4,87	fuel oil	0,93
<b>REBOSES D.O</b>	23,347	-4,446	1,022	2,83	diesel oil	0,87
<b>Nº 23</b>	16,558	7,509	9,731	41,88	fuel oil	0,93
<b>Nº 22</b>	-1,511	-5,686	6,863	113,32	lastre	1,026
<b>Nº 21 BR</b>	3,974	-5,686	6,514	49,61	agua dulce	1
<b>Nº21 ER</b>	3,983	6,366	6,569	36,74	agua dulce	1
<b>Nº20</b>	4,007	0,9555	6,187	37,74	fuel oil	0,93
<b>Nº 19 BR</b>	8,766	-2,782	3,146	27,39	agua dulce	1
<b>Nº19 ER</b>	8,766	2,7825	3,146	27,39	agua dulce	1
<b>Nº18</b>	10,07	0	0,845	7,14	aceite	0,924
<b>Nº17</b>	17,836	0	0,563	8,44	aceite	0,924
<b>Nº16 BR</b>	17,655	-3,029	1,01	51,69	diesel oil	0,87
<b>Nº16 ER</b>	18,067	3,0725	1,009	55,84	diesel oil	0,87
<b>Nº15 BR</b>	28,317	-6,432	3,201	102,92	fuel oil	0,93
<b>Nº15 ER</b>	28,317	6,4325	3,201	102,92	fuel oil	0,93
<b>Nº14</b>	36,406	0	3,335	94,96	lastre	1,026
<b>Nº13 BR</b>	31,01	-5,73	1,064	39,58	lastre	1,026
<b>Nº 13 ER</b>	31,011	5,73	1,064	39,68	lastre	1,026
<b>Nº12 BR</b>	30,515	-2,463	0,906	51,24	lastre	1,026
<b>Nº 12 ER</b>	30,515	2,463	0,906	51,24	lastre	1,026
<b>Nº 11</b>	43,052	0	3,252	229,47	lastre	1,026

CARACTERÍSTICAS DE LOS TANQUES DEL BUQUE SIN TRANSFORMAR						
N°8 ER a	55,59	8,021	4,163	111,57	fuel oil	0,93
N°8 BR a	55,59	-8,091	4,163	111,57	fuel oil	0,93
fuel oil er a	46,904	-7,518	1,199	5,878	fuel oil	0,93
fuel oil br a	46,904	7,518	1,199	5,878	fuel oil	0,93
N° 10 ER a	44,9	6,021	1,098	39,49	lastre	1,026
N°10 BR a	44,903	-6,021	1,098	39,49	lastre	1,026
N°9 ER	46,999	2,459	0,84	49,98	lastre	1,026
N°9 BR	46,999	-2,459	0,849	49,48	lastre	1,026
N°7 BR	60,784	-5,769	1,203	40,38	lastre	1,026
N°7 ER	60,784	5,769	1,203	40,38	lastre	1,026
N°6 BR	61,938	-2,477	1,086	61,3	lastre	1,026
N°6 ER	61,938	2,477	1,086	61,3	lastre	1,026
N°5 BR	74,2	-2,891	1,071	43,04	lastre	1,026
N°5 ER	74,2	2,891	1,071	43,04	lastre	1,026
N° 4	90,15	0	4,076	118,05	lastre	1,026
N°3	92,934	0	4,068	96,49	lastre	1,026
N°2	101,32	0	9,826	160,77	lastre	1,026
N°1	100,706	0	3,475	94,48	lastre	1,026

De los tanques mostrados anteriormente, se excluirán únicamente aquellos que estén destinados a lastrar y deslastrar agua para poder obtener las coordenadas de la resultante del peso muerto y su peso. Es decir, se excluirán los tanques N°14, N°13 BR, N° 13 ER, N°12 BR, N° 12 ER, N° 11, N° 10 ER a, N°10 BR a, N°9 ER, N°9 BR, N°7 BR, N°7 ER, N°6 BR, N°6 ER, N°5 BR, N°5 ER, N° 4, N°3, N°2 y el N°1.

Con los datos anteriores se aplicarán momentos de transferencia con todos aquellos tanques que se encuentren incluidos en el peso muerto:

$$XG_{final} = \frac{\sum(xg_{tanque} volumen_{tanque} \rho_{tanque})}{\sum(volumen_{tanque} \rho_{tanque})} \quad (2)$$

$$YG_{final} = \frac{\sum(yg_{tanque} volumen_{tanque} \rho_{tanque})}{\sum(volumen_{tanque} \rho_{tanque})} \quad (3)$$

$$ZG_{final} = \frac{\sum(zg_{tanque} volumen_{tanque} \rho_{tanque})}{\sum(volumen_{tanque} \rho_{tanque})} \quad (4)$$

Los resultados se encuentran en la Tabla 1.6.

Tabla 1.6 Resultante fluidos de los tanques.

RESULTANTE DE LOS FLUIDOS		
<b>Peso</b>	815,81	<b>(tn)</b>
<b>XG</b>	23,84	<b>(m)</b>
<b>YG</b>	-0,59	<b>(m)</b>
<b>KG</b>	4	<b>(m)</b>

### 1.3.2 Peso en rosca

Abarca todo el conjunto de pesos relacionados con la estructura del buque, la maquinaria instalada, habilitación y fluidos que se encuentran en el interior de las tuberías. Dicho dato ha sido proporcionado para realizar el proyecto.

Por tanto, ya se dispone de la distribución de peso en rosca y peso muerto del buque (véase Tabla 1.7), cuyos datos se han de introducir en *Maxsurf Stability* junto con la carena diseñada con anterioridad a fin de obtener los datos de arquitectura naval de partida para comenzar el proceso de diseño de la transformación del buque:

Tabla 1.7 Distribución de pesos.

<b>COORDENADAS DE LOS PESOS</b>					
<b>DISTRIBUCIÓN</b>		<b>PESO</b>	<b>XG</b>	<b>YG</b>	<b>KG</b>
		<b>(tn)</b>	<b>(m)</b>	<b>(m)</b>	<b>(m)</b>
<b>CARGA RODADA</b>	<b>Cubierta de Intemperie</b>	148	56,33	0	17,5
	<b>Cubierta. Shelter</b>	871,2	49,34	0	15
	<b>Cubierta Principal</b>	924	45,34	0	8,7
	<b>Cubierta de Doble fondo</b>	396	49,35	0	4,2
<b>Fluidos de los tanques</b>		815,81	23,84	-0,59	4
<b>Peso en rosca</b>		3.559	40,62	0	9,6

Los datos de arquitectura naval obtenidos se encuentran en la Tabla 1.8. En ella las medidas se han tomado con respecto a la perpendicular de popa excepto la posición longitudinal del centro de carena, el cual se ha referido a la sección media, en porcentaje con respecto a la eslora. Se ha tomado esta decisión ya que para el posterior cálculo de la resistencia al avance por el método de *Holtrop y Mennen* se precisa este parámetro referenciado de esta forma.

Tabla 1.8 Datos iniciales.

<b>PARÁMETROS DE ARQUITECTURA NAVAL DEL BUQUE SIN TRANSFORMAR</b>		
<b>Calado a popa</b>	6,2	<b>(m)</b>
<b>Calado a proa</b>	5,16	<b>(m)</b>
<b>Eslora de la flotación</b>	109,41	<b>(m)</b>
<b>Manga</b>	18,23	<b>(m)</b>
<b>Superficie mojada</b>	2.377,11	<b>(m<sup>2</sup>)</b>
<b>Área de la flotación</b>	1.732,035	<b>(m<sup>2</sup>)</b>
<b>Volumen de carena</b>	6.653,52	<b>(m<sup>3</sup>)</b>
<b>Coefficiente prismático</b>	0,679	
<b>Coefficiente de bloque</b>	0,57	
<b>Coefficiente de la maestra</b>	0,888	
<b>Coefficiente de la flotación</b>	0,865	
<b>Posición longitudinal del centro de carena</b>	-5.627	<b>(%)</b>
<b>Desplazamiento</b>	6.826,51	<b>(tn)</b>

PARÁMETROS DE ARQUITECTURA NAVAL DEL BUQUE SIN TRANSFORMAR		
Densidad	1026	(kg/m <sup>3</sup> )
Viscosidad cinemática	1,18831*10 <sup>-6</sup>	(m <sup>2</sup> /s)
Área sumergida del espejo	10,56	(m <sup>2</sup> )
Altura del centroide del bulbo en P <sub>PR</sub>	3,73	(m <sup>2</sup> )
Área de la sección transversal del bulbo en P <sub>PR</sub>	8,68	(m <sup>2</sup> )
Área del timón	30,8	(m <sup>2</sup> )

## 1.4 CÁLCULO RESISTENCIA AL AVANCE

Se hace imprescindible estimar la potencia instalada en el buque para poder estimar posteriormente las velocidades a las que podrá ir el buque con distintos alargamientos y poder valorarlos hasta hallar el alargamiento óptimo.

Para poder estimar la potencia instalada en el buque inicial, se debe de calcular la resistencia al avance que tiene éste. A la hora de hallar la resistencia al avance que tiene el buque a estudio se aplicará el método de *Holtrop y Mennen*.

En este método la resistencia total al avance se descompone de la siguiente manera:

- Resistencia por formación de olas: es la energía que se emplea en la formación de olas debido al avance del buque.
- Resistencia viscosa: es la suma de la resistencia de fricción y la resistencia de forma.
- Resistencia por apéndices: se debe a la implementación de elementos ajenos al propio casco del buque.
- Resistencia por factor de correlación.
- Resistencia de presión producida por el bulbo.
- Resistencia por inmersión de espejo.

Antes de comenzar con los cálculos se ha de comprobar si nuestro buque se encuentra dentro del rango de aplicación del método de *Holtrop y Mennen*. El método de *Holtrop y Mennen* cuenta con unos rangos generales (véase Tabla 1.9) en los cuales se puede aplicar dicho método. A pesar de que el rango de aplicación de este método es muy amplio, ya que se ensayaron una gran cantidad de modelos diferentes y se añadieron datos de pruebas de mar de diversos buques, hay un rango de aplicación recomendado dentro del cual el método será más preciso.

Tabla 1.9 Rangos específicos RORO.

RANGO DE APLICACIÓN DEL MÉTODO DE HOLTROP PARA RO-RO							
Fn		Cp		L/B		B/T	
Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
0	0,35	0,55	0,67	5,3	8	3,2	4

El buque a estudio tiene un número de Froude de 0,2, una relación eslora-manga de 6, una relación manga-calado de 3,33 y un coeficiente prismático de 0,679.

Como se puede apreciar, en cuanto a los rangos específicos para buques RO-RO es cierto que uno de ellos no cumple, el del coeficiente prismático, lo que puede provocar una pequeña distorsión del resultado con el de la realidad. Según el “*Proyecto básico del buque mercante*”, el método estadístico para la predicción de potencia de *Holtrop y Mennen* se ajusta en un 95% la estimación de potencia realizada comparada con la que finalmente precisa el buque si se encuentra dentro de los rangos de aplicación específicos para cada tipo de buque.

Al diferir el valor del coeficiente prismático en un 0,009 se obtendrán valores de resistencia menos precisos en tanto que los buques con los que se ensayaron y se obtuvieron las fórmulas estadísticas no se ajustan con el buque propuesto.

Sin embargo, dado el ajuste que tiene dicho método se optará por su aplicación, aunque se pierda algo de precisión en tanto a que dicho desfase, posteriormente será compensado con la selección de un motor sobredimensionado.

El número de Froude sigue la siguiente fórmula:

$$Fn = \frac{V}{\sqrt{gL_F}} \quad (5)$$

Donde:

- V es la velocidad a la que se desplaza el buque en unidades del SI.
- g es la gravedad en unidades del Sistema Internacional
- L<sub>F</sub> es la eslora de la flotación en metros.

A continuación, se procederá a calcular cada una de las componentes que conforman la resistencia al avance con los datos de arquitectura naval mostrados anteriormente.

#### 1.4.1 Resistencia viscosa

La resistencia viscosa sigue la siguiente fórmula:

$$R_V = \frac{1}{2} \rho S V^2 C_F (1 + k_1) \quad (6)$$

Donde:

- ρ: es la densidad del agua de mar en unidades del Sistema Internacional.
- S: es la superficie mojada del casco a estudio en metros cuadrados
- V: es la velocidad de proyecto del buque en unidades del SI.
- C<sub>F</sub>: es el coeficiente de fricción que se calculará mediante la fórmula facilitada por la ITTC-57.

$$C_F = \frac{0.075}{(\log(Rn) - 2)^2} \quad (7)$$

- $(1+k_1)$ : es el factor de forma del casco del buque. La fórmula que sigue se ha obtenido mediante un análisis regresivo:

$$1 + k_1 = 0,9 + 0,48718c_{14} \left(\frac{B}{L}\right)^{1,06806} \left(\frac{T}{L_F}\right)^{0,46106} \left(\frac{L_F}{L_R}\right)^{0,121563} \left(\frac{L^3}{\nabla}\right)^{0,36486} (1 - c_p)^{-0,604247} \quad (8)$$

Donde:

- B: manga de trazado en metros.
- $\nabla$ : el volumen de carena al calado introducido en metros cúbicos.
- T: calado medio del buque en metros.
- $C_p$ : coeficiente prismático vertical
- El factor  $c_{14}$  sigue la siguiente fórmula:

$$c_{14} = 1 + 0,011 * C_{stern} \quad (9)$$

Donde el valor de  $C_{stern}$  se encuentra en la Tabla 1.10.

Tabla 0.10 Valores de la constante en función de la forma de la cuaderna.

VALORES DE $C_{STERN}$	
Formas de popa	$C_{stern}$
Popas tipo góndola	-25
Cuadernas en V	-10
Cuadernas normales	0
Cuadernas en U con popa Hogner	10

- $L_R$ : se obtiene de la siguiente forma

$$L_R = L_F \left( 1 - C_P + \frac{0,06C_P lcb}{4C_P - 1} \right) \quad (10)$$

- $lcb$ : es la posición longitudinal del centro de carena para la flotación de estudio referida en porcentaje a la sección media del buque.

- Siendo  $Rn$  el número de Reynolds:

$$Rn = \frac{\rho * L_F * V}{\mu} \quad (7)$$

- $L_F$ : es la eslora de la flotación en metros.
- $\mu$ : es la viscosidad cinemática del agua de mar

Finalmente, la resistencia viscosa toma el valor recogido en la Tabla 1.11.

Tabla 1.11 Resultado resistencia viscosa.

<b>RESISTENCIA VISCOSA</b>		
<b>Superficie mojada</b>	2.377,11	<b>(m<sup>2</sup>)</b>
<b>Velocidad</b>	13	<b>(nudos)</b>
<b>C<sub>F</sub></b>	0,001628	
<b>C<sub>stern</sub></b>	0	
<b>1+K<sub>1</sub></b>	1,23	
<b>R<sub>v</sub></b>	11.154,15	<b>(kg)</b>

#### 1.4.2 Resistencia por formación de olas

$$R_W = c_1 c_2 c_5 \nabla \rho g e^{m_1 F_n^d + m_2 \cos(\lambda F_n^{-2})} \quad (8)$$

Donde:

$$c_1 = 2.223,105 c_7^{3,78613} \left(\frac{T}{B}\right)^{1,07961} (90 - i_E)^{-1,37565} \quad (9)$$

- El valor de  $c_7$  se calcula con distintas fórmulas en función de la relación B/L, en el caso a estudio dicha relación se encuentra entre los valores de 0,11 y 0,25, por lo que

$$c_7 = B/L_F \quad (10)$$

- El semiángulo de entrada ( $i_E$ ) viene dado por la siguiente fórmula:

$$\begin{aligned} i_E &= 1 \\ &+ 89 \exp \left\{ - \left(\frac{L_F}{B}\right)^{0,80856} (1 - C_{WP})^{0,30484} (1 - C_P \right. \\ &\left. - 0,0225 lcb)^{0,6367} (L_R B)^{0,34574} \left(100 \frac{\nabla}{L_F^3}\right)^{0,16302} \right\} \end{aligned} \quad (11)$$

$$c_2 = \exp(-1.89(c_3)^{0.5}) \quad (12)$$

- Donde  $c_3$  equivale a:

$$c_3 = 0,56 * \frac{A_{BT}^{1.5}}{BT(0.31 * (A_{BT})^{0.5} + T_F - h_B)} \quad (13)$$

- $A_{BT}$  es el área transversal del bulbo al ser intersectado por un plano que pasa por la perpendicular de proa y que es perpendicular a la línea base, en metros cuadrados.
- $T_F$ : es el calado en la perpendicular de proa en metros.
- $H_b$ : es la distancia vertical desde la línea base al centroide del área  $A_{BT}$  en metros. Dicha distancia no debe ser superior al 60% del calado en la perpendicular de proa.

$$c_5 = 1 - \frac{0.8A_T}{BTC_M} \quad (14)$$

- Siendo  $A_T$  el área sumergida del espejo.
- Como el buque tiene una relación eslora-manga menor a 12,  $\lambda$  se define como:

$$\lambda = 1,446c_p - \frac{0.03L}{B} \quad (15)$$

$$m_1 = 0,0140407 \frac{L_F}{T} - \frac{1,75254\sqrt[3]{1}}{L_F} - 4,7323 \frac{B}{L_F} - c_{16} \quad (16)$$

- Donde  $c_{16}$  toma la siguiente fórmula por ser el coeficiente prismático ( $C_P$ ) del buque a estudio menor de 0,8:

$$c_{16} = 8,07981c_p - 13,8673 C_p^2 + 6,984388 * C_p^3 \quad (17)$$

$$m_4 = c_{15} 0.4 e^{-0,034 F n^{-3,29}} \quad (18)$$

- Donde, al ser en el caso de estudio  $\frac{L^3}{V} < 512$ , C15 tiene como valor -1,69385.

Finalmente, la resistencia por formación de olas toma el valor recogido en la Tabla 1.12.

Tabla 1.12 Resultado resistencia por formación de olas.

<b>RESISTENCIA FORMACION OLAS</b>		
<b>c<sub>7</sub></b>	0,1676	
<b>i<sub>e</sub></b>	25,28	
<b>c<sub>1</sub></b>	2,35	
<b>c<sub>3</sub></b>	0,044	
<b>c<sub>2</sub></b>	0,672	
<b>c<sub>5</sub></b>	0,927	
<b>λ</b>	0,803	
<b>c<sub>16</sub></b>	1,28	
<b>m<sub>1</sub></b>	-2,12	
<b>m<sub>4</sub></b>	-0,0012716	
<b>f<sub>n</sub></b>	0,205	
<b>R<sub>w</sub></b>	1.517,23	<b>(kg)</b>

### 1.4.3 Resistencia debido a la presencia de bulbo

$$R_B = \frac{0,11 e^{-3P_B^{-2}} (F_{ni}^3 A_{BT}^{1,5} \rho g)}{1 + F_{ni}^2} \quad (19)$$

- P<sub>B</sub>: es un parámetro que mide el efecto de la parte emergida de la proa

$$P_B = \frac{0,56 (A_{BT})^{0,5}}{T_F - 1,5 h_B} \quad (20)$$

- F<sub>ni</sub>: es el número de Froude referenciado a la emersión de la proa:

$$F_{ni} = \frac{V}{(g(T_{PR} - h_B 0,25(A_{BT})^{0,5}) + 0,15V^2)^{0,5}} \quad (21)$$

Finalmente, la resistencia por la presencia del bulbo toma el valor recogido en la Tabla 1.13.

Tabla 1.13 Resultado resistencia por la presencia de bulbo.

<b>RESISTENCIA POR BULBO</b>		
<b>P<sub>B</sub></b>	2,097	
<b>F<sub>ni</sub></b>	1,44	
<b>R<sub>B</sub></b>	1.443,46	<b>(kg)</b>

#### 1.4.4 Resistencia debido a la inmersión del espejo

$$R_{TR} = 0,5 * \rho V^2 A_T c_6 \quad (22)$$

Donde  $A_T$  es el área sumergida del espejo y  $c_6$  es un coeficiente que depende a su vez del valor del parámetro del número de Froude referido a la parte sumergida del espejo ( $F_{nT}$ ):

$$F_{nT} = \frac{V}{\sqrt{\frac{2gA_T}{B + B C_{WP}}}} \quad (23)$$

El valor de  $c_6$  será nulo si el número de Froude referido a la parte sumergida del espejo es mayor o igual que 5, en caso contrario su valor vendrá determinado por la siguiente fórmula:

$$c_6 = 0,2(1 - 0,2 F_{nT}) \quad (24)$$

Finalmente, la resistencia por inmersión de espejo toma el valor recogido en la Tabla 1.14.

Tabla 1.14 Resultado resistencia inmersión de espejo.

<b>RESISTENCIA POR LA INMERSIÓN DEL ESPEJO</b>		
<b>A<sub>T</sub></b>	10,56	<b>(m<sup>2</sup>)</b>
<b>F<sub>nT</sub></b>	2,33	
<b>c<sub>6</sub></b>	0,107	
<b>R<sub>TR</sub></b>	2.641,6	<b>(kg)</b>

#### 1.4.5 Resistencia debida a la correlación modelo-buque.

En esta componente de la resistencia tiene en cuenta la rugosidad de la obra viva del casco y la correlación modelo-buque.

$$R_A = \frac{1}{2} \rho S V^2 C_A \quad (25)$$

- $C_A$ : es el coeficiente de correlación, que para condiciones ideales de pruebas y para una rugosidad de la carena estándar (150µm) se estima con la siguiente fórmula:

$$C_A = 0,006(L_F + 100)^{-0,16} - 0,00205 + 0,003 \left( \frac{L_F}{7,5} \right)^{0,5} C_B^4 C_2 (0,04 - C_4) \quad (26)$$

Siendo:

$$c_2 = e^{-1,89(c_3)^{0,5}} \quad (27)$$

$$c_3 = 1 - \frac{(0,8A_{TR})}{(BTC_M)} \quad (28)$$

Finalmente, la resistencia correlación toma el valor recogido en la Tabla 1.15.

Tabla 1.15 Resultado resistencia correlación.

<b>RESISTENCIA CORRELACION</b>		
<b>Superficie mojada</b>	2.377,11	<b>(m<sup>2</sup>)</b>
<b>Velocidad</b>	13	<b>(nudos)</b>
<b>C<sub>2</sub></b>	0,1668	
<b>C<sub>3</sub></b>	0,8987	
<b>C<sub>4</sub></b>	0,04	
<b>C<sub>A</sub></b>	0,0005027	
<b>R<sub>A</sub></b>	2.794,81	<b>(kg)</b>

### 1.4.6 Resistencia debido a los apéndices

Hace referencia a la resistencia que aporta a la carena los elementos que se encuentran anexados a ella y que son necesarios para la navegabilidad del buque. Para calcular la resistencia que aportan se sigue la siguiente fórmula:

$$R_{APP} = \frac{1}{2} \rho S_{AP} V^2 C_F (1 + k_2)_{eq} \quad (29)$$

Siendo:

- $S_{AP}$ : el sumatorio de las áreas de los apéndices. En el caso del buque a estudio únicamente tiene como apéndice la pala del timón (véase Figura 1.1), de dimensiones obtenidas por los planos y cuya área toma un valor de 30,8 m<sup>2</sup>.

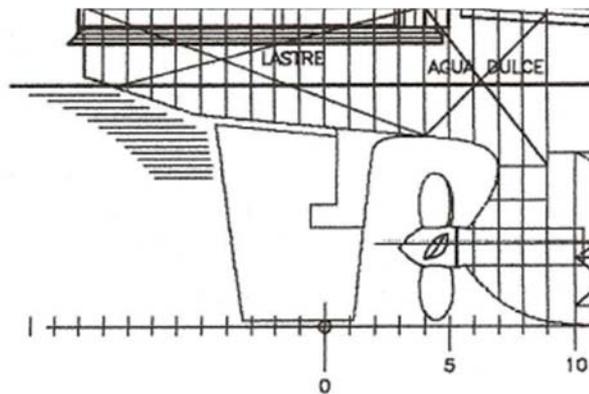


Figura 1.1 Timón del buque.

- $(1+k_2)_{eq}$ : es el factor de resistencia aportada por los apéndices. Dicho factor se obtiene de la Tabla 1.16 donde hay un resumen de los coeficientes obtenidos de distintos apéndices en ensayos empíricos de resistencia.

Tabla 1.16 Valores  $1+k_2$ .

VALORES $1+K_2$	
Apéndice	$1+k_2$
Timón buques de 1 hélice	1,3-1,5
Timón buques de 2 hélices	2,8
Timón y quillote	1,5-2,0
Quillote	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

Finalmente, la resistencia por apéndices toma el valor recogido en la Tabla 1.17.

Tabla 1.17 Resultado resistencia por apéndices

<b>RESISTENCIA POR APÉNDICES</b>		
<b>Superficie de los apéndices</b>	30,8	<b>(m<sup>2</sup>)</b>
<b>Velocidad</b>	13	<b>(nudos)</b>
<b>Coefficiente de fricción</b>	0,0016282	
<b>(1+K<sub>2</sub>)<sub>eq</sub></b>	1,3	
<b>R<sub>AP</sub></b>	152,48	<b>(kg)</b>

## 1.5 CÁLCULO DE LOS COEFICIENTES PROPULSIVOS

### 1.5.1 Coeficiente de succión

Cuando un buque es remolcado, en la parte de popa se genera una zona de alta presión que beneficia la reducción de la resistencia al avance, sin embargo, los buques están proyectados para ir autopropulsados, y es por ello que, debido al funcionamiento de la hélice, en la zona de popa del buque se ha observado que se genera una zona de baja presión por el fenómeno de succión provocado por la hélice. Dicho fenómeno genera un aumento de la resistencia.

$$t = 0,25014 \left(\frac{B}{L_F}\right)^{0,28956} * \frac{\left(\frac{(BT)^{0.5}}{D}\right)^{0,2624}}{(1 - C_p + 0,0225 lcb)^{0,01762}} + 0,0015 C_{stern} \quad (30)$$

- Siendo D el diámetro de la hélice que monta el buque, el cual se obtendrá en cálculos posteriores, por lo que genera un proceso iterativo hasta que todo converja. Esta situación incluirá los cálculos del diámetro máximo de la hélice a montar mediante el cálculo de los huelgos mínimos que a su vez depende de la potencia instalada en el buque, que evidentemente depende del rendimiento de la carena, y, por tanto, de los coeficientes propulsivos que dependen del diámetro de la hélice que se decida montar, y el criterio fundamental en dicha decisión será el cálculo del diámetro máximo. El resultado tras la iteración es de 0.2.

### 1.5.2 Coeficiente de estela

El coeficiente de estela tiene una gran influencia sobre el rendimiento de la hélice, y depende en gran medida de las formas del casco y del tamaño de la hélice:

$$w = c_9 c_{20} \frac{C_V L_F}{T_A} \left( 0,050776 + 0,93405 \frac{c_{11} C_v}{1 - C_{P1}} \right) + 0,27915 c_{20} \left( \frac{B}{L_F(1 - C_{P1})} \right)^{0,5} + c_{19} c_{20} \quad (31)$$

Donde

- $T_A$ : es el calado en la perpendicular de popa en metros.
- El parámetro  $c_9$  depende del valor que tenga  $c_8$ , que sigue la siguiente fórmula debido a que la relación  $B/T_A$  es menor de 5:

$$c_8 = \frac{BS}{LDT_A} \quad (32)$$

Como  $c_8$  en este caso tiene un valor menor a 25,  $c_9$  será igual a  $c_8$

$$c_{20} = 1 + 0,015 C_{Stern} \quad (33)$$

- El coeficiente viscoso ( $C_V$ ) se calcula con parámetros calculados ya anteriormente:

$$C_V = (1 + k)C_F + C_A \quad (34)$$

$$C_{P1} = 1,45C_P - 0,315 - 0,0225 lcb \quad (35)$$

- El parámetro  $c_{19}$  sigue la siguiente fórmula debido a que el buque a estudio cuenta con un coeficiente prismático menor de 0,7:

$$c_{19} = \frac{0,12997}{0,95 - C_B} - \frac{0,11056}{0,95 - C_P} \quad (36)$$

Tabla 1.18 Valor coeficiente de estela.

<b>COEFICIENTE DE ESTELA</b>	
<b>c<sub>9</sub></b>	16,06
<b>c<sub>8</sub></b>	16,06
<b>c<sub>20</sub></b>	1
<b>C<sub>F</sub></b>	0,0016
<b>C<sub>A</sub></b>	0,0005
<b>C<sub>V</sub></b>	0,0025
<b>c<sub>11</sub></b>	1,55
<b>C<sub>PI</sub></b>	0,7388
<b>w</b>	0,21

## 1.6 SELECCIÓN DE LA HÉLICE

Una vez obtenida la resistencia al avance del buque a la velocidad de 13 nudos, el siguiente paso será calcular la potencia instalada.

Para ello antes se deberá seleccionar el propulsor óptimo para dicho buque, es decir:

- Debe proporcionar el empuje que precisa para poder desplazarse a la velocidad deseada con la menor de las pérdidas posibles, pues de esta forma se optimizará el consumo de combustible.
- Debe tener el diseño adecuado que le permita evitar la cavitación lo más lejos posible.
- Debe evitar la generación de vibraciones debido a su posición con respecto al timón y al codaste.

En este proyecto se hallarán las características necesarias de la hélice diseñada a partir de la serie sistemática B de Wageningen.

Una serie sistemática consiste en un conjunto de hélices diseñadas con el mismo patrón geométrico, pero a las que a cada una de ellas se le ha variado alguna de sus características geométricas de forma sistemática y se ha estudiado su comportamiento, por lo que se tienen los resultados de propulsor aislado.

Dichos resultados se han expresado de forma gráfica o mediante fórmulas. En este proyecto se ha optado por emplear las fórmulas. Antes de entrar al cálculo de los parámetros hidrodinámicos, se deben decidir los geométricos, es decir, el número de palas, el diámetro y la relación área expandida-área disco.

### 1.6.1 Determinación del número de palas

A la hora de seleccionar el número de palas no interviene ninguna característica hidrodinámica, sino que se realiza en función de la potencia instalada, las vibraciones o el rendimiento.

En principio se podría asumir que un número bajo de palas mejora el rendimiento propulsivo. Sin embargo, conforme se aumenta la potencia instalada, el número de palas tiende a ascender, ya que en el caso de conservar el número de palas (manteniendo las revoluciones constantes),

la otra opción que quedaría sería la de aumentar el diámetro de la hélice, circunstancia improbable ya que dicho parámetro se vería restringido por el cálculo de los huelgos mínimos del buque.

Si no se realiza ninguna de las dos opciones y se aumenta la potencia instalada, el rendimiento del propulsor en aguas abiertas disminuye y aumentan las perturbaciones transmitidas al casco por los soportes del eje, o las producidas en las zonas próximas a la bovedilla del codaste. Es interesante por tanto que el número de palas de la hélice sean las mínimas posibles con la condición de que su nivel de excitación se mantenga por debajo del límite de seguridad, es decir, que no cavite (fenómeno que se tratará posteriormente).

En líneas generales se puede afirmar que, para buques con una potencia intermedia de una hélice, como es el caso de este proyecto, suelen llevar 4 palas.

### 1.6.2 Determinación del diámetro

Antes de realizar ningún cálculo se debe hallar el diámetro máximo, que por la geometría del codaste del buque y por el cálculo de huelgos mínimos, puede llevar el buque a estudio.

En este caso, al no disponer de talón de codaste, por contar con un timón suspendido, la limitación más restrictiva será la distancia vertical desde el centro del eje hasta la quilla

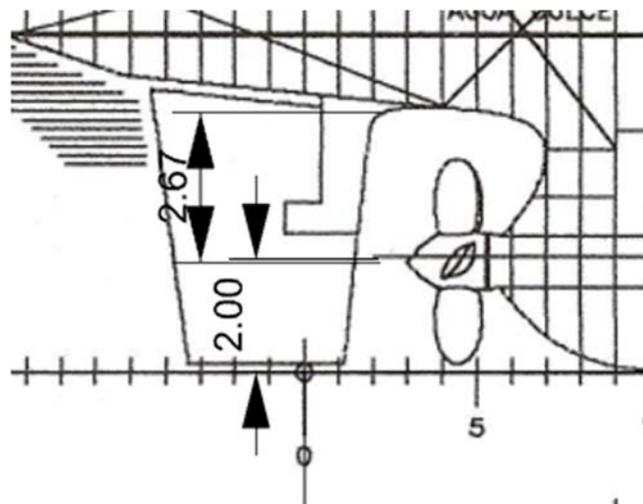


Figura 1.2 Codaste

Como se puede apreciar en la Figura 1.2, la distancia máxima desde el eje a la quilla es de 2 metros, por lo que con dicho dato se recurrirá a las fórmulas proporcionadas por la Sociedad de clasificación Lloyd's Register of Shipping:

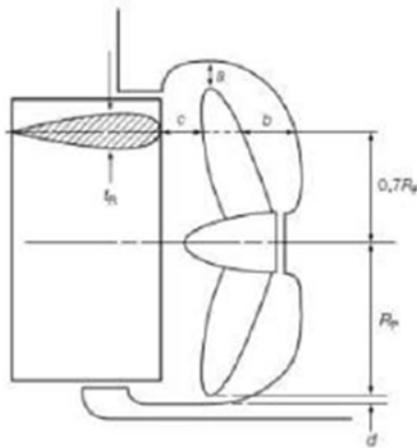


Figura 0.3 Esquema huelgos mínimos.

Fuente "Lloyd's Register of Shipping"

La distancia mínima del extremo de la pala perteneciente a la hélice montada con respecto a la bovedilla del codaste (a) sigue la siguiente fórmula:

$$a = K D \quad (37)$$

Donde D hace referencia al diámetro de la hélice y k:

$$K = \left(0,1 + \frac{L_F}{3.050}\right) \left(\frac{3,48 C_B P}{L_F^2} + 0,3\right) \quad (38)$$

Siendo P la potencia en el eje en kW. Dicho dato se habrá de estimar, pues se desconoce la potencia instalada en el buque por no conocer los rendimientos del propulsor aislado en aguas abiertas y el rotativo-relativo al no conocer el diseño final de la hélice montada. Por todo ello, como ya se mencionó en el apartado de los coeficientes propulsivos, se realizará un proceso iterativo hasta que las soluciones converjan.

Tras la estimación, la potencia instalada será de 3.060 kW.

El huelgo mínimo que necesitará este buque, a partir de la estimación de potencia realizada será el que se muestra en la Tabla 1.19.

Tabla 1.19. Valor del huelgo calculado a la mayor potencia que se va a instalar en el buque

<b>VALOR HUELGO MÍNIMO</b>		
<b>Eslora</b>	109,89	<b>(m)</b>
<b>Coefficiente de bloque</b>	0,57	
<b>Potencia</b>	3.060	<b>(kW)</b>
<b>Diámetro</b>	4	<b>(m)</b>
<b>K</b>	0,10	
<b>a</b>	0,38	<b>(m)</b>

Como la distancia entre el centro del eje y la bovedilla del codaste es de 2,61 m, quiere decir que la distancia restrictiva es la inferior, por lo que el diámetro máximo de hélice que se podría montar en dicho buque es 4 m ya que con dicho diámetro se necesitaría una distancia  $a = 0,43$  m y hay una distancia disponible de 0,61 metros.

Una vez obtenido el diámetro máximo se procederá al cálculo del coeficiente de diámetro óptimo mediante la siguiente expresión:

$$\delta_{opt} = \sum_{i=0}^{n_1} \sum_{j=0}^{n_2} c_{i,j} \left(\frac{A_E}{A_0}\right)^i \left(\frac{(B_P)^{0.5}}{10}\right)^j \quad (39)$$

Donde  $B_P$  se calcula según la siguiente ecuación:

$$B_P = \frac{N\sqrt{DHP}}{V_A^{2.5}} \quad (40)$$

Siendo  $N$  las revoluciones por minuto con las que gira el eje propulsor,  $V_A$  es la velocidad de avance en nudos y  $DHP$  es la potencia absorbida por la hélice en agua dulce, en aguas abiertas y en CV:

$$DHP = BHP \frac{1}{1,026} \eta_M \eta_R \quad (41)$$

En este punto se procederá de la misma forma que para lo explicado en apartados anteriores, inicialmente se supondrán una serie de valores para la potencia instalada, el área expandida-área disco ( $A_E/A_0$ ), los respectivos rendimientos, y se iterará dentro del ciclo hasta alcanzar la convergencia de los resultados.

En cuanto a los distintos valores de  $i$ ,  $j$  y  $c_{i,j}$  la serie sistemática para hélices de 4 palas se encuentran recogidos en la Tabla 1.20.

Tabla 1.20 Constantes para el coeficiente de diámetro óptimo para hélices de 4 palas.

$\delta$			
i	j	k	$C_{ijk}$
0	0	0	3,7019
1	0	0	-12,7673
0	1	0	132,6387
2	0	0	5,9671
1	1	0	14,3308
0	2	0	-47,2738
0	3	0	18,3635
3	1	0	-11,7569
2	2	0	-0,9627
0	4	0	-2,8759

Una vez calculado se deberá comparar con el coeficiente de diámetro máximo. Si el coeficiente de diámetro óptimo es mayor que el máximo, se procederá a operar con el diámetro máximo, mientras que si es al contrario, se operará con el diámetro óptimo que se obtendrá de la fórmula del coeficiente de diámetro máximo.

$$\delta_{max} = \frac{N D_{MAX}}{V_A} = \frac{N D_{MAX}}{V(1-w)} \quad (42)$$

### 1.6.3 Determinación de la relación área expandida-área disco

Para seleccionar dicho parámetro de la forma más eficiente posible, se deberá seleccionar la menor de ellas, pero de entre las que no caviten. Para ello, se aplicará la fórmula de Keller para delimitar el área expandida-área disco mínimo a partir de la cual la hélice no cavita

$$\left(\frac{A_E}{A_0}\right)_{MIN} = \frac{(1,3 + 0,3 * Z)T}{(P_0 - P_v)D_{opt}^2} \quad (43)$$

Siendo:

- Z el número de palas.
- T el empuje que proporciona la hélice.
- $D_{opt}$  el diámetro óptimo de la hélice,
- $P_v$  es la presión de vapor del agua.
- $P_0$  la presión estática en el eje:

$$P_0 = P_A + \rho gh \quad (44)$$

Donde:

- h es la inmersión del eje.
- $P_A$  es la presión atmosférica.
- g es la gravedad.
- $\rho$  es la densidad del fluido.

Si se sustituye en la ecuación (47) se obtiene:

$$\left(\frac{A_E}{A_0}\right)_{MIN} = \frac{(1,3 + 0,3 * Z)T}{(P_A - P_v + \rho gh)D_{opt}^2} \quad (45)$$

El empuje se obtendrá de la expresión polinómica proporcionada por la serie sistemática para calcular  $K_T$ :

$$K_T = \sum_{i=0}^{n_1} \sum_{i=0}^{n_2} \sum_{i=0}^{n_3} a_{ijk} \left(\frac{A_E}{A_0}\right)^i \left(\frac{H}{D}\right)^j (J)^k \quad (46)$$

El paso/diámetro se obtendrá de la expresión polinómica para este tipo de hélices:

$$\frac{H}{D} = \sum_{i=0}^{n_1} \sum_{i=0}^{n_2} \sum_{i=0}^{n_3} d_{ijk} \left(\frac{A_E}{A_0}\right)^i \left(\frac{\sqrt{B_P}}{10}\right)^j \left(\frac{\delta}{100}\right)^k \quad (47)$$

Y J se calcula con la siguiente expresión:

$$J = \frac{30,86}{\delta} = \frac{(N * D)}{V_A} \quad (48)$$

Una vez obtenido el valor de  $K_T$ , se procederá a despejar de la fórmula que lo define el valor del empuje (T):

$$K_T = \frac{T}{\rho n^2 D^4} \quad (49)$$

Tras realizar los cálculos, la hélice queda definida por los parámetros de la Tabla 1.21.

Tabla 1.21 Parámetros de la hélice seleccionada.

<b>DATOS DE LA HÉLICE SELECCIONADA</b>		
<b>Z</b>	4	
<b><math>\delta_{\max}</math></b>	59,67	
<b><math>\delta_{\text{opt}}</math></b>	59.86	
<b><math>\delta</math></b>	59.67	
<b><math>D_{\text{opt}}</math></b>	4	<b>(m)</b>
<b>H/D</b>	0,81	
<b><math>K_T</math></b>	0,167	
<b>T</b>	24651.89	<b>(kg)</b>
<b><math>(A_E/A_0)_{\min}</math></b>	0,51	
<b><math>A_E/A_0</math></b>	0,55	

#### 1.6.4 Determinación del rendimiento del propulsor aislado en aguas abiertas

El rendimiento del propulsor aislado en aguas abiertas se obtiene a través de la siguiente fórmula:

$$\eta_0 = \sum_{i=0}^{n_1} \sum_{j=0}^{n_2} \sum_{k=0}^{n_3} e_{ijk} \left(\frac{A_E}{A_0}\right)^i \left(\frac{\sqrt{B_P}}{10}\right)^j \left(\frac{\delta}{100}\right)^k \quad (50)$$

Donde todas las variables son ya conocidas, y las constantes se obtienen de la siguiente tabla correspondiente a la serie sistemática para hélices de 4 palas (véase Tabla 1.22).

Tabla 0.22 Constantes del rendimiento del propulsor aislado.

<b><math>\eta</math></b>			
<b>i</b>	<b>j</b>	<b>k</b>	<b><math>e_{ijk}</math></b>
0	0	0	1,12034
1	0	0	-0,25463
0	1	0	-1,17553
0	0	1	-0,74275
2	0	0	0,49267
1	1	0	-5,21204
1	0	1	4,13699
0	2	0	-3,84161
0	1	1	8,08588
0	0	2	-0,79401
3	0	0	-0,20744
2	1	0	5,07206

$\eta$			
<b>i</b>	<b>j</b>	<b>k</b>	<b>e<sub>ijk</sub></b>
2	0	1	-4,82711
1	2	0	6,52799
1	1	1	-3,74597
0	3	0	2,58648
0	2	1	-3,09066
0	0	3	-3,48467
3	1	0	0,05474
2	2	0	-4,35481
2	0	2	2,68353
1	3	0	-1,53112
1	0	3	-0,39145
0	4	0	-0,32017
0	0	4	2,39228
2	2	1	1,84607
3	3	0	0,12575
3	0	3	-0,19816
2	0	4	-0,47711
1	5	0	0,10386
1	3	2	-0,04590
0	6	0	-0,01089
0	4	2	0,02025
0	0	6	-0,29752
1	1	5	0,01654
1	0	6	0,11599
0	3	4	0,02456
0	2	5	0,00875
0	1	6	0,00347
3	5	0	-0,01646
3	3	2	0,0248
2	2	4	-0,03953
1	4	3	-0,02747
1	2	5	0,01163
1	1	6	0,0065
0	5	3	0,00146

Antes de determinar las características finales de la hélice a montar en el buque se ha de especificar las revoluciones a las que girará.

Tras realizar una primera búsqueda de motores, se ha llegado a la conclusión que este buque llevará instalado un motor rápido o semirápido, por lo que la planta propulsora que monta este buque precisa de una reductora para poder sacar el máximo rendimiento a la hélice.

Esto se debe a que el motor trabaja a unas revoluciones, y la hélice alcanza su rendimiento máximo a otras revoluciones. Como el motor es el elemento o máquina que hace girar el eje, y por lo tanto que transmite dichas revoluciones a la hélice, se necesitará de un conjunto mecánico capaz de variar las revoluciones que le llegan por parte del motor para adaptarlas a las que trabaja la hélice. Dicho mecanismo es la reductora.

El fin último del cálculo es la selección óptima de los elementos para obtener el mayor rendimiento del conjunto a un coste lo menor posible. Por tanto, se ha optado por buscar reductoras y calcular el rendimiento de propulsor aislado que sería capaz de generar la hélice. Se ha descartado el procedimiento de obtener las revoluciones óptimas a las que trabaja la hélice con las curvas  $kt/J^2$  ya que para obtener esas revoluciones exactas se precisaría encargar una reductora a medida y con una relación de reducción muy específica. Dada la exclusividad que supondría este proceso, derivaría en unos gastos excesivos para este buque.

Generalmente este tipo de buques suelen trabajar con menos de 200 revoluciones por minuto en la hélice. Por lo que se buscará en las distintas casas comerciales unas relaciones de reducción comprendidas entre 6 y 7.

Se toma como referencia el fabricante de reductoras Masson, debido a la amplia información que aportan en sus catálogos sobre las reductoras que fabrican.

Como aún se desconoce la potencia propulsora que precisará este buque, se tomará como válida la potencia estimada en una primera búsqueda de motores. Una vez terminado un ciclo de la espiral se volverá a este punto con una potencia más ajustada a las necesidades de este buque.

De entre el catálogo de reductoras de Masson, se ha seleccionado la más cercana a la potencia que el buque monta, es decir, el modelo MM W20500 que trabaja con potencias de hasta 3.828 kW. La siguiente en el escalón de potencias es el modelo MM W18000 que trabaja con potencias de hasta 3.750 kW, pero con relaciones de reducción que no pasan de 1:4, por lo que el rendimiento del propulsor en aguas abiertas sería demasiado ineficiente al hacer trabajar a la hélice a revoluciones superiores a las de diseño.

La reductora seleccionada será la MM W20500 que cuenta con las siguientes relaciones de reducción (véase Tabla 1.23).

Tabla 1.23 Relaciones de reducción de la reductora seleccionada.

<b>SELECCIÓN REDUCTORA</b>						
<b>Relación de reducción</b>	<b>Rev. Motor</b>	<b>Rev. Helice</b>	<b><math>\eta</math></b>	<b>Ae/Ao</b>	<b>P/D</b>	<b>D</b>
	<b>(rpm)</b>	<b>(rpm)</b>				<b>(m)</b>
<b>5,756</b>	1.000	173,73	0,574	0,55	0,77	3,73
<b>5,959</b>	1.000	167,81	0,578	0,55	0,779	3,8
<b>6,611</b>	1.000	151,26	0,5896	0,55	0,815	4
<b>7,348</b>	1.000	136,09	0,586	0,55	0,97	4
<b>8,185</b>	1.000	122,17	0,576	0,6	1,13	4

Como se puede observar, la relación de reducción 1:6,611 es la que hace que la hélice tenga el mayor rendimiento de propulsor aislado.

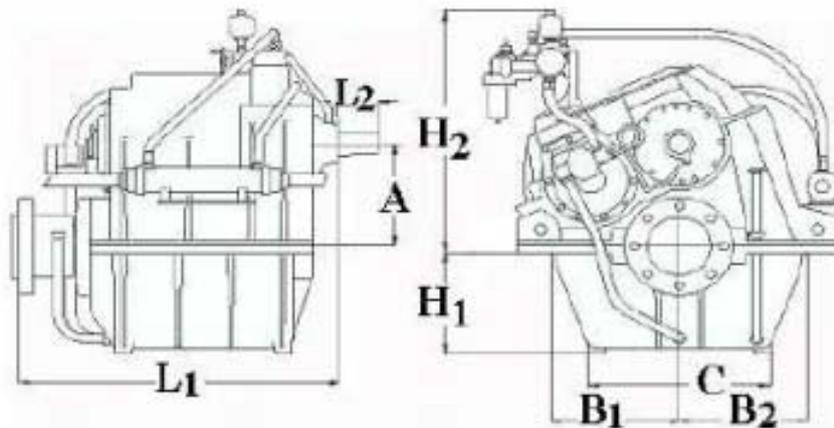


Figura 0.4 Representación reductora seleccionada.

Tras este último cálculo la hélice a montar en el buque tiene las características que se recogen en la Tabla 2.24.

Tabla 1.24 Datos necesarios de la hélice para la estimación de potencia.

<b>DATOS DE LA HÉLICE SELECCIONADA</b>		
<b>D</b>	4	<b>(m)</b>
<b>H/D</b>	0,81	
<b>K<sub>T</sub></b>	0,167	
<b>A<sub>E</sub>/A<sub>0</sub></b>	0,55	
<b>η<sub>0</sub></b>	0,5897	

## 1.7 SELECCIÓN DEL MOTOR

### 1.7.1 Potencia instalada en el buque

Tras la obtención de la resistencia total a la velocidad de 13 nudos se podrá calcular la potencia efectiva (EHP):

$$EHP(CV) = \frac{R_T(kg) * V\left(\frac{m}{s}\right)}{75} \quad (51)$$

A partir de dicho dato se deberá obtener la potencia a instalar en el buque (BHP) mediante el cálculo de los distintos rendimientos propulsivos:

$$BHP = \frac{EHP}{\eta_M \eta_0 \eta_H \eta_R K_P} \quad (52)$$

El rendimiento mecánico ( $\eta_M$ ) es el correspondiente a los elementos mecánicos que componen el eje y el reductor debido a que, aunque dichos componentes estén en perfecto estado de conservación y mantenimiento, al ser engranajes mecánicos siempre tendrán unas pérdidas a la hora de la transmisión de la potencia proporcionada por el motor a la hélice.

Dicho rendimiento se estima en función de la potencia instalada en el buque y teniendo en cuenta el sistema de propulsión con el que cuenta el buque a estudio por ejemplo si incorpora o no una reductora (véase Tabla 1.25).

Tabla 1.25 Rendimiento mecánico.

<b>VALORES RENDIMIENTO MECÁNICO</b>		
<b>Reducción</b>	<b>BHP</b>	
NO	<b>BHP&lt;1000 C.V</b>	0,97
NO	<b>1000&lt;BHP&lt;10000 C.V</b>	0,9
NO	<b>BHP&gt;10000 C.V</b>	0,9/8-0,99
SI	<b>BHP&lt;1000 C.V</b>	0,94-0,95
SI	<b>1000&lt;BHP&lt;10000 C.V</b>	0,94-0,96
SI	<b>BHP&gt;10000 C.V</b>	0,96-0,97

En el caso a estudio se estima que el buque, a raíz de los EHP obtenidos, la potencia instalada se encontrará entre los 1.000 y 10.000 c.v.

En base a una primera búsqueda de motores se ha podido observar que este buque llevará un motor rápido o semirápido. Sabiendo que las revoluciones en este tipo de buques no suelen superar las 200 revoluciones por minuto, se hace evidente el acople de un reductor a la línea de ejes. Con todo ello se estima que el rendimiento mecánico será de 0,95 (véase en la Tabla 2.25).

El factor de utilización ( $K_p$ ) para motores diésel, se suele fijar entre un 85 y 90% de la potencia instalada al 100% de las revoluciones nominales. Si se quiere afinar más, se podría considerar que para buque lentos con formas más llenas en los que tiene una importancia mayor la resistencia viscosa, se suele aplicar el 85%, mientras que, para buques más finos y rápidos donde gana protagonismo la resistencia por formación de olas el valor suele aproximarse más al 90%, como es nuestro caso.

En resumen, se considerará que, para nuestro buque, el punto de funcionamiento será del 90%.

### 1.7.2 Rendimiento de la carena

Hace referencia a la diferencia que hay entre el trabajo realizado por la hélice para generar, a la velocidad de avance, el empuje necesario (THP), con respecto al esfuerzo que hay que realizar para mover el buque a la velocidad estudiada (EHP).

$$\eta_H = \frac{EHP}{THP} = \frac{R_T V}{T V_A} = \frac{(1-t)T V}{T V (1-w)} = \frac{1-t}{1-w} \quad (53)$$

Donde  $t$  es el coeficiente de succión, y  $w$  es el coeficiente de estela. Ambos coeficientes propulsivos ya se han obtenido mediante el método de *Holtrop y Mennen* para la propulsión.

### 1.7.3 El rendimiento rotativo-relativo

El rendimiento rotativo-relativo pone de relieve el fenómeno debido a la entrada de flujo que tiene una hélice por el mero hecho de encontrarse detrás del casco del buque, es decir, el flujo que incidirá sobre ella será distinto si en vez de encontrarse detrás del buque, se encontrara en un ensayo de aguas libres donde el agua circula con ángulos rectos hacia el propulsor.

Esto modifica el par que es capaz de proporcionar la hélice debido a la heterogeneidad que se produce de la estela y a las proporciones de flujo laminar y turbulento que se da sobre los elementos de las distintas palas que componen la hélice.

Dicho coeficiente se denomina rendimiento, pero puede llegar a tomar valores mayores a la unidad debido a que se ha demostrado que un buque que montan una única hélice, la rotación del flujo que le llega a la hélice mejora la transmisión de la potencia al contrario de lo que ocurre en buques con dos hélices.

El rendimiento rotativo-relativo se calculará mediante la fórmula estadística facilitada por el método de *Holtrop y Mennen*:

$$\eta_R = 0,9922 - 0,05908 \left( \frac{A_E}{A_0} \right) + 0,07424 (C_P - 0,0225 lcb) \quad (54)$$

### 1.7.3 Rendimiento del propulsor aislado en aguas abiertas

El rendimiento del propulsor aislado en aguas abiertas se refiere al trabajo que realiza la hélice en aguas abiertas, es decir, cuando trabaja en un campo de estela homogénea, sin el casco del buque. El valor de dicho rendimiento ya se ha calculado con anterioridad y su valor se encuentra recogido en la Tabla (1.21).

### 1.7.4 Motor instalado

A la hora de seleccionar el motor, se ha optado por un motor de la firma WÄRTSILÄ, concretamente, de la serie 26 ya que rondan una potencia similar a la que se precisa para este buque. En primer lugar, se han de obtener las revoluciones a las que gira el motor en cuestión para ofrecer el 85% de su MCR.

Se ha de buscar motores que satisfagan las necesidades de potencia con dicho margen, ya que en la mar pueden ocurrir multitud de fenómenos que no se pueden precisar con gran exactitud

y que afecten de manera negativa a la resistencia al avance, y por extensión a la velocidad que este buque tiene que dar por contrato.

Dichos fenómenos pueden ser, entre otros, cualquier viento que sople en dirección contraria a la dirección de movimiento del buque, aumento de las pérdidas de rendimiento por mala lubricación de los elementos mecánicos que componen el eje de propulsión del buque, o simplemente el ensuciamiento de la obra viva del buque debido a la incrustación de seres vivos que albergan los mares, lo que conlleva un aumento de la rugosidad de la carena y, al tratarse de una superficie expuesta tan grande, afecta de manera negativa a la hora de alcanzar la velocidad de servicio.

De hecho, hay constancia de contratos de fletamento que se exigen una limpieza de la obra viva del buque. Esto da una visión clarificadora de la importancia que puede tener dicho fenómeno en concreto sobre el consumo de combustible o sobre los efectos que tiene a la hora de alcanzar una velocidad determinada.

Con los datos obtenidos por el método de *Holtrop y Mennen* y con la hélice ya definida, se procederá a calcular los BHP necesarios (véase Tabla 1.26).

Tabla 1.26 Valores de los rendimientos y de los BHP necesarios.

<b>BHP NECESARIOS</b>		
<b>EHP</b>	1.757	<b>(cv)</b>
$\eta_0$	0,585	
$\eta_H$	1,024	
$\eta_R$	1,017	
$\eta_M$	0,95	
<b>K<sub>P</sub></b>	0,9	
<b>BHP</b>	3.369,37	<b>(cv)</b>

Los motores que ofrece dicha serie (véase Figura 2.5) tienen las siguientes potencias al 100% MCR y de sus revoluciones:

Cylinder configuration	Main engines		Generating sets			
	900 rpm	1000 rpm	900 rpm		1000 rpm	
	[kW]	[kW]	[KVA]	[kWe]	[KVA]	[kWe]
6L26	1950	2040	2352	1882	2461	1969
8L26	2600	2720	3136	2509	3281	2625
9L26	2925	3060	3528	2823	3691	2953
12V26	3900	4080	4704	3764	4922	3937
16V26	5200	5440	6273	5018	6562	5250

Figura 1.5 Catálogo motores.  
Fuente: "Wärtsilä 2018"

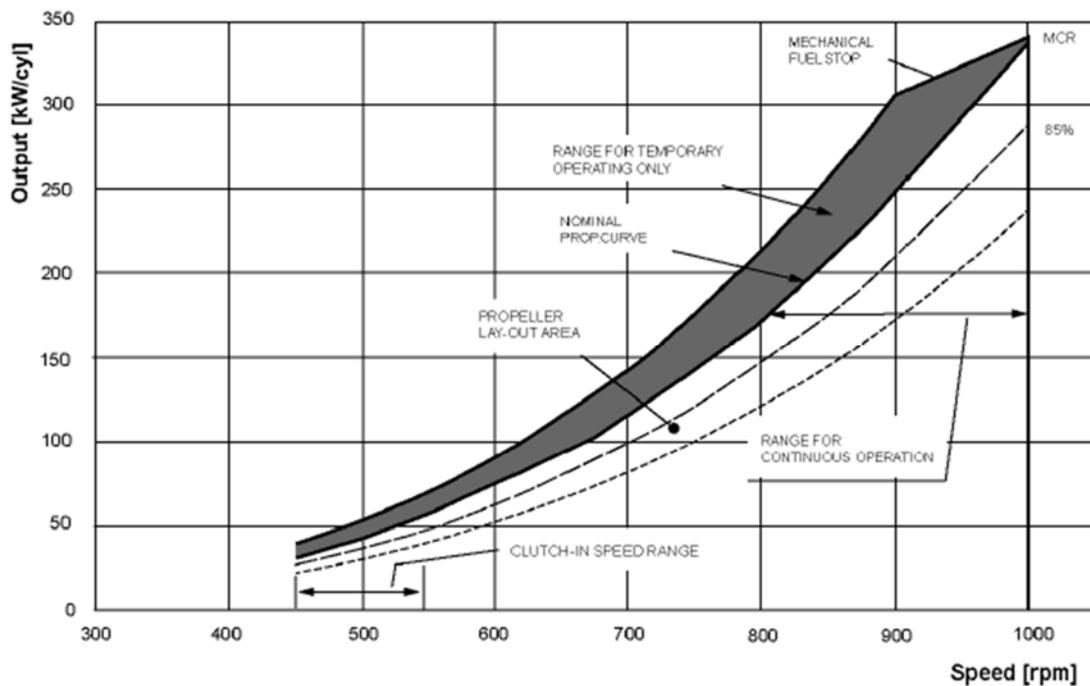


Figura 1.6 Gráfico funcionamiento del motor.

Fuente: "Wärtsilä 2018"

Como se puede observar en la Figura 2.6, para el 85% del MCR le corresponden el 100% de las revoluciones. Seleccionando el motor 9 L26 dará una potencia de 2601 kW a 1000 rpm.

Tabla 1.27 Comprobación motor seleccionado.

COMPROBACIÓN		
<b>BHP MOTOR</b>	2.601	<b>(kW)</b>
<b>BHP (MOTOR)</b>	3.488	<b>(cv)</b>
<b>BHP (NECESARIOS)</b>	3.369,37	<b>(cv)</b>
<b>MARGEN</b>	3,4%	

Se puede observar que el motor es válido para las exigencias de este buque, disponiendo de un 3,4% de margen adicional para contrarrestar, por ejemplo, ensuciamiento del casco o estados severos de la mar. (véase Tabla 1.27).



## CAPÍTULO 2. APLICACIÓN DE LA ESPIRAL DE PROYECTO PARA DESARROLLAR EL ALARGAMIENTO DEL BUQUE.

### 2.1 ESTIMACIÓN DE LA ESLORA DE ALARGAMIENTO

A la hora de estimar la eslora de alargamiento se procederá a estudiar, en primer lugar, la eslora óptima que permite embarcar el mayor número de las distintas unidades de carga con las que se proyectó el buque a estudio, minimizando la pérdida de velocidad. Para realizar dicho cálculo es necesario conocer la longitud de cada unidad de carga y su separación longitudinal entre unidades contiguas. Las medidas de las distintas unidades de carga (véase Tabla 2.1) se han descrito en apartados anteriores.

Tabla 2.1 Longitud de los remolques y coches.

<b>LONGITUD UNIDADES DE CARGA</b>		
<b>Tipos de carga</b>	<b>Longitud (m)</b>	<b>Separación (m)</b>
<b>Remolque 14 metros</b>	14	0,3
<b>Remolque 40 pies</b>	12,192	0,3
<b>Remolque 20 pies</b>	6,096	0,3
<b>Coches</b>	5	0,3

Con dichos datos (véase Tabla 2.1) se procederá a hallar la distancia óptima que permita emplear el espacio de forma más eficiente, considerando los distintos tipos de unidades de carga.

Como criterio a seguir, se intentará optimizar las dimensiones del alargamiento para la condición de carga de remolques de 20 pies y de coches, pues es la que mayor capacidad en cuanto a unidades de carga, puede llevar el buque, y por este motivo se considerará como la más importante. Por ello las opciones entre las que se decidirá el proyecto de alargamiento será llevar a cabo un alargamiento de 25,6 metros o de 32 metros.

Los buques RO-RO se caracterizan por su velocidad, pues es su punto fuerte frente a su competencia más directa, los buques portacontenedores. Por este motivo, se intentará buscar una pérdida de velocidad de medio nudo aproximadamente. Tras realizar las pertinentes comprobaciones y cálculos en cuanto a la estimación de velocidad a la que podrían ir tanto el buque alargado 25,6 metros, como el buque alargado 32 metros, se llega a la conclusión de que, aunque para el alargamiento de 25,6 metros la pérdida de velocidad es de 0,7 nudos (0,2 nudos más de lo estimado) es la mejor opción en cuanto a capacidad de carga se refiere. El alargamiento de 32 metros sobrepasaría incluso la disminución de velocidad de 0,7 nudos, por lo que no se considerará.

Finalmente se obtiene que el alargamiento óptimo es el de 25,6 metros pues es el que permite cargar un mayor número de unidades de carga en las distintas configuraciones sin sobrepasar en exceso la pérdida de velocidad considerada.

Una vez obtenido el alargamiento se han de comprobar distintos puntos que abarcan diferentes ámbitos del buque, como, por ejemplo, su capacidad máxima de carga, la estabilidad, y la reducción de velocidad que se generará a costa de dicho alargamiento manteniendo la misma

planta propulsora. Todo ello genera una espiral de proyecto en la cual cada una de sus componentes afectará al resto y hay que tratar de encontrar una solución de compromiso para hacer que todos los requisitos que se piden en la reforma se cumplan.

Se ha observado que el buque a estudio, al ser alargado precisa de un lastre fijo para que cumpla la estabilidad, por lo que antes de proceder al cálculo de la velocidad mediante el método de *Holtrop y Mennen*, se precisa conocer la cantidad de lastre fijo que hay que embarcar y su posición.

Esto lleva al proyecto a la siguiente fase de cálculo, es decir, a calcular la distribución del peso en rosca del buque alargado.

## 2.2 CÁLCULO DEL NUEVO PESO EN ROSCA

El peso de la estructura es una de las partidas de pesos que mayor influencia tiene sobre el peso en rosca del buque.

Debido al alargamiento que va a sufrir el buque, el peso de la estructura, y por extensión el peso en rosca se verá alterado, al igual que cada una de las coordenadas del centro de gravedad del peso en rosca. Para el cálculo de dichos datos se partirá de la distribución de peso en rosca a lo largo de la eslora con la que cuenta el buque sin transformar y del dato del peso por unidad de longitud que tiene el bloque a añadir para el alargamiento.

La distribución de peso en rosca del buque sin transformar, lo cual fue información de partida para desarrollar el TFG, se muestra en el Gráfico 2.1 y 2.2.

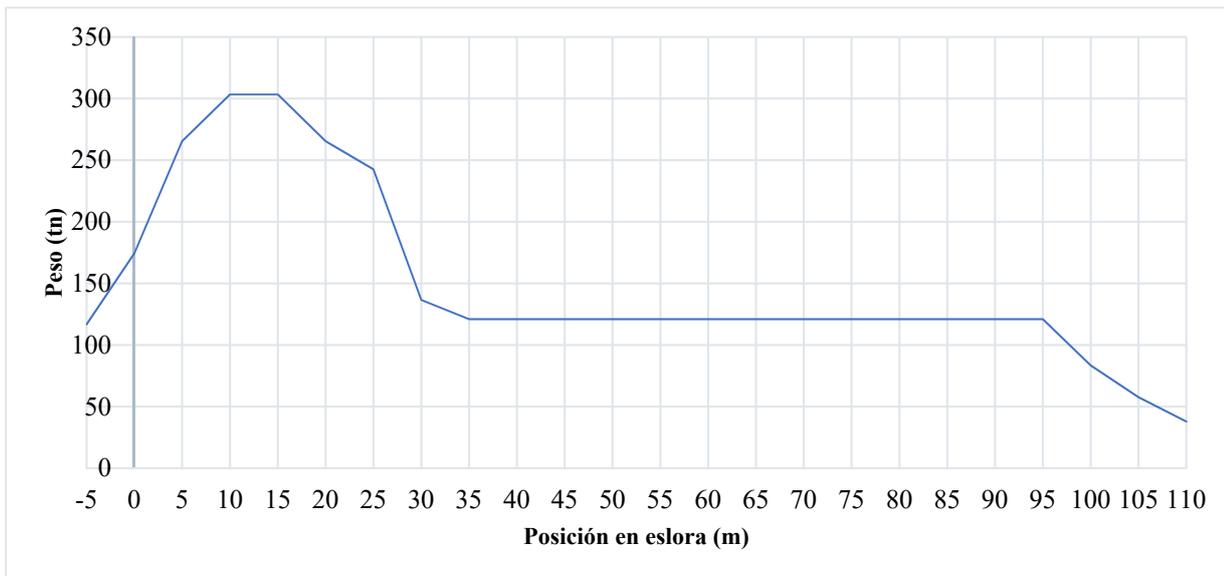


Gráfico 2.1 Distribución del peso en rosca a lo largo de la eslora del buque sin transformar

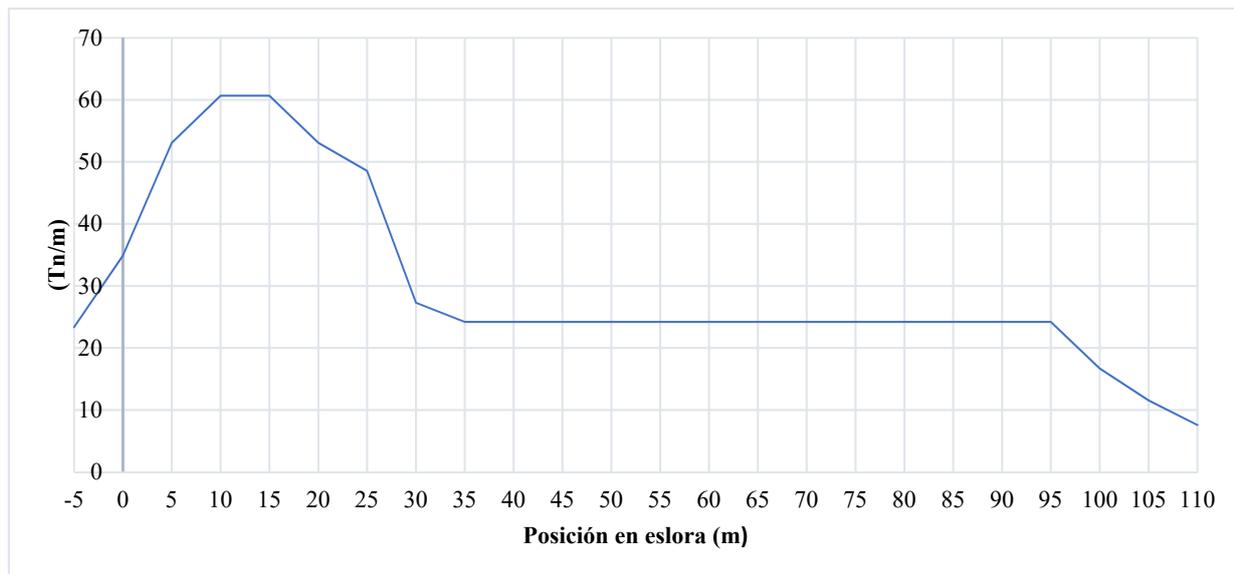


Gráfico 2.2 Distribución de toneladas por metro del peso en rosca del buque sin transformar.

La herramienta de cálculo que se empleará será la ley de momentos de transferencia. Se procederá a la división del buque en 3 partes, la parte de proa, popa y el bloque de cuerpo cilíndrico a añadir como consecuencia del alargamiento que se desea realizar. Se tendrá que calcular el centro de gravedad de los 3 con respecto a un mismo punto de referencia, dicho punto será la intersección de la perpendicular de popa con la línea base en el plano de crujía del buque.

En primer lugar, se calculará la coordenada longitudinal del centro de gravedad de la parte de popa del buque (véase Tabla 2.3).

Tabla 2.2 Componentes de posición, peso y momentos del cuerpo de popa del buque.

<b>POPA</b>		
<b>POSICIÓN (m)</b>	<b>PESO (tn)</b>	<b>MOMENTO (tn·m)</b>
-5	116,706	-583,53
0	174,414	0
5	265,412	1.327,06
10	303,328	3.033,28
15	303,328	4.549,92
20	265,412	5.308,24
25	242,663	6.066,575
30	136,498	4.094,94
35	120,952	4.233,32
40	120,952	4.838,08
45	120,952	5.442,84
50	120,952	6.047,6
55	120,952	6.652,36
<b>SUMATORIOS</b>	<b>2.412,521</b>	<b>51.010,685</b>

Tabla 2.3 Resultantes de peso, momento y posición longitudinal del centro de gravedad del cuerpo de popa del buque transformado.

<b>PARTE DE POPA</b>		
<b>Peso</b>	2.412,5	<b>(tn)</b>
<b>Momento</b>	51.010,7	<b>(tn·m)</b>
<b>XG popa</b>	21,1	<b>(m)</b>

En cuanto al bloque a añadir (véase tabla 2.4), al ser la sección transversal constante a lo largo de toda la eslora de alargamiento, la posición longitudinal del centro de gravedad será la suma de la mitad de la eslora entre perpendiculares del buque sin transformar más la mitad de la eslora de alargamiento.

Tabla 2.4 Resultantes de peso, momento y posición longitudinal del centro de gravedad del bloque de cuerpo cilíndrico añadido para alargar el buque

<b>BLOQUE DE CUERPO CILÍNDRICO AÑADIDO</b>		
<b>Tn/m</b>	24,19	<b>(tn·m)</b>
<b>Peso del bloque de cuerpo cilíndrico</b>	619,26	<b>(tn)</b>
<b>Alargamiento</b>	25,6	<b>(m)</b>
<b>XG</b>	67,8	<b>(m)</b>

En cuanto a la parte de proa del buque (véase Tabla 2.6), se procederá de la misma forma que con el cuerpo de popa.

Tabla 2.5 Componentes de posición, peso y momentos del cuerpo de proa del buque.

<b>PROA</b>		
<b>POSICIÓN (m)</b>	<b>PESO (tn)</b>	<b>MOMENTO (tn·m)</b>
85,6	120,95	10.353,49
90,6	120,95	10.958,25
95,6	120,95	11.563,01
100,6	120,95	12.167,7
105,6	120,95	12.772,53
110,6	120,95	13.377,29
115,6	120,95	13.982,05
120,6	120,95	14.586,81
125,6	83,42	10.476,92
130,6	57,71	7.536,66
135,6	37,92	5.141,41
<b>SUMATORIOS</b>	<b>1.146,66</b>	<b>122.916,21</b>

Tabla 2.6 Resultantes de peso, momento y posición longitudinal del centro de gravedad del cuerpo de proa del buque transformado.

<b>PARTE DE PROA</b>		
<b>Peso</b>	1146,7	<b>(tn)</b>
<b>Momento</b>	122.916,2	<b>(tn·m)</b>
<b>XG popa</b>	107,2	<b>(m)</b>

Con estos datos, se aplican momentos de transferencia para poder obtener el XG del peso en rosca del buque transformado (véase Tabla 2.7).

Tabla 2.7 Posición longitudinal del peso en rosca del buque transformado.

<b>RESULTADO FINAL</b>		
<b>XG popa</b>	21,14	<b>(m)</b>
<b>XG del cuerpo cilíndrico añadido</b>	67,80	<b>(m)</b>
<b>XG proa</b>	107,20	<b>(m)</b>
<b>Peso total</b>	4.178,44	<b>(tn)</b>
<b>XG total</b>	51,67	<b>(m)</b>

En cuanto a la coordenada vertical (véase Tabla 2.8), al tener como datos la posición vertical del peso en rosca del buque sin transformar y la coordenada vertical del centro de gravedad del bloque de cuerpo cilíndrico a introducir, se repetirá el proceso de cálculo obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 2.8 Posición vertical del peso en rosca.

<b>COORDENADA VERTICAL</b>		
<b>KG buque inicial</b>	9,59	<b>(m)</b>
<b>Peso buque inicial</b>	3.559,18	<b>(tn)</b>
<b>KG alargamiento</b>	6,81	<b>(m)</b>
<b>Peso alargamiento</b>	619,26	<b>(tn)</b>
<b>KG final</b>	9,16	<b>(m)</b>

De manera que la nueva gráfica de la distribución del peso en rosca se puede observar en los Gráficos 2.3 y 2.4.

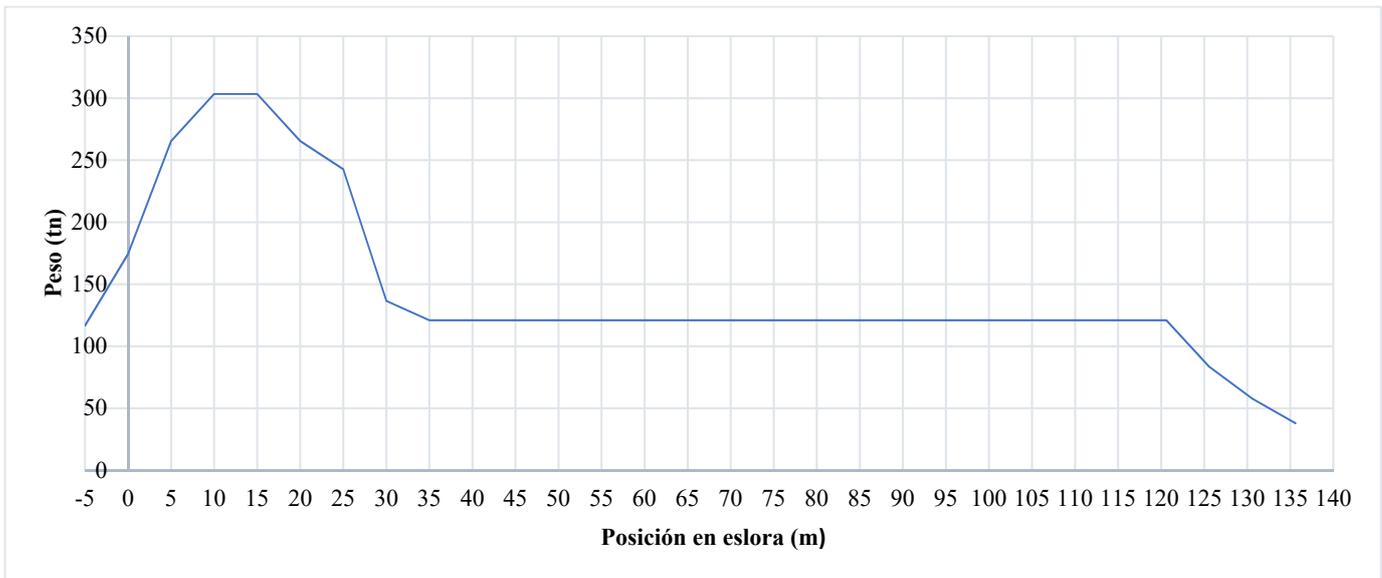


Gráfico 2.3 Distribución del peso en rosca a lo largo de la eslora del buque alargado.

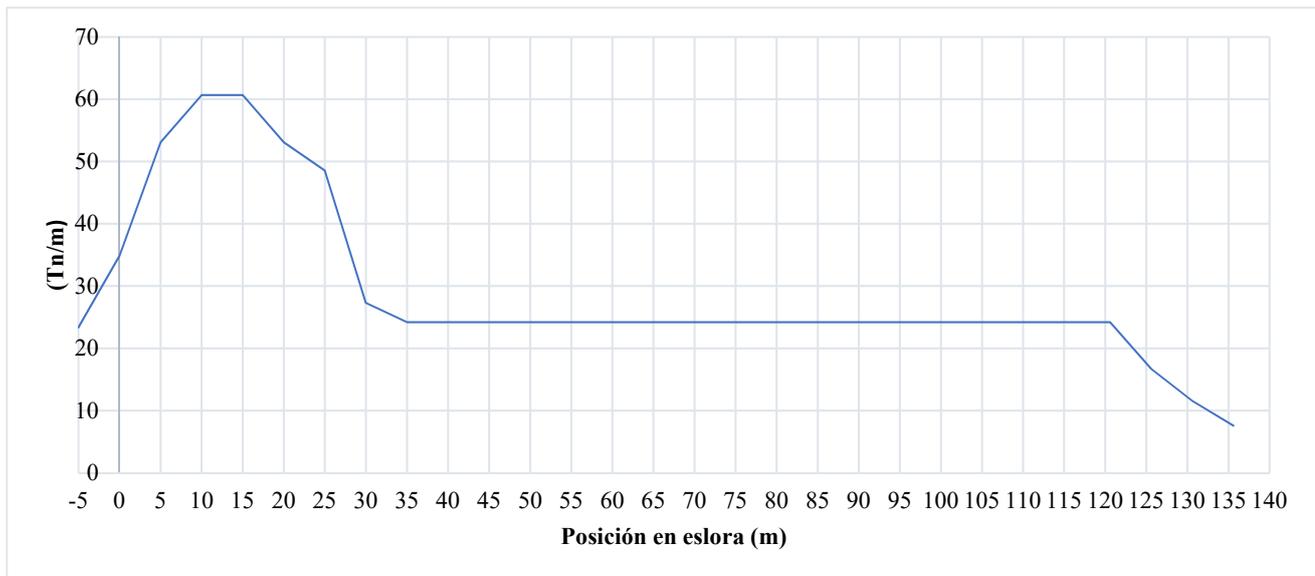


Gráfico 2.4 Distribución de toneladas por metro del peso en rosca del buque alargado.

### 2.3 NUEVA CAPACIDAD DE CARGA

Para evaluar la estabilidad del buque tras el alargamiento, desde el punto de vista de la influencia de la distribución de la carga en la estabilidad, se escoge la distribución de carga que tenga un centro de gravedad más elevado puesto que es la condición más desfavorable que influye en la estabilidad.

Es por ello que se ha decidido realizar los cálculos con la disposición que cuenta con carga en la cubierta de intemperie, es decir la distribución que embarca remolques de 20 pies en las cubiertas de doble fondo, principal y la shelter, y coches en la cubierta de intemperie.

A raíz de los cálculos realizados sobre la cantidad de unidades extra de carga que se podrían embarcar en el buque ROLO tras el alargamiento se puede extraer la conclusión que se podrán introducir 4 remolques por fila en cada una de las cubiertas que portan dicha mercancía. En el caso de los coches, en la cubierta de intemperie, debido al tamaño medio considerado, se podrían embarcar 5 unidades por cada una de las filas con las que cuente dicha cubierta (véase Tabla 2.9).

Tabla 2.9 Comparación de la capacidad de carga del buque sin transformar y una vez alargado.

<b>COMPARACIÓN UNIDADES DE CARGA</b>					
<b>CARGA RODADA</b>		<b>Buque inicial</b>		<b>Buque alargado</b>	
		<b>Unidades</b>	<b>Peso (tn)</b>	<b>Unidades</b>	<b>Peso (tn)</b>
<b>REMOLQUES</b>	<b>Cubierta doble fondo</b>	30	396	50	660
	<b>Cubierta principal</b>	70	924	94	1240,8
	<b>Cubierta shelter</b>	66	871,2	90	1188
<b>COCHES</b>	<b>Cubierta intemperie</b>	80	148	120	222,2
<b>TOTAL</b>		236	2.339,2	354	3.179

Aplicando el mismo procedimiento que el seguido para calcular la carga inicial, se obtienen los siguientes resultados (véase tabla 2.10)

Tabla 2.10 Distribución de peso de las unidades de carga por cubiertas y coordenadas del centro de gravedad resultantes.

<b>PESO TOTAL DE LA CARGA</b>				
<b>CUBIERTAS</b>	<b>Peso (tn)</b>	<b>XG (m)</b>	<b>YG (m)</b>	<b>KG (m)</b>
<b>Cubierta. Intemperie</b>	222,2	65,74	0	17,5
<b>Cubierta. Shelter</b>	1.188	70	0	15
<b>Cubierta Principal</b>	1.240,8	69,58	0	8,7
<b>Cubierta Doble fondo</b>	660	62,14	0	4,18
<b>TOTAL</b>	3.311			

Si se vuelve a tomar momentos, se podría obtener la resultante de la carga rodada máxima a transportar por el buque en cuestión (véase Tabla 2.11).

Tabla 2.11 Resultantes de peso y coordenadas del centro de gravedad de la carga en el buque transformado.

<b>CARGA RODADA</b>			
<b>Peso (tn)</b>	<b>XG (m)</b>	<b>YG (m)</b>	<b>KG (m)</b>
3.311	61,203	0	10,65

## 2.3 DISTRIBUCIÓN DE LOS TANQUES TRAS EL ALARGAMIENTO

Por el hecho de llevar a cabo dicha reforma en el buque, los centros de gravedad y la distribución de los tanques se ve afectada a colación de la intersección de algunos de ellos a la hora de la realización de la incisión en el buque para introducir el nuevo bloque, así como la función que se le dará a los tanques que lleva el cuerpo cilíndrico añadido.

Con el fin de no realizar una redistribución completa de los tanques lo que llevaría un trabajo extra de planificación, estudio y ejecución de dicha acción, se procederá a la introducción de mamparos justo en la zona por donde se va a cortar el buque de forma que, si algún tanque se ve afectado por dicha acción, únicamente se vea dividido en dos, pero sin afectar a su capacidad con la que fue proyectado.

En cuanto a la sección del cuerpo cilíndrico introducida, los tanques situados en crujía se emplearán para introducir el lastre fijo que precisa el buque para cumplir con los criterios de estabilidad.

Teniendo en cuenta estas premisas, el único tanque que se ve afectado es el n°8, tanto el de babor como el de estribor.

Con todo lo expuesto, la nueva distribución de tanques que transportan fluidos del buque, capacidad, sus centros de gravedad que están incluidos en la tabla 2.13

Tabla 2.12 Características de los tanques tras el alargamiento del buque.

TANQUES TRAS EL ALARGAMIENTO						
DENOMINACIÓN	XG (m)	YG (m)	ZG (m)	TIPO	PESO (tn)	DENSIDAD (tn/m <sup>3</sup> )
Nº1	126,306	0	3,475	LASTRE	96,84	1,025
Nº2	126,92	0	9,826	LASTRE	164,7	1,025
Nº3	118,534	0	4,068	LASTRE	98,9	1,025
Nº4	115,75	0	4,076	LASTRE	121	1,025
Nº5ER	99,8	2,891	1,071	LASTRE	44,12	1,025
Nº5BR	99,8	-2,891	1,01	LASTRE	44,12	1,025
Nº6 ER	87,538	2,477	1,086	LASTRE	62,48	1,025
Nº6 BR	87,538	-2,477	1,086	LASTRE	62,48	1,025
Nº7 ER	86,384	5,769	1,203	LASTRE	41,39	1,025
Nº7 BR	86,384	-5,769	1,203	LASTRE	41,39	1,025
Nº8 (A) ER	52,49	8,021	4,183	FUEL-OIL	59,09	0,93
Nº8 (A) BR	52,49	-8,021	4,183	FUEL-OIL	59,09	0,93
Nº8 (B) ER	85,775	8,021	4,183	FUEL-OIL	44,67	0,93
Nº8 (B) BR	85,775	-8,021	4,183	FUEL-OIL	44,67	0,93
fuel oil ER	45,39	8,021	0,755	FUEL-OIL	34,74	0,93
fuel oil BR	45,39	8,021	0,755	FUEL-OIL	34,74	0,93
Nº9 ER	46,999	2,459	0,849	LASTRE	51,23	1,025
Nº9 BR	46,999	-2,459	0,849	LASTRE	51,23	1,025
Nº10 ER	47,567	6,021	0,979	LASTRE	40,48	1,025
Nº10 BR	47,567	-6,201	0,979	LASTRE	40,48	1,025
Nº9 A ER	63,34	2,459	0,49	LASTRE FIJO	208,6	5,6
Nº9 A BR	63,34	-2,459	0,49	LASTRE FIJO	208,6	5,6
Nº10 A ER	63,34	6,201	0,65	LASTRE FIJO	133,7	5,6
Nº10 A BR	63,34	-6,201	0,65	LASTRE FIJO	133,7	5,6
Nº11 A ER	75,7	8,01	4,242	LASTRE	185,04	1,025
Nº11 A BR	75,7	-8,01	4,242	LASTRE	185,04	1,025
Nº11	43,052	0	3,252	LASTRE	229,47	1,025
Nº12 ER	30,515	2,463	0,906	LASTRE	52,52	1,025
Nº12 BR	30,515	-2,463	0,906	LASTRE	52,52	1,025
Nº13 ER	31,011	5,73	1,064	LASTRE	40,57	1,025
Nº13 BR	31,011	-5,73	1,064	LASTRE	40,57	1,025
Nº14	36,406	0	3,335	LASTRE	97,36	1,025
Nº15 ER	28,317	6,432	3,201	FUEL-OIL	95,72	0,93
Nº15 BR	28,317	-6,432	3,201	FUEL-OIL	95,72	0,93
Nº16 ER	18,067	3,072	1,009	DIESEL-OIL	48,58	0,87
Nº16 BR	17,655	-3,029	1,009	DIESEL-OIL	44,97	0,87
Nº17	17,836	0	0,563	ACEITE	7,8	0,924
Nº18	10,07	0	0,845	ACEITE	6,6	0,924
Nº19 ER	8,766	2,782	3,146	AGUA DULCE	27,39	1
Nº19 BR	8,766	-2,782	3,146	AGUA DUCE	27,39	1
Nº20	4,007	0,955	6,187	FUEL-OIL	35,1	0,93
Nº21 ER	3,983	6,366	6,569	AGUA DULCE	36,74	1
Nº21 BR	3,974	-5,686	6,514	AGUA DULCE	4,61	1
Nº22 RASEL POPA	-1,511	-5,684	6,863	LASTRE	116,15	1,025
Nº23	16,558	7,509	9,731	FUEL-OIL	38,95	0,93
REBOSES D.O	23,347	-4,446	1,022	DIESEL-OIL	2,46	0,87
REBOSES F.O	23,347	-2,391	0,908	FUEL-OIL	4,53	0,93
ALMACEN ACEITE PR	8,513	-7,653	6	ACEITE	7,51	0,924
ALMACE ACEITE AUX	8,861	-6,475	6	ACEITE	2,37	0,924
ACEITES DIVERSOS	9,34	-6,075	5,4	ACEITE	0,32	0,924
AS REFRIG BOCINA	5,305	0	2,472	LASTRE	14,58	1,025
REBOSES ACEITE	13,19	0	0,83	ACEITE	3,82	0,924
LODOS	23,692	3,14	0,947	LODOS	7,7	1
USO DIARIO D.O CEN	15,64	-7,225	10,242	DIESEL-OIL	5,79	0,87
USO DIARIO D.O COS	15,64	-8,475	10,242	DIESEL-OIL	5,79	0,87

## 2.4 LASTRE FIJO

El lastre fijo a introducir consistirá en una serie de lingotes de hierro con cierto porcentaje de escoria cuya densidad conjunta es de  $5,7 \text{ tn/m}^3$ . Dichos lingotes irán soldados a la estructura de los tanques donde irán albergados.

El lastre fijo se va a introducir en los tanques que se muestran en la Tabla 2.18, cuya sección transversal es la siguiente (véase figura 2.1)

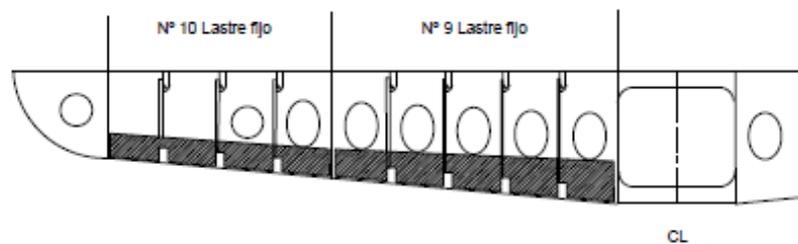


Figura 2.1 Vista transversal tanques de lastre fijo.

Como se puede apreciar en la Figura 2.1, el lastre fijo a disponer, en ningún caso puede superar los pasos de hombre que se encuentran en dichos tanques, pues el lastre fijo precisa de ser inspeccionado periódicamente a fin de comprobar su estado. Mediante la herramienta Rhino, se obtienen tanto el área transversal que ocupa dicho lastre fijo, como su posición vertical del centro de gravedad. La componente transversal será 0, es decir, se encontrará en crujía por ser ambos tanques simétricos a ambas bandas del buque.

En cuanto a la componente longitudinal, al ser la sección transversal de los tanques en cuestión constante a lo largo de toda la eslora de alargamiento, su valor será la mitad de la eslora entre perpendiculares del buque alargado. Inicialmente se mostrará (véase tabla 2.13) como el buque en rosca incumple uno de los criterios de estabilidad fijados por la OMI, explicados posteriormente:

Tabla 2.13 Incumplimiento de los criterios de estabilidad del buque en rosca

CRITERIOS	Valor	Unidades	Actual	Estado
2.2.1: Área de $0^\circ$ a $30^\circ$	0,055	( $\text{m} \cdot \text{rad}$ )	0,23	Cumple
2.2.1: Área de $0^\circ$ a $40^\circ$	0,09	( $\text{m} \cdot \text{rad}$ )	0,32	Cumple
2.2.1: Área de $30^\circ$ a $40^\circ$	0,03	( $\text{m} \cdot \text{rad}$ )	0,09	Cumple
2.2.2: Máx. $GZ^\circ$ a $30^\circ$ o mayor	0,2	(m)	0,62	Cumple
2.2.3: Máximo ángulo de $GZ$	25	(deg)	24,5	No cumple
2.2.4: $GMt$ inicial	0,15	(m)	1,80	Cumple

Esto demuestra que dicho buque precisa de dicho lastre fijo para cumplir con los criterios de estabilidad.

Para conseguir que sea estable se precisará soldar 71,9 toneladas (véase tabla 2.14) cuya disposición se ha intentado que sea lo más a crujía posible y en la posición más baja. Realmente

lo que tiene un mayor efecto es la posición vertical a fin de obtener el máximo efecto de dicho lastre al aplicar momentos.

Tabla 2.14 Lastre fijo inicial introducido.

<b>PARTIDAS DE PESOS</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Peso (tn)</b>	<b>XG (m)</b>	<b>YG (m)</b>	<b>KG (m)</b>
<b>Peso en rosca</b>	1	4.056,7	51,670	0	9,160
<b>Lastre fijo</b>	1	71,9	63,340	0	0,220
<b>TOTAL</b>		4.128,600	51,873	0	9,004

Tabla 2.15 Cumplimiento criterios de estabilidad buque rosca.

<b>CRITERIOS</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>	<b>Actual</b>	<b>Estado</b>
<b>2.2.1: Área de 0° a 30°</b>	0,055	<b>(m·rad)</b>	0,2417	Cumple
<b>2.2.1: Área de 0° a 40°</b>	0,09	<b>(m·rad)</b>	0,3459	Cumple
<b>2.2.1: Área de 30° a 40°</b>	0,03	<b>(m·rad)</b>	0,1042	Cumple
<b>2.2.2: Máx. GZ° a 30° o mayor</b>	0,2	<b>(m)</b>	0,682	Cumple
<b>2.2.3: Máximo ángulo de GZ</b>	25	<b>(deg)</b>	25,5	Cumple
<b>2.2.4: GMT inicial</b>	0,15	<b>(m)</b>	1,873	Cumple

El siguiente paso a la hora de justificar el lastre fijo introducido es evaluar el efecto que tiene la carga rodada sobre la estabilidad.

Al ir evaluando, se advierte que los problemas surgen a partir de la carga en la cubierta shelter, es la que mayor influencia negativa tiene en la estabilidad por ser la cubierta más alta.

La cantidad máxima de carga que podría llevar dicho buque sin incluir nada de lastre extra sería la que se dispusiera en la cubierta de doble fondo, en la principal y 875 toneladas de las 1.188 toneladas que, por espacio, sería capaz de albergar dicho buque (véase Tabla 2.17) en la cubierta shelter.

Es por ello por lo que, se ha decidido introducir más lastre fijo ya que aún hay espacio en los tanques proyectados para este fin para así poder cargar el buque hasta el máximo de su capacidad.

Tabla 2.16 Distribución y cantidad de carga que el buque alargado puede transportar sin lastre fijo extra.

<b>PARTIDAS DE PESOS</b>	<b>Peso (tn)</b>	<b>XG (m)</b>	<b>YG (m)</b>	<b>KG (m)</b>
<b>Peso en rosca</b>	4.056,700	51,670	0	9,160
<b>Lastre fijo</b>	71,900	63,340	0	0,220
<b>Cubierta de doble fondo</b>	660,000	62,140	0	4,180
<b>Cubierta principal</b>	1.240,800	58,220	0	8,700
<b>Cubierta shelter</b>	875,000	70,000	0	15,000
<b>TOTAL</b>	6.904.4	65,740	0	9.248

Tabla 2.17 Cumplimiento de los criterios de estabilidad con 875 toneladas de carga en la cubierta shelter.

<b>CRITERIOS</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>	<b>Actual</b>	<b>Estado</b>
<b>2.2.1: Área de 0° a 30°</b>	0,055	<b>(m·rad)</b>	0,056	Cumple
<b>2.2.1: Área de 0° a 40°</b>	0,09	<b>(m·rad)</b>	0,093	Cumple
<b>2.2.1: Área de 30° a 40°</b>	0,03	<b>(m·rad)</b>	0,038	Cumple
<b>2.2.2: Máx. GZ° a 30° o mayor</b>	0,2	<b>(m)</b>	0,333	Cumple
<b>2.2.3: Máximo ángulo de GZ</b>	25	<b>(deg)</b>	65,5	Cumple
<b>2.2.4: GMt inicial</b>	0,15	<b>(m)</b>	0,179	Cumple

Tras tomar las dimensiones de los tanques del plano de disposición de tanques y con la densidad de los lingotes, se puede obtener la capacidad máxima de lastre fijo que se dispondrá (véase tabla 2.18)

Tabla 2.18 Cantidad y disposición de lastre fijo en los tanques 9 A (ER),9 A (BR), 10 A (ER),10 A (BR).

<b>CAPACIDAD PARA ALBERGAR LASTRE FIJO</b>				
<b>LASTRE FIJO</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Volumen (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Peso (tn)</b>	<b>KG (m)</b>
<b>Tanque lastre 10A ER</b>	0,92	23,47	133,7	0,65
<b>Tanque lastre 10A BR</b>	0,92	23,47	133,7	0,65
<b>Tanque lastre 9A ER</b>	1,43	36,60	208,59	0,43
<b>Tanque lastre 9A BR</b>	1,43	36,60	208,59	0,43

Si se toman momentos se obtendrá que el peso del lastre fijo total es de 684,7 toneladas con una coordenada vertical del centro de gravedad (KG) de 0,515 metros sobre la línea base. Con ello se podrá cargar la cubierta Shelter de remolques de 20 pies, y la cubierta de intemperie de coches (véase tabla 2.20).

Tabla 2.19 Distribución final de peso en rosca y carga por cubiertas.

<b>PARTIDAS DE PESOS</b>	<b>Peso (tn)</b>	<b>XG (m)</b>	<b>YG (m)</b>	<b>KG (m)</b>
<b>Rosca</b>	4.056,7	51,670	0	9,160
<b>Lastre fijo</b>	684.,7	63,340	0	0,515
<b>Cubierta de doble fondo</b>	660	62,140	0	4,180
<b>Cubierta principal</b>	1.240,8	58,220	0	8,700
<b>Cubierta shelter</b>	1.188	70,000	0	15,000
<b>Cubierta intemperie</b>	222,2	65,740	0	17,500
<b>TOTAL</b>	8.052,4	56,476	0	9,038

Tabla 2.20 Cumplimiento de los criterios de estabilidad para la situación de carga final.

<b>CRITERIOS</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>	<b>Actual</b>	<b>Estado</b>
<b>2.2.1: Área de 0° a 30°</b>	0,055	<b>(m·rad)</b>	0,0557	Cumple
<b>2.2.1: Área de 0° a 40°</b>	0,09	<b>(m·rad)</b>	0,1055	Cumple
<b>2.2.1: Área de 30° a 40°</b>	0,03	<b>(m·rad)</b>	0,0506	Cumple
<b>2.2.2: Máx. GZ° a 30° o mayor</b>	0,2	<b>(m)</b>	0,586	Cumple
<b>2.2.3: Máximo ángulo de GZ</b>	25	<b>(deg)</b>	63,6	Cumple
<b>2.2.4: GMt inicial</b>	0,15	<b>(m)</b>	0,337	Cumple

## 2.5 COMPROBACIÓN DE LOS CRITERIOS DE ESTABILIDAD DEL BUQUE ALARGADO.

Este punto es de vital importancia para la seguridad en la mar, y está regido en España por el Ministerio de asuntos exteriores y de cooperación, mediante el código Internacional de Estabilidad sin avería adaptando lo pactado en la resolución MSC 267 (85) y publicado en el Boletín Oficial del Estado.

Dicho documento fue creado para ofrecer de manera unificada todos los requisitos, tanto obligatorios (Parte A) como los recomendados (Parte B).

En esta publicación se tuvieron en cuenta ciertos fenómenos que hasta la fecha no se habían tenido en cuenta debido a la falta de herramientas con los que calcularlos. Entre dichos fenómenos se encuentra la condición del buque apagado o la acción del viento al incidir sobre la superficie expuesta. Sin embargo, al tratarse de un buque cuya botadura (anterior a 1997) fue realizada antes de que este nuevo código entrara en vigencia (2008), se puede advertir que el criterio de viento plasmado no lo cumplirá.

En este proyecto, al tratarse de un buque de carga únicamente le aplican los criterios generales que se encuentran en el apartado A de dicho Código. Antes de definir dichos criterios, se han de conocer las distintas situaciones de carga a las cuales dichos criterios aplican.

Para buques de carga el código dicta las siguientes condiciones de carga:

- Buque en la condición de salida a plena carga, distribuida ésta de forma uniforme en todos los espacios de carga y con la totalidad de provisiones y combustible.
- Buque en la condición de llegada a plena carga, distribuida ésta de forma homogénea en todos sus espacios de carga y con el 10% de provisiones y combustible.
- Buque en la condición de salida en lastre, sin carga, pero con la totalidad de provisiones y combustible.
- Buque en la condición de llegada en lastre, sin carga, pero con el 10% de provisiones y combustible.

A la hora de abordar dichas situaciones de carga, el código dicta que hay que tener en cuenta el efecto de las superficies libres de los tanques cuando no van al 100%.

Como criterio a seguir para intentar disminuir al máximo dicho efecto, que es perjudicial para la estabilidad del buque, se indicará al armador del buque la forma de proceder a la hora de ir consumiendo los distintos fluidos que albergan los tanques de que dispone dicho buque.

Cuando el buque se encuentre al 100% de sus combustibles y provisiones, se comenzará consumiendo de uno de los tanques que almacene el fluido que precise el buque (diesel oil, aceites, agua dulce, etc) hasta que se agote. Cuando se agote, se consumirá de otro. De esta forma, se evita la generación de superficies libres en todos los tanques del buque, limitando así este fenómeno perjudicial para la estabilidad. Esta estrategia se llevará a cabo cuando el primer tanque del fluido a consumir se encuentre sobre crujía, para que no genere escora.

En el caso de no contar con tanques en crujía para el fluido en cuestión, se recurrirá a consumir de dos tanques simétricos con respecto a crujía, de esta forma, se elimina de esta forma el efecto de escora que pueda generar el consumir al máximo uno de los tanques y el otro dejarlo completamente lleno. Aunque no sea la estrategia óptima a la hora de reducir los efectos de superficies libres, ya que generará superficies libres en dos tanques en vez de en uno, es mejor que consumir de todos los tanques de manera simultánea.

La OMI detalla un criterio con el que se pueden distinguir los efectos por superficies libres que computan de los que no. En él detalla que el efecto por superficies libres (MSL) dividido por el desplazamiento que tiene el buque en cuestión sin carga, con un 10% de combustibles y pertrechos, y el menor lastre posible, debe ser mayor de 0,01.

$$\frac{MSL}{\Delta} = \frac{MSL_{TANQUE}}{5906} > 0,01 \quad (55)$$

En cuanto a las condiciones de lastre, se ha de lastrar el buque de forma que la popa se sumerja con el fin de que la hélice no cavite, pero sin superar el francobordo calculado para este buque.

Esto se traduce en que, como mínimo, el calado en la perpendicular de popa ha de alcanzar el extremo superior de la bovedilla del codaste aproximadamente.

### **2.5.1 Condición de plena carga, salida de puerto (condición 1)**

En la condición 1 el buque llevará toda la carga que le es posible transportar y todos los tanques, tanto de combustibles como los de agua dulce, irán al 100% de su capacidad (véase tabla 2.21).

Para esta condición, se incluirá el lastre de agua mínimo necesario para que el buque, como se ha comentado anteriormente, no sumerja la popa más de lo permitido por el cálculo de francobordo realizado al buque ya transformado (se detallará en el siguiente apartado de este capítulo) debido a la concentración de los fungibles al encontrarse todos en la popa del buque. Esto no quiere decir que sea el lastre necesario para que el buque pueda navegar ya que, para ello deberá cumplir con las restricciones de calado mínimo del francobordo en proa.

Tabla 2.21 Distribución de pesos en la condición a plena carga, salida de puerto, 100% de consumos.

<b>PARTIDAS DE PESOS</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Peso (tn)</b>	<b>XG (m)</b>	<b>YG (m)</b>	<b>KG (m)</b>	<b>FSM (tn·m)</b>
<b>Carga</b>	1	3.311	60,945	0	10,65	0
<b>Peso en rosca</b>	1	4.741,4	53,355	0	7,912	0
<b>Combustible y pertrechos</b>	1	608,13	39,65	1,59	3,89	0
<b>Agua de lastre</b>	1	481,440	122,270	0,000	5,920	0
<b>Almacén Aceite auxiliar</b>	100%	8,334	8,417	-7,535	6,069	0
<b>Almacén Aceite principal</b>	100%	3,066	8,945	-6,37	6,01	0
<b>N°19 BR</b>	100%	24,127	8,616	-2,949	3,318	0
<b>N°19 ER</b>	100%	24,127	8,616	2,949	3,318	0
<b>N°16 BR</b>	100%	48,727	17,442	-3,294	1,08	0
<b>N°16 ER</b>	100%	48,727	17,442	3,294	1,08	0
<b>N°20</b>	100%	50,588	3,924	0	6,142	
<b>Resultante</b>		9.349,665	57,773	0,095	8,441	

Las características hidrostáticas del buque en dicha condición para los distintos ángulos de escora están reflejadas en las tablas 2.22 y 2.23. Tanto la posición longitudinal del centro de carena como la posición longitudinal de la flotación se referirán a la sección media en forma de porcentaje con respecto a la eslora.

Tabla 2.22 Características hidrostáticas para la condición 1, para ángulos entre 0 y 40.

<b>ÁNGULOS DE ESCORA (°)</b>	<b>0</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>30</b>	<b>40</b>
<b>GZ (m)</b>	-0,096	0,041	0,183	0,387	0,599
<b>Brazo dinámico (m·rad)</b>	0,0000	-0,0046	0,0144	0,0635	0,1496
<b>Desplazamiento (tn)</b>	9350	9350	9350	9350	9350
<b>Calado en proa (m)</b>	4,940	4,900	4,793	4,590	4,137
<b>Calado en popa (m)</b>	6,173	6,121	5,965	5,690	5,154
<b>Eslora de la flotación (m)</b>	135,717	135,777	135,943	136,284	137,186
<b>Manga de la flotación (m)</b>	18,231	18,400	18,916	19,469	18,920
<b>Superficie mojada (m<sup>2</sup>)</b>	3.000,86	2.996,66	3.008,87	3.028,15	3.053,89
<b>Área de la flotación (m<sup>2</sup>)</b>	2.187,55	2.164,31	2.168,01	2.214,13	2.235,61
<b>Coefficiente prismático</b>	0,712	0,717	0,731	0,751	0,768
<b>Coefficiente de bloque</b>	0,603	0,580	0,499	0,447	0,441
<b>LCB (%)</b>	-6,578	-6,576	-6,570	-6,567	-6,562
<b>LCF (%)</b>	-8,140	-6,770	-5,805	-5,062	-4,146
<b>Inclinación máxima (deg)</b>	0,5495	10,0142	20,0058	30,0027	40,0013
<b>Ángulo de trimado (deg)</b>	0,5495	0,5441	0,5221	0,4900	0,4532

Tabla 2.23 Características hidrostáticas para la condición 1, para ángulos entre 50 y 90.

<b>ÁNGULOS DE ESCORA (°)</b>	<b>50</b>	<b>60</b>	<b>70</b>	<b>80</b>	<b>90</b>
<b>GZ (m)</b>	0,825	1,064	1,017	0,721	0,296
<b>Brazo dinámico (m·rad)</b>	0,2730	0,4398	0,6260	0,7803	0,8699
<b>Desplazamiento (tn)</b>	9350	9350	9349	9350	9350
<b>Calado en proa (m)</b>	3,183	1,287	-2,450	-13,877	n/a
<b>Calado en popa (m)</b>	4,090	2,241	-1,093	-10,515	n/a
<b>Eslora de la flotación (m)</b>	137,547	135,288	136,044	137,920	139,120
<b>Manga de la flotación (m)</b>	19,068	17,576	16,220	15,343	14,993
<b>Superficie mojada (m<sup>2</sup>)</b>	3.124,25	3.185,15	3.168,22	3.160,27	3.157,80
<b>Área de la flotación (m<sup>2</sup>)</b>	2.341,61	2.233,80	2.029,97	1.884,86	1.817,39
<b>Coefficiente prismático</b>	0,782	0,806	0,808	0,804	0,805
<b>Coefficiente de bloque</b>	0,443	0,519	0,611	0,703	0,730
<b>LCB (%)</b>	-6,557	-6,548	-6,554	-6,557	-6,564
<b>LCF (%)</b>	-3,010	-1,289	-2,063	-2,588	-2,817
<b>Inclinación máxima (deg)</b>	50,0005	60,0002	70,0001	80,0001	90,0000
<b>Ángulo de trimado (deg)</b>	0,4043	0,4250	0,6042	1,4975	n/a

Tabla 2.24 Evaluación de criterios de estabilidad para la condición 1.

<b>CRITERIOS</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>	<b>Actual</b>	<b>Estado</b>
<b>2.2.1: Área de 0° a 30°</b>	0,055	<b>(m·rad)</b>	0,0635	Cumple
<b>2.2.1: Área de 0° a 40°</b>	0,09	<b>(m·rad)</b>	0,1496	Cumple
<b>2.2.1: Área de 30° a 40°</b>	0,03	<b>(m·rad)</b>	0,0861	Cumple
<b>2.2.2: Máx. GZ° a 30° o mayor</b>	0,2	<b>(m)</b>	1.085	Cumple
<b>2.2.3: Máximo ángulo de GZ</b>	25	<b>(deg)</b>	63,6	Cumple
<b>2.2.4: GMt inicial</b>	0,15	<b>(m)</b>	0.814	Cumple

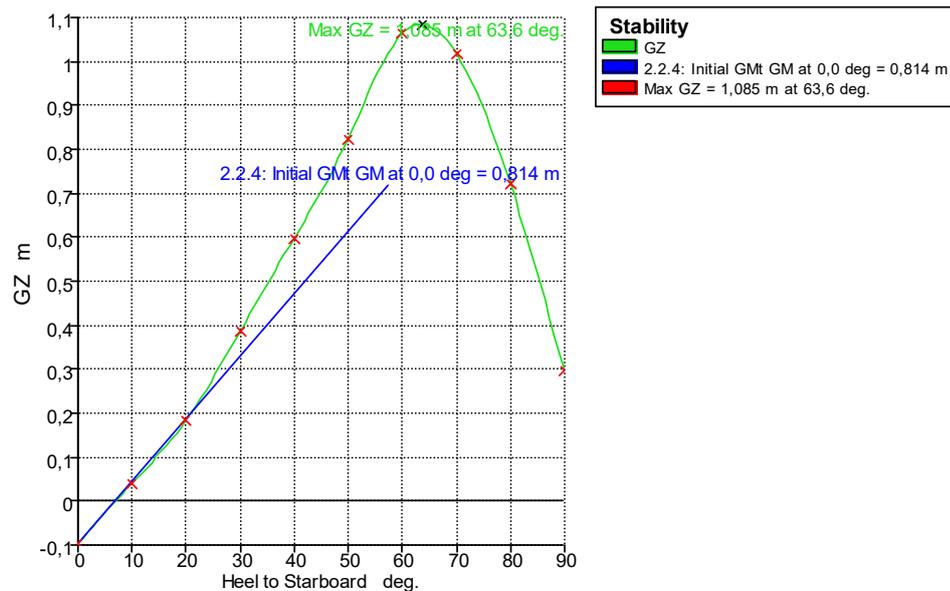


Gráfico 2.5 Curva GZ plena carga, salida de puerto.

### 2.5.2 Condición de plena carga, llegada a puerto (condición 2)

En la condición 2 el buque irá al 100% de su capacidad de carga y con un 10% de fungibles. Para cumplir la estrategia planteada al inicio de este apartado, lo que se realizará será calcular el cómputo total en cuanto a volumen se refiere de cada uno de los fungibles que lleve el buque, y se les aplicará el 10%. Una vez calculados estos volúmenes se tratará de hallar aquellos tanques que tengan una capacidad similar, se encuentren en crujía y que estén destinados a albergar dicho fungible. De esta forma se evitará, dentro de lo posible, el efecto por superficies libres (véase Tabla 2.25).

Como se puede apreciar en la tabla 2.28, el buque transformado cumple con los criterios de estabilidad en la condición 2.

Tabla 2.25 Distribución de pesos de la condición 2.

<b>PARTIDAS DE PESOS</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Peso (tn)</b>	<b>XG (m)</b>	<b>YG (m)</b>	<b>KG (m)</b>	<b>FSM (tn·m)</b>
<b>Carga</b>	1	3.311	60,945	0	10,65	0
<b>Peso en rosca</b>	1	4.741,4	53,355	0	7,912	0
<b>Fuel oil</b>	100%	34,74	45,39	8,021	4,18	0
<b>Uso diario d.o central</b>	100%	5,79	15,64	-7,225	10,242	0
<b>Uso diario d.o costado</b>	100%	5,79	15,64	-8,475	10,242	0
<b>N°8 (B)BR</b>	49,12%	19,969	85,68	-7,804	3,351	4,00
<b>Almacén Aceite Auxiliar</b>	10%	0,307	8,945	-6,37	5,119	0,20
<b>Almacén Aceite Principal</b>	10%	0,833	8,407	-7,231	5,157	2,95
<b>N°19 ER</b>	39,85%	9,615	8,724	2,482	2,555	35,64
<b>Total</b>		8.129,572	56,379	0,006	8,996	43,38
<b>Corrección por superficie libre</b>					0,000	
<b>Resultado</b>					8.,996	

En la Tabla 2.27 se puede apreciar que no hay corrección por superficies libres puesto que ninguno de los tanques que se encuentran llenos parcialmente cumplen el criterio exigido por la OMI expuesto anteriormente en la fórmula (59).

Tabla 2.26 Características hidrostáticas para la condición 2, para ángulos entre 0 y 40.

<b>ÁNGULOS DE ESCORA (°)</b>	<b>0</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>30</b>	<b>40</b>
<b>GZ (m)</b>	-0,006	0,056	0,141	0,264	0,322
<b>Brazo dinámico (m*rad)</b>	0,0000	0,0043	0,0208	0,0564	0,1085
<b>Desplazamiento (tn)</b>	8130	8130	8130	8130	8129
<b>Calado en proa (m)</b>	4,014	3,997	3,891	3,659	3,140
<b>Calado en popa (m)</b>	5,906	5,823	5,632	5,312	4,687
<b>Eslora de la flotación (m)</b>	137,042	137,243	137,355	137,508	137,554
<b>Manga de la flotación (m)</b>	18,166	18,327	18,766	18,896	18,137
<b>Superficie mojada (m<sup>2</sup>)</b>	2.807,54	2.807,05	2.811,82	2.843,90	2.833,97
<b>Área de la flotación</b>	2.117,68	2.096,26	2.113,80	2.126,08	2.119,21
<b>Coefficiente prismático</b>	0,668	0,675	0,693	0,714	0,737
<b>Coefficiente de bloque</b>	0,548	0,539	0,464	0,423	0,425
<b>LCB (%)</b>	-8,012	-8,006	-8,002	-7,977	-7,980
<b>LCF (%)</b>	-8,757	-7,339	-6,087	-5,446	-4,733
<b>Inclinación máxima (deg)</b>	0,842	10,031	20,012	30,006	40,002
<b>Ángulo de trimado (deg)</b>	0,842	0,813	0,775	0,736	0,689

Tabla 2.27 Características hidrostáticas para la condición 2, para ángulos entre 50 y 90.

ÁNGULOS DE ESCORA (°)	50	60	70	80	90
<b>GZ (m)</b>	0,392	0,598	0,545	0,229	-0,209
<b>Brazo dinámico (m*rad)</b>	0,1689	0,2559	0,3604	0,4307	0,4333
<b>Desplazamiento (tn)</b>	8129	8130	8130	8130	8130
<b>Calado en proa (m)</b>	2,115	-0,024	-4,678	-18,684	n/a
<b>Calado en popa (m)</b>	3,505	1,398	-2,377	-13,161	n/a
<b>Eslora de la flotación (m)</b>	137,438	133,519	134,804	136,967	138,477
<b>Manga de la flotación (m)</b>	18,299	17,642	16,171	15,286	14,937
<b>Superficie mojada (m<sup>2</sup>)</b>	2.896,70	2.976,32	2.947,77	950,86	2.954,91
<b>Área de la flotación</b>	2.209,10	2.208,87	1.977,91	1.844,47	1.780,73
<b>Coefficiente prismático</b>	0,755	0,790	0,790	0,786	0,786
<b>Coefficiente de bloque</b>	0,428	0,489	0,585	0,678	0,692
<b>LCB (%)</b>	-7,954	-7,957	-7,967	-7,973	-7,981
<b>LCF (%)</b>	-3,783	-2,275	-3,200	-3,444	-3,596
<b>Inclinación máxima (deg)</b>	50,0012	60,0005	70,0004	80,0003	90,0000
<b>Ángulo de trimado (deg)</b>	0,6191	0,6332	1,0252	2,4591	n/a

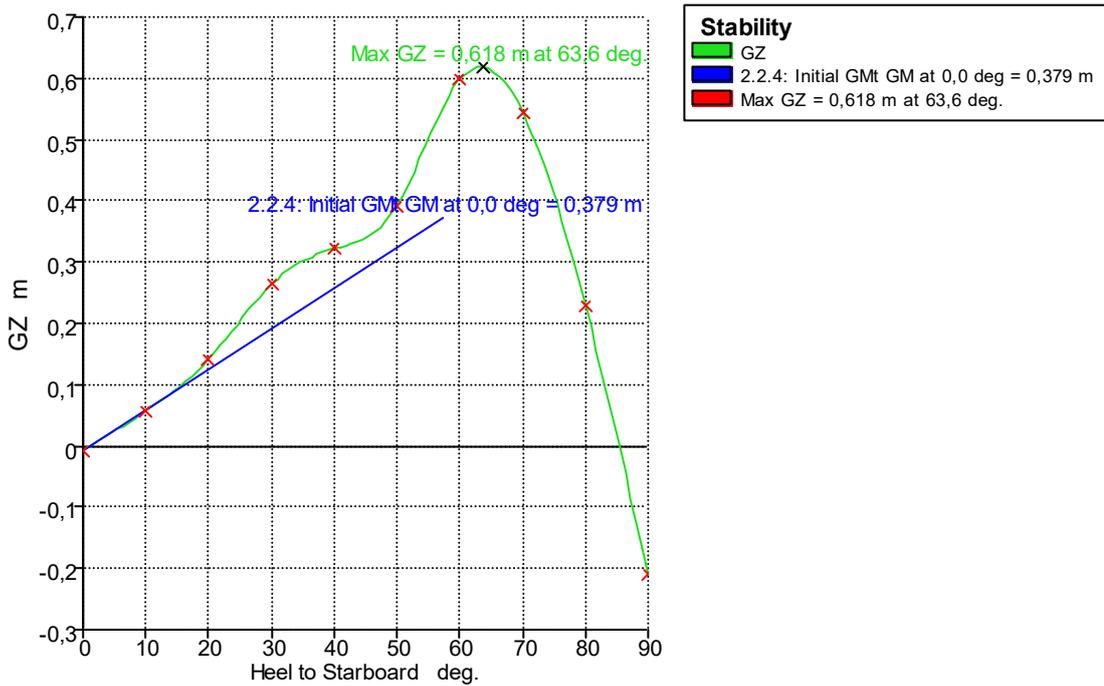


Gráfico 2.6 Curva GZ plena carga, llegada a puerto.

Tabla 2.28 Evaluación de criterios de estabilidad para la condición 2.

<b>CRITERIOS</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>	<b>Actual</b>	<b>Estado</b>
<b>2.2.1: Área de 0° a 30°</b>	0,055	<b>(m·rad)</b>	0,056	Cumple
<b>2.2.1: Área de 0° a 40°</b>	0,09	<b>(m·rad)</b>	0,108	Cumple
<b>2.2.1: Área de 30° a 40°</b>	0,03	<b>(m·rad)</b>	0,052	Cumple
<b>2.2.2: Máx. GZ° a 30° o mayor</b>	0,2	<b>(m)</b>	0,61	Cumple
<b>2.2.3: Máximo ángulo de GZ</b>	25	<b>(deg)</b>	63,6	Cumple
<b>2.2.4: GMt inicial</b>	0,15	<b>(m)</b>	0,379	Cumple

### 2.5.3 Condición de lastre, salida de puerto (condición 3)

En la condición 3, el buque transformado no llevará ningún tipo de carga. En su lugar lastrará el mínimo de agua posible en sus tanques destinados a esta función con el fin de que la hélice se encuentre sumergida (véase Tabla 2.29). Con respecto a los combustibles y pertrechos irá avituallado con las mismas cantidades que lo expuesto en la condición 1.

Como se puede observar en la Tabla 2.32, el buque transformado cumple con la condición 3 dictada por la OMI en cuanto a estabilidad se refiere.

Tabla 2.29 Distribución de pesos para la condición 3.

<b>PARTIDA DE PESOS</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Peso (tn)</b>	<b>XG (m)</b>	<b>YG (m)</b>	<b>KG (m)</b>	<b>FSM (tn·m)</b>
<b>Peso en rosca</b>	1	4.741	53.355	0	7.912	0
<b>Combustible y provisiones</b>	1	608,13	39,65	1,59	3,89	0
<b>Agua de lastre</b>	1	1.163,35	58,5	-0,006	2,85	0
<b>Almacén aceite auxiliar</b>	100%	3,066	8,945	-6,37	6,01	0
<b>Almacén Aceite proa</b>	100%	8,334	8,417	-7,535	6,069	0
<b>N°19 ER</b>	100%	24,127	8,616	2,949	3,318	0
<b>N° 20</b>	100%	50,588	3,924	0	6,142	0
<b>N°16 BR</b>	100%	48,729	17,442	-3,294	1,08	0
<b>N°16 ER</b>	100%	48,729	17,442	3,294	1,08	0
<b>N°19 BR</b>	100%	24,127	8,616	-2,949	3,318	0
<b>Resultante</b>		6.720,575	51,716	0,131	6,523	

Tabla 2.30 Características hidrostáticas para la condición 3, para ángulos entre 0 y 40.

ÁNGULOS DE ESCORA (°)	0	10	20	30	40
<b>GZ (m)</b>	-0,132	0,441	1,012	1,533	1,880
<b>Brazo dinámico (m·rad)</b>	0,0000	0,0269	0,1538	0,3778	0,6778
<b>Desplazamiento (tn)</b>	6.720	6.721	6.721	6.721	6.721
<b>Calado en proa (m)</b>	2,363	2,352	2,256	1,935	1,260
<b>Calado en popa (m)</b>	5,972	5,886	5,674	5,318	4,641
<b>Eslora de la flotación (m)</b>	137,468	137,460	137,400	137,176	136,479
<b>Manga de la flotación (m)</b>	18,104	18,257	18,606	18,336	17,662
<b>Superficie mojada (m<sup>2</sup>)</b>	2.569,89	2.555,42	2.581,34	2.561,93	2.553,01
<b>Área de la flotación (m<sup>2</sup>)</b>	2.034,61	2.004,98	2.015,92	1.973,67	1.947,92
<b>Coefficiente prismático</b>	0,588	0,596	0,614	0,636	0,663
<b>Coefficiente de bloque</b>	0,454	0,464	0,410	0,385	0,388
<b>LCB (%)</b>	-12,700	-12,693	-12,683	-12,683	-12,677
<b>LCF (%)</b>	-10,933	-9,419	-7,990	-7,392	-7,051
<b>Inclinación máxima (deg)</b>	1,607	10,118	20,049	30,025	40,013
<b>Ángulo de trimado (deg)</b>	1,607	1,574	1,522	1,506	1,505

Tabla 2.31 Características hidrostáticas para la condición 3, para ángulos entre 50 y 90.

ÁNGULOS DE ESCORA (°)	50	60	70	80	90
<b>GZ m</b>	2,173	2,531	2,729	2,605	2,273
<b>Brazo dinámico (m·rad)</b>	1,0308	1,4414	1,9045	2,3742	2,8014
<b>Desplazamiento (tn)</b>	6.721	6.721	6.721	6.720	6.720
<b>Calado en proa (m)</b>	0,007	-2,626	-8,879	-27,599	n/a
<b>Calado en popa (m)</b>	3,417	1,264	-2,574	-13,539	n/a
<b>Eslora de la flotación (m)</b>	134,019	126,256	130,728	134,315	136,372
<b>Manga de la flotación (m)</b>	17,937	17,614	16,148	15,240	14,873
<b>Superficie mojada (m<sup>2</sup>)</b>	2.591,26	2.664,66	2.688,57	2.698,90	2.705,42
<b>Área de la flotación (m<sup>2</sup>)</b>	1.994,82	2.040,91	1.905,68	1.783,80	1723,38
<b>Coefficiente prismático</b>	0,695	0,750	0,733	0,721	0,718
<b>Coefficiente de bloque</b>	0,396	0,458	0,534	0,589	0,582
<b>LCB (%)</b>	-12,668	-12,665	-12,695	-12,706	-12,728
<b>LCF (%)</b>	2,173	2,531	2,729	2,605	2,273
<b>Inclinación máxima (deg)</b>	1,0308	1,4414	1,9045	2,3742	2,8014
<b>Ángulo de trimado (deg)</b>	6721	6721	6721	6720	6720

Tabla 2.32 Evaluación de criterios de estabilidad para la condición 3.

CRITERIOS	Valor	Unidades	Actual	Estado
2.2.1: Área de 0° a 30°	0,055	(m·rad)	0,377	Cumple
2.2.1: Área de 0° a 40°	0,09	(m·rad)	0,678	Cumple
2.2.1: Área de 30° a 40°	0,03	(m·rad)	0,3	Cumple
2.2.2: Máx. GZ° a 30° o mayor	0,2	(m)	2,731	Cumple
2.2.3: Máximo ángulo de GZ	25	(deg)	70,9	Cumple
2.2.4: GMt inicial	0,15	(m)	3,359	Cumple

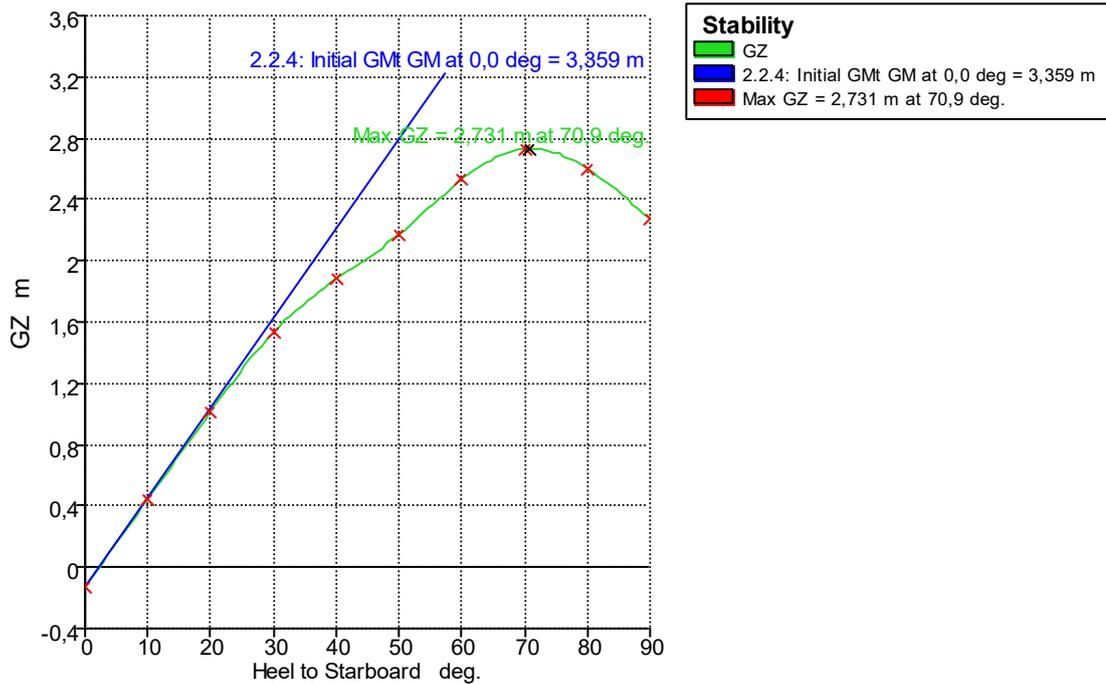


Gráfico 2.7 Curva GZ en lastre, salida de puerto.

#### 2.5.4 Condición de lastre, llegada a puerto (condición 4)

En la condición 4, el buque transformado no llevará ningún tipo de carga. En su lugar lastrará el mínimo de agua posible en sus tanques destinados a esta función con el fin de que la hélice se encuentre sumergida (véase Tabla 2.33). Con respecto a los combustibles y pertrechos irá avituallado con las mismas cantidades que lo expuesto en la condición 2.

Como se puede observar en la Tabla 2.35, el buque transformado cumple con la condición 3 dictada por la OMI en cuanto a estabilidad se refiere.

Tabla 2.33 Distribución de pesos para la condición 4.

<b>PARTIDAS DE PESOS</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Peso (tn)</b>	<b>XG (m)</b>	<b>YG (m)</b>	<b>KG (m)</b>	<b>FSM (tn·m)</b>
<b>Peso en rosca</b>	1	4.741,4	53,355	0	7,912	0
<b>Agua de lastre</b>	1	1.182,66	47,056	-0,56	3,2	0
<b>Uso diario d.o central</b>	100%	5,79	15,64	-7,225	10,242	0
<b>Uso diario d.o costado</b>	100%	5,79	15,64	-8,475	10,242	0
<b>N°8 (B)BR</b>	49,12%	19,969	85,68	-7,804	3,351	4,007
<b>Almacén Aceite Auxiliar</b>	10%	0,307	8,945	-6,37	5,119	0,205
<b>Almacén Aceite Principal</b>	10%	0,833	8,407	-7,231	5,157	2,959
<b>N°19 ER</b>	38,85%	9,373	8,726	2,474	2,539	35,64
<b>Total</b>		5.966,25	52,064	-0,15	6,958	42,382
<b>Corrección por superficie libre</b>					0,000	
<b>Resultado</b>					6,958	

Como ya se expuso en la condición 1, los momentos por superficies libres generados por los tanques parcialmente llenos con los que cuenta el buque, no son lo suficientemente significativos para tenerlos en cuenta según el criterio de la OMI reflejado en la fórmula (59).

Tabla 2.34 Características hidrostáticas para la condición 4, para ángulos entre 0 y 40.

<b>ÁNGULOS DE ESCORA (°)</b>	<b>0</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>30</b>	<b>40</b>
<b>GZ m</b>	0,150	0,680	1,218	1,637	1,849
<b>Brazo dinámico (m·rad)</b>	0,0000	0,0721	0,2384	0,4904	0,7970
<b>Desplazamiento (tn)</b>	5.966	5.966	5.966	5.966	5.966
<b>Calado en proa (m)</b>	2,113	2,127	2,051	1,711	1,003
<b>Calado en popa (m)</b>	5,518	5,393	5,131	4,707	3,938
<b>Eslora de la flotación (m)</b>	136,019	137,322	137,264	136,991	136,073
<b>Manga de la flotación (m)</b>	18,021	18,149	18,329	17,592	16,850
<b>Superficie mojada (m<sup>2</sup>)</b>	2.423,18	2.421,12	2.452,64	2.413,71	2.399,46
<b>Área de la flotación (m<sup>2</sup>)</b>	1.956,21	1.948,16	1.955,87	1.890,84	1.858,94
<b>Coefficiente prismático</b>	0,581	0,587	0,609	0,636	0,665
<b>Coefficiente de bloque</b>	0,443	0,452	0,397	0,381	0,387
<b>LCB (%)</b>	-12,350	-12,353	-12,341	-12,338	-12,330
<b>LCF (%)</b>	-9,965	-9,062	-7,953	-7,400	-7,104
<b>Inclinación máxima (deg)</b>	1,516	10,101	20,039	30,020	40,010
<b>Ángulo de trimado (deg)</b>	1,516	1,454	1,372	1,334	1,307

Tabla 2.35 Características hidrostáticas para la condición 4, para ángulos entre 40 y 90.

<b>ÁNGULOS DE ESCORA (°)</b>	<b>50</b>	<b>60</b>	<b>70</b>	<b>80</b>	<b>90</b>
<b>GZ (m)</b>	2,001	2,232	2,410	2,280	1,937
<b>Brazo dinámico (m·rad)</b>	1,1324	1,5008	1,9089	2,3227	2,6923
<b>Desplazamiento (tn)</b>	5.966	5.966	5.966	5.966	5.966
<b>Calado en proa (m)</b>	-0,301	-2,985	-9,332	-28,548	n/a
<b>Calado en popa (m)</b>	2,605	0,233	-4,290	-17,149	n/a
<b>Eslora de la flotación (m)</b>	131,549	125,531	130,251	134,158	136,331
<b>Manga de la flotación (m)</b>	17,078	17,643	16,087	15,184	14,837
<b>Superficie mojada (m<sup>2</sup>)</b>	2.425,10	2.510,78	2.557,46	2.567,23	2.566,97
<b>Área de la flotación (m<sup>2</sup>)</b>	1.894,67	1.974,83	1.887,25	1.767,98	1.707,06
<b>Coefficiente prismático</b>	0,707	0,755	0,739	0,727	0,725
<b>Coefficiente de bloque</b>	0,401	0,437	0,522	0,597	0,590
<b>LCB (%)</b>	-12,318	-12,311	-12,324	-12,344	-12,364
<b>LCF (%)</b>	-7,528	-7,576	-5,363	-5,296	-5,334
<b>Inclinación máxima (deg)</b>	50,005	60,002	70,001	80,001	90,000
<b>Ángulo de trimado (deg)</b>	2,001	2,232	2,410	2,280	1,937

Tabla 2.36 Evaluación de criterios de estabilidad para la condición 4.

<b>CRITERIOS</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>	<b>Actual</b>	<b>Estado</b>
<b>2.2.1: Área de 0° a 30°</b>	0,055	<b>(m·rad)</b>	0,4904	Cumple
<b>2.2.1: Área de 0° a 40°</b>	0,09	<b>(m·rad)</b>	0,797	Cumple
<b>2.2.1: Área de 30° a 40°</b>	0,03	<b>(m·rad)</b>	0,3066	Cumple
<b>2.2.2: Máx. GZ° a 30° o mayor</b>	0,2	<b>(m)</b>	2,413	Cumple
<b>2.2.3: Máximo ángulo de GZ</b>	25	<b>(deg)</b>	70,9	Cumple
<b>2.2.4: GMt inicial</b>	0,15	<b>(m)</b>	3,017	Cumple

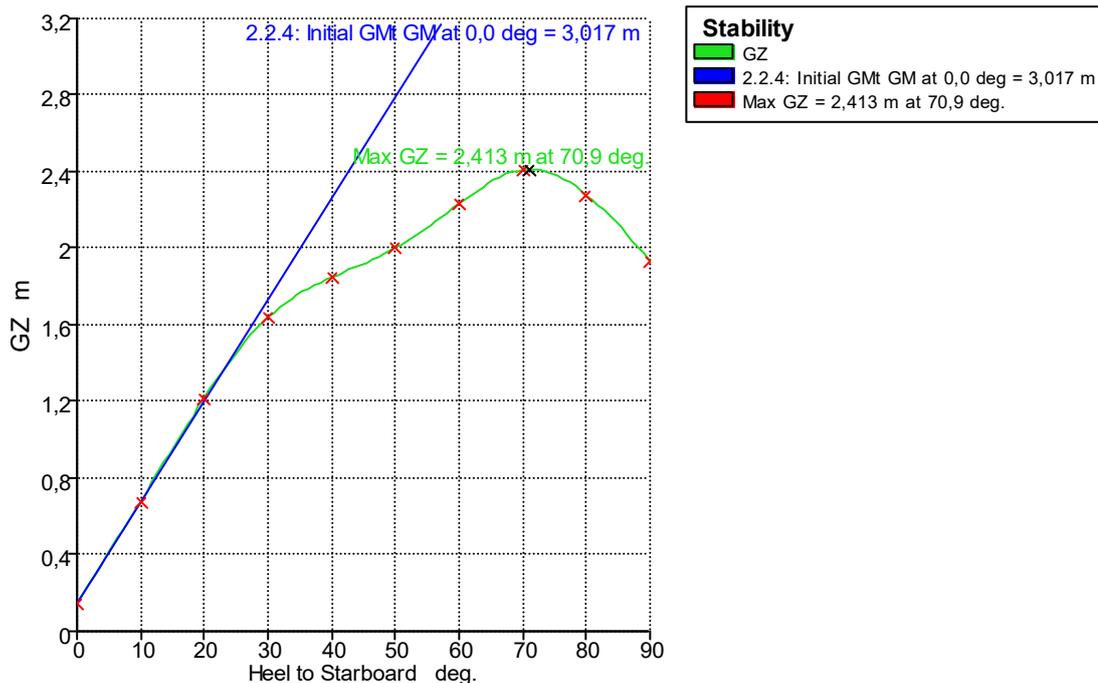


Gráfico 2.8 Curva GZ en lastre, llegada a puerto.

## 2.6 FRANCOBORDO

El francobordo es un criterio fundamental pues permite al buque en cuestión resistir un embarque parcial de agua gracias a esta reserva de flotabilidad que se le calcula, al limitar el calado del buque mediante el Francobordo.

Una vez comprobado que, en las distintas condiciones de carga, el buque cumple con los criterios exigidos por la OMI, se procederá a comprobar si el buque cumple con los criterios de carga máxima mediante la realización de otro cálculo, el francobordo. El francobordo es una magnitud 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 correspondiente. El Francobordo viene establecido por el Convenio Internacional de Líneas de Máxima Carga de 1966 y fue redactado por la Organización Marítima Internacional (OMI).

Se puede considerar que el Francobordo cuenta con 3 funciones:

- Como reserva de flotabilidad, para que cuando el buque se encuentre navegando, el embarque agua debido al impacto de las olas sea mínima.
- En el caso de que se produzca una inundación en el buque, exista una reserva de flotabilidad que evite el hundimiento del buque o en caso inevitable de pérdida del buque se retrase éste el mayor tiempo posible.
- El francobordo incrementa el ángulo de estabilidad nula, referido a la estabilidad transversal del buque.

Para obtener el valor del francobordo, previamente se han de obtener una serie de parámetros (véase Tabla 2.38) que atienden a las siguientes definiciones:

- Eslora de Francobordo: se tomará la distancia mayor entre el 96% de la eslora total medida en una flotación cuya distancia desde la quilla sea el 85% del puntal mínimo de trazado, o en esa misma flotación, la eslora medida desde la cara proel de la roda hasta el eje de la mecha del timón (véase Tabla 2.37).

Tabla 2.37 Determinación de la eslora de francobordo.

<b>ESLORAS</b>		
<b>ESLORA TOTAL (96%)</b>	127,32	<b>(m)</b>
<b>ESLORA HASTA LA CARA PROEL</b>	128,67	<b>(m)</b>
<b>ESLORA DE FRANCOBORDO</b>	128,67	<b>(m)</b>

- Puntal de trazado: es 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
- La cubierta de francobordo se define como la cubierta completa más alta expuesta a la intemperie y a la mar, dotada 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. En nuestro caso será la cubierta principal.
- Puntal de francobordo (D): será la suma del puntal de trazado más el espesor de la cubierta de francobordo en el costado.
- Coeficiente de bloque vendrá dado por la siguiente fórmula:

$$C_B = \frac{\nabla}{L B d_i} \quad (56)$$

Donde  $\nabla$  será el volumen de carena correspondiente al desplazamiento de trazado del buque, excluidos los apéndices, tomado a un calado de trazado  $d_i$  cuyo valor es el 85% del puntal mínimo de trazado.

Tabla 2.38 Datos iniciales para el Francobordo.

<b>DATOS INICIALES</b>		
<b>Eslora de francobordo</b>	128,66	<b>(m)</b>
<b>Puntal de trazado</b>	6,35	<b>(m)</b>
<b>Puntal de francobordo</b>	6,362	<b>(m)</b>
<b>Manga</b>	18,3	<b>(m)</b>
<b>Volumen de carena</b>	8.591,62	<b>(m<sup>3</sup>)</b>

Una vez obtenidos dichos datos (véase Tabla 2.38), se procederá a calcular las distintas correcciones que se han de aplicar al francobordo tabular.

- Corrección por puntal.  
En el caso a estudio, el valor de la eslora de francobordo entre 15 es mayor que el puntal de francobordo por lo que según la regla 31.2, al contar con una superestructura continua a lo largo de toda la eslora, corresponde aplicar una reducción proporcional a la siguiente fórmula

$$\left(D - \frac{L}{15}\right) * R \quad (60)$$

Tomando R el valor de 250 por contar con una eslora superior a 120 metros.

- **Corrección por coeficiente de bloque**  
Según lo dictado en la regla 30 del convenio, solo se aplicará una corrección por este motivo si el coeficiente de bloque es superior a 0,68.  
En el caso del buque objeto de estudio, dicha corrección no aplica por tener un coeficiente de bloque de 0,676.
- **Corrección por superestructura**  
En este caso, por el hecho de contar con una superestructura continua a lo largo de toda la eslora y por ser la eslora mayor de 122 metros se tendrá que aplicar una reducción de 1.070 mm.
- **Corrección por arrufo**  
Para realizar dicha corrección se deberá primero obtener tanto el arrufo virtual como el arrufo normal. El arrufo virtual es aquel con el que cuenta el buque a estudio en su cubierta principal. En el caso de tener una superestructura continua a lo largo de toda la eslora sobre toda la longitud de la cubierta de francobordo, el arrufo se medirá en la cubierta de la superestructura, según lo expuesto en la regla 38.5.

Dicha regla también matiza que, si la superestructura continua tiene una altura mayor a la normal, se añadirá al arrufo con el que cuenta la superestructura una serie de factores cuyos valores son Z (diferencia entre la altura real y la altura normal) tanto en la perpendicular de proa como en la de popa, y en las distancias de 1/6L y 1/3L dicho incremento será de 0,444Z y 0,111Z, respectivamente.

En primer lugar, se procederá al cálculo del arrufo virtual tanto en la parte de proa como en la de popa.

La altura normal de la superestructura se extrae de la regla 33 y en el caso del buque a estudio es de 2,3 metros. El valor de Z se encuentra en la Tabla 2.39.

Tabla 2.39 Valor de Z.

<b>CÁLCULO DE Z</b>		
<b>ALTURA NORMAL</b>	2,3	<b>(m)</b>
<b>ALTURA REAL</b>	5	<b>(m)</b>
<b>Z</b>	2,7	<b>(m)</b>

Tabla 2.40 Arrufo virtual en proa.

<b>ARRUFO VIRTUAL PROA</b>					
<b>POSICION</b>	<b>REAL</b>	<b>INCREMENTO</b>	<b>VIRTUAL</b>	<b>F.S</b>	<b>ARRUFO VIRTUAL</b>
<b>2/3 L</b>	0	0,111Z	299,7	3	899,1
<b>5/6L</b>	0	0,444Z	1.198,8	3	3.596,4
<b>LPR</b>	0	Z	2.700	1	2.700
				<b>SUMA</b>	<b>7.195,5</b>

Tabla 2.41 Arrufo virtual en popa.

<b>ARRUFO VIRTUAL POPA</b>					
<b>POSICION</b>	<b>REAL</b>	<b>INCREMENTO</b>	<b>VIRTUAL</b>	<b>F.S</b>	<b>ARRUFO VIRTUAL</b>
<b>LPP</b>	2.340	Z	5.040	1	5.040
<b>1/6L</b>	960	0,444Z	2.158,8	3	6.476,4
<b>1/3L</b>	450	0,111Z	749,7	3	2.249,1
				<b>SUMA</b>	13.765,5

El siguiente paso consiste en calcular el arrufo normal, es decir, el arrufo que se obtiene aplicando las fórmulas plasmadas en la norma (véase Tabla 2.42 y 2.43)

Tabla 2.42 Arrufo normal en popa.

<b>ARRUFO NORMAL POPA</b>					
<b>POSICION</b>	<b>FÓRMULA</b>	<b>VALOR</b>	<b>F.S</b>	<b>ARRUFO NORMAL</b>	
<b>LPP</b>	25(L/3+10)	1.322,16	1	1.322,16	
<b>1/6L</b>	11,1(L/3+10)	587,042	3	1.761,126	
<b>1/3L</b>	2,8(L/3+10)	148,08	3	444,24	
				<b>SUMA</b>	3.527,526

Tabla 2.43 Arrufo normal en proa.

<b>ARRUFO NORMAL PROA</b>					
<b>POSICION</b>	<b>FÓRMULA</b>	<b>VALOR</b>	<b>F.S</b>	<b>ARRUFO NORMAL</b>	
<b>1/3 L</b>	5,6(L/3+10)	296,17	3	888,51	
<b>1/6L</b>	22,2(L/3+10)	1.174,084	3	3.522,252	
<b>LPR</b>	50(L/3+10)	2.644,3	1	2.644,3	
				<b>SUMA</b>	7.055,062

El siguiente paso consistirá en comprobar si dicho buque cuenta con un exceso o defecto de arrufo. Todos los valores necesarios para realizar estas relaciones se encuentran en las tablas 2.40, 2.41, 2.42 y 2.43.

$$proa = \frac{\text{arrufo virtual}}{\text{arrufo norma}} = \frac{7.195,5}{7.055,062} = 1,02 \quad (61)$$

$$popa = \frac{\text{arrufo virtual}}{\text{arrufo norma}} = \frac{13.765,5}{3.527,53} = 3,9 \quad (62)$$

Como ambas relaciones son mayores a la unidad, quiere decir que dicho buque cuenta con un exceso de arrufo, por lo que se podrá establecer una reducción del francobordo. Dicha reducción se hará acorde a la regla 38.9.

Dicha reducción, siguiendo la regla 38.14 deberá ser multiplicado por el siguiente factor:

$$0.75 - \frac{S}{2L} \quad (63)$$

Siendo S la longitud de las superestructuras cerradas sin contar los troncos y L la eslora de francobordo.

Tabla 2.44 Corrección por arrufo.

<b>CORRECCIÓN POR ARRUFO</b>		
<b>Exceso de arrufo</b>	1.297,29	
<b>Corrección</b>	324,32	<b>(mm)</b>
<b>Corrección a aplicar</b>	160,8	<b>(mm)</b>

Según la regla 38.16 en el caso de darse la situación de la reducción por exceso de arrufo, especifica que dicha reducción no podrá ser mayor en ningún caso a 125 mm por cada 100 metros de eslora, por lo que, como se puede apreciar, en el caso a estudio aplica la mencionada restricción en la corrección por exceso de arrufo. La corrección calculada es de 324,32 mm. sin embargo, atendiendo a la Regla 38.16 ésta se va a limitar a 160,8 mm. (véase Tabla 2.44).

Una vez calculadas todas las correcciones, se ha de extraer el francobordo tabular al que aplicárselas. Para ello se ha de determinar el tipo de buque que es según la clasificación que realiza el Convenio. Como el buque en cuestión no ha sido proyectado para el transporte de cargas líquidas, el buque a estudio será del tipo B.

Es por ello que se interpolará linealmente entre los valores de francobordo tabular para una eslora de 128 y para 129 metros en la tabla 28.2 del Convenio. Con todo ello se podrá obtener el francobordo necesario para este buque (véase Tabla 2.45) y por tanto su calado máximo.

Tabla 2.45 Francobordo corregido.

<b>APLICACIÓN DE LAS CORRECCIONES</b>		
<b>Francobordo tabular</b>	1.872,86	<b>(mm)</b>
<b>Corrección puntal</b>	-554,5	<b>(mm)</b>
<b>Corrección superestructura</b>	-1.070	<b>(mm)</b>
<b>Corrección arrufo</b>	-160,8	<b>(mm)</b>
<b>Francobordo final</b>	87,56	<b>(mm)</b>
<b>Calado máximo</b>	6,26	<b>(m)</b>

Otro criterio con el que cuenta el francobordo es el calado mínimo que ha de tener el buque a la hora de navegar, es por ello que para poder comprobar que el buque cumple con los criterios para poder salir de puerto es imprescindible dicho valor.

Para realizar su cálculo, dicho convenio proporciona la siguiente fórmula:

$$F_b = \left( 6075 \left( \frac{L}{100} \right) - 1875 \left( \frac{L}{100} \right)^3 + 200 \left( \frac{L}{100} \right)^3 \right) * \left( 2.08 + 0.609 * C_b - 1.603 C_{wf} - 0.0129 \left( \frac{L}{d_i} \right) \right) \quad (64)$$

El resultado obtenido se encuentra en la Tabla 2.46.

Tabla 2.46 Altura de proa.

<b>ALTURA DE PROA</b>		
<b>Eslora</b>	128,66	<b>(m)</b>
<b>Coefficiente de bloque</b>	0,67	
<b>Coefficiente de la flotación</b>	0,87	
<b>Puntal de francobordo</b>	5,39	<b>(m)</b>
<b>Francobordo mínimo a proa.</b>	4.036,1	<b>(mm)</b>

Como se podrá apreciar posteriormente, el calado en proa del buque es de 4,94 metros, por lo que cumple dicho criterio al superar el valor del francobordo mínimo que debe haber en proa, calculado en la Tabla 2.46.

Tras la obtención del francobordo tabular corregido, se hace necesario la determinación de los otros francobordos en función de la zona en la que el buque vaya a navegar, con el fin de conformar la marca de francobordo. Los francobordos a calcular son los siguientes:

- Francobordo mínimo de verano: es el resultado obtenido tras restarle al francobordo tabular, las distintas correcciones que le aplican.
- Francobordo tropical: es el francobordo obtenido al restarle al francobordo mínimo de verano  $1/48$  del calado de verano, medido desde el canto alto de la quilla al centro del anillo de la marca de francobordo.
- Francobordo tropical en agua dulce: será el resultado de restar al francobordo tropical en agua salada el siguiente factor:

$$\frac{\Delta}{40T} \quad (65)$$

Siendo  $\Delta$  el desplazamiento para la flotación en carga de verano en agua salada, medido en toneladas. T son las toneladas por centímetro de inmersión que tiene el buque a estudio.

- Francobordo de invierno: será el resultado de sumarle al francobordo de verano  $1/48$  del calado de verano, medido desde el canto alto de la quilla al centro del anillo de la marca de francobordo.
- Francobordo de invierno en el Atlántico Norte: será el mismo que el francobordo de invierno pues según el convenio, al disponer de una eslora mayor de 100 metros no se ha de modificar dicho francobordo con respecto al de invierno.

Tabla 2.47 Valor del francobordo para las diferentes líneas de carga.

<b>FRANCOBORDOS</b>		
<b>Francobordo de verano</b>	87,56	<b>(mm)</b>
<b>Francobordo de invierno</b>	217,98	<b>(mm)</b>
<b>Francobordo de invierno en Atlántico Norte</b>	217,98	<b>(mm)</b>

La marca de francobordo está compuesta de un anillo cuyo diámetro exterior es 300 mm con un grosor de 25 mm, cortado por una línea horizontal de 450 mm de longitud y 25 de anchura, cuyo borde superior pasa por el centro del anillo. El centro del anillo deberá colocarse en el

centro del buque y a una distancia igual al francobordo mínimo de verano asignado, medida verticalmente por debajo del borde superior de la línea de cubierta.

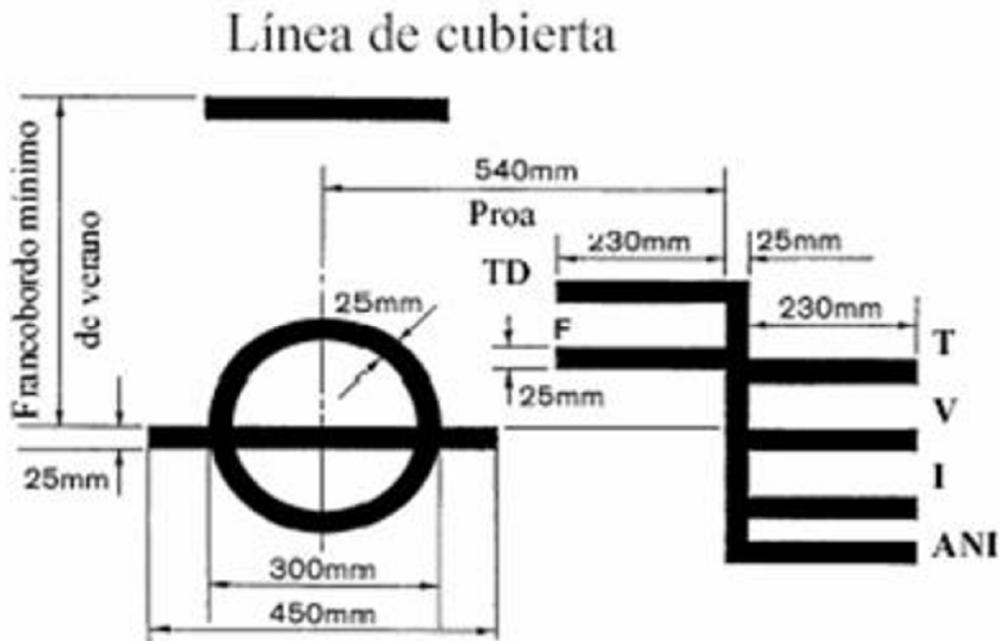


Figura 2.2 Marcas de Francobordo.

Fuente: "Apuntes de proyectos ETSINO"

El siguiente paso consiste en reflejar los francobordos asignados (véase Tabla 2.47). Según esta normativa, se representarán con líneas rectas de 230 mm de longitud y 25 de ancho que se extenderán hacia proa y en ángulo recto, a menos que se disponga expresamente de otro modo, de una línea vertical de 25 mm de anchura marcada a una distancia de 540 mm a proa del centro del anillo.

Se usarán las siguientes líneas de carga:

- La línea de carga de verano: se dispondrá en el borde superior de la línea que pasa por el centro del anillo y también por el borde superior de una línea cuya denominación es V.
- La línea de carga de invierno se encontrará en aquella línea denominada I.
- La línea de carga de invierno en el Atlántico Norte se encontrará en la línea marcada ANI.
- La línea de carga tropical se encontrará marcada por T.
- La línea de carga de verano en agua dulce, indicada en por el borde superior de una línea marcada D. La línea de carga de verano en agua dulce se marcará hacia popa de la línea vertical. La diferencia entre la línea de carga de verano en agua dulce y la línea de carga de verano está directamente relacionada con el cambio de densidades
- La línea de carga en agua dulce tropical vendrá indicada por el borde superior de una línea marcada TD y dispuesta a popa de la línea vertical.

Todas ellas, el anillo y las letras se pintará en blanco o amarillo si el casco es oscuro, y de negro si el casco es claro.

## 2.7 DETERMINACION DE LA NUEVA VELOCIDAD

Una vez comprobados los criterios anteriores, para cerrar la espiral de proyecto se ha de terminar a qué velocidad podría ir dicho buque sin cambiar la planta propulsora, es decir, el incremento de capacidad de carga se realiza en base a una pérdida de velocidad.

Para realizar el cálculo se precisarán los datos del buque alargado 25,6 metros en la condición de plena carga, con el 100% de los combustibles y provisiones, y con el lastre de agua necesario para cumplir con el francobordo (véase Tabla 2.48).

Tabla 2.48 Distribución de pesos en la condición 1.

<b>PARTIDAS DE PESOS</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Peso (tn)</b>	<b>XG (m)</b>	<b>YG (m)</b>	<b>KG (m)</b>
<b>Peso en rosca</b>	1	4.741,4	53,355	0	7.912
<b>Combustible y provisiones</b>	1	608,13	39,65	1,59	3,89
<b>Carga</b>	1	3.311	60,945	0	10,65
<b>Agua de lastre</b>	1	661,94	120,26	-1,83	5,01
<b>Almacén Aceite auxiliar</b>	100%	3,066	8,945	-6,37	6,01
<b>Almacén Aceite principal</b>	100%	8,334	8,417	-7,535	6,069
<b>Nº19 ER</b>	100%	24,127	8,616	2,949	3,318
<b>Nº 20</b>	100%	50,588	3,924	0	6,142
<b>Nº16 BR</b>	100%	48,729	17,442	-3,294	1,08
<b>Nº16 ER</b>	100%	48,729	17,442	3,294	1,08
<b>Nº19 BR</b>	100%	24,127	8,616	-2,949	3,318
<b>Resultante</b>		9.349,665	57,773	0,095	8,41

Una vez definidas todas las partidas de pesos, mediante el programa Maxsurf Stability se obtendrán los siguientes parámetros de arquitectura naval del buque transformado:

Tabla 2.49 Datos iniciales buque alargado.

<b>DATOS INICIALES BUQUE ALARGADO</b>		
<b>Calado en proa</b>	4,94	<b>(m)</b>
<b>Calado en popa</b>	6,13	<b>(m)</b>
<b>Eslora de la flotación</b>	135,712	<b>(m)</b>
<b>Manga de la flotación</b>	18,32	<b>(m)</b>
<b>Superficie mojada</b>	3.009,53	<b>(m<sup>2</sup>)</b>
<b>Área de la flotación</b>	2.171,36	<b>(m<sup>2</sup>)</b>
<b>Coefficiente Prismático</b>	0,716	
<b>Coefficiente de bloque</b>	0,609	
<b>Coefficiente de la maestra</b>	0,853	
<b>Coefficiente de la flotación</b>	0,874	
<b>LCB con respecto a la sección media</b>	-6,483	<b>(%)</b>
<b>Volumen de carena</b>	9.113,06	<b>(m<sup>3</sup>)</b>

<b>DATOS INICIALES BUQUE ALARGADO</b>		
<b>Densidad</b>	1026	<b>(kg/m<sup>3</sup>)</b>
<b>Desplazamiento</b>	9.350	<b>(tn)</b>
<b>Viscosidad cinemática</b>	1,18831*10 <sup>-6</sup>	<b>(m<sup>2</sup>/s)</b>
<b>Área sumergida del espejo</b>	8,77	<b>(m<sup>2</sup>)</b>
<b>Altura del centroide del bulbo en P<sub>PR</sub></b>	3,73	<b>(m<sup>2</sup>)</b>
<b>Área de la sección transversal del bulbo en P<sub>PR</sub></b>	8,68	<b>(m<sup>2</sup>)</b>
<b>Área del timón</b>	30,8	<b>(m<sup>2</sup>)</b>

Con estos datos, mediante el método de *Holtrop y Mennen* definido anteriormente, se calculará la nueva resistencia al avance del buque alargado, para una velocidad que genere una potencia instalada menor o igual a la del buque sin transformar a 13 nudos.

La velocidad para la que se cumple la condición anterior es 12,3 nudos. En las siguientes tablas se especifican las diferentes componentes de la resistencia al avance del buque alargado para una velocidad de 12,3 nudos.

Como se procedió en el capítulo 1, se han de calcular todas las resistencias que conforman la resistencia total al avance. El resultado de la resistencia viscosa se encuentra en la Tabla 2.50, los de la resistencia por formación de olas se plasma en la Tabla 2.51, seguidamente, en la Tabla 2.52 se muestra el resultado de la resistencia por la presencia de bulbo. En la Tabla 2.53 se encuentra el resultado obtenido para la resistencia por correlación, y en la Tabla 2.54, el de la resistencia debida a la inmersión del espejo. Por último, en la Tabla 2.55 se plasma el valor de la resistencia por los apéndices que lleva anexado el buque transformado.

Tabla 2.50 Valor resistencia viscosa.

<b>RESISTENCIA VISCOSA</b>		
<b>Superficie mojada</b>	3.009,529	<b>(m<sup>2</sup>)</b>
<b>Velocidad</b>	12.3	<b>(m/s)</b>
<b>Coefficiente de fricción</b>	0,001639	
<b>C<sub>stern</sub></b>	0	
<b>1+K<sub>1</sub></b>	1,235	
<b>Resistencia viscosa</b>	12.764.7	<b>(kg)</b>

Tabla 2.51 Valor resistencia por formación de olas.

<b>RESISTENCIA POR FORMACION DE OLAS</b>		
<b>c<sub>7</sub></b>	0,168	
<b>ie</b>	29.21	
<b>c<sub>1</sub></b>	2,52	
<b>c<sub>3</sub></b>	0,0488	
<b>c<sub>2</sub></b>	0.659	
<b>c<sub>5</sub></b>	0,92	

<b>RESISTENCIA POR FORMACION DE OLAS</b>		
$\lambda$	0,857	
$c_{16}$	1,2396	
$m_1$	-2,11	
$m_4$	-0,00036	
$f_n$	0,194	
<b>R<sub>w</sub></b>	1.402,34	<b>(kg)</b>

Tabla 2.52 Valor resistencia por bulbo.

<b>RESISTENCIA POR BULBO</b>		
<b>P<sub>B</sub></b>	2,9	
<b>F<sub>ni</sub></b>	1,466	
<b>R<sub>B</sub></b>	2.055	<b>(kg)</b>

Tabla 2.53 Valor resistencia por correlación.

<b>RESISTENCIA POR CORRELACIÓN</b>		
<b>Superficie mojada</b>	3.009,53	<b>(m<sup>2</sup>)</b>
<b>Velocidad</b>	12,3	<b>nudos</b>
<b>C<sub>2</sub></b>	0,1648	
<b>C<sub>3</sub></b>	0,91	
<b>C<sub>4</sub></b>	0,04	
<b>C<sub>A</sub></b>	0,0005027	
<b>R<sub>A</sub></b>	3.167,56	<b>(kg)</b>

Tabla 2.54 Valor resistencia por inmersión de espejo.

<b>RESISTENCIA DEBIDO A LA INMERSION DEL ESPEJO</b>		
<b>Área sumergida del espejo</b>	8,68	<b>(m<sup>2</sup>)</b>
<b>F<sub>nT</sub></b>	2,86	
<b>c<sub>6</sub></b>	0,086	
<b>R<sub>TR</sub></b>	1.556,89	<b>(kg)</b>

Tabla 2.55 Valor resistencia por los apéndices.

<b>RESISTENCIA DEBIDA A LOS APÉNDICES</b>		
<b>Superficie mojada de los apéndices</b>	30,8	<b>(m<sup>2</sup>)</b>
<b>Velocidad</b>	12,3	<b>nudos</b>
<b>Coefficiente de fricción</b>	0,001645	
<b>(1+K<sub>2</sub>)<sub>eq</sub></b>	1,3	
<b>R<sub>AP</sub></b>	137,48	<b>(kg)</b>

Por lo que la nueva resistencia que ha de vencer el buque alargado es de:

Tabla 2.56 Valor resistencia total.

<b>RESISTENCIA TOTAL</b>		
<b>Resistencia viscosa</b>	12.764,7	<b>(kg)</b>
<b>Resistencia por formación de olas</b>	1.402,34	<b>(kg)</b>
<b>Resistencia por la presencia del bulbo</b>	2.055	<b>(kg)</b>
<b>Resistencia por correlación modelo-buque</b>	3.167,56	<b>(kg)</b>
<b>Resistencia de los apéndices</b>	137,48	<b>(kg)</b>
<b>Resistencia por la inmersión del espejo</b>	1.556,89	<b>(kg)</b>
<b>TOTAL</b>	21.083,97	<b>(kg)</b>

Tras obtener la resistencia total (véase la tabla 2.56), se han de volver a calcular los distintos coeficientes y rendimientos relacionados con la propulsión del buque mediante el proceso explicado para el buque sin alargar con el fin de comprobar si la hélice que llevaba instalado el buque sin transformar sirve para el buque ya transformado.

En primer lugar, se calcularán los coeficientes de estela y de succión:

Tabla 2.57 Valor coeficiente de estela.

<b>COEFICIENTE DE ESTELA</b>	
<b>c<sub>9</sub></b>	20,64
<b>c<sub>8</sub></b>	20,64
<b>c<sub>20</sub></b>	1
<b>C<sub>F</sub></b>	0,0016
<b>C<sub>A</sub></b>	0,0005
<b>C<sub>V</sub></b>	0,0025
<b>c<sub>11</sub></b>	1,712
<b>C<sub>P1</sub></b>	0,822
<b>w</b>	0,27

Tabla 2.58 Valor del coeficiente de succión.

<b>COEFICIENTE DE SUCCION</b>	
<b>t</b>	0,197

A la hora de volver a calcular el rendimiento del propulsor aislado en aguas tranquilas, se observa que la hélice diseñada para el buque sin transformar no sirve para este nuevo buque, puesto que, al aplicar la fórmula de Keller el área expandida-área disco con la que se definió esta hélice es menor que la nueva área expandida área disco.

Esto se debe a que la ecuación polinómica que rige el coeficiente de empuje ha dado un valor mayor, por lo que a igualdad del resto de elementos que definen la fórmula de donde se halla el valor del empuje (diámetro de la hélice y revoluciones del motor) da un empuje mayor, el cual, al introducirlo en la fórmula de Keller, se obtiene un valor de la relación área expandida área disco mínima (véase Tabla 2.59), mayor del que tiene la hélice del buque sin transformar, por lo que la hélice cavitara si se instalara en el buque transformado.

Tabla 2.59 Demostración cavitación de la hélice.

<b>DATOS DE LA HÉLICE CON CAVITACIÓN</b>		
<b>Número de palas</b>	4	
<b>Diámetro</b>	4	<b>(m)</b>
<b>H/D</b>	0,814	
<b>K<sub>T</sub></b>	0,191	
<b>Empuje</b>	33.991,67	<b>(kg)</b>
<b>(A<sub>E</sub>/A<sub>0</sub>)<sub>min</sub></b>	0,58	
<b>A<sub>E</sub>/A<sub>0</sub></b>	0,55	

Por lo que, si no se decidiera cambiar la hélice, esta sufriría daños a costa de la cavitación, debido a que recibirá el impacto de multitud de implosiones como consecuencia del cambio brusco de estado vapor a estado líquido por el paso de una zona de baja presión a otra de alta presión.

Este fenómeno se traduce en generación de vibraciones y por tanto ruidos que se transmitirán a la estructura del buque a través de la chumacera de empuje, y el deterioro superficial de las palas, que puede llegar a generar roturas por fatiga del material con el que han sido fabricadas.

Por estos motivos, y a fin de intentar tener un rendimiento de propulsor aislado en aguas tranquilas mayor, se le aconsejará al armador el acometer la inversión de encargar una nueva hélice, pues le puede salir rentable a largo plazo ya que el buque precisará menor potencia y, por tanto, menor consumo de combustible para realizar sus trayectos (debido al aumento de dicho rendimiento). Junto a lo anterior, hay que tener en cuenta que, con el paso del tiempo debido a la cavitación, tendrá que cambiar la hélice, generando un gasto extra ya que tendrá que volver a paralizar la operación del buque y dirigirse a un astillero para llevar a cabo el cambio de hélice.

Suponiendo que se recibe una respuesta afirmativa por parte del armador del buque, se procederá de igual forma que en el diseño de la hélice del buque sin transformar, por lo que los nuevos parámetros que definen la nueva hélice que se adapta al buque una vez alargado se detallan en las tablas 2.62 y 2.63.

Tabla 2.60 Datos nueva hélice montada.

<b>DATOS DE LA HÉLICE SELECCIONADA</b>		
$\delta_{max}$	68,32	
$\delta_{opt}$	69,72	
$\delta$	68,32	
<b>Diámetro</b>	4	<b>(m)</b>
<b>H/D</b>	0,777	
<b>K<sub>T</sub></b>	0,182	
<b>T</b>	30.892,07	<b>(kg)</b>
$(A_E/A_0)_{min}$	0,55	
$\eta_0$	0,54	
<b>Número de palas</b>	4	
$A_E/A_0$	0,6	

Con todos los datos correspondientes a la hélice calculados, se procederá a determinar los BHP necesarios para propulsar el buque alargado en la condición de plena carga a la salida de puerto a una velocidad de 12,3 nudos (véase Tabla 2.61).

Tabla 2.61 BHP necesarios.

<b>BHP NECESARIOS</b>		
<b>EHP</b>	1.778,85	<b>(cv)</b>
$\eta_0$	0,54	
$\eta_H$	1,1	
$\eta_R$	1,02	
$\eta_M$	0,95	
<b>K<sub>P</sub></b>	0,9	
<b>BHP</b>	3.404,75	<b>(cv)</b>

Como se puede comprobar, dicha potencia no supera la potencia del motor instalado en el buque sin transformar al 85% del MCR, por lo que dicho alargamiento es viable desde el punto de vista de la planta propulsora (véase Tabla 2.62).

Tabla 2.62 Verificación del alargamiento.

<b>COMPROBACIÓN</b>		
<b>BHP (motor)</b>	3488	<b>(cv)</b>
<b>BHP (necesarios)</b>	3.397,84	<b>(cv)</b>
<b>Margen</b>	2,58%	

Como se puede observar, el margen que se obtiene para el buque transformado (véase Tabla 2.62) es algo menor al obtenido para el buque sin transformar, cuyo valor ascendía el 3,4 % (véase Tabla 1.27).



### CAPÍTULO 3. PLANO DE FORMAS Y PLANOS DE DISPOSICIÓN GENERAL DEL BUQUE ALARGADO.

Para mantener la precisión del nuevo plano de formas lo que se llevará a cabo es la duplicación de la sección 10, la cual representa la forma del cuerpo cilíndrico, y se dispondrá su copia a 25,6 metros, que es la distancia del alargamiento. La separación entre secciones se mantendrá igual que en el plano de formas sin transformar. El nuevo plano de formas se encuentra anexo al final del documento.

También se realizarán los planos de disposición general para los 3 tipos de unidades de carga, es decir, para remolques de 20 pies, para remolques de 40 pies, y para remolques de 14 metros. Otro de los planos que se encontrará en el anexo mencionado será el de la nueva disposición de los tanques.



## CAPÍTULO 4. CÁLCULO DEL ARQUEO

El concepto de arqueo es una unidad estandarizada para poder medir el tamaño de los buques, dato que se emplea para determinar reglamentariamente muchas de las características técnicas de los buques, así como las posibles tasas que tenga que pagar por el uso de puertos, canales, remolcadores, etc.

El arqueo se calcula por el Convenio Internacional sobre Arqueo de Buques (Convenio 1969), que se firmó en la capital de Inglaterra un 23 de junio de 1969 por los países que conformaban la IMO. Dicho convenio define todos los términos que aplican en el cálculo de arqueo, y excluye de su ámbito tanto a aquellos barcos que no superen los 24 metros de eslora, como a aquellos que navegan por aguas protegidas como por los Grandes Lagos de América del Norte, Mar Caspio o por el Río de la Plata.

En el cálculo del arqueo se pueden distinguir dos valores, llamados arqueo neto y arqueo bruto. El arqueo bruto trata de plasmar el tamaño total del buque, mientras que el arqueo neto está encaminado a plasmar el tamaño útil del buque.

Arqueo bruto

$$GT = K_1 V \quad (1)$$

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

Donde  $V$  hace referencia al volumen total de espacios cerrados en metros cúbicos.

Según el Reglamento los espacios cerrados son todos aquellos que se encuentran limitados por cubiertas y mamparos fijos, con capacidad utilizable para transportar mercancías o uso de pasajeros o tripulantes.

También se considerarán espacios cerrados en aquellos donde la cubierta no sea corrida y presente solución de continuidad, tales como escotillas. Sin embargo, hay una serie de espacios que no computan en este sumatorio como la caseta del timón, espacios de cocinas, destiladoras, despensas, pañoles y toda construcción que se encuentre sobre cubierta superior destinada al abrigo de pasajeros en viajes cortos, y que no tengan otro objeto que el de proteger contra el viento y el agua de mar.

Sin embargo, dicho convenio también expone una serie de exenciones para aquellos espacios que cumplan con una serie de especificaciones.

Para el buque a estudio, hay dos posibles exenciones que podrían aplicar a parte del volumen que se encuentra entre la cubierta shelter y la cubierta de intemperie por tener entre ellas una abertura frontal por la cual transitan los coches para estibarse en la cubierta de intemperie, y por una serie de aberturas laterales en ambos costados a proa del buque entre las dos cubiertas antes mencionadas.

A continuación, se procederá a evaluar dichas aberturas, y a la interpretación de la normativa definida para este tipo de exenciones a fin de evaluar si dicho volumen computa en este cálculo o no. En primer lugar, se evaluará la abertura frontal con el siguiente fragmento de la norma:

*El espacio interior contiguo al frente abierto de una caseta o superestructura, cuando la abertura se extiende de cubierta a cubierta, salvo una cenefa cuya altura no baje más de 25 milímetros (una pulgada) del canto del bao, teniendo dicha abertura un ancho igual o mayor al 90 por 100 de la manga de la cubierta por el través de la abertura. Esta disposición debe aplicarse de modo que sólo se excluya de los espacios cerrados el comprendido entre la abertura propiamente dicha y una línea trazada paralelamente al plano de la abertura, a una distancia de éste igual a la mitad de la manga de la cubierta por el través de la abertura.*

Es decir, si la abertura del buque a estudio es menor que 0,9 la manga de trazado, este esta exención no computaría.

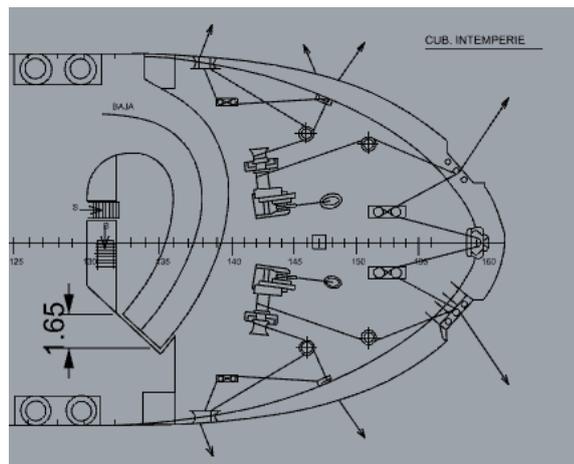


Figura 4.1 Abertura frontal.

Como se puede apreciar en la Figura 4.1, la abertura mide 1,65 metros, por lo que no alcanza los 16.5 metros ( $0.9 \times 18.35$ ).

La siguiente, y última regla que podría aplicar sería la relacionada con las aberturas laterales.

*Todo espacio que, en una construcción de banda a banda, se encuentre directamente enfrente de aberturas laterales opuestas de altura no inferior a 0,75 metros (2,5 pies) o un tercio de la altura de la construcción, tomándose de estos dos valores el que sea mayor. Si esa construcción sólo tiene abertura a un costado, el espacio que debe excluirse de volumen de espacios cerrados queda limitado hacia el interior a partir de la abertura, a un máximo de la mitad de la manga de la cubierta en la zona de la abertura.*

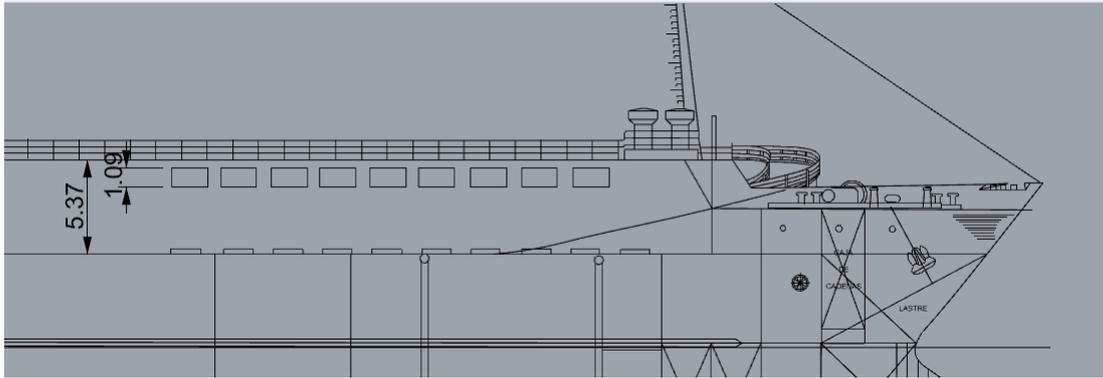


Figura 4.2 Aberturas laterales a proa del buque.

Como se puede observar en la Figura 4.2, la distancia entre las dos cubiertas es de 5,37 metros, que al dividirla entre 3 da 1,79 metros, valor es mayor que la altura de la abertura (1,09 metros), por lo que esta exención no aplica tampoco.

Otra abertura con la que cuenta el buque se encuentra un poco más a popa de la sección media. (véase Figura 4.3). Como se puede apreciar 1,79 metros vuelve a ser superior que la altura de la abertura evaluada (1,25 metros).

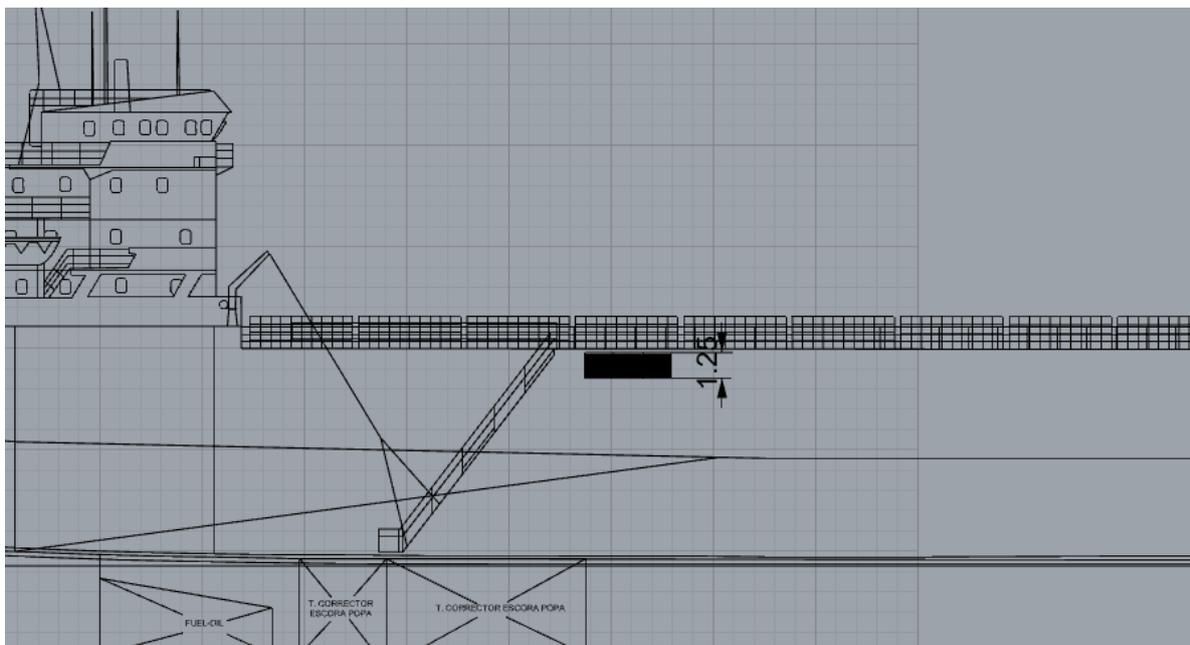


Figura 4.3 Aberturas en la parte central a popa de sección media.

Las dos últimas aberturas que quedan por evaluar son las que se encuentran aproximadamente en la perpendicular de popa. Como se puede apreciar en la Figura 4.4 y la 4.5 estas aberturas no cumplen con la exención ya que con la información que se puede extraer de los planos, la abertura pertenece a compartimentos que no van de banda a banda.

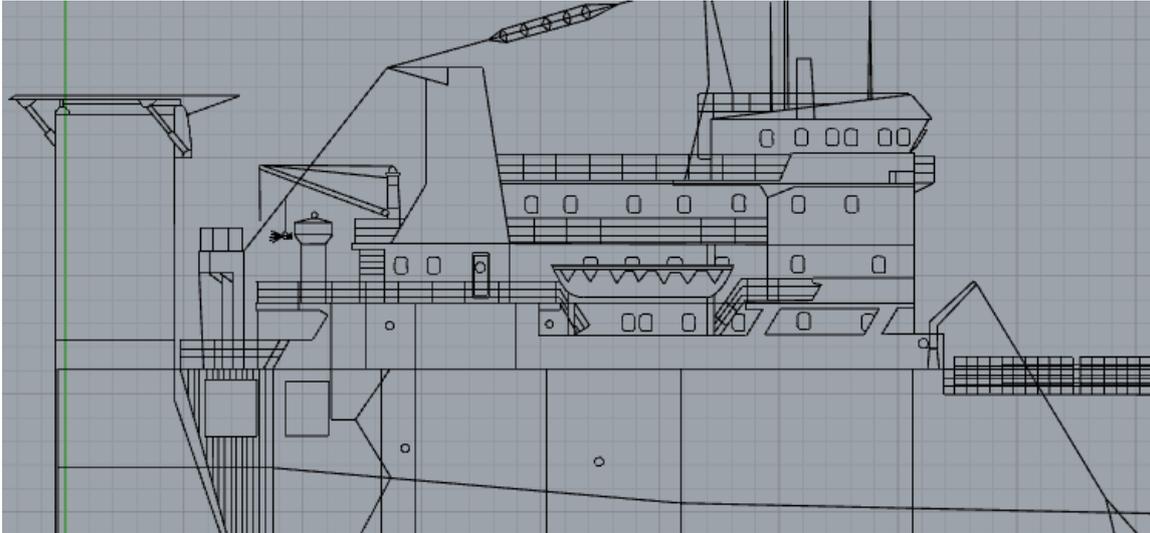


Figura 4.4 Visión en perfil de las aberturas que se encuentran a la altura de la perpendicular de popa.

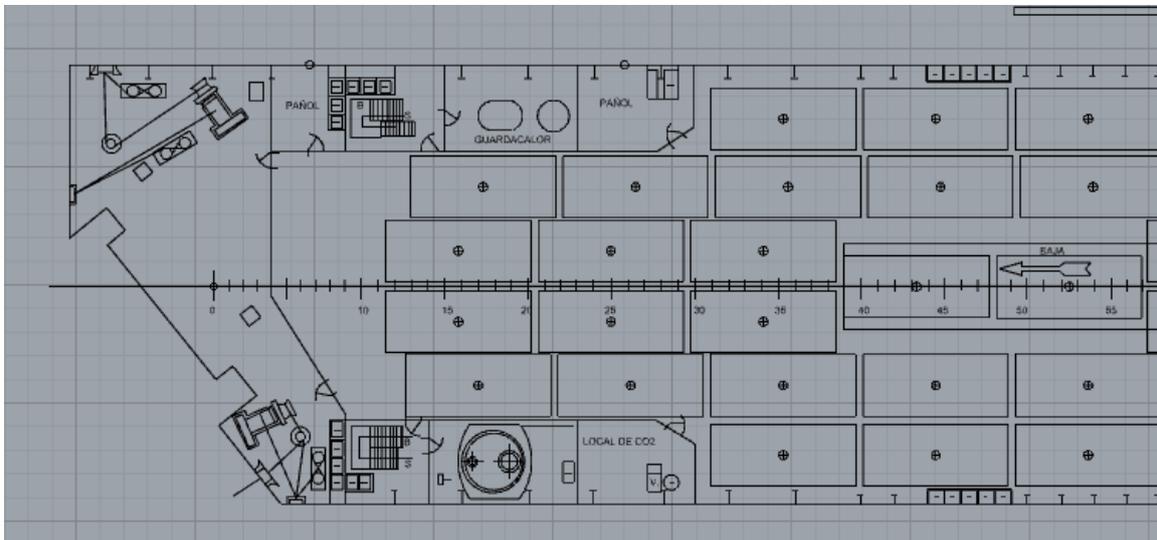


Figura 4.5 Visión en planta de los compartimentos a los que pertenecen las aberturas que se encuentran a la altura de la perpendicular de popa.

Con todo ello se llega a la conclusión que el volumen cerrado entre la cubierta shelter y la cubierta de intemperie, se debe tener en cuenta en su totalidad para los cálculos del arqueo bruto.

Tabla 4.1 Volumen de los espacios cerrados.

<b>ESPACIO CERRADO</b>	<b>VOLUMEN (m<sup>3</sup>)</b>
<b>Desde la línea base hasta la cubierta principal</b>	10.697,86
<b>Cubierta principal hasta cubierta shelter</b>	11.750,50
<b>Cubierta shelter hasta cubierta de intemperie</b>	11.282,8
<b>Castillo</b>	507
<b>Cubierta de habitación</b>	1.062,96
<b>Cubierta de botes</b>	819,77
<b>Cubierta de oficiales</b>	547,04
<b>Cubierta puente</b>	233,33
<b>Volumen total</b>	36.956,8

Con estos datos de la Tabla 4.1 se podrá calcular el arqueo bruto (véase Tabla 4.2).

Tabla 4.2 Resultado Arqueo Bruto.

<b>ARQUEO BRUTO</b>	
<b>V</b>	36.956,8
<b>k<sub>1</sub></b>	0,29
<b>GT</b>	10.767,51

Las GT con las que cuenta el buque transformado serán imprescindibles posteriormente para el cálculo de las tasas portuarias en los puertos entre los que realiza su ruta comercial. Para poder realizar una aproximación que se adecue lo mejor posible a la realidad, se va a proceder a calcular el arque bruto del buque sin alargar a fin de obtener las tasas que tenía que abonar el buque sin transformar en cada trayecto.

Tabla 4.3 Volumen de espacios cerrados del buque sin transformar.

<b>ESPACIO CERRADO</b>	<b>VOLUMEN (m<sup>3</sup>)</b>
<b>Desde la línea base hasta la cubierta principal</b>	7.808
<b>Cubierta principal a Cubierta Shelter</b>	9.657
<b>Cubierta Shelter a Cubierta de intemperie</b>	8.765
<b>Castillo</b>	507
<b>Cubierta habitación</b>	1.063
<b>Cubierta de otes</b>	819,77
<b>Cubierta de oficiales</b>	547
<b>Cubierta Puente</b>	233,3
<b>Volumen total</b>	29.399,9

Y por tanto se obtiene un arqueo bruto para el buque sin transformar de:

Tabla 4.4 Arqueo bruto del buque sin transformar.

<b>ARQUEO BRUTO</b>	
<b>Volumen</b>	29.399,9
<b>k<sub>1</sub></b>	0,29
<b>GT</b>	8.507,4

Para el cálculo del arqueo neto, el volumen a calcular difiere con respecto al valor con el que se calcula el arqueo bruto. En este caso, el volumen (véase Tabla 4.5) a calcular engloba únicamente todos aquellos espacios cerrados dedicados al transporte de carga, es decir, en el caso del buque a estudio son las bodegas de carga:

Tabla 4.5 Volumen cerrado de los espacios de carga del buque alargado.

<b>ESPACIO CERRADO</b>	<b>VOLUMEN (m<sup>3</sup>)</b>
<b>Bodega doble fondo-cubierta principal</b>	5.735,23
<b>Bodega cubierta principal-cubierta shelter</b>	10.235,05
<b>Bodega cubierta shelter-cubierta intemperie</b>	10.452
<b>Volumen total</b>	26.422,27

La fórmula que permite calcular el arqueo neto para los buques que no son de pasaje, como es el caso del buque RO-LO, es la siguiente:

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

Donde  $V_C$  es el volumen de los espacios de carga cerrados calculados anteriormente,  $d$  es el calado de trazado a la línea de carga de verano en metros, y  $D$  es el puntal de trazado.

Según el Convenio, el factor que multiplica a  $k_2$  y a  $V_C$  puede tomar como máximo el valor de la unidad, si lo supera (en el caso a estudio toma un valor de 1,72), se le dará dicho valor máximo. Como se disponen de todos los datos, se procede a calcular el arqueo neto (véase Tabla 4.6).

Tabla 4.6 Valor arqueo neto.

<b>ARQUEO NETO</b>	
<b>d</b>	6,26
<b>D</b>	6,35
<b>V<sub>C</sub></b>	26.422.3
<b>k<sub>2</sub></b>	0,288
<b>NT</b>	7.621,23

# CAPÍTULO 5. SISTEMAS Y SERVICIOS MODIFICADOS POR EL ALARGAMIENTO.

## 5.1 SISTEMA DE ACHIQUE.

El sistema de achique es el que garantiza que el agua que pueda introducirse en el interior de un buque por efecto de un golpe de mar, por mal funcionamiento de algún sistema o cualquier otro fenómeno debe de poder ser sacada y vertida al mar. Por afectar a la seguridad del buque, tanto el Convenio de la Seguridad de la Vida Humana en la Mar, como los reglamentos de las Sociedades de Clasificación determinan los medios y sistemas que deben instalarse a bordo para poder dimensionar correctamente el sistema de achique.

Los medios y sistemas requeridos por el SEVIMAR y las Sociedades de clasificación para achicar un espacio dependen de la importancia que este espacio tenga respecto a la seguridad del buque. Desde un punto de vista de importancia del espacio a achicar se pueden establecer 3 categorías:

- Aspiraciones de achique en bodegas
- Aspiraciones de achique en los locales de máquinas
- Aspiraciones de achique de otros locales del buque.

En el caso a estudio, como únicamente se han de recalcular aquellos sistemas que se han visto modificados por el incremento de eslora, solo se recalculará el sistema de achique en las bodegas de carga, puesto que el resto de los espacios han permanecido intactos durante el alargamiento. En cuanto a los elementos que se tendrán que volver a dimensionar se procederá a realizar una breve descripción:

- Colector principal de achique de sentinas a la parte de tubería, situada en la cámara donde se encuentran las bombas de achique y a través del cual aspiran por sus correspondientes ramales y cajas de válvulas del fluido a achicar.
- Ramal de tuberías de achique: es la parte de la tubería que parten del colector principal y se dirigen a los lugares deseados.

En este buque, por contar con doble fondo, y tener asiento de popa, las bodegas de carga llevarán aspiraciones de achique instaladas a popa de los pantoques, en cada banda que irán a parar a unos pozos situados en dichas localizaciones. Al tratarse de bodegas con una longitud de más de 30 metros, se colocarán aspiraciones de achique en cada mitad de proa y popa de cada bodega. Las bombas que montan estos sistemas en este buque son de tipo autocebante y centrífugas, cuyo caudal se recalculará posteriormente.

En primer lugar, se procederá a redimensionar el diámetro del colector (véase Tabla 5.1) principal mediante la fórmula proporcionada por el SOLAS y las Sociedades de Clasificación:

$$dm = 25 + 1.68\sqrt{L(B + C)} \quad (1)$$

Donde:

- L: es la eslora entre perpendiculares del buque en metros
- B: es la manga del buque en metros.

- C: es el puntal del buque a la cubierta de francobordo, es decir, en este caso a la cubierta principal.

Tabla 5.1 Cálculo del diámetro del colector principal de achique.

<b>COLECTOR PRINCIPAL</b>		
<b>L</b>	128,6	<b>(m)</b>
<b>B</b>	18,35	<b>(m)</b>
<b>C</b>	6,35	<b>(m)</b>
<b>dm</b>	119,68	<b>(mm)</b>

Evidentemente, el diámetro calculado no coincide con un tamaño comercial, por tanto, se deberá optar por el inmediatamente superior con un margen de 5 milímetros.

En cuanto a los ramales (véase Tabla 5.2) que parten del colector principal y van hasta los pozos de sentina de la bodega, se empleará la siguiente fórmula:

$$db = 2.16\sqrt{C(B + D)} + 25 \quad (2)$$

Donde:

- C: hace referencia a la eslora de la bodega en metros
- B: tiene el mismo significado que en el cálculo del diámetro interior del colector principal.
- D: es el puntal del buque a la cubierta de francobordo en metros.
- db: es el diámetro interior del ramal de aspiración de sentinas en milímetros.

Tabla 5.2 Diámetro de los ramales del sistema de achique.

<b>RAMALES</b>		
<b>C</b>	82,48	<b>(m)</b>
<b>B</b>	18,35	<b>(m)</b>
<b>D</b>	6,35	<b>(m)</b>
<b>db</b>	122,5	<b>(mm)</b>

Según el bureau Veritas y el Fidenavis, si el valor que se obtiene es superior a los 100 milímetros, se tomará como diámetro del ramal 100 milímetros. En los buques que no sean de pasaje y con una eslora mayor de 90 metros, como es el caso a estudio, tienen que llevar instaladas al menos dos bombas mecánicas centrífugas e independientes.

El caudal que deben dar habrá variado (véase Tabla 5.3) debido a la modificación que ha sufrido el diámetro y por lo tanto habrá que cambiarlas para poder cumplir con los criterios del SOLAS y de las Sociedades de clasificación.

Dichos criterios van encaminados a que dichas bombas sean capaces de imprimir al agua del colector principal de sentinas una velocidad mínima de 122 m/min. Por lo que, la capacidad de las bombas (véase Tabla 3.3) vendrá dada por la siguiente fórmula:

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

Donde:

- dm: es el diámetro interior del colector principal en milímetros calculado anteriormente.
- Q: es el caudal que han de dar las bombas en metros cúbicos/hora.

Tabla 5.3 Caudal individual de las bombas de achique.

<b>CAUDAL DE LAS BOMBAS</b>		
<b>dm</b>	119,68	<b>(mm)</b>
<b>Q</b>	82,6	<b>(m<sup>3</sup>/h)</b>

En buques que no sean de pasaje se admite que la capacidad de una bomba o grupos de bombas sea inferior a la capacidad reglamentaria si esta diferencia se compensa por un exceso de capacidad de otros equipos. Por ejemplo, Bureau Veritas admite en sus reglas como diferencia a compensar hasta un 20% y el Lloyd's Register un 30%. Por ello, se procederá a comparar el caudal de las bombas antes de alargar el buque con el caudal calculado (véase Tabla 5.5).

Tabla 5.4 Caudal y diámetro de las bombas del buque sin transformar.

<b>COLECTOR PRINCIPAL BUQUE SIN ALARGAR</b>		
<b>L</b>	103	<b>(m)</b>
<b>B</b>	18,35	<b>(m)</b>
<b>C</b>	6,35	<b>(m)</b>
<b>dm</b>	109,74	<b>(mm)</b>
<b>Q</b>	69,2	<b>(m<sup>3</sup>/h)</b>

Tabla 5.5 Comparación de caudales.

<b>COMPARACIÓN</b>		
<b>Caudal de las bombas del buque transformado</b>	82,6	<b>(m<sup>3</sup>/h)</b>
<b>Caudal de las bombas del buque sin transformar</b>	69,2	<b>(m<sup>3</sup>/h)</b>
<b>%</b>	16,2	

Como se puede apreciar en la Tabla 5.5, el porcentaje de diferencia entre los caudales de las bombas del buque sin transformar y el buque transformado no supera el 20%. Esto hace que antes de cambiar las bombas, se evalúen el resto de los sistemas para ver si pueden compensar dicha diferencia y así no tener que realizar la inversión de unas nuevas bombas.

## 5.2 SISTEMA CONTRAINCENDIOS.

La finalidad del sistema contraincendios es la de controlar y extinguir a la máxima celeridad posible un incendio sea cual sea el espacio en el que se haya originado, de ahí la importancia capital de dicho sistema, pues el fuego es uno de los principales peligros en los buques, aunque se encuentren rodeados de agua.

Para la configuración y diseño de dicho sistema se acudirá al convenio internacional de seguridad de la vida humana en la mar, más conocido como SOLAS 2014, la última actualización publicada. En el capítulo II-2, en la regla 38.1 se especifican las medidas a tomar y los equipos a instalar en aquellos espacios de carga destinados al transporte de carga rodada.

En el caso a estudio el buque no transporta las cabezas tractoras, sino únicamente los remolques, pero, aun así, para realizar su embarque y desembarque se precisan de dichas unidades, por lo que en sus bodegas sí que trabajarán vehículos con tanques de combustibles. Debido a ello, se dimensionará el sistema contraincendios con esta normativa, ya que el accidente puede darse en el interior del buque durante la carga y descarga de los remolques y el buque debe estar preparado para afrontar estas situaciones de riesgo con los sistemas adecuados que permitan a sus tripulantes mantener esta situación bajo control.

### **5.2.1 Número de bombas principales de emergencia**

Según la regla 4.3.1.2 del Código SOLAS, por ser un buque de carga de más de 1000 GT, montará por lo menos dos de dichas bombas. El número de bombas no ha variado con el alargamiento.

### **5.2.2 Bomba de emergencia**

Según la regla 3.3.2 del Código SOLAS, los buques de carga que dispongan de un arqueo bruto superior a las 2.000 GT se deben de asegurar que, independiente de la declaración de un incendio en cualquier compartimento que pueda inutilizar todas las bombas, habrá además otro medio, formado por una bomba fija de emergencia de accionamiento independiente con capacidad para suministrar 2 chorros de agua que a juicio de la Administración sean suficientes. La ubicación de dicha bomba no habrá variado, pero si la propia bomba, al variar los parámetros exigidos.

### **5.2.3 Capacidad de las bombas contraincendios**

Según la regla 10.2.2.4 del Código SOLAS, en los buques de carga, aparte de toda bomba de emergencia, el resto de las bombas CI deben dar un caudal que exceda al menos un tercio el caudal de las bombas de sentinas independientes de un buque de pasaje de las mismas dimensiones cuando se la emplee en operaciones de achique.

Cada una de las bombas principales debe tener una capacidad superior al 80% a la capacidad, especificada en el párrafo anterior, dividida por el número de bombas principales, en este caso 2. Dicha capacidad nunca será inferior a 25 m<sup>3</sup>/h.

La capacidad de la bomba de emergencia no debe ser inferior al 40% de la capacidad total de las bombas contraincendios principales. Con todo ello, dicha capacidad nunca será inferior a 25 m<sup>3</sup>/h.

Como el caudal de las bombas de achique ha aumentado debido al incremento de eslora, los caudales de las bombas contraincendios, tanto las principales como la de emergencia, habrán aumentado y por ello se deberá proceder a su sustitución por alguna del mercado actual cuyo caudal se ajuste lo mejor posible a los citados en la Tabla 5.6.

Tabla 5.6 Caudales bombas contraincendios.

<b>CAUDALES BOMBAS</b>		
<b>Q<sub>achique</sub></b>	95,94	<b>(m<sup>3</sup>/h)</b>
<b>Q<sub>CI principal</sub></b>	47,97	<b>(m<sup>3</sup>/h)</b>
<b>Q<sub>CI emergencia</sub></b>	38,38	<b>(m<sup>3</sup>/h)</b>

#### 5.2.4 Diámetro y presión del colector contraincendios

Según la regla 10.2.1.3 del SOLAS, el diámetro del colector será aquel que satisfaga las necesidades de agua que generan las dos bombas principales contraincendios trabajando a la vez, hasta un máximo de 140 m<sup>3</sup>/h en el caso de ser buques de carga.

Como el buque a estudio no alcanza dicha cifra, se trabajará con la suma de los caudales de las dos bombas.

En cuanto a la velocidad, se estima que se debe encontrar entre 2 y 3 m/s, por lo que se trabajará con una velocidad en el colector contraincendios de 2,5 m/s.

Por lo tanto, se habrá de calcular el diámetro del colector principal del buque sin alargar (véase Tabla 5.7) y observar si la velocidad obtenida es correcta al incrementar los caudales de las nuevas bombas a causa del alargamiento.

Tabla 5.7 Diámetro del colector principal.

<b>DIÁMETRO DEL COLECTOR</b>		
<b>Caudal</b>	80,93	<b>(m<sup>3</sup>/h)</b>
<b>Caudal</b>	0,02	<b>(m<sup>3</sup>/s)</b>
<b>Velocidad</b>	2,5	<b>(m/s)</b>
<b>Área</b>	0,009	<b>(m<sup>2</sup>)</b>
<b>Diámetro</b>	0,11	<b>(m)</b>
<b>Diámetro</b>	107,023	<b>(mm)</b>

Con dicho diámetro y con los nuevos caudales de las bombas contraincendios, se calculará la nueva velocidad (véase Tabla 5.8).

Tabla 5.8 Nueva velocidad.

<b>NUEVA VELOCIDAD</b>		
<b>Caudal</b>	95,94	<b>(m<sup>3</sup>/h)</b>
<b>Caudal</b>	0,0267	<b>(m<sup>3</sup>/s)</b>
<b>Diámetro</b>	107,03	<b>(mm)</b>
<b>Diámetro</b>	0,107	<b>(m)</b>
<b>Área</b>	0,009	<b>(m<sup>2</sup>)</b>
<b>Velocidad</b>	2,96	<b>(m/s)</b>

Como la velocidad del fluido no supera los 3 m/s (véase Tabla 5.8) no es necesario cambiar la bomba contraincendios.

A la hora de hallar las presiones de trabajo no se tendrán que realizar cambios debido a la variación de presión en las bocas contraincendios por pasar de ser un buque de carga con un arqueo bruto de 8.507,4 GT a un arqueo bruto de 10.767,5 GT no hay cambio en este aspecto. Según la regla 10 2.1.6 del SOLAS al superar el límite de las 6.000 GT se exigirá una presión de 0.27 N/mm<sup>2</sup>.

#### 5.4.5 Número y distribución de las bocas contraincendios

Según la regla 10.2.1.5.1 del SOLAS, el número y la distribución de las bocas contraincendios serán tales que por lo menos dos chorros de agua no procedentes de la misma boca contraincendios, uno de ellos lanzado por una manguera de una sola pieza, puedan alcanzar cualquier punto de la carga del buque cuando este se encuentre vacío.

Además, estas bocas contraincendios estarán emplazadas cerca de los accesos a los espacios protegidos. Como es evidente, dichas bocas contraincendios deben estar dispuestas en todas y cada una de las cubiertas de carga. El entramado y el número de bocas que precisa el buque vienen determinadas por la longitud de las mangueras. Para las cubiertas de carga, excluida la de intemperie, la longitud de dichas mangueras será de 15 metros. Para la cubierta de intemperie, la longitud de estas alcanzará los 17,5 metros cada una según se expresa en el Código SOLAS.

Por lo tanto, el número de bocas contraincendios por cubierta (véase Tabla 5.9) pasa a ser el siguiente como consecuencia del alargamiento que se le ha hecho al buque:

Tabla 5.9 Número de bocas contraincendios.

CUBIERTAS	NÚMERO DE BOCAS CONTRAINCENDIOS	
	Sin transformar	Alargado
<b>Cubierta. Doble fondo</b>	4	6
<b>Cubierta. Principal</b>	6	8
<b>Cubierta. Shelter</b>	5	7
<b>Cubierta. Intemperie</b>	4	5

#### 5.4.6 Mangueras contraincendios

Las mangueras contraincendios serán de materiales no perecederos aprobados por la Administración y tendrán una longitud suficiente para que el chorro de agua alcance cualquiera de los puntos que puedan necesitarlo.

Según el SOLAS, los buques construidos antes del 1 de febrero de 1992 se verán obligados a cambiar las mangueras que tienen por las de este tipo cuando se vaya a tomar la decisión de sustituirlas. En cuanto a la diferencia del número de mangueras que disponía el que tiene que tener el buque sin alargar y el buque alargado, se mantendrá constante ya que según la regla 10.2.3.2.3 del SOLAS, para buques con un arqueo bruto superior a 1.000 GT se proveerán de mangueras contraincendios a razón de una por cada 30 metros de eslora del buque, y una de respeto. Como el buque alargado, por su eslora, no alcanza a tener más del mínimo exigido, el buque sin transformar tampoco lo superaba, por lo que el número de mangueras se mantendrá

constante e igual a 5 y una de respeto. El citado número mínimo de mangueras no incluye las de cámara de máquinas, sino que únicamente hace referencia a los espacios de carga.

### 5.3 SISTEMA DE FONDEO AMARRE Y REMOLQUE.

Durante la navegación, el buque se traslada de un puerto a otro. Ahora bien, cuando llega a puerto el equipo propulsor se detiene y el buque queda sometido a la acción de las corrientes y los vientos. Si tiene que realizar operaciones comerciales será trasladado a un muelle o fondeadero donde permanecerá atracado o fondeado, por lo menos, durante el tiempo que duren éstas. Para contrarrestar las acciones que el viento y las corrientes pueden ejercer sobre el buque, este debe ser sujetado al muelle, al fondo o amarrado a una o varias boyas.

La velocidad de atraque no debe ser alta para conseguir que la fuerza viva del buque y del agua por él arrastrada, pueda ser absorbida por las defensas del muelle, cabos de amarre, resistencia al giro del buque y oscilaciones de éste. La velocidad de atraque debe estar comprendida entre 0,1 metros/seg y 1 metro/seg. Cuanto mayor es el buque menor debe ser la velocidad de atraque. En el siguiente cuadro se reflejan las condiciones de atraque en función de la velocidad de atraque transversales de los buques:

Tabla 5.10 Velocidades de atraque en función del desplazamiento del buque.

SITUACION	ATRAQUE	Velocidad de atraque para cada desplazamiento		
		Hasta 2000 tn	Hasta 10000 tn	Más de 20000 tn
Viento y mar fuerte	Difícil	0,75 (0,9)	0,55 (0,7)	0,4 (0,6)
	Favorable	0,6 (0,75)	0,45 (0,55)	0,3 (0,5)
Viento y mar moderado	Moderado	0,45 (0,65)	0,35 (0,5)	0,2 (0,45)
Protegido	Difícil	0,25 (0,5)	0,2 (0,45)	0,15 (0,4)
	Favorable	0,2 (0,4)	0,15 (0,35)	0,1 (0,3)

En el caso a estudio, el buque sin transformar tenía un desplazamiento a plena carga con la totalidad de sus combustibles y pertrechos de 6.871 toneladas. Mientras que el buque alargado, en la misma condición, cuenta con un desplazamiento de 9.134 toneladas, por lo que, en ambas condiciones el buque se encuentra en el mismo rango de velocidades de atraque (véase Tabla 5.10).

#### 5.3.1 Equipo de fondeo

En primer lugar, se calcularán los numerales de equipo tanto del buque alargado (véase Tabla 5.12) como del buque sin alargar (véase Tabla 5.11) para comprobar si la modificación que ha sufrido tiene la magnitud suficiente como para variar el nivel de numeral de equipo. Para calcular todos los elementos que componen este sistema se deberá obtener el numeral de equipo:

$$N = \Delta^{\frac{2}{3}} + 2 * B * H + A * 0.1 \quad (4)$$

Donde:

- $\Delta$  es el desplazamiento a la línea de carga de verano en toneladas
- B es la manga de trazado en metros.
- H es la altura, en metros, desde la flotación hasta el techo de la caseta más alta que tenga una manga mayor de B/4.
- A es el área, en metros cuadrados, en el plano de crujía, por encima de la flotación, del casco y superestructura de casetas con una manga superior a B/4.

Tabla 5.11 Componentes y valor del numeral de equipo correspondiente al buque sin alargar.

<b>CÁLCULO DEL NUMERAL DE EQUIPO DEL BUQUE SIN ALARGAR</b>		
<b>Desplazamiento</b>	8.075	<b>(tn)</b>
<b>Manga</b>	18,35	<b>(m)</b>
<b>Altura</b>	23,23	<b>(m)</b>
<b>Área</b>	1.581,79	<b>(m<sup>2</sup>)</b>
<b>Numeral de equipo</b>	1.413,22	

Tabla 5.12 Componentes y valor del numeral de equipo correspondiente al buque alargado

<b>CÁLCULO DEL NUMERAL DE EQUIPO DEL BUQUE ALARGADO</b>		
<b>Desplazamiento</b>	10.797	<b>(tn)</b>
<b>Manga</b>	18,35	<b>(m)</b>
<b>Altura</b>	23,23	<b>(m)</b>
<b>Área</b>	1.827,395	<b>(m<sup>2</sup>)</b>
<b>Numeral de equipo</b>	1.521,46	

Una vez determinado el numeral del equipo, para conocer los medios de fondeo, amarre y remolque, es necesario consultar la tabla de numeral de equipo que proporcionan los reglamentos de las Sociedades de Clasificación. Del valor de numeral de equipo seleccionado se obtendrá el número de anclas que debe llevar el buque y el peso de cada una de ellas también proporcionará la cantidad de largos de cadena y el diámetro de los eslabones que la conformarán. Por último, proporcionará la carga de rotura y la longitud que ha de llevar el buque tanto en amarras como en cables de remolque.

### 5.3.2 Selección de anclas y cadenas.

Al entrar en la tabla como no hay valores exactos a los calculados, se seleccionarán los inmediatamente inferiores. En el caso del buque sin alargar será 1.390, mientras que para el buque alargado será 1.480, por lo que, las características de los elementos de fondeo, amarre y remolque variarán y por lo tanto habrá que cambiarlo.

El buque inicial disponía de las anclas que se recogen en la Tabla 5.13.

Tabla 5.13 Número y características de las anclas que tiene que montar el buque sin alargar.

<b>ANCLAS</b>	<b>UNIDADES</b>	<b>MASA (Kg)</b>
<b>De servicio</b>	2	4.320
<b>De respeto</b>	1	4.320
<b>Espía</b>	1	1.440

Y en cuanto a las características de la cadena del buque sin alargar se concentran en la Tabla 5.14.

Tabla 5.14 Diámetros, número de largos de cadena y longitud de cadena de anclas para el buque sin transformar.

<b>CADENA</b>			
<b>DIÁMETRO</b>	<b>Q<sub>1</sub></b>	66	<b>(mm)</b>
	<b>Q<sub>2</sub></b>	58	<b>(mm)</b>
	<b>Q<sub>3</sub></b>	50	<b>(mm)</b>
<b>NÚMERO DE LARGOS DE CADENA</b>		20	
<b>LONGITUD TOTAL</b>		550	<b>(m)</b>

Tras el alargamiento al buque le corresponden el siguiente número de anclas con sus masas respectivas (véase Tabla 5.15).

Tabla 5.15 Número y características de las anclas que tiene que montar el buque alargado.

<b>ANCLAS</b>	<b>UNIDADES</b>	<b>MASA (kg)</b>
<b>De servicio</b>	2	4.590
<b>De respeto</b>	1	4.590
<b>Espía</b>	1	1.530

De la comparación de las Tablas 5.15 y 5.13, el buque alargado necesita el mismo número de anclas que el buque sin alargar, pero, sin embargo, la masa de las anclas para el buque alargado es mayor. Por tanto, las anclas del buque inicial habrá que desengrillarlas y desecharlas. En su lugar se seleccionarán unas nuevas para el buque alargado.

En cuanto al tipo de cadena y la longitud exigida, los datos se encuentran recogidos en la Tabla 5.16.

Tabla 5.16 Datos sobre la cadena a bordo.

<b>CADENA</b>			
<b>DIÁMETRO</b>	<b>Q<sub>1</sub></b>	68	<b>(mm)</b>
	<b>Q<sub>2</sub></b>	60	<b>(mm)</b>
	<b>Q<sub>3</sub></b>	52	<b>(mm)</b>
<b>LONGITUD TOTAL</b>		550	<b>(m)</b>

Las cadenas también habrá que cambiarlas, ya que, a pesar de coincidir la longitud de cadena que tiene que llevar el buque, los diámetros nominales para cada uno de los grados de cadena no son coincidentes (véase Tablas 5.16 y 5.14). Siendo mayores los diámetros para cada una de las calidades de cadena del buque alargado respecto al buque sin alargar.

Las cadenas de calidad Q<sub>1</sub> están hechas de acero dulce, las Q<sub>2</sub>, de acero de alta resistencia y las Q<sub>3</sub>, de acero de muy alta resistencia. Esto supone que, a mayor grado de calidad, se precisará de menos peso de cadenas al necesitar las cadenas de diámetros menores. Un menor diámetro de cadena supondrá un menor espacio para su estiba, pero con precios más elevados.

En cuanto a la longitud de cadena se ha de repartir entre las dos anclas de servicio. Las cadenas se comercializan en función de largos de cadena cuya longitud se encuentra normalizada y es de 27.5 metros cada largo. Por lo tanto, al tener que llevar a bordo 550 metros de cadena, se traducen en 20 largos, 10 largos para cada ancla de servicio.

Consultando el catálogo de un fabricante de cadenas para la industria naval, para dichos diámetros nominales y esas calidades, se obtienen los datos de carga de rotura y peso que se muestran en la Tabla 5.17.

El buque original disponía de las siguientes opciones:

Tabla 5.17 Especificaciones para las cadenas del buque sin alargar.

<b>Grado de Calidad</b>	<b>Diámetro nominal (mm)</b>	<b>Carga de rotura (KN)</b>	<b>Peso por largo (kg)</b>	<b>Peso cadena (kg)</b>
<b>Q<sub>1</sub></b>	66	1.660	2.695	53.900
<b>Q<sub>2</sub></b>	58	1.810	2.075	41.500
<b>Q<sub>3</sub></b>	50	1.370	1.560	31200

Mientras que, al alargar el buque, las características para cada grado de cadena son las siguientes:

Tabla 5.18 Especificaciones para las cadenas del buque alargado.

<b>Grado de Calidad</b>	<b>Diámetro nominal (mm)</b>	<b>Carga de rotura (KN)</b>	<b>Peso por largo (kg)</b>	<b>Peso cadena (kg)</b>
<b>Q<sub>1</sub></b>	68	1.750	2.890	57.800
<b>Q<sub>2</sub></b>	60	1.940	2.220	44.400
<b>Q<sub>3</sub></b>	52	2.110	1.675	33.500

El siguiente paso a realizar se trata de averiguar qué tipo de calidad de cadena montaba el buque original y para ello se tendrá en cuenta el espacio que se necesita para estibar cada uno de los tipos de cadena y ver cuál de ellos puede ser albergado en la caja de cadenas que lleva instalada el buque original.

### 5.3.3 Caja de cadenas.

El volumen de la caja de cadenas se calcula según la fórmula:

$$V_{total} = \frac{\pi * D^2}{4} * H \quad (5)$$

Donde D es el diámetro máximo de la caja de cadenas, que por mediciones sobre el plano de disposición general se obtiene que su valor es de 2,5 metros.

La H es la altura que ha de tener dicha caja de cadenas, que se calculan con la siguiente expresión:

$$H = h + 0,4 + 1,2 \quad (6)$$

El 0,4 se debe a la zona de drenado que ha de tener la caja de cadenas, y el 1,2 para la caída de la cadena.

En cuanto al valor de h, se ha de despejar de la fórmula (7)

$$V_{cadena} = \frac{\pi * D^2}{4} * h \quad (7)$$

Para poder despejar el valor de h se ha de calcular el valor del volumen que ocupa la cadena. La fórmula (8) calcula dicho volumen en función de los largos de cadena que se han de alojar y el diámetro del macizo empleado para fabricar los eslabones. Los resultados se encuentran reflejados en la Tabla 2.19.

$$V_{cadena} = 0,0082 * D_{eslabón}^2 * L_{cadena} + 10^{-4} \quad (8)$$

Para el buque alargado se tendrían las siguientes magnitudes en función del grado de calidad de cadena que se seleccione:

Tabla 5.19 Volumen de cadena para el buque transformado en función de la calidad de la cadena.

Grado de Calidad	Long. (m)	Diámetro nominal (mm)	Volumen de la cadena (m <sup>3</sup> )	h (m)	H (m)
Q <sub>1</sub>	225	68	10,43	2,12	3,72
Q <sub>2</sub>	225	60	8,12	1,65	3,25
Q <sub>3</sub>	225	52	6,1	1,24	2,84

Por lo tanto, el volumen total de la caja de cadenas para este buque transformado en función de la calidad de la cadena son los siguientes:

Tabla 5.20 Volumen total de la caja de cadena para el buque transformado en función de la calidad de la cadena.

<b>Grado de Calidad</b>	<b>Diámetro nominal (mm)</b>	<b>H (m)</b>	<b>Volumen total de la caja de cadenas (m<sup>3</sup>)</b>
<b>Q<sub>1</sub></b>	68	3,72	18,28
<b>Q<sub>2</sub></b>	60	3,25	15,97
<b>Q<sub>3</sub></b>	52	2,84	13,95

Los 3 tipos de cadena para el buque alargado caben en las cajas de cadenas que monta el buque original al disponer de un volumen de 134,23 m<sup>3</sup>. Por lo tanto, para el buque alargado se encargarán 20 largos de cadena de calidad Q<sub>1</sub> (véase Tabla 5.21) y se desecharán los que llevaban el buque original pues los diámetros de los macizos de donde se elaboran los eslabones de la cadena son de diámetros diferentes.

Tabla 5.21 Características cadena seleccionada.

<b>CARACTERÍSTICAS DE LA CADENA</b>		
<b>Diámetro nominal</b>	68	<b>(mm)</b>
<b>Carga de rotura</b>	1.750	<b>(KN)</b>
<b>Número de largos</b>	20	
<b>Peso cadena</b>	57.800	<b>(kg)</b>

### 5.3.4 Escobén

Se conoce por escobén a cada uno de los conductos circulares o elípticos que se abren entre la cubierta de castillo y la amura de un buque a un lado y otro de la roda para el paso por ellos de las cadenas de las anclas y alojamiento de la caña del ancla. El valor del diámetro interior del escobén se calcula según la siguiente fórmula:

$$D_{int} = d k \quad (9)$$

Donde d es el diámetro del redondo del que se ha partido para la fabricación del eslabón de la cadena seleccionada, y k es un parámetro que toma el valor de 10,4 cuando el diámetro mencionado anteriormente vale 25 mm, y 7,5 cuando vale 100 mm. Para el resto de los valores de diámetros se interpolará linealmente, obteniendo finalmente la siguiente fórmula:

$$D_{int} = [(100 - d) * 0,03867 + 7,5] d \quad (10)$$

Para obtener el diámetro exterior del escobén hay que calcular el espesor superior y el espesor inferior, los cuales siguen las siguientes proporciones con respecto al diámetro del redondo que se emplea para obtener los eslabones de la cadena:

$$e_{sup} = 0,6 * d \quad (11)$$

$$e_{inf} = 0,7 * d \quad (12)$$

Para determinar el diámetro del escobén del buque sin transformar (véase Tabla 5.22), tras observar que el buque contaba con una caja de cadenas con el volumen necesario para albergar la cadena de calidad Q<sub>1</sub>, se toma como referencia el diámetro de este grado de calidad para determinar las dimensiones del escobén del buque sin transformar. Será la que se considere que se montó por su menor precio.

Tabla 5.22 Diámetro escoben del buque inicial.

<b>ESCOBÉN BUQUE INICIAL</b>		
<b>Diámetro interior</b>	582	<b>(mm)</b>
<b>Espesor superior</b>	39,6	<b>(mm)</b>
<b>Espesor inferior</b>	46,2	<b>(mm)</b>
<b>Diámetro exterior</b>	667,8	<b>(mm)</b>

Se aplicará la misma formulación para obtener los datos del nuevo escoben (véase Tabla 5.23).

Tabla 5.23 Diámetro escoben seleccionado para el buque transformado.

<b>ESCOBÉN BUQUE ALARGADO</b>		
<b>Diámetro interior</b>	594,15	<b>(mm)</b>
<b>Espesor superior</b>	40,8	<b>(mm)</b>
<b>Espesor inferior</b>	47,6	<b>(mm)</b>
<b>Diámetro exterior</b>	682,55	<b>(mm)</b>

Como se puede observar, la diferencia es prácticamente mínima y, como se puede apreciar en la tabla de medidas para el ancla tipo Hall (Figura 5.2), el diámetro del grillete de entalingadura por el cual se une la cadena con el ancla es de 316 mm, mientras que para el ancla del buque alargado es de 346 mm. Con estas medidas se puede advertir que la diferencia no afectará prácticamente al funcionamiento del sistema puesto que la relación del grillete de entalingadura-diámetro interior del escoben sigue siendo 1:2 prácticamente.

En lo que si se verá afectado el escobén es en su longitud, pues deberá albergar una caña más larga según se puede observar en las dimensiones tabuladas en la Figura 5.2 del ancla seleccionada en función de su peso. La longitud de la caña pasa de 2.712 mm a 2.769 mm.

Como la diferencia es pequeña, se procederá a realizar la sustitución de la concha del buque sin transformar para adaptarla a la nueva longitud de caña del ancla

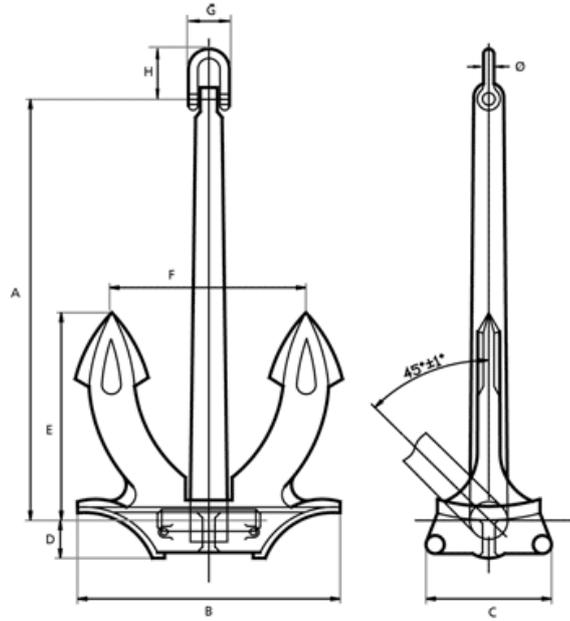


Figura 5.1 Representación ancla tipo Hall.

<b>Weight</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G</b>	<b>H</b>	<b>Ø</b>
<b>kgs</b>	<b>mm</b>								
1020	1645	1268	584	195	891	891	183	255	50
1290	1778	1374	630	211	965	965	216	280	62
1500	1869	1447	664	222	1015	1015	216	280	62
1740	1966	1517	698	234	1068	1068	238	310	68
2000	2058	1590	732	245	1120	1120	238	310	68
2280	2150	1657	763	255	1165	1165	260	340	74
2460	2207	1700	784	262	1194	1194	260	340	74
3000	2374	1832	841	282	1283	1283	284	360	82
3540	2490	1926	883	295	1349	1349	287	380	82
4000	2610	2008	924	309	1406	1406	310	385	90
4500	2712	2093	962	322	1465	1465	316	410	90
4890	2769	2135	984	329	1498	1498	346	415	100
5000	2790	2150	991	331	1510	1510	346	415	100
6000	2965	2284	1054	352	1605	1605	350	450	100
6900	3100	2393	1105	369	1681	1681	370	480	110
7800	3235	2493	1152	385	1752	1752	380	500	110
8775	3355	2585	1195	399	1816	1816	400	540	117
9072	3392	2615	1209	404	1837	1837	421	580	124
9900	3502	2699	1248	417	1896	1896	421	580	124
11100	3638	2803	1297	433	1970	1970	437	600	130
15400	4056	3126	1446	483	2199	2199	498	680	150
16100	4117	3173	1468	490	2232	2232	498	680	150

Figura 5.2 Medidas ancla tipo Hall.

### 5.3.5 Molinete

El molinete es la máquina que se emplea para arriar e izar las cadenas de anclas en las operaciones de fondeo y leva de las anclas. También se emplea el molinete para la maniobra de las amarras en la zona de proa.

Para tratar de mantener los mismos molinetes del buque sin transformar, se procederá a realizar el cálculo de la potencia (véase Tablas 5.24 y 5.25) que han de tener con el peso actualizado tanto de la cadena como del ancla, pero a una velocidad de izado algo menor, estando siempre dentro del rango permitido.

La potencia del molinete según reglamento sigue la siguiente fórmula:

$$P = \frac{0,87(3P_c + P_a)v}{60 * 75 * r} \quad (13)$$

Donde:

- $P_c$  es el peso de por largo de cadena en kilogramos.
- $P_a$  es el peso del ancla fuera del agua en kilogramos.
- $v$  es la velocidad de izado en m/min, la cual suele rondar un valor entre 8 y 12 m/min.
- $r$  es el rendimiento mecánico del molinete cuyo valor se encuentra entre 0,5 y 0,7.

Aplicando la expresión (12), los molinetes del buque sin transformar tendrían las siguientes características:

Tabla 5.24 Potencia molinetes del buque sin transformar.

<b>POTENCIA DE LOS MOLINETES DEL BUQUE SIN ALARGAR</b>		
<b>Peso de 3 largos de cadena</b>	8.085	<b>(kg)</b>
<b>Peso del ancla</b>	4.320	<b>(kg)</b>
<b>Velocidad</b>	12	<b>(m/min)</b>
<b>Rendimiento mecánico</b>	0,6	
<b>Potencia</b>	47,97	<b>(cv)</b>

Mientras que, los molinetes del buque alargado tendrán las características reflejadas en la Tabla 5.25.

Tabla 5.25 Potencia molinetes del buque alargado.

<b>POTENCIA DE LOS MOLINETES DEL BUQUE ALARGADO</b>		
<b>Peso de 3 largos de cadena</b>	8.670	<b>(kg)</b>
<b>Peso del ancla</b>	4.590	<b>(kg)</b>
<b>Velocidad</b>	11,2	<b>(m/min)</b>
<b>Rendimiento mecánico</b>	0,6	
<b>Potencia</b>	47,97	<b>(cv)</b>

No será preciso cambiar los molinetes, puesto que pueden arriar la cadena a una velocidad de 11,2 m/min, la cual es menor que 12, pero sigue estando dentro de un rango aceptable. De esta forma, la reforma de este sistema se ve abaratada.

Para calcular la velocidad corta o de zarpado se empleará la potencia calculada anteriormente, pero con la diferencia de que, en este caso, además de tener que vencer el peso de cadena y ancla, se deberá tener en cuenta el poder de agarre que genera el ancla. Para poder cuantificar dicho fenómeno se considerará equivalente a 3.5 veces el peso del ancla. Con los datos de la Tabla 5.26 y la fórmula 14, añadiendo las modificaciones comentadas, se obtiene el siguiente resultado:

$$v_{izado} = \frac{75 * 60 * r * P}{0.87 * (3 * P_c + P_a) + e * P_a} \quad (14)$$

Los parámetros de la velocidad corta del molinete se encuentran en la Tabla 5.26.

Tabla 5.26 Velocidad de izada.

<b>VELOCIDAD CORTA DE LOS MOLINETES</b>		
<b>3 largos de cadena</b>	8.670	<b>(kg)</b>
<b>Peso del ancla</b>	4.590	<b>(kg)</b>
<b>Poder de agarre</b>	3,5	
<b>Potencia</b>	47,97	<b>(cv)</b>
<b>Rendimiento mecánico</b>	0,6	
<b>Velocidad</b>	4,69	<b>(m/min)</b>

El molinete debe ser capaz de izar los 10 largos de cadena junto con el ancla para que en caso de producirse avería y se largará toda la cadena, fuera capaz de recuperarla. La velocidad de avería queda definida por la siguiente expresión:

$$v_{averia} = \frac{75 * 60 * r * P}{0.87 * (10 * P_c + P_a)} \quad (15)$$

Los parámetros de la nueva velocidad de avería del molinete se encuentran reflejados en la Tabla 5.27.

Tabla 5.27 Velocidad en caso de avería.

<b>VELOCIDAD AVERÍA DE LOS MOLINETES</b>		
<b>Peso de 10 largos de cadena</b>	28.900,00	<b>(kg)</b>
<b>Peso del ancla</b>	4.590,00	<b>(kg)</b>
<b>Poder de agarre</b>	3,50	
<b>Potencia</b>	47,97	<b>(cv)</b>
<b>Rendimiento</b>	0,60	
<b>Velocidad</b>	4,44	<b>(m/min)</b>

### 5.3.6 Equipo de amarre.

Se procederá al desmantelamiento de todas las estachas y cables del buque y a su sustitución por otras que cumplan con los nuevos requisitos de carga de rotura exigidos por el numeral de equipo.

A partir del nuevo numeral de equipo obtenido al principio de este apartado, se procederá a extraer la información relacionada con el equipo de amarre.

Para el remolque se precisará un cabo con una longitud de 220 metros y una carga de rotura de 885 kN. Las características del cabo de remolque seleccionado se encuentran en la Tabla 5.28.

Tabla 5.28 Características del cabo de remolque.

<b>CABO DE REMOLQUE</b>		
<b>Material</b>	RILON	
<b>Carga de rotura</b>	109.720	<b>(kgf)</b>
<b>Carga de rotura</b>	109,72	<b>(Tnf)</b>
<b>Peso por metro</b>	4,15	<b>(Kg/m)</b>
<b>Diámetro</b>	80,89	

El cable que precisa el ancla espía tendrá una longitud de 190 metros con una carga de rotura de 515 KN. Las características del cable del ancla espía seleccionada se encuentran en la Tabla 5.29.

Tabla 5.29 Cable ancla espía.

<b>CABLE ANCLA ESPÍA</b>		
<b>Material</b>	RILON	
<b>Carga de rotura</b>	55.880	<b>(kgf)</b>
<b>Carga de rotura</b>	55,88	<b>(Tnf)</b>
<b>Peso por metro</b>	2,03	<b>(kg/m)</b>
<b>Diámetro</b>	56,37	

Por último, en cuanto a las amarras se precisarán como mínimo 5 unidades de una longitud de 190 metros y una carga de rotura de 350 KN cada una. Las características de las amarras seleccionadas se encuentran recogidas en la Tabla 5.30.

Tabla 5.30 Amarras seleccionadas.

<b>AMARRAS</b>		
<b>Material</b>	CORINDON	
<b>Carga de rotura</b>	37.590	<b>(kgf)</b>
<b>Carga de rotura</b>	37,59	<b>(Tnf)</b>
<b>Peso por metro</b>	1,42	<b>(kg/m)</b>
<b>Diámetro</b>	56,37	

### 5.3.7 Bitas

Las bitas son los elementos que se emplean para hacer firmes los cabos a la cubierta del buque (véase Figura 5.3).

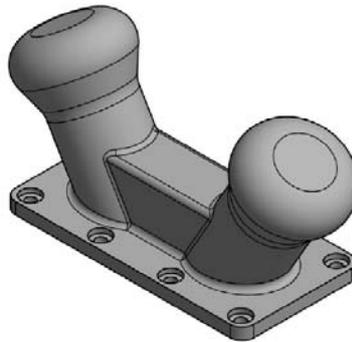


Figura 5.3 Representación tipo de bita seleccionada.

Se toma como premisa de cálculo que se mantendrá el mismo número de bitas que tenía el buque antes del alargamiento. Se puede apreciar en el plano de disposición general que el buque cuenta con 4 bitas en el castillo de proa, y otras 3 en la popa del buque. Para ahorrar espacio, en este buque se decidió suprimir algunas bitas de amarre y emplear las bitas de remolque como amarre y remolque. Por lo tanto, se han de seleccionar dos tipos bitas, unas dimensionadas con la carga de rotura del cable de remolque, y las otras dimensionadas con la carga de rotura de las amarras. Las bitas seleccionadas serán del tipo formado por una base de la cual arrancan dos cilindros ligeramente inclinados con respecto a la vertical y que tienen la cabeza achatada para evitar que los cabos hechos firme en ella no se salgan (véase Figuras 5.4 y 5.5).

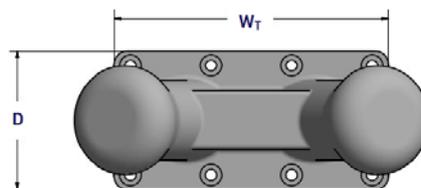


Figura 5.4 Dimensiones en planta.

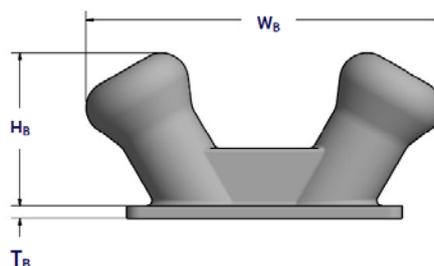


Figura 5.5 Dimensiones en perfil.

Estas bitas pueden encargarse en fundición dúctil de hierro o fundición de acero las cuales cumplen las siguientes normativas concentradas en la Tabla 5.31.

Tabla 5.31 Materiales de construcción para la fabricación de bitas.

<b>Materiales</b>	<b>Estándares</b>	<b>Grado</b>
<b>Fundición dúctil</b>	BS EN 1563 ASTM A 536 GB/T 1348	EN-GJS-450 a 500 65-45-12 a 80-55-6 QT450-10 a QT-600-3
<b>Acero fundido</b>	ASTM A148 IS 1030 GB/T 11352	65-35 a 80-50 230-430 a 340-570 Zg230-450 a zg340-640

Tabla 5.32 Carga de rotura de las bitas.

<b>Dimensiones</b>		<b>Capacidad de las bitas (toneladas-fuerzas)</b>							
		<b>20</b>	<b>30</b>	<b>50</b>	<b>75</b>	<b>100</b>	<b>125</b>	<b>150</b>	<b>200</b>
<b>T<sub>B</sub></b>	<b>(mm)</b>	20	20	25	40	50	60	60	60
<b>H<sub>B</sub></b>	<b>(mm)</b>	300	350	420	510	600	700	750	840
<b>W<sub>B</sub></b>	<b>(mm)</b>	680	780	950	1.140	1.330	1.535	1.670	1.860
<b>W<sub>T</sub></b>	<b>(mm)</b>	540	610	720	870	1.020	1.170	1.270	1.430
<b>D</b>	<b>(mm)</b>	280	310	360	440	520	590	640	720

Como la carga de rotura de los cables de remolque es de 109,7 Tnf, se seleccionará la bita con una capacidad de 125 Tnf (véase Tabla 5.32). Mientras que las bitas que llevarán únicamente amarras serán las que cuenten con una capacidad de 50 Tnf (véase Tabla 5.33) por ser la carga de rotura de 37 Tnf.

Por tanto, las dimensiones características de las bitas seleccionadas se recogen en la Tabla 5.33.

Tabla 5.33 Características de las bitas seleccionadas.

<b>DIMENSIONES (mm)</b>	<b>CAPACIDAD</b>	
	<b>50 (Tnf)</b>	<b>125 (Tnf)</b>
<b>T<sub>B</sub></b>	25	60
<b>H<sub>B</sub></b>	420	700
<b>W<sub>B</sub></b>	950	1.535
<b>W<sub>T</sub></b>	720	117
<b>D</b>	360	590

Se dispondrán 3 bitas de remolque y una de amarre en proa, mientras que, en popa, 2 de remolque y 1 de amarre.

## 5.4 MEDIOS DE SALVAMENTO

Como consecuencia del alargamiento, también resulta necesario comprobar si esta transformación implica algún cambio en el número y características de los medios de salvamento que tiene que tener el buque. Para determinar los dispositivos de salvamento que ha de llevar el buque se acudirá a la parte B del código SOLAS, edición refundida de 2014, Sección 1.

### 5.4.1 Comunicaciones

Según la regla 6.2.1 al ser un buque con un arqueo bruto mayor de 500 GT, deberá de llevar 3 aparatos radiotelefónicos bidireccionales de ondas métricas (véase Ilustración 5.1). Dichos aparatos hacen posible que en caso de tener que abandonar el buque por una emergencia, los tripulantes puedan comunicarse a corta distancia (5 millas náuticas) de forma bidireccional con las embarcaciones que se encuentren en ese radio de acción. Como el buque sigue teniendo un arqueo superior a 500 GT, no habrá diferencias entre el buque sin transformar y el buque transformado.



Ilustración 5.1. Aparatos radioeléctricos bidireccionales de ondas métricas.

Según la regla 6.2.2 deberá de llevar un dispositivo de localización de búsqueda y salvamento a cada banda. Dichos dispositivos se deben ajustar a lo especificado en las normas plasmadas en las resoluciones A.809(19) y MSC.246(83)) Irán estibados en lugares desde los que se puedan colocarse rápidamente en cualquier embarcación de supervivencia que no sean balsas salvavidas. En cuanto a estos dispositivos no habrá modificaciones.

### 5.4.2 Bengalas

Según la regla 6.3 el buque irá provisto de un mínimo de 12 cohetes lanza bengalas con paracaídas, e irán estibados en el puente de gobierno o en sus proximidades. No hay variación con respecto a las que había en el buque transformado.

### 5.4.3 Sistemas de comunicaciones de a bordo y sistema de alarma

Según la regla 6.4.1, el buque irá provisto de un sistema de emergencia constituido por equipo fijo o portátil, o por ambos, para poder mantener comunicaciones bidireccionales entre los puestos de emergencia, los puntos de reunión y de embarco y puntos estratégicos a bordo.

Debe llevar instalado también un sistema de alarma general de emergencia, el cual se empleará para reunir a los tripulantes en los puntos acordados e iniciar las operaciones indicadas en el cuadro de obligaciones. Dicho sistema irá complementado con un sistema megafónico para que pueda ser audible en todas las instancias del buque. No hay variación con respecto a las que había en el buque transformado.

### 5.4.4 Aros salvavidas

Según la regla 7.1 habrá aros salvavidas en ambas bandas de la cubierta de intemperie por ser la única expuesta de banda a banda con la que cuenta este buque. También habrá uno en las proximidades de la popa del buque en esta misma cubierta. Estos aros salvavidas en ningún caso irán estibados con elementos de fijación permanente, pues para cumplir su finalidad han de poder soltarse a la mayor celeridad posible.

Al menos uno de dichos aros salvavidas contará con una rabiza de una longitud de 30 metros (véase Ilustración 5.2), ya que, según dicha regla, la longitud debe ser el doble de la altura donde se encuentra dicho aro salvavidas o 30 metros, la distancia mayor. En este caso, al encontrarse la cubierta superior a 17 metros, si a esta distancia se le resta el calado del buque (6,2 metros) y se duplica, nos da un valor de 21,6 metros, que es menor que 30. Por lo que la rabiza de dichos aros salvavidas será de 30 metros.

La mitad del número total de aros salvavidas estarán provistos de luces de encendido automático. Al menos dos de los aros que lleven dichas luces, también llevarán señales fumígenas de funcionamiento automático. Estos aros no podrán ser los mismos que los que cuenten con la rabiza flotante. Todos los aros deberán ir marcados en letras latinas con el nombre del buque al que pertenece y su puerto de matrícula.



Ilustración 5.2. Aro salvavidas con señal luminosa y rabiza flotante.

#### 5.4.5 Chalecos salvavidas

Deberá haber uno por cada uno de los tripulantes con los que cuente dicho buque, según lo expuesto en la regla 7.2. Como la habilitación no se ha visto afectada durante esta transformación, el número de tripulantes con el que operaba el buque sin transformar, y con los que operará el buque transformado será el mismo. Por lo tanto, el número de chalecos salvavidas tampoco se verá alterado.

### 5.5 APLICACIÓN DEL CÓDIGO INTERNACIONAL PARA PREVENIR ABORDAJES (RIPA).

El RIPA es el Reglamento Internacional para Prevenir Abordajes, y es de obligatorio su cumplimiento para todos los buques. Este código especifica las regulaciones sobre la navegación, las luces de situación y señales luminosas, o señales acústicas que han de disponer los buques para que puedan realizar su navegación de forma segura y de esta forma prevenir abordajes.

Como muchas de estas indicaciones se especifican en función de la eslora del buque, se ha de comprobar si el buque transformado ha visto modificados sus elementos luminosos o acústicos con respecto a los que precisaba el buque sin transformar.

En cuanto a las luces y su distribución en el buque, se hace una diferenciación a partir de los 50 metros de eslora. Como la eslora del buque sin transformar y el buque transformado superan dicha cantidad, las luces no se verán afectadas por el alargamiento. Las luces, y su alcance de visibilidad, que llevaba el buque sin transformar y, por tanto, llevará el buque alargado son:

- Luz de tope a proa, 6 millas.
- Luz de tope a popa, más alta que la de proa, 6 millas.
- Luces de costado, 3 millas.
- Luz de alcance, 3 millas.
- Luz todo horizonte blanca a proa (fondeo), 3 millas.
- Luz todo horizonte blanca a popa (fondeo), 3 millas.
- Dos luces rojas todo horizonte en vertical (buque sin gobierno), 3 millas.

Asimismo, tiene que lucir las siguientes marcas cuando se den las situaciones descritas a continuación:

- Dos bolas en vertical para indicar buque sin gobierno.
- Bola en proa y popa para indicar buque fondeado.

En cuanto al equipo para señales acústicas, el RIPA realiza una última diferenciación una vez superada los 100 metros de eslora. Como tanto el buque sin transformar, como el buque alargado superan los 100 metros de eslora, el equipo de señales acústicas tampoco se verá afectado por ninguna modificación. Por tanto, el buque transformado llevará un pito, una campana y un gong (cuyo sonido no sea confundible con el de una campana) como llevaba el buque sin transformar.

## CAPÍTULO 6: SEGUNDA VUELTA A LA ESPIRAL DE PROYECTO.

Para iniciar la segunda vuelta a la espiral de proyecto se han de recuperar los datos de los equipos de fondeo y amarre que se han desinstalado del buque transformado. (véase Tabla)

Según Bureau Veritas, en la sección 5 del capítulo 13 denominado Sistemas de Control de Buques, que se encuentra en la parte 3 del conjunto de Reglas y regulaciones para la clasificación de buques, en el punto 7.2.6 se refleja la conformidad de la sociedad de Clasificación en permitir a aquellos buques que no transiten rutas en las que su seguridad se pueda ver afectada sustancialmente, estibar el ancla de respeto en tierra. Como el buque a estudio realiza una ruta por el Mediterráneo, no se considera como una ruta peligrosa y, por tanto, se considerará que dicha ancla no se ha tenido en cuenta a la hora de realizar el cálculo del peso en rosca del buque sin transformar. En cuanto a los elementos de fondeo y amarre que lleva el buque sin transformar, y que hay que desembarcar, se extraerán sus características técnicas del valor de numeral de equipo que le corresponde, es decir 1390 (véase Tabla 5.11).

Para las amarras se han desechado 4 unidades de una longitud de 180 metros y con carga de rotura de 325 KN cada una. Las características de las amarras del buque sin alargar se encuentran recogidas en la Tabla 6.1.

Tabla 6.1 Características de las amarras a desechar del buque transformado.

<b>AMARRAS</b>		
<b>Material</b>	CORINDON	
<b>Carga de rotura</b>	27.430	<b>(kgf)</b>
<b>Carga de rotura</b>	27,43	<b>(Tnf)</b>
<b>Peso por metro</b>	1,04	<b>(kg/m)</b>
<b>Diámetro</b>	24,19	<b>(mm)</b>

El cabo de remolque desechado tenía una longitud de 200 metros y una carga de rotura de 835 kN. Las características del cabo de remolque del buque sin alargar se encuentran en la Tabla 6.2.

Tabla 6.2 Característica del cabo de remolque a desechar del buque transformado.

<b>CABO DE REMOLQUE</b>		
<b>Material</b>	RILENE	
<b>Carga de rotura</b>	88.390	<b>(kgf)</b>
<b>Carga de rotura</b>	88,39	<b>(Tnf)</b>
<b>Peso por metro</b>	5,12	<b>(Kg/m)</b>
<b>Diámetro</b>	40,4	<b>(mm)</b>

En cuanto a la posición que ocupan en el buque, se extraerá de los planos de disposición general (véase Anexo Planos). Las coordenadas de dichos elementos se recogen en la Tabla 6.3.

Tabla 6.3 Coordenadas de la localización de los elementos del sistema de fondeo y amarre a desembarcar del buque transformado.

ELEMENTOS	UNIDADES	MASA (Kg)	XG (m)	YG (m)	ZG (m)
Anclas de servicio	2	4.320	129	0	10,8
Cadena	2	26.950	124,48	0	9,05
Cabo de remolque	1	1.024	131,6	0	14,4
Amarras	5	748,8	128	0	11,35

Los elementos del sistema de fondeo y amarre que se han de incluir en el buque transformado se encuentran en el capítulo 5. En cuanto a la posición que tomarán en el buque será la misma que tenían esos mismos equipos en el buque sin transformar (véase Tabla 6.4).

Tabla 6.4 Coordenadas de la localización de los elementos del sistema de fondeo y amarre a embarcar del buque transformado.

ELEMENTOS	UNIDADES	MASA (Kg)	XG (m)	YG (m)	ZG (m)
Anclas de servicio	2	4.590	129	0	10,8
Cadena	2	28.900	124,48	0	9,05
Cabo de remolque	1	913	131,6	0	14,4
Amarras	5	1.349	128	0	11,35

Tras identificar todos los elementos que se han de desechar, y aquellos que hay que incluir a bordo, se aplicarán momentos de transferencia con respecto al peso en rosca original del buque transformado a fin de obtener el nuevo peso en rosca.

Tabla 6.5 Obtención de las coordenadas del nuevo peso en rosca tras embarcar y desembarcar los elementos mencionados.

<b>OBTENCIÓN DEL NUEVO PESO EN ROSCA Y SUS CORRESPONDIENTES COORDENADAS</b>						
		TN (tn)	XG (m)	TN·XG (tn·m)	ZG (m)	TN·ZG (tn·m)
<b>ROSCA INICIAL</b>		4.741,50	53,36	252.982,73	7,91	37.505,27
<b>CEDENAS</b>	<b>Incluir</b>	57,80	124,48	7.194,94	9,05	523,09
	<b>Quitar</b>	53,90	124,48	6.709,47	9,05	487,80
<b>ANCLAS</b>	<b>Incluir</b>	9,18	129,00	1.184,22	10,80	99,14
	<b>Quitar</b>	8,64	129,00	1.114,56	10,80	93,31
<b>REMOLQUE</b>	<b>Incluir</b>	0,91	131,60	120,15	14,40	13,15
	<b>Quitar</b>	1,02	131,60	134,76	14,40	14,75
<b>AMARRE</b>	<b>Incluir</b>	1,35	128,00	172,80	11,35	15,32
	<b>Quitar</b>	1,08	128,00	138,11	11,35	12,25
<b>ROSCA FINAL</b>		4.746,10	53,42	253.557,94	7,91	37.547,87

En la Tabla 6.5 no se ha incluido la coordenada transversal pues los elementos que se han desechado y los que se han incluido se disponen en el buque de forma simétrica con respecto a crujía, por lo que la coordenada transversal del peso en rosca seguirá siendo 0.

## 6.1 EVALUACIÓN DE LOS CRITERIOS DE ESTABILIDAD.

Para evaluar la estabilidad se seguirá el mismo procedimiento que es que se llevó a cabo en el capítulo 2 del presente TFG, lo único que se verá alterado será el peso en rosca que será sustituido por el recién calculado.

### 6.1.1 Condición de plena carga, salida de puerto (condición 1)

En la condición 1 el buque llevará toda la carga que le es posible transportar y todos los tanques, tanto de combustibles como los de agua dulce, irán al 100% de su capacidad (véase tabla 2.21). Para esta condición, se incluirá el lastre de agua mínimo necesario para que el buque, como se ha comentado anteriormente, no sumerja la popa más de lo permitido por el cálculo de francobordo realizado al buque ya transformado (se detallará en el siguiente apartado de este capítulo) debido a la concentración de los fungibles al encontrarse todos en la popa del buque. Esto no quiere decir que sea el lastre necesario para que el buque pueda navegar ya que, para ello deberá cumplir con las restricciones de calado mínimo del francobordo en proa.

Tabla 6.6 Distribución de pesos en la condición a plena carga, salida de puerto, 100% de consumos.

<b>PARTIDAS DE PESOS</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Peso (tn)</b>	<b>XG (m)</b>	<b>YG (m)</b>	<b>KG (m)</b>	<b>FSM (tn·m)</b>
<b>Peso en rosca</b>	1	4.746,100	53,400	0,000	7,910	0
<b>Combustible y provisiones</b>	1	3.311,000	61,203	0,000	10,650	0
<b>Carga</b>	1	608,130	39,650	1,590	3,890	0
<b>Agua de lastre</b>	1	481,440	122,270	0,000	5,920	0
<b>Almacén Aceite auxiliar</b>	100%	8,334	8,417	-7,535	6,069	0
<b>Almacén Aceite principal</b>	100%	3,066	8,945	-6,370	6,010	0
<b>N°19 ER</b>	100%	24,127	8,616	2,949	3,318	0
<b>N° 20</b>	100%	50,588	3,924	0,000	6,142	0
<b>N°16 BR</b>	100%	48,727	17,442	3,294	1,080	0
<b>N°16 ER</b>	100%	48,727	17,442	-3,294	1,080	0
<b>N°19 BR</b>	100%	24,127	8,616	-2,949	3,318	0
<b>RESULTADO</b>		9.354	57,885	0,095	8,409	

Las características hidrostáticas del buque en dicha condición para los distintos ángulos de escora están reflejadas en las Tablas 6.7 y 6.8

Tabla 6.7 Características hidrostáticas para la condición 1, para ángulos entre 0 y 40.

ÁNGULOS DE ESCORA (°)	0	10	20	30	40
<b>GZ (m)</b>	-0,096	0,041	0,183	0,386	0,598
<b>Brazo dinámico (m*rad)</b>	0,0000	-0,0046	0,0143	0,0634	0,1494
<b>Desplazamiento (tn)</b>	9.354	9.354	9.355	9.354	9.354
<b>Calado en proa (m)</b>	4,969	4,930	4,825	4,623	4,172
<b>Calado en popa (m)</b>	6,154	6,100	5,943	5,666	5,128
<b>Eslora de la flotación (m)</b>	135,673	135,731	135,892	136,225	137,138
<b>Manga de la flotación (m)</b>	18,230	18,399	18,913	19,464	18,903
<b>Superficie mojada (m<sup>2</sup>)</b>	3.001,84	2.996,57	2.998,99	3.028,02	3.054,71
<b>Área de la flotación (m<sup>2</sup>)</b>	2.188,06	2.164,25	2.167,95	2.214,42	2.236,32
<b>Coefficiente prismático</b>	0,713	0,719	0,733	0,753	0,770
<b>Coefficiente de bloque</b>	0,605	0,581	0,500	0,448	0,441
<b>LCB (%)</b>	-6,465	-6,462	-6,461	-6,453	-6,448
<b>LCF (%)</b>	-8,087	-6,714	-5,766	-5,025	-4,102
<b>Inclinación máxima (deg)</b>	0,527	10,013	20,0053	30,002	40,001
<b>Ángulo de trimado (deg)</b>	0,527	0,521	0,498	0,464	0,426

Tabla 6.8 Características hidrostáticas para la condición 1, para ángulos entre 40 y 90.

ÁNGULOS DE ESCORA (°)	50	60	70	80	90
<b>GZ (m)</b>	0,825	1,065	1,018	0,722	0,297
<b>Brazo dinámico (m*rad)</b>	0,2728	0,4398	0,6261	0,7806	0,8706
<b>Desplazamiento (tn)</b>	9.354	9.354	9.354	9.354	9.354
<b>Calado en proa (m)</b>	3,220	1,335	-2,370	-13,703	n/a
<b>Calado en popa (m)</b>	4,062	2,203	-1,156	-10,649	n/a
<b>Eslora de la flotación (m)</b>	137,544	135,323	136,097	137,964	139,156
<b>Manga de la flotación (m)</b>	19,046	17,575	16,218	15,344	14,994
<b>Superficie mojada (m<sup>2</sup>)</b>	3.124,77	3.185,74	3.169,65	3.161,31	3.172,79
<b>Área de la flotación (m<sup>2</sup>)</b>	2.342,27	2.233,96	2.031,52	1.885,74	1.818,15
<b>Coefficiente prismático</b>	0,784	0,807	0,810	0,806	0,807
<b>Coefficiente de bloque</b>	0,443	0,520	0,612	0,705	0,734
<b>LCB (%)</b>	-6,444	-6,434	-6,440	-6,443	-6,450
<b>LCF (%)</b>	-2,965	-1,290	-2,004	-2,549	-2,782
<b>Inclinación máxima (deg)</b>	50,000	60,000	70,000	80,000	90,000
<b>Ángulo de trimado (deg)</b>	0,3751	0,3869	0,5410	1,3600	n/a

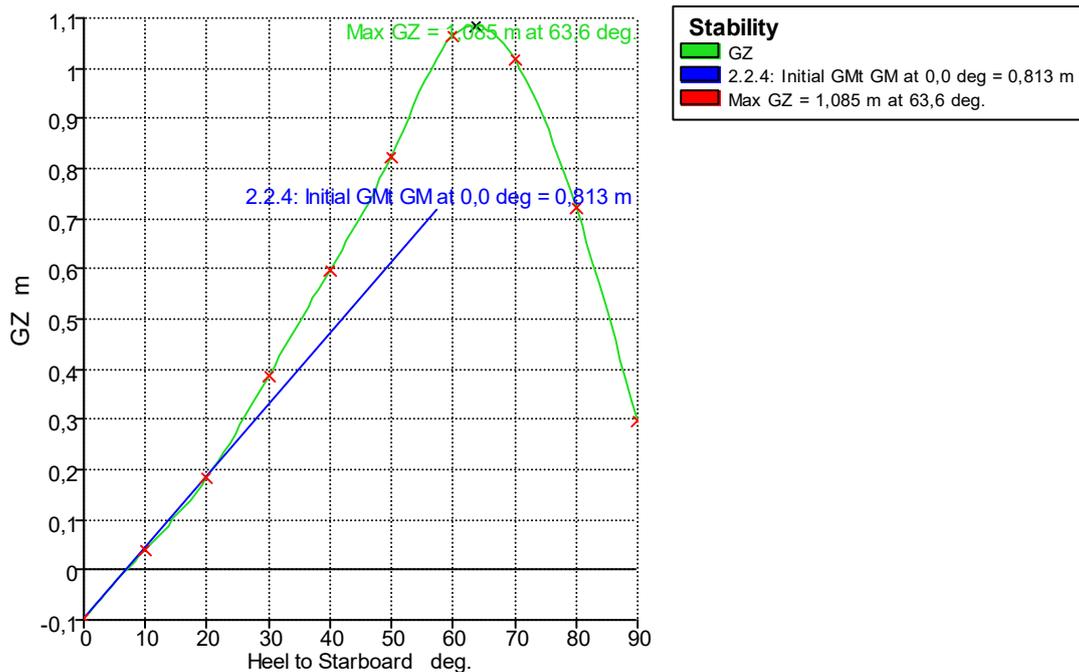


Gráfico 6.1 Curva GZ para la condición 1.

Tabla 6.9 Evaluación de criterios de estabilidad para la condición 1.

CRITERIOS	Valor	Unidades	Actual	Estado
2.2.1: Área de 0° a 30°	0,055	(m·rad)	0,0634	Cumple
2.2.1: Área de 0° a 40°	0,09	(m·rad)	0,1494	Cumple
2.2.1: Área de 30° a 40°	0,03	(m·rad)	0,0860	Cumple
2.2.2: Máx. GZ° a 30° o mayor	0,2	(m)	1,085	Cumple
2.2.3: Máximo ángulo de GZ	25	(deg)	63,6	Cumple
2.2.4: GMt inicial	0,15	(m)	0,813	Cumple

### 6.1.2 Condición de plena carga, llegada a puerto (condición 2).

En la condición 2 el buque irá al 100% de su capacidad de carga y con un 10% de fungibles. Para cumplir la estrategia planteada al inicio de este apartado, lo que se realizará será calcular el cómputo total en cuanto a volumen se refiere de cada uno de los fungibles que lleve el buque, y se les aplicará el 10%. Una vez calculados estos volúmenes se tratará de hallar aquellos tanques que tengan una capacidad similar, se encuentren en crujía y que estén destinados a albergar dicho fungible. De esta forma se evitará, dentro de lo posible, el efecto por superficies libres (véase Tabla 6.10).

Tabla 6.10 Distribución de pesos de la condición 2.

<b>PARTIDAS DE PESOS</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Peso (tn)</b>	<b>XG (m)</b>	<b>YG (m)</b>	<b>KG (m)</b>	<b>FSM (tn·m)</b>
<b>Carga</b>	1	3.311,000	61,203	0,000	10,650	0
<b>Peso en rosca</b>	1	4.746,100	53,400	0,000	7,910	0
<b>Fuel oil</b>	1	34,740	45,390	8,021	4,180	0
<b>Uso diario d.o central</b>	1	5,790	15,640	-7,225	10,242	0
<b>Uso diario d.o costado</b>	1	5,790	15,640	-8,475	10,242	0
<b>N°8 (B)BR</b>	49,12%	40,914	85,687	-7,807	3,338	4,026
<b>Almacén Aceite Auxiliar</b>	10%	8,334	8,407	-7,231	5,157	2,959
<b>Almacén Aceite Principal</b>	10%	3,066	8,945	-6,370	5,119	0,205
<b>N°19 ER</b>	39,85%	24,127	8,724	2,482	2,555	36,192
<b>Total</b>			56,509	0,006	8,995	43,382
<b>Corrección por superficie libre</b>					0,000	
<b>Resultado</b>					8.,995	

En la Tabla 6.10 se puede apreciar que no hay corrección por superficies libres puesto que ninguno de los tanques que se encuentran llenos parcialmente cumplen el criterio exigido por la OMI expuesto anteriormente en la fórmula (59).

Las características hidrostáticas del buque en dicha condición para los distintos ángulos de escora están reflejadas es las Tablas 6.11 y 6.12

Tabla 6.11 Características hidrostáticas para la condición 2, para ángulos entre 0 y 40.

<b>ÁNGULOS DE ESCORA (°)</b>	<b>0</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>30</b>	<b>40</b>
<b>GZ (m)</b>	-0,006	0,056	0,140	0,264	0,322
<b>Brazo dinámico (m·rad)</b>	0,0000	0,0042	0,0206	0,0561	0,1082
<b>Desplazamiento (tn)</b>	8.134	8.134	8.134	8.134	8.134
<b>Calado en proa (m)</b>	4,046	4,030	3,924	3,693	3,177
<b>Calado en popa (m)</b>	5,886	5,801	5,609	5,286	4,660
<b>Eslora de la flotación (m)</b>	136,924	137,202	137,319	137,497	137,551
<b>Manga de la flotación (m)</b>	18,165	18,326	18,764	18,886	18,117
<b>Superficie mojada (m<sup>2</sup>)</b>	2.807,86	2.797,43	2.825,65	2.832,21	2.835,58
<b>Área de la flotación</b>	2.116,91	2.096,27	2.113,93	2.126,48	2.120,08
<b>Coefficiente prismático</b>	0,670	0,677	0,695	0,716	0,739
<b>Coefficiente de bloque</b>	0,550	0,540	0,464	0,424	0,426
<b>LCB (%)</b>	-7,880	-7,874	-7,867	-7,858	-7,848
<b>LCF (%)</b>	-8,673	-7,274	-6,044	-5,403	-4,682
<b>Inclinación máxima (deg)</b>	0,8194	10,0298	20,0119	30,0057	40,0027
<b>Ángulo de trimado (deg)</b>	0,8194	0,7889	0,7504	0,7095	0,6607

Tabla 6.12 Características hidrostáticas para la condición 2, para ángulos entre 40 y 90.

ÁNGULOS DE ESCORA (°)	50	60	70	80	90
<b>GZ (m)</b>	0,392	0,599	0,547	0,232	-0,206
<b>Brazo dinámico (m·rad)</b>	0,1685	0,2556	0,3605	0,4312	0,4343
<b>Desplazamiento (tn)</b>	8.134	8.134	8.134	8.134	8.134
<b>Calado en proa (m)</b>	2,156	0,027	-4,592	-18,499	n/a
<b>Calado en popa (m)</b>	3,475	1,359	-2,443	-13,301	n/a
<b>Eslora de la flotación (m)</b>	137,452	133,660	134,874	137,023	138,520
<b>Manga de la flotación (m)</b>	18,275	17,639	16,169	15,287	14,937
<b>Superficie mojada (m<sup>2</sup>)</b>	2.896,7	2.978,06	2.949,16	2.952,01	2.956,15
<b>Área de la flotación</b>	2.209,95	2210,55	1.979,14	1.845,36	1.781,54
<b>Coefficiente prismático</b>	0,757	0,791	0,792	0,787	0,788
<b>Coefficiente de bloque</b>	0,429	0,489	0,586	0,680	0,696
<b>LCB (%)</b>	-7,823	-7,825	-7,835	-7,840	-7,849
<b>LCF (%)</b>	-3,729	-2,231	-3,156	-3,404	-3,559
<b>Inclinación máxima (deg)</b>	50,001	60,000	70,000	80,000	90,000
<b>Ángulo de trimado (deg)</b>	0,587	0,593	0,957	2,314	n/a

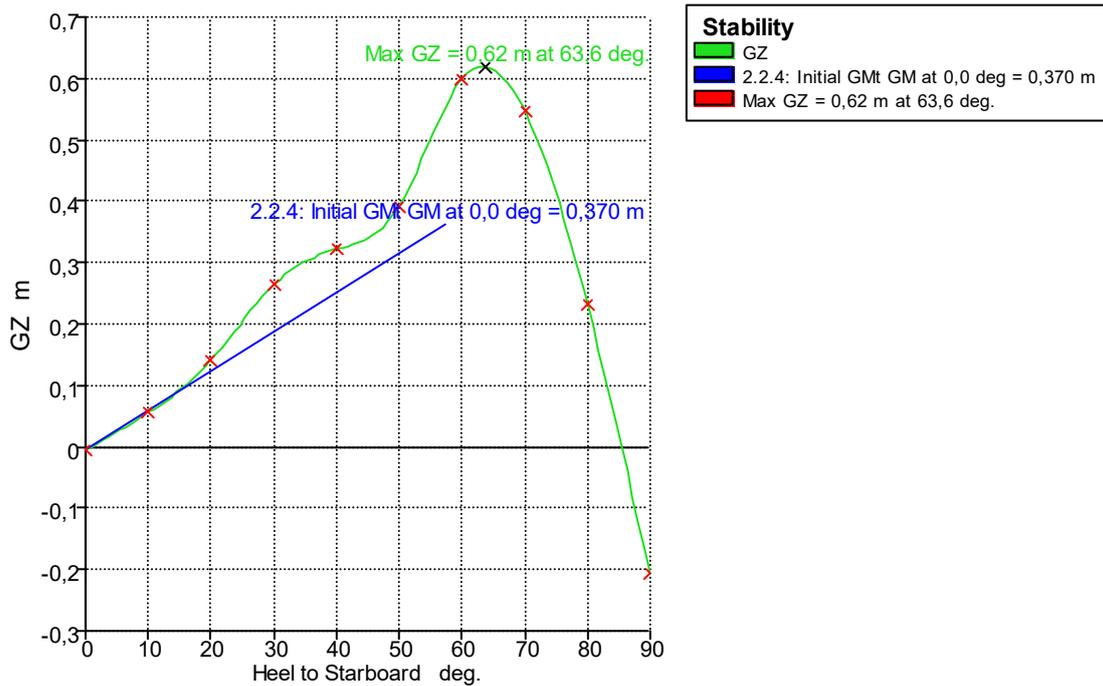


Gráfico 6.2 Gráfica GZ para la condición 2.

Como se puede apreciar en la Tabla 6.13, el buque transformado cumple con los criterios de estabilidad en la condición 2.

Tabla 6.13 Evaluación de criterios de estabilidad para la condición 2.

<b>CRITERIOS</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>	<b>Actual</b>	<b>Estado</b>
<b>2.2.1: Área de 0° a 30°</b>	0,055	<b>(m·rad)</b>	0,0561	Cumple
<b>2.2.1: Área de 0° a 40°</b>	0,09	<b>(m·rad)</b>	0,1082	Cumple
<b>2.2.1: Área de 30° a 40°</b>	0,03	<b>(m·rad)</b>	0,0521	Cumple
<b>2.2.2: Máx. GZ° a 30° o mayor</b>	0,2	<b>(m)</b>	0,620	Cumple
<b>2.2.3: Máximo ángulo de GZ</b>	25	<b>(deg)</b>	63,6	Cumple
<b>2.2.4: GMt inicial</b>	0,15	<b>(m)</b>	0,370	Cumple

### 6.1.3 Condición de lastre, salida de puerto (condición 3)

En la condición 3, el buque transformado no llevará ningún tipo de carga. En su lugar lastrará el mínimo de agua posible en sus tanques destinados a esta función con el fin de que la hélice se encuentre sumergida (véase Tabla 6.14). Con respecto a los combustibles y pertrechos irá avituallado con las mismas cantidades que lo expuesto en la condición 1.

Como se puede observar en la Tabla 6.17, el buque transformado cumple con la condición 3 dictada por la OMI en cuanto a estabilidad se refiere.

Tabla 6.14 Distribución de pesos para la condición 3.

<b>PARTIDA DE PESOS</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Peso (tn)</b>	<b>XG (m)</b>	<b>YG (m)</b>	<b>KG (m)</b>	<b>MLS (tn·m)</b>
<b>Peso en rosca</b>	1	4.746,100	53,400	0,000	7,910	0
<b>Combustible y provisiones</b>	1	1.163,350	58,500	-0,006	2,850	0
<b>Agua de lastre</b>	1	608,130	39,650	1,590	3,890	0
<b>Almacén Aceite auxiliar</b>	100%	8,334	8,417	-7,535	6,069	0
<b>Almacén Aceite principal</b>	100%	3,066	8,945	-6,370	6,010	0
<b>N°19 ER</b>	100%	24,127	8,616	2,949	3,318	0
<b>N° 20</b>	100%	50,588	3,924	0,000	6,142	0
<b>N°16 BR</b>	100%	48,727	17,442	3,294	1,080	0
<b>N°16 ER</b>	100%	48,727	17,442	-3,294	1,080	0
<b>N°19 BR</b>	100%	24,127	8,616	-2,949	3,318	0
<b>Resultante</b>			51,748	0,130	6,523	

Tabla 6.15 Características hidrostáticas para la condición 3, para ángulos entre 0 y 40.

ÁNGULOS DE ESCORA (°)	0	10	20	30	40
<b>GZ (m)</b>	-0,132	0,440	1,012	1,532	1,880
<b>Brazo dinámico (m·rad)</b>	0,0000	0,0269	0,1537	0,3776	0,6775
<b>Desplazamiento (tn)</b>	6.725	6.725	6.725	6.725	6.725
<b>Calado en proa (m)</b>	2,372	2,361	2,264	1,945	1,271
<b>Calado en popa (m)</b>	5,969	5,883	5,670	5,315	4,638
<b>Eslora de la flotación (m)</b>	137,473	137,464	137,405	137,183	136,495
<b>Manga de la flotación (m)</b>	18,104	18,257	18,606	18,337	17,661
<b>Superficie mojada (m<sup>2</sup>)</b>	2.570,76	2.556,37	2.570,79	2.563,15	2.553,71
<b>Área de la flotación (m<sup>2</sup>)</b>	2.034,91	2.005,33	2.016,36	1974,31	1948,83
<b>Coefficiente prismático</b>	0,588	0,596	0,614	0,637	0,664
<b>Coefficiente de bloque</b>	0,455	0,464	0,410	0,385	0,389
<b>LCB (%)</b>	-12,666	-12,660	-12,654	-12,650	-12,644
<b>LCF (%)</b>	-10,916	-9,404	-7,975	-7,378	-7,029
<b>Inclinación máxima (deg)</b>	1,6025	10,1175	20,0487	30,0255	40,0137
<b>Ángulo de trimado (deg)</b>	1,6025	1,5689	1,5173	1,5014	1,4999

Tabla 6.16 Características hidrostáticas para la condición 3, para ángulos entre 40 y 90.

ÁNGULOS DE ESCORA (°)	50	60	70	80	90
<b>GZ (m)</b>	2,173	2,531	2,730	2,605	2,273
<b>Brazo dinámico (m·rad)</b>	1,0304	1,4411	1,9043	2,3742	2,8015
<b>Desplazamiento (tn)</b>	6.725	6.725	6.725	6.725	6.725
<b>Calado en proa (m)</b>	0,020	-2,610	-8,856	-27,550	n/a
<b>Calado en popa (m)</b>	3,413	1,259	-2,581	-13,553	n/a
<b>Eslora de la flotación (m)</b>	134,071	126,288	130,760	134,334	136,386
<b>Manga de la flotación (m)</b>	17,936	17,615	16,148	15,240	14,873
<b>Superficie mojada (m<sup>2</sup>)</b>	2.591,71	2.664,98	2.689,40	2.699,83	2.692,14
<b>Área de la flotación (m<sup>2</sup>)</b>	1.995,87	2.042,10	1.906,10	1.784,10	1.723,66
<b>Coefficiente prismático</b>	0,695	0,751	0,733	0,721	0,718
<b>Coefficiente de bloque</b>	0,396	0,458	0,534	0,590	0,583
<b>LCB (%)</b>	-12,635	-12,632	-12,662	-12,673	-12,695
<b>LCF (%)</b>	-7,155	-6,578	-5,178	-5,141	-5,215
<b>Inclinación máxima (deg)</b>	50,006	60,003	70,002	80,001	90,000
<b>Ángulo de trimado (deg)</b>	1,511	1,723	2,793	6,211	n/a

Tabla 6.17 Evaluación de criterios de estabilidad para la condición 3.

CRITERIOS	Valor	Unidades	Actual	Estado
2.2.1: Área de 0° a 30°	0,055	(m·rad)	0,3776	Cumple
2.2.1: Área de 0° a 40°	0,09	(m·rad)	0,6775	Cumple
2.2.1: Área de 30° a 40°	0,03	(m·rad)	0,2999	Cumple
2.2.2: Máx. GZ° a 30° o mayor	0,2	(m)	2,732	Cumple
2.2.3: Máximo ángulo de GZ	25	(deg)	70,9	Cumple
2.2.4: GMt inicial	0,15	(m)	3,355	Cumple

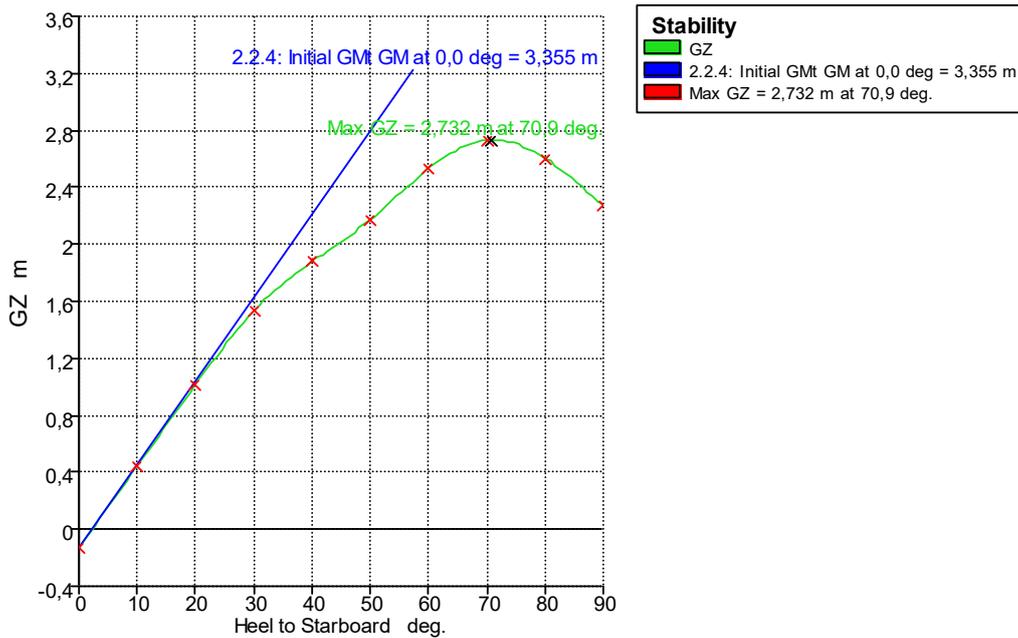


Gráfico 6.3 Curva GZ para la condición 3.

#### 6.1.4 Condición de lastre, llegada a puerto (condición 4).

En la condición 4, el buque transformado no llevará ningún tipo de carga. En su lugar lastrará el mínimo de agua posible en sus tanques destinados a esta función con el fin de que la hélice se encuentre sumergida (véase Tabla 6.18). Con respecto a los combustibles y pertrechos irá avituallado con las mismas cantidades que lo expuesto en la condición 2.

Como se puede observar en la Tabla 6.21, el buque transformado cumple con la condición 4 dictada por la OMI en cuanto a estabilidad se refiere.

Tabla 6.18 Distribución de pesos para la condición 4.

<b>PARTIDAS DE PESOS</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Peso (tn)</b>	<b>XG (m)</b>	<b>YG (m)</b>	<b>KG (m)</b>	<b>FSM (tn·m)</b>
<b>Peso en rosca</b>	1	4,746,100	53,400	0,000	7,910	0,000
<b>Agua de lastre</b>	1	1182,660	47,056	-0,560	3,200	0,000
<b>Uso diario d.o central</b>	1	5,790	15,640	-7,225	10,242	0,000
<b>Uso diario d.o costado</b>	1	5,790	15,640	-8,475	10,242	0,000
<b>N°8 (B)BR</b>	49,12%	40,914	85,687	-7,807	3,338	4,026
<b>Almacén Aceite. auxiliar</b>	10%	8,334	8,407	-7,231	5,157	2,959
<b>Almacén Aceite principal</b>	10%	3,066	8,945	-6,370	5,119	0,205
<b>N°19 ER</b>	38,85%	24,127	8,726	2,474	2,539	36,192
<b>Total</b>			52,100	-0,150	6,957	43,382
<b>Corrección por superficie libre</b>					0,000	
<b>Resultado</b>					6,958	

Tabla 6.19 Características hidrostáticas para la condición 4, para ángulos entre 0 y 40.

<b>ÁNGULOS DE ESCORA (°)</b>	<b>0</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>30</b>	<b>40</b>
<b>GZ (m)</b>	0,150	0,679	1,217	1,637	1,848
<b>Brazo dinámico (m·rad)</b>	0,0000	0,0721	0,2382	0,4900	0,7965
<b>Desplazamiento (tn)</b>	5971	5971	5971	5971	5971
<b>Calado en proa (m)</b>	2,123	2,136	2,060	1,721	1,014
<b>Calado en popa (m)</b>	5,516	5,390	5,128	4,704	3,935
<b>Eslora de la flotación (m)</b>	136,014	137,328	137,271	137,000	136,092
<b>Manga de la flotación (m)</b>	18,021	18,149	18,330	17,591	16,849
<b>Superficie mojada (m<sup>2</sup>)</b>	2.423,86	2.422,43	2.440,85	2.414,88	2.400,61
<b>Área de la flotación (m<sup>2</sup>)</b>	1.956,31	1.948,54	1.956,53	1.891,57	1.859,85
<b>Coefficiente prismático</b>	0,581	0,587	0,610	0,636	0,665
<b>Coefficiente de bloque</b>	0,444	0,453	0,397	0,381	0,387
<b>LCB (%)</b>	-12,314	-12,316	-12,308	-12,301	-12,293
<b>LCF (%)</b>	-9,940	-9,044	-7,934	-7,382	-7,080
<b>Inclinación máxima (deg)</b>	1,5114	10,1003	20,0395	30,0200	40,0103
<b>Ángulo de trimado (deg)</b>	1,5114	1,4494	1,3666	1,3287	1,3010

Tabla 6.20 Características hidrostáticas para la condición 4, para ángulos entre 40 y 90.

ÁNGULOS DE ESCORA (°)	50	60	70	80	90
<b>GZ (m)</b>	2,001	2,232	2,412	2,281	1,938
<b>Brazo dinámico (m·rad)</b>	1,1319	1,5004	1,9087	2,3227	2,6923
<b>Desplazamiento (tn)</b>	5971	5971	5971	5970	5970
<b>Calado en proa (m)</b>	-0,288	-2,968	-9,308	-28,498	n/a
<b>Calado en popa (m)</b>	2,602	0,228	-4,297	-17,164	n/a
<b>Eslora de la flotación (m)</b>	131,731	125,569	130,286	134,179	136,346
<b>Manga de la flotación (m)</b>	17,075	17,642	16,087	15,184	14,837
<b>Superficie mojada (m<sup>2</sup>)</b>	2.426,65	2.513,46	2.557,56	2.567,95	2.564,10
<b>Área de la flotación (m<sup>2</sup>)</b>	1.895,88	1.976,08	1.887,67	1.768,29	1.707,37
<b>Coefficiente prismático</b>	0,707	0,755	0,739	0,727	0,726
<b>Coefficiente de bloque</b>	0,401	0,437	0,522	0,598	0,591
<b>LCB (%)</b>	-12,281	-12,274	-12,287	-12,307	-12,327
<b>LCF (%)</b>	-7,494	-7,549	-5,350	-5,285	-5,323
<b>Inclinación máxima (deg)</b>	50,005	60,003	70,001	80,001	90,000
<b>Ángulo de trimado (deg)</b>	1,287	1,423	2,231	5,036	n/a

Tabla 6.21 Evaluación de criterios de estabilidad para la condición 4.

CRITERIOS	Valor	Unidades	Actual	Estado
<b>2.2.1: Área de 0° a 30°</b>	0,055	(m·rad)	0,4900	Cumple
<b>2.2.1: Área de 0° a 40°</b>	0,09	(m·rad)	0,7965	Cumple
<b>2.2.1: Área de 30° a 40°</b>	0,03	(m·rad)	0,3065	Cumple
<b>2.2.2: Máx. GZ° a 30° o mayor</b>	0,2	(m)	2,414	Cumple
<b>2.2.3: Máximo ángulo de GZ</b>	25	(deg)	70,9	Cumple
<b>2.2.4: GMt inicial</b>	0,15	(m)	3,012	Cumple

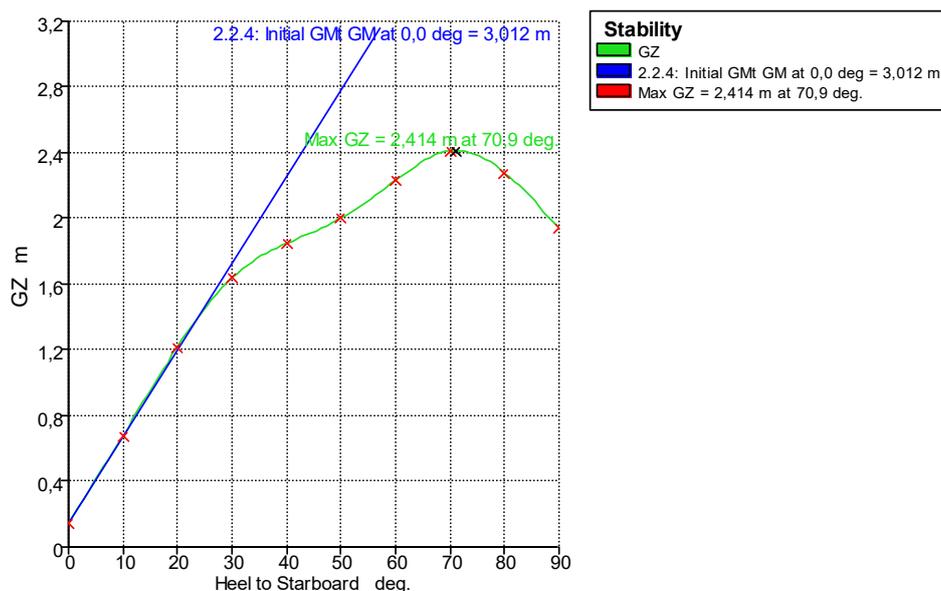


Gráfico 6.4 Curva GZ para la condición 4

## 6.2 COMPROBACIÓN DE LA RESISTENCIA AL AVANCE Y LA POTENCIA PROPULSORA NECESARIA

El procedimiento que se llevará a cabo es el mismo que el que se realizó en el capítulo 2. Se introducirán los pesos correspondientes a la condición de plena carga, salida de puerto, y se hallarán sus parámetros de arquitectura naval (véase Tabla 6.22) con los que se realizará la estimación de la resistencia al avance mediante el método de *Holtrop y Mennen*.

Tabla 6.22 Parámetros de arquitectura naval para el buque alargado.

<b>DATOS INICIALES BUQUE ALARGADO</b>		
<b>Calado en proa</b>	4,94	<b>(m)</b>
<b>Calado en popa</b>	6,13	<b>(m)</b>
<b>Eslora de la flotación</b>	135,712	<b>(m)</b>
<b>Manga de la flotación</b>	18,31	<b>(m)</b>
<b>Superficie mojada</b>	3.008,8	<b>(m<sup>2</sup>)</b>
<b>Área de la flotación</b>	2.171,64	<b>(m<sup>2</sup>)</b>
<b>Coefficiente Prismático</b>	0,716	
<b>Coefficiente de bloque</b>	0,609	
<b>Coefficiente de la maestra</b>	0,853	
<b>Coefficiente de la flotación</b>	0,874	
<b>LCB con respecto a la sección media</b>	-6,46	<b>(%)</b>
<b>Volumen de carena</b>	9.116,96	<b>(m<sup>3</sup>)</b>
<b>Densidad</b>	1026	<b>(Kg/m<sup>3</sup>)</b>
<b>Desplazamiento</b>	9.354	<b>(tn)</b>
<b>Viscosidad cinemática</b>	$1,18831 \cdot 10^{-6}$	<b>(m<sup>2</sup>/s)</b>
<b>Área sumergida del espejo</b>	8,77	<b>(m<sup>2</sup>)</b>
<b>Altura del centroide del bulbo en P<sub>PR</sub></b>	2,9	<b>(m)</b>
<b>Área de la sección transversal del bulbo en P<sub>PR</sub></b>	8,68	<b>(m<sup>2</sup>)</b>
<b>Área del timón</b>	30,8	<b>(m<sup>2</sup>)</b>

Como se procedió en el capítulo 2, se han de calcular todas las resistencias que conforman la resistencia total al avance. El resultado de la resistencia viscosa se encuentra en la Tabla 6.23, los de la resistencia por formación de olas se plasma en la Tabla 6.24, seguidamente, en la Tabla 6.25 se muestra el resultado de la resistencia por la presencia de bulbo. En la Tabla 6.26 se encuentra el resultado obtenido para la resistencia por correlación, y en la Tabla 6.27, el de la resistencia debida a la inmersión del espejo. Por último, en la Tabla 6.28 se plasma el valor de la resistencia por los apéndices que lleva anexado el buque transformado.

Tabla 6.23 Valor de la resistencia viscosa para el buque transformado.

<b>RESISTENCIA VISCOSA</b>		
<b>Superficie mojada</b>	3.008,8	<b>(m<sup>2</sup>)</b>
<b>Velocidad</b>	12,3	<b>(m/s)</b>
<b>Coefficiente de fricción</b>	0,00164	
<b>C<sub>stern</sub></b>	0	
<b>1+K<sub>1</sub></b>	1,235	
<b>Resistencia viscosa</b>	12.762,95	<b>(kg)</b>

Tabla 6.24 Valor de resistencia por formación de olas para el buque alargado.

<b>RESISTENCIA POR FORMACION DE OLAS</b>		
<b>c<sub>7</sub></b>	0,168	
<b>ie</b>	29,23	
<b>c<sub>1</sub></b>	2,52	
<b>c<sub>3</sub></b>	0,0487	
<b>c<sub>2</sub></b>	0.659	
<b>c<sub>5</sub></b>	0,92	
<b>λ</b>	0,857	
<b>c<sub>16</sub></b>	1,2396	
<b>m<sub>1</sub></b>	-2,11	
<b>m<sub>4</sub></b>	-0,00036	
<b>fn</b>	0,194	
<b>R<sub>w</sub></b>	1.402,81	<b>(kg)</b>

Tabla 6.25 Valor de la resistencia por la presencia de bulbo para el buque alargado.

<b>RESISTENCIA POR BULBO</b>		
<b>P<sub>B</sub></b>	2,9	
<b>F<sub>ni</sub></b>	1,466	
<b>R<sub>B</sub></b>	2.055	<b>(kg)</b>

Tabla 6.26 Valor de la resistencia por correlación para el buque alargado.

<b>RESISTENCIA POR CORRELACIÓN</b>		
<b>Superficie mojada</b>	3.008,8	<b>(m<sup>2</sup>)</b>
<b>Velocidad</b>	12,3	<b>(nudos)</b>
<b>C<sub>2</sub></b>	0,1648	
<b>C<sub>3</sub></b>	0,91	
<b>C<sub>4</sub></b>	0,04	
<b>C<sub>A</sub></b>	0,0005027	
<b>R<sub>A</sub></b>	3.166,8	<b>(kg)</b>

Tabla 6.27 Valor de la resistencia debido a la inmersión del espejo para el buque alargado.

<b>RESISTENCIA DEBIDO A LA INMERSION DEL ESPEJO</b>		
<b>Área sumergida del espejo</b>	8,68	<b>(m<sup>2</sup>)</b>
<b>F<sub>nT</sub></b>	2,86	
<b>c<sub>6</sub></b>	0,086	
<b>R<sub>TR</sub></b>	1.556,89	<b>(kg)</b>

Tabla 6.28 Valor de la resistencia debida a los apéndices para el buque alargado.

<b>RESISTENCIA DEBIDA A LOS APÉNDICES</b>		
<b>Superficie mojada de los apéndices</b>	30,8	<b>(m<sup>2</sup>)</b>
<b>Velocidad</b>	12,3	<b>(nudos)</b>
<b>Coefficiente de fricción</b>	0,001645	
<b>(1+K<sub>2</sub>)<sub>eq</sub></b>	1,3	
<b>R<sub>AP</sub></b>	137,48	<b>(kg)</b>

Tabla 6.29 Valor de la resistencia total para el buque alargado.

<b>RESISTENCIA TOTAL</b>		
<b>Resistencia viscosa</b>	12.762,95	<b>(kg)</b>
<b>Resistencia por formación de olas</b>	1.402,81	<b>(kg)</b>
<b>Resistencia por la presencia del bulbo</b>	2.055	<b>(kg)</b>
<b>Resistencia por correlación modelo-buque</b>	3.167,56	<b>(kg)</b>
<b>Resistencia de los apéndices</b>	137,48	<b>(kg)</b>
<b>Resistencia por la inmersión del espejo</b>	1.556,89	<b>(kg)</b>
<b>TOTAL</b>	21.083,97	<b>(kg)</b>

Tras obtener la resistencia total (véase la Tabla 6.29), se han de volver a calcular los distintos coeficientes y rendimientos relacionados con la propulsión del buque mediante el proceso

explicado para el buque sin alargar con el fin de comprobar la potencia que verdaderamente necesita el buque transformado

En primer lugar, se calcularán los coeficientes de estela (véase Tabla 6.30) y de succión (véase Tabla 6.31):

Tabla 6.30 Valor del coeficiente de estela.

<b>COEFICIENTE DE ESTELA</b>	
<b>c<sub>9</sub></b>	20,65
<b>c<sub>8</sub></b>	20,65
<b>c<sub>20</sub></b>	1
<b>C<sub>F</sub></b>	0,0016
<b>C<sub>A</sub></b>	0,0005
<b>C<sub>V</sub></b>	0,0025
<b>c<sub>11</sub></b>	1,53
<b>C<sub>P1</sub></b>	0,822
<b>w</b>	0,27

Tabla 6.31 Valor del coeficiente de succión.

<b>COEFICIENTE DE SUCCIÓN</b>	
<b>t</b>	0,197

Como se puede apreciar en la Tabla 6.32 la hélice seleccionada en el capítulo 2 no ha visto modificado su rendimiento y sigue sin cavitarse, por lo que será la hélice definitiva a encargarse para este buque transformado.

Tabla 6.32 Parámetros característicos de la hélice seleccionada.

<b>DATOS DE LA HÉLICE SELECCIONADA</b>		
<b><math>\delta_{max}</math></b>	68,32	
<b><math>\delta_{opt}</math></b>	69,72	
<b><math>\delta</math></b>	68,32	
<b>Diámetro</b>	4	<b>(m)</b>
<b>H/D</b>	0,78	
<b>K<sub>T</sub></b>	0,18	
<b>T</b>	30.662,6	<b>(kg)</b>
<b>(A<sub>E</sub>/A<sub>0</sub>)<sub>min</sub></b>	0,55	
<b><math>\eta_0</math></b>	0,54	
<b>Número de palas</b>	4	
<b>A<sub>E</sub>/A<sub>0</sub></b>	0,6	

Tabla 6.33 Valor de la potencia instalada necesaria.

<b>BHP NECESARIOS</b>			
<b>Espiral de proyecto</b>	<b>1ª vuelta</b>	<b>2ª vuelta</b>	
<b>EHP</b>	1.778,85	1.778,67	<b>(cv)</b>
$\eta_0$	0,545	0,545	
$\eta_H$	1,1	1,1	
$\eta_R$	1,02	1,02	
$\eta_M$	0,95	0,95	
$K_P$	0,9	0,9	
<b>BHP</b>	3.397,84	3.397,71	<b>(cv)</b>

Tabla 6.34 Comprobación de la potencia necesaria con respecto al motor seleccionado.

<b>COMPROBACIÓN</b>			
<b>Espiral de proyecto</b>	<b>1ª vuelta</b>	<b>2ª vuelta</b>	
<b>BHP (motor)</b>	3488	3488	<b>(cv)</b>
<b>BHP (necesarios)</b>	3.397, 84	3.397,71	<b>(cv)</b>
<b>Margen</b>	2,58%	2,59%	

Como se puede apreciar el resultado es prácticamente el mismo.



## CAPÍTULO 7: DATOS ECONÓMICOS

Para poder obtener unos datos económicos orientativos y clarificadores de por qué se llevan a cabo este tipo de reformas, se ha seleccionado una ruta marítima en la que este buque puede prestar servicio para realizar una estimación del incremento de flete, y diferencia en los costes operativos que este buque tendría tras el alargamiento.

La ruta seleccionada ha sido Valencia-Palma de Mallorca (véase Figura 7.1). La distancia que separa estas dos ciudades españolas es de 140,35 millas náuticas.

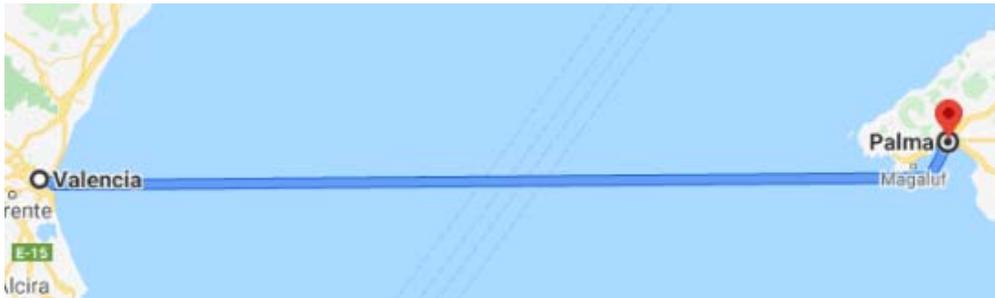


Figura 7.1 Distancia entre Valencia y Palma de Mallorca.

El cálculo se va a centrar en los costes variables de explotación del buque. Como se dispone del consumo del motor principal (véase la Tabla 7.1) y las velocidades respectivas del buque alargado y las del buque sin alargar, se puede realizar una estimación de la diferencia en cuanto a coste de combustible que supondría realizar esta ruta regular con el buque alargado y con el buque sin alargar. Concretamente, se va a evaluar la diferencia en el consumo de combustible del motor principal como consecuencia del aumento del tiempo de navegación al desarrollar el buque una velocidad menor. El consumo de los grupos diesel-generadores no será evaluado por considerar que es el mismo antes de la transformación y después de la transformación.

Tabla 7.1 Consumos del motor. Fuente: "Wärtsilä 26 Catalogue"

<b>Wärtsilä 9L26</b>					
<b>Potencia por cilindro</b>	<b>(kW/cil)</b>	<b>325</b>	<b>340</b>	<b>325</b>	<b>340</b>
<b>Revoluciones</b>	<b>(rpm)</b>	<b>900</b>	<b>1000</b>	<b>900</b>	<b>1000</b>
<b>Consumo de fuel al 100% de carga</b>	<b>(g/kWh)</b>	188,2	192	189,1	192
<b>Consumo de fuel al 85% de carga</b>	<b>(g/kWh)</b>	186,8	190,6	186,8	189,6
<b>Consumo de fuel al 75% de carga</b>	<b>(g/kWh)</b>	190,6	193,9	189,1	192
<b>Consumo de fuel al 50% de carga</b>	<b>(g/kWh)</b>	197	197	190,4	195,1

Fuente: "Wärtsilä 26 Catalogue"

La Tabla 7.2 refleja la comparativa del consumo de combustible del buque sin alargar y alargado.

Tabla 7.2 Coste de combustible por trayecto.

BUQUES	COSTE COMBUSTIBLE MOTOR PRINCIPAL							
	Consumo (gr/kWh)	Distancia (millas)	Velocidad (kn)	Tiempo (h)	Comb (tn)	Comb (m <sup>3</sup> )	Precio (€/m <sup>3</sup> )	TOTAL (€)
<b>Inicial</b>	189,60	140,35	13,00	10 h 50 min	5,3	6,8	350	2.378,2
<b>Alargado</b>	189,60	140,35	12,30	11 h 24 min	5.6	7,2	350	2.512,8

El alargamiento del buque supone un incremento del coste del combustible de en torno a 130 euros por cada trayecto.

Otro coste variable que se ve afectado son las tasas de puerto que se aplican al buque por el uso de las infraestructuras portuarias de los puertos en los que desempeñará su actividad de transporte. Este concepto se ve afectado como consecuencia de haber aumentado el arqueo bruto del buque debido al alargamiento. El puerto de Valencia está bajo la gestión de la Autoridad Portuaria de Valencia, la cual además de gestionar el puerto de Valencia, hace lo mismo con los puertos de Sagunto y Gandía. La Autoridad Portuaria de Valencia imputa la cuantía de las tasas en función del tiempo de estancia del buque en sus aguas, y el arqueo bruto del buque en cuestión. El cálculo consiste en multiplicar la centésima parte del arqueo bruto por los coeficientes correctores que le apliquen y por el número de horas.

En cuanto al número de horas se establecerá que el buque permanece en puerto unas 10 horas para poder cargar y descargar su mercancía, y reponer los pertrechos que precise.

Respecto a los coeficientes correctores, a continuación, se especificarán aquellos que apliquen. Para poder ver el efecto de dichos factores correctores, se procederá a evaluar las tarifas a aplicar tanto para el buque sin transformar, como para el alargado, en función de la estimación de viajes que se estima que se realizarán.

Al ser el tiempo de navegación de unas 11-12 horas, y la estancia en puerto de 10 horas, prácticamente se podría estimar que se realiza medio trayecto, o de ida o de vuelta, cada día. Por lo que a la semana serían un total de 3,5 trayectos completos para el buque transformado. Dada la orientación que se le ha dado a la explotación de este buque, queda definido claramente que se trata de un servicio de línea regular. En cuanto al número de viajes se puede apreciar que la diferencia de tiempo que tarda el buque transformado con respecto al buque sin transformar es de unos 30 minutos por viaje, es decir, de 1 hora por cada trayecto completo (véase Tabla 7.2). Si se evalúa este aumento en una escala de tiempo anual hace que se pueda advertir que el alargamiento tiene como efecto contraproducente la pérdida de una serie de viajes. Si el buque alargado realiza 3,5 trayectos completos a lo largo de una semana, al año realizará 168 trayectos. En ese mismo tiempo, el buque sin alargar, al tardar 1 hora menos en realizar el trayecto completo, a lo largo del año tardará 168 horas menos que el buque transformado en realizar los mismos trayectos. En este tiempo el buque sin transformar podría realizar 7 trayectos más, lo que hace un total de 175 trayectos al año frente a los 168 que realizará el buque transformado a costa de la pérdida de velocidad.

Además, se supondrá que el armador de este buque no cuenta con ninguna terminal en concesión en el puerto de Valencia, por lo que no se le aplicará una tarifa reducida, hecho que si ocurriría con los portacontenedores de MSC en Valencia por ejemplo.

Tabla 7.3 Factor corrector puerto de Valencia.

<b>Buques que realicen la carga/descarga por rodadura (tipo RO-RO y otros)</b>			
	<b>Atraque</b>		<b>Cuota íntegra</b>
<b>Con carácter general</b>	No concesionado	De costado	1,08
	Concesionado		0,756
	Concesionado con lámina de agua		0,648
	No concesionado	De punta o abarloado	0,864
	Concesionado		0,648
	Concesionado con lámina de agua		0,54
<b>Integrado en servicio marítimo regular</b>	No concesionado	De costado	0,72
	Concesionado		0,504
	Concesionado con lámina de agua		0,432
	No concesionado	De punta o abarloado	0,576
	Concesionado		0,432
	Concesionado con lámina de agua		0,36

Fuente: "Autoridad portuaria de Valencia"

Con todo ello ya se puede cuantificar el coste por l entrada y estancia de este buque en el puerto de Valencia.

Tabla 7.4 Tarifa por entrada y estancia en puerto.

<b>TARIFA POR VIAJE</b>			
<b>BUQUES</b>	<b>GT</b>	<b>Factor corrector</b>	<b>Tarifa (€)</b>
<b>Inicial</b>	8.507	0,72	612,504
<b>Alargado</b>	10.767,5	0,72	775,26

Además, la Autoridad Portuaria de Valencia realiza una bonificación sobre dichas tarifas si el armador realiza una cantidad de atraques en este puerto al cabo del año. Dicha bonificación se acentúa conforme el número de atraques aumenta. La Tabla 7.5 refleja la cuantía de la bonificación en función del número de escalas.

Tabla 7.5 Factor de bonificación puerto de Valencia.

<b>Número de escalas en un mismo puerto durante el año natural</b>	
<b>Escalas</b>	<b>Coefficiente</b>
<b>Desde la 1 a la 12.</b>	1
<b>Desde la 13 a la 26.</b>	0,95
<b>Desde la 27 a la 52.</b>	0,85
<b>Desde la 53 a la 104.</b>	0,75
<b>Desde la 105 a la 156.</b>	0,65
<b>Desde la 157 a la 312.</b>	0,55
<b>Desde la 313 a la 365.</b>	0,45
<b>A partir de la 366</b>	0,35

Fuente: "Autoridad portuaria de Valencia"

Como el buque transformado y el buque sin transformar realizan 168 y 175 respectivamente habrá que aplicarles a las tasas calculadas anteriormente el 55%, que será el porcentaje que se pagará de tasas si el armador lo solicita con antelación ante la Autoridad Portuaria de Valencia.

Tabla 7.6 Aplicación de la bonificación del puerto de Valencia.

<b>TARIFA POR AÑO</b>						
<b>BUQUES</b>	<b>GT</b>	<b>F.corrector</b>	<b>F.reducción</b>	<b>Viaje</b>	<b>T.anual (€)</b>	<b>T.viaje (€)</b>
<b>Inicial</b>	8.507,00	0,72	0,55	175	58.953	337
<b>Alargado</b>	10.767,50	0,72	0,55	168	71.634	426

Otro de los costes que hay que asumir a la hora de entrar y salir de puerto, son los costes de amarre y desamarre. El puerto de Valencia rige los costes de estos servicios mediante la siguiente fórmula:

$$T = 6,8194 + 11,0507 * \left( \frac{GT}{1000} \right) \quad (57)$$

Donde T es el precio en euros de un servicio de amarre y GT es el arqueo bruto del buque interesado en entrar a puerto o salir de él. Sin embargo, la autoridad portuaria de Valencia realiza una bonificación sobre este coste en función del número de escalas que realiza el mismo buque a lo largo de un año natural en el puerto de Valencia (véase Tabla 7.7).

Tabla 7.7 Bonificación de la tasa de amarre y desamarre en función del número de escalas.

<b>Numero de escalas</b>	<b>Bonificación</b>
<b>Menos de 50</b>	0%
<b>De 50 a 99</b>	2%
<b>De 100 a 199</b>	3%
<b>De 200 a 299</b>	4%
<b>Más de 300</b>	5%

Fuente: "Autoridad portuaria de Valencia"

Tanto el buque sin transformar como el buque alargado, al realizar 175 y 168 escalas respectivamente en el puerto de Valencia, les corresponderá una bonificación del 3% sobre este coste. En la Tabla 7.8 se muestra la comparativa entre el buque transformado y el buque

sin transformar. Cabe destacar que por cada escala se precisa la contratación de dos de estos servicios, uno a la entrada para amarrar el buque, y uno a la salida para desamarrar.

Tabla 7.8 Comparación de la tasa de amarre y desamarre entre el buque transformado y el buque sin transformar.

<b>COMPARACION DE LA TASA DE AMARRE ENTRE LOS DOS BUQUES</b>		
<b>Datos</b>	<b>Sin transformar</b>	<b>Transformado</b>
<b>GT</b>	8.507	10.767,5
<b>Tasa por servicio (€)</b>	100,83	125,81
<b>Bonificación</b>	0,03	0,03
<b>Número de viajes</b>	175,00	168,00
<b>Tasa anual (€)</b>	34.232	41.003,28
<b>Tasa por escala (€)</b>	195,61	244,07

Por último, se tiene que calcular la tarifa de practicaaje. En el puerto de Valencia se aplican las tarifas en función de la Tabla 7.9.

Tabla 7.9 Tarifas por practicaaje en buques de transporte marítimo de corta distancia en el puerto de Valencia.

<b>Tarifa de practicaaje en el puerto de Valencia</b>	
<b>GT</b>	<b>Tarifa (euros)</b>
<b>Menores de 7.500 GT</b>	223,25
<b>Entre 7.501 y 30.000 GT</b>	$85+(0,019*GT)$
<b>Entre 30.001 GT y 100.000 GT</b>	$155+(0,0167*GT)$
<b>Más de 100.000 GT</b>	1.908

Fuente: "Autoridad portuaria de Valencia"

Como en los casos que se están comparando sus arqueos se encuentran en el mismo rango, se les aplicará la misma fórmula (véase Tabla 7.9).

En la Tabla 7.10 se muestra la diferencia en cuento a la cuantía de la tarifa a costa del incremento de arqueo bruto que ha registrado el buque al ser alargado.

Tabla 7.10 Comparación de tarifas de practicaaje entre el buque transformado y el buque sin transformar en el puerto de Valencia.

<b>Comparación de tarifas de practicaaje en el Puerto de Valencia</b>		
<b>Datos</b>	<b>Buque sin transformar</b>	<b>Buque transformado</b>
<b>GT</b>	8.507,00	10.767,50
<b>Tasa por servicio (€)</b>	246,63	289,58
<b>Tasa por escala (€)</b>	493,27	579,17
<b>Tasa anual (€)</b>	82.868,7	97.299,9

El otro puerto a estudio es el de Palma de Mallorca. Se procederá a calcular también las tasas que debe pagar este buque. El procedimiento de cálculo es el mismo, lo que se ve modificado son los distintos factores correctores (véase Tabla 7.11).

Tabla 7.11 Factor de corrección puerto de Palma de Mallorca.

ZONA 1	COEFICIENTE/BONIFICACION	CUOTA INTEGRAL	
		No servicio marítimo corta distancia	Servicio marítimo corta distancia
<b>Atraque no otorgado en concesión o autorización atracado de costado</b>	1,00	1,43	1,20
<b>Cruceros (con carácter general)</b>	0,7	1,001	1,001
<b>Cruceros con escala con puerto base</b>	0,56	0,8008	0,8008
<b>Cruceros que pertenecen a compañía (mín 12 escalas año como puerto base)</b>	0,5	0,7150	0,7150
<b>Atraque no otorgado en concesión o autorización atracado de costado. Servicios marítimos interinsulares</b>	0,25		0,30
<b>Atraque no otorgado en concesión o autorización atracado de costado. Bonificación insularidad. Servicio marítimo.</b>	40%		0,72

Fuente: "Autoridad portuaria de Mallorca"

A continuación, con la información recabada, se procederá a realizar el cálculo de la tarifa por viaje (véase Tabla 7.12).

Tabla 7.12 Tarifa por entrada y estancia en el puerto de Palma de Mallorca.

TARIFA POR VIAJE			
BUQUES	GT	Factor corrector	Tarifa (€)
<b>Inicial</b>	8.507	1,2	1.020,84
<b>Alargado</b>	10.767,5	1,2	1.292,1

El tiempo de estancia del buque en puerto será el mismo que el considerado en los atraques en el puerto de Valencia. La Autoridad Portuaria de Mallorca, al igual que hacia la Autoridad Portuaria de Valencia, ofrece bonificaciones (véase Tabla 7.13) a los armadores que transiten de manera regular su puerto a lo largo de un año natural. Las estimaciones en cuanto a atraques

que se realizarán en este puerto serán los mismos que los considerado para el puerto de Valencia, es decir, 168 atraques para el buque transformado y 175 para el buque sin transformar:

Tabla 7.13 Factor de bonificación puerto de Palma de Mallorca.

<b>Desde</b>	<b>Hasta</b>	<b>Factor servicio marítimo</b>	<b>Factor Servicio marítimo regular</b>
<b>1</b>	<b>12</b>	1	0,95
<b>13</b>	<b>26</b>	0,95	0,9
<b>27</b>	<b>52</b>	0,85	0,8
<b>53</b>	<b>104</b>	0,75	0,7
<b>105</b>	<b>156</b>	0,65	0,6
<b>157</b>	<b>312</b>	0,55	0,5
<b>313</b>	<b>365</b>	0,45	0,4
<b>A partir de 366</b>	<b>-</b>	0,35	0,3

Fuente: "Autoridad portuaria de Mallorca"

Si se tiene en cuenta esta bonificación, las tasas por viaje serán las reflejadas en la Tabla 7.14.

Tabla 7.14 Aplicación de la bonificación del puerto de Palma de Mallorca.

<b>TARIFA POR AÑO</b>						
<b>BUQUES</b>	<b>GT</b>	<b>F.corrector</b>	<b>F.reducción</b>	<b>Viaje</b>	<b>T.Anual (€)</b>	<b>T.Viaje (€)</b>
<b>Inicial</b>	8.507,00	1,20	0,50	175	89.323	510
<b>Alargado</b>	10.767,50	1,20	0,50	168	108.536	646

Como en el caso de Valencia, en el puerto de Palma de Mallorca también hay que hacer frente a los gastos por el amarre y desamarre. En este caso, la forma de calcularlo se realizará mediante un sumatorio de una parte variable y otra parte fijos en función del arqueo bruto del buque interesado en realizar la maniobra de amarre o desamarre. (véase Tabla 7.15).

Tabla 7.15 Tasas por amarre y desamarre en el puerto de Palma de Mallorca desglosado según el tipo de buque.

<b>TASA POR AMARRE O DESAMARRE</b>						
<b>BUQUES</b>	<b>Ferries y RO-RO</b>		<b>Petroleros</b>		<b>RESTO</b>	
<b>GT desde</b>	<b>Fijo</b>	<b>Variable *GT</b>	<b>Fijo</b>	<b>Variable *GT</b>	<b>Fijo</b>	<b>Variable *GT</b>
<b>0-500</b>	55	0,0014	209	0,0134	80	0,0083
<b>501-2.000</b>	55	0,0014	209	0,0134	80	0,0083
<b>2.001-5.000</b>	55	0,0014	209	0,0134	95	0,0083
<b>5.001-10.000</b>	63	0,0014	209	0,0134	101	0,0083
<b>10.001-15.000</b>	80	0,0014	245	0,0134	146	0,0066
<b>15.001-20.000</b>	101	0,0014	245	0,0134	146	0,0066
<b>20.001-25.000</b>	102	0,0014	245	0,0134	146	0,0066
<b>25.001-55.000</b>	106	0,0014	494	0,0134	232	0,0066
<b>55.001-80.000</b>	112	0,0008	494	0,0134	232	0,0042
<b>80.001-100.000</b>	112	0,0008	494	0,0134	232	0,0034
<b>Mayor de 100.000</b>	112	0,0008	494	0,0134	232	0,0028

Fuente: "Autoridad portuaria de Mallorca"

En la Tabla 7.16 se desglosa el cálculo de esta tasa tanto para el buque transformado como para el buque sin transformar.

Tabla 7.16 Comparación entre el buque transformado y el buque sin transformar de la tasa de amarre en el puerto de Palma de Mallorca.

<b>Comparación de la tasa de amarre en el puerto de Palma de Mallorca</b>		
<b>Datos</b>	<b>Buque sin transformar</b>	<b>Buque transformado</b>
<b>GT</b>	8.507	10.767,50
<b>Tasa fija (€)</b>	63	80
<b>Tasa variable por GT</b>	0,0014	0,0014
<b>Tasa variable (€)</b>	11,91	15,07
<b>Tasa total por servicio (€)</b>	74,91	95,07
<b>Tasa total por escala (€)</b>	149,82	190,15
<b>Tasa total anual (€)</b>	26.219	31.945,03

Por último, se ha de calcular la tarifa por practicaaje según lo establecido por la Autoridad Marítima de Palma de Mallorca. Esta información se recoge en la Tabla 7.17.

Tabla 7.17 Criterios para el cálculo de la tarifa de practicaaje en el puerto de Palma de Mallorca. Fuente: "Autoridad portuaria de Mallorca"

<b>Tasa de practicaaje en el Puerto de Palma de Mallorca</b>		
<b>GT</b>	<b>Ferries/RO-RO</b>	<b>Resto</b>
<b>Hasta 10.000 GT</b>	141,46	217,17
<b>Más de 10.000</b>	62,20+0,008/GT	0,0218/GT

Fuente: "Autoridad portuaria de Mallorca"

Como se puede apreciar en la Tabla 7.17, esta tasa se verá alterada ya que el buque transformado supera las 10.000 GT de arqueo bruto. El resumen y comparación de esta tasa se encuentra en la Tabla 7.18.

Tabla 7.18 Comparación entre el buque transformado y el buque sin transformar respecto de la tarifa de practica en el puerto de Palma de Mallorca.

<b>Tarifa de practica en el Puerto de Palma de Mallorca</b>		
<b>Datos</b>	<b>Buque sin transformar</b>	<b>Buque transformado</b>
<b>GT</b>	8.507,00	10.767,50
<b>Tasa por servicio</b>	141,46	62,20
<b>Tasa por escala</b>	282,92	124,40
<b>Tasa anual</b>	49.511	20.899,20

A continuación, se ha de calcular lo que percibiría el armador de concepto de ingresos por la carga rodada (véase Tabla 7.19).

Tabla 7.19 Ingresos brutos por viaje.

<b>COMPARACIÓN UNIDADES DE CARGA</b>					
<b>CARGA RODADA</b>		<b>Buque inicial</b>		<b>Buque alargado</b>	
		<b>Unidades</b>	<b>Ingresos (€)</b>	<b>Unidades</b>	<b>Ingresos (€)</b>
<b>20 PIES</b>	<b>Cubierta. Doble fondo</b>	30	2.147	50	3.578
	<b>Cubierta Principal</b>	70	5.010	94	6.728
	<b>Cubierta Shelter</b>	66	4.723	90	6.441
<b>COCHES</b>	<b>Cubierta Intemperie</b>	80	3.408	120	5.112
<b>TOTAL</b>		236	15.288	354	21.859

Por lo tanto, si se realiza una recopilación de lo calculado, el flete y los costes variables para el naviero por cada viaje se encuentran reflejados en la Tabla 7.20.

Tabla 7.20 Desglose de partidas por viaje redondo.

<b>INGRESOS NETOS POR VIAJE COMPLETO</b>		
<b>BUQUES</b>	<b>Sin transformar</b>	<b>Alargado</b>
<b>Flete (€)</b>	30.576	43.718
<b>Combustible (€)</b>	4.756	5.026
<b>Costes de escala Valencia (€)</b>	1.025,9	1.250
<b>Costes de escala Palma de Mallorca (€)</b>	943	960
<b>IMPORTE A RECIBIR POR EL ARMADOR (€)</b>	23.851	37.482

Con el fin de poder apreciar de una manera clarificadora la repercusión que tiene el aumento de tiempo por trayecto sobre la explotación del buque, en la Tabla 7.21 se mostrará el número de viajes que el buque va a dejar a realizar a lo largo del resto de su vida útil debido a la transformación que va a sufrir.

Tabla 7.21 Diferencia del número de trayectos entre el buque sin transformar y el buque transformado.

<b>NÚMERO DE TRAYECTOS</b>		
<b>BUQUES</b>	<b>Anual</b>	<b>15 años</b>
<b>Buque sin transformar</b>	175	2.625
<b>Buque transformado</b>	168	2.520
<b>Diferencia</b>	7	105

Por viaje redondo se puede empezar a apreciar (véase Tabla 7.20) el impacto positivo que tiene sobre los ingresos el alargamiento realizado, pero se puede apreciar de una manera mucho más clarificadora si ampliamos el rango de tiempo a estudio (véase Tabla 7.22 y 7.23).

Tabla 7.22 Comparación diaria y anual de los ingresos netos que recibe el armador con el buque transformado y que el buque sin transformar.

<b>INGRESOS NETOS</b>			
<b>BUQUES</b>	<b>Buque sin transformar (€)</b>	<b>Buque transformado (€)</b>	<b>Porcentaje</b>
<b>Itinerario</b>	23.851	37.482	36 %
<b>Anual</b>	4.173.925	6.296.976	33 %

Es decir, se supondrá que esta reforma se ha llevado a mitad de la vida útil del buque, por lo que aún le quedarán 15 años de explotación. Los ingresos se verán incrementados de forma notable entre los que obtendría con el buque sin alargar, y los que recibirá con el buque transformado (véase Tabla 7.23).

Tabla 7.23 Diferencia de ingresos netos.

<b>INGRESOS NETOS</b>		
<b>BUQUES</b>	<b>Anual</b>	<b>15 años</b>
<b>Buque sin transformar (€)</b>	4.173.925	62.608.875
<b>Buque transformado (€)</b>	6.296.976	94.454.640
<b>Diferencia (€)</b>	2.123.051	31.845.765

## CONCLUSIONES

En este TFG se ha proyectado el alargamiento de un buque RO-LO, manteniendo la planta propulsora, a costa de una pérdida de velocidad.

A la hora de afrontar este trabajo, se comenzó con la predicción del motor que montaba el buque sin transformar de forma que pudiera navegar a 13 nudos. Para lograr averiguar la potencia que precisaba tener el motor de este buque, se comenzó realizando una estimación de la resistencia al avance mediante un método estimativo que cuenta con una gran precisión, el método de *Holtrop y Mennen*. Para poder llevar a cabo este método, se precisaban conocer una serie de parámetros de arquitectura naval del buque que han sido obtenidos mediante el programa *Maxsurf*. Con dicho programa se modeló la carena del buque y se le incluyeron los pesos oportunos que formaban parte de la condición de plena carga, salida de puerto. Se seleccionó esta condición ya que al ser la que mayor desplazamiento generaba, era la que más potencia necesitaría para alcanzar los 13 nudos de velocidad. Tras obtener los datos, se calculó la resistencia al avance total del buque.

Para poder obtener la potencia del motor se procedió a calcular, mediante las fórmulas polinómicas proporcionadas por la Serie B de Wageningen, los parámetros óptimos que se necesitaban para seleccionar la hélice que el buque sin transformar se estimaba que llevaba instalada.

Con todos estos datos se obtuvo la potencia necesaria que necesitaba este buque, a la cual se le aplicó un margen de corrección para prevenir el efecto negativo del ensuciamiento de la carena, o la mala mar, sobre la velocidad que tenía que dar.

Tras obtener todos los datos necesarios de la planta propulsora se comenzó a evaluar distintas longitudes de alargamiento para encontrar la longitud del alargamiento óptima. En este punto se llegó a la conclusión de que dicho alargamiento óptimo iba a estar íntimamente relacionado con la unidad de carga de 20 pies, pues en su distribución también se permitía transportar coche en la cubierta de intemperie, por lo que era la distribución de carga que más flete generaba por viaje. Tras esta conclusión, se evaluaron dos posibles alargamientos, el de 25,6 metros y el de 32 metros.

Por debajo de 25 metros no era viable el alargamiento pues el buque presentaba problemas de estabilidad y la adición de un cuerpo cilíndrico menor de 25 metros era inviable porque supondría tener que realizar una redistribución de los tanques, pues se necesitaría cargar más lastre fijo del que cabría en los tanques de doble fondo del bloque de cuerpo cilíndrico que se anexaría al buque. El resto de posibles alargamientos entre 25,6 metros y 32 metros se descartaron pues no optimizaban el espacio de carga en función de la unidad de carga de 20 pies. Por último, se descartó el alargamiento de 32 metros ya que, al realizar una primera vuelta en la espiral de proyecto, se detectó que la velocidad disminuiría demasiado con respecto al objetivo de 0,5 nudos.

Con todo ello se decidió que el alargamiento óptimo era el de 25,6 metros. Tras tomar esta decisión, comienza una espiral de proyecto en la que tanto el francobordo, como la velocidad, como la estabilidad tenían que cumplir sus respectivos objetivos sin hacer que el resto de los criterios se vieran imposibilitados por ello.

Antes de iniciar la espiral de proyecto había que determinar cómo se iba a llevar a cabo el corte del buque, por qué sección, y qué repercusión tendría sobre los tanques seccionados. Para intentar interferir lo mínimo posible en los cálculos de capacidades y distribuciones de los tanques, se decidió seccionar el buque por la sección 10, cerrar los tanques que se hayan podido ver afectados por el corte, y en el bloque a añadir, se dispondrían los tanques de doble fondo destinados a llevar soldado el lastre fijo. El lastre fijo se hace imprescindible en este proyecto ya que sin él es imposible que el buque navegue, pues el peso en rosca de por sí no presenta la estabilidad necesaria para superar los criterios dictados por la OMI.

Para iniciar la espiral se decidió comenzar con la justificación de cuánto lastre fijo se precisaba para hacer que el buque cumpliera con la estabilidad. En primer lugar, se llevó a cabo un estudio de la cantidad de lastre fijo que precisaba el peso en rosca para ser estable, a continuación, se comprobó cuánto podía cargar en cuanto a unidades de carga de la capacidad total con la que estaba diseñado el buque, y, por último, se consideró la idea de terminar de llenar los tanques de doble fondo del segmento de cuerpo cilíndrico hasta la altura del paso de hombre. Dicha altura no se podía sobrepasar puesto que sería imposible llevar a cabo ninguna inspección. Con estos tanques llenos de lastre fijo se comprobó que el buque podía cargar incluso la cubierta de intemperie por completo.

Antes de comprobar la estabilidad en las cuatro condiciones que dicta la OMI se debía de obtener el francobordo para saber el límite, en cuanto a calado máximo, que podía tener el buque transformado para no sobrepasarlo a la hora de realizar las pruebas de estabilidad. Una vez calculado el francobordo, se comprobaron los criterios de estabilidad en las 4 condiciones de carga marcadas por la OMI, las cuales sobrepasaron satisfactoriamente los mínimos exigidos y sin superar el calado máximo marcado por el francobordo. Se empleó para ello el programa Maxsurf.

Con la condición de plena carga, salida de puerto estudiada para evaluar la estabilidad en el paso anterior, se extrajeron los datos necesarios para poder volver a aplicar el método de *Holtrop y Mennen* y calcular la nueva resistencia al avance, en función de la velocidad.

Tras el alargamiento, se pudo observar que el método de Keller indicaba que la hélice del buque sin transformar cavitaba en estas nuevas condiciones, por ello se llegó a la conclusión de que lo mejor era cambiarla por una nueva diseñada para este buque transformado ya que la cavitación provocaría daños irreparables en las palas de la hélice debido a las implosiones que se darían en ellas, lo que provocaría vibraciones, disminución de rendimientos y, por tanto, aumento de consumo.

Una vez cambiada la hélice, se fue buscando aquella velocidad que permitiera obtener una potencia lo más próxima a la que tiene el motor que monta el buque, pues éste no se va a cambiar. Dicha velocidad fue 12,3 nudos, 0,2 nudos más respecto a la estimación de pérdida de velocidad que se había fijado en 0,5 nudos, pero era la única solución rentable.

Con todos estos cálculos ya habría acabado esta primera vuelta a la espiral de proyecto. El siguiente paso consistió en volver a calcular el arqueo bruto y neto, y comprobar y modificar aquellos sistemas que se hubieran podido ver afectados.

Una vez determinados aquellos sistemas que obligatoriamente se tenían que cambiar, se anotaron sus pesos y sus coordenadas del centro de gravedad. Con los equipos que se embarcaron como sustitución de los anteriores se les realizó el mismo seguimiento. Con todos estos datos se llevó a cabo una segunda vuelta a la espiral de proyecto a fin de afinar con mayor

precisión el verdadero peso en rosca, comprobar que el buque cumple con los criterios de estabilidad, se realizó una estimación lo más fiel posible de la velocidad a la que podrá ir el buque, y se comprobó que no se sobrepasaba el calado máximo fijado por el francobordo.

Con esta segunda vuelta a la espiral de proyecto ya se pudo pasar a realizar los correspondientes planos y el nuevo informe económico detallando del incremento potencial que se podía dar en los ingresos debido al aumento de la capacidad de carga, el incremento de las diversas tasas portuarias debido a que están directamente relacionadas con el arqueo bruto del buque (cifra que va a ascender a costa del alargamiento), y el aumento en el consumo de combustible al verse aumentado el tiempo de navegación para el mismo trayecto debido a la disminución de velocidad.

La característica de carga principal de este tipo de buques que transportan carga rodada es el metro lineal. Para poder observar la repercusión que ha tenido esta reforma sobre dicha medida se procederá a calcular la del buque original y la del buque alargado

Tabla 8.1 Incremento de los metros lineales.

<b>METROS LINEALES</b>		
<b>CUBIERTAS</b>	<b>Alargado</b>	<b>Sin transformar</b>
<b>Cubierta de Intemperie</b>	843,2	633,6
<b>Cubierta Shelter</b>	608,4	454,8
<b>Cubierta Principal</b>	602,1	448,5
<b>Cubierta de doble fondo</b>	318,3	164,7
<b>TOTAL</b>	<b>2.372</b>	<b>1.701,6</b>

$$\text{Incremento} = \frac{2.372 - 1.701,6}{2.372} * 100 = 28,3\% \quad (1)$$

Este alargamiento ha supuesto un aumento del 28,3 % de la capacidad de carga de este buque perdiendo únicamente 0,7 nudos de velocidad y manteniendo la planta propulsora excepto la hélice.



## BIBLIOGRAFÍA

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

Oliveira, J.A.(2014) *Buques de carga rodada (Ro-Ro). El MV Tongsberg* [En la web]. Disponible en: : <https://vadebarcos.net/2014/09/14/buques-carga-rodada-ro-ro-mv-tongsberg/>(Consultado: 16 de Diciembre 2019)

Alvariño, R., Azpíroz, J.J. y Meizso, M. (2007) *El proyecto básico del buque mercante*. 2º edn. Madrid: Colegio Oficial de Ingenieros Navales

Otón Tortosa, J, E. *Apuntes de sistemas auxiliares*. Cartagena: Universidad Politécnica de Cartagena.

García López, D. *Apuntes hidrostática y estabilidad*. Cartagena: Universidad Politécnica de Cartagena.

García López, D. *Apuntes hidrodinámica, resistencia y propulsión*. Cartagena: Universidad Politécnica de Cartagena.

Gutiérrez Romero, J.E. y Ruiz Peñalver, L. *Apuntes de proyectos*. Cartagena: Universidad Politécnica de Cartagena.

Ruiz Peñalver, L. *Apuntes de dibujo naval*. Cartagena: Universidad Politécnica de Cartagena.

Organización Marítima Internacional. (1996) *Convenio internacional sobre líneas de carga*. Londres: Organización Marítima Internacional.

Esteve Pérez, J. *Fundamentos de tráfico marítimo*. Cartagena: Universidad Politécnica de Cartagena.

Organización Marítima Internacional. (2014) *SOLAS*. Londres: Organización Marítima Internacional.

Gobierno de España (2008) *Código Internacional de Estabilidad sin averías*. Madrid: Boletín Oficial del Estado.

Wärtsilä (2018) *Wärtsilä 26 Product Guide* [En la web]. Disponible en: <https://www.wartsila.com/> (Consultado: 22 de noviembre 2019).

ESC Marine (2020) *Delivering high quality mooring bollards to the global market* [En la web]. Disponible en: <https://www.esmarinesystems.com/single-bitt-bollard-series/> (Consultado: 27 de febrero 2020).

Masson Marine [en la web]. Disponible en: [http:// www.masson-marine.com](http://www.masson-marine.com/) /(Consultado: 12 de marzo 2020)

Sotra Anchor and chain (2016) [En la web]. Disponible en: <http://www.sotra.net/products/anchors/stockless-anchors/hall/> (Consultado: 25 de febrero 2020).

Autoridad portuaria de Valencia (2018). *Tasa del buque* [En la web]. Disponible en: <https://www.valenciaport.com/wp-content/uploads/Tasa-Buque-2018.pdf> (Consultado: 15 de marzo 2020).

Autoridad portuaria de Valencia (2017). *Servicio portuario de practica* [En la web]. Disponible en: <https://www.valenciaport.com/wp-content/uploads/TM-Pr%C3%A1cticos-Valencia-2017-1.pdf> (Consultado: 15 de marzo 2020).

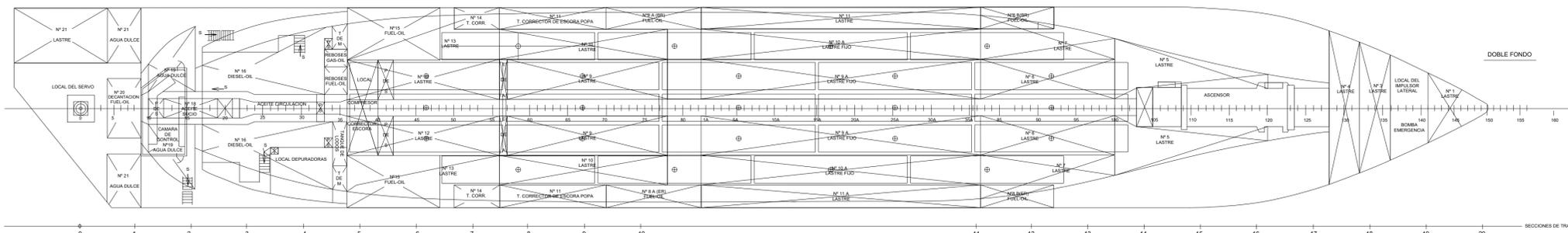
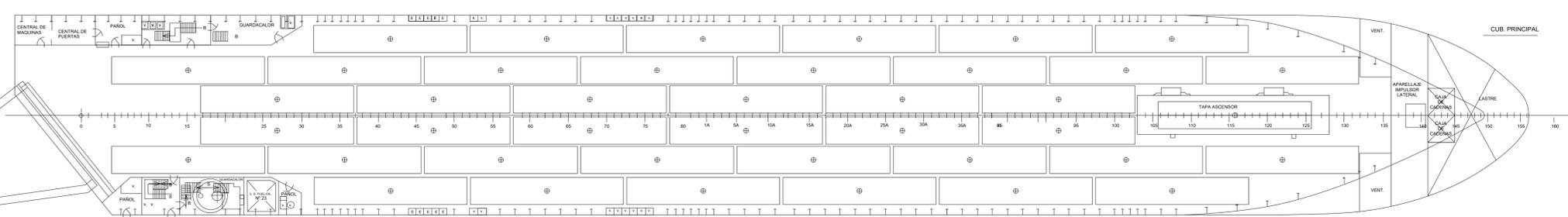
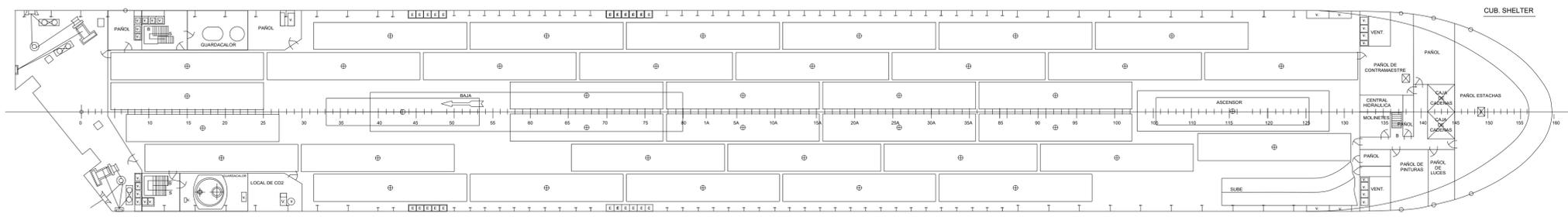
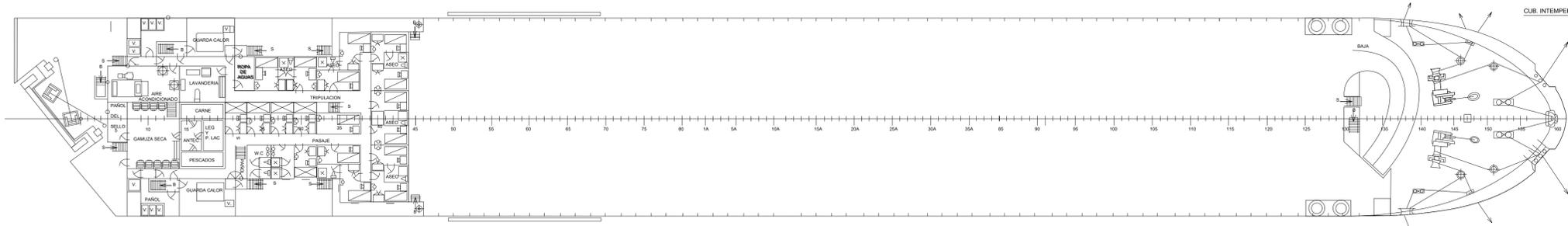
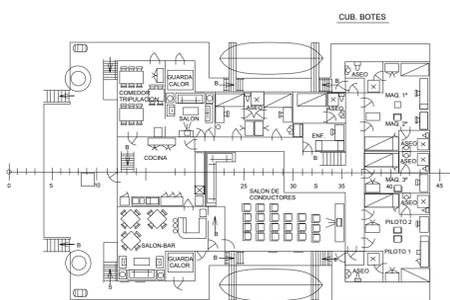
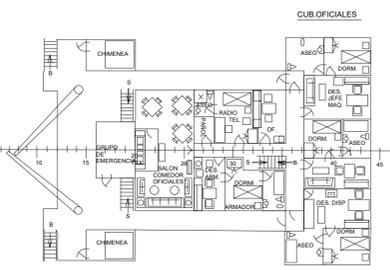
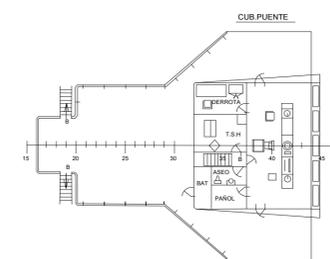
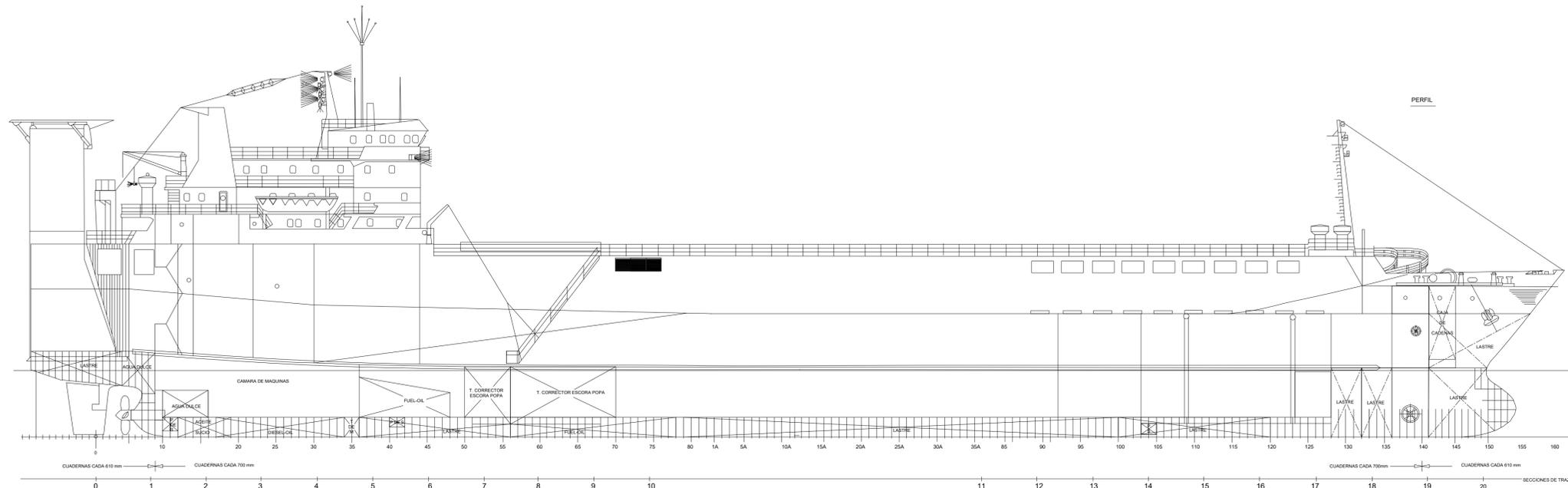
Autoridad portuaria de Valencia (2017). *Servicio portuario de amarre y desamarre* [En la web]. Disponible en: <https://www.valenciaport.com/wpcontent/uploads/2016/12/TarifasAmarreDesamarreValencia.pdf> (Consultado: 15 de marzo 2020).

Autoridad Portuaria de Mallorca (2009). *Prescripciones particulares del servicio portuario básico de practica en el puerto de Palma de Mallorca*. Disponible en: <http://www.portsdebalears.com/es/palma/servicios-portuarios> (Consultado: 16 de marzo 2020)

Autoridad Portuaria de Mallorca (2010). *Prescripciones particulares del servicio portuario básico de amarre y desamarre en el puerto de Palma de Mallorca*. Disponible en: <http://www.portsdebalears.com/es/palma/servicios-portuarios> (Consultado: 16 de marzo 2020)

Autoridad Portuaria de Mallorca (2010). *Prescripciones particulares del servicio portuario básico de amarre y desamarre en el puerto de Palma de Mallorca*. Disponible en: <http://www.portsdebalears.com/es/palma/servicios-portuarios> (Consultado: 16 de marzo 2020)

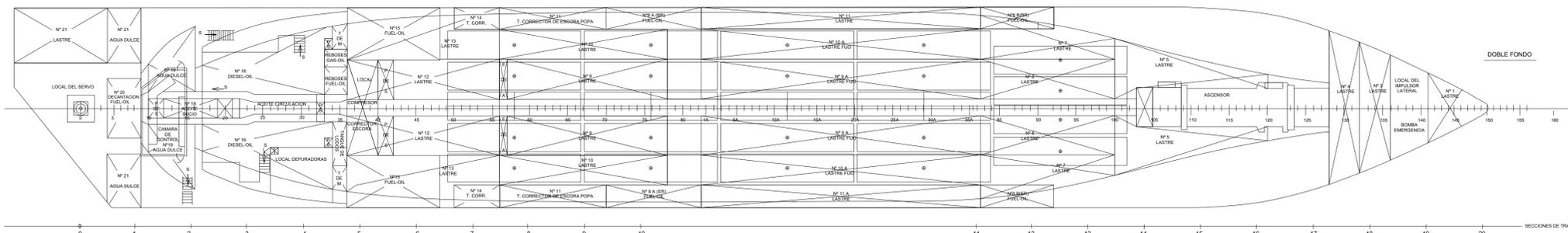
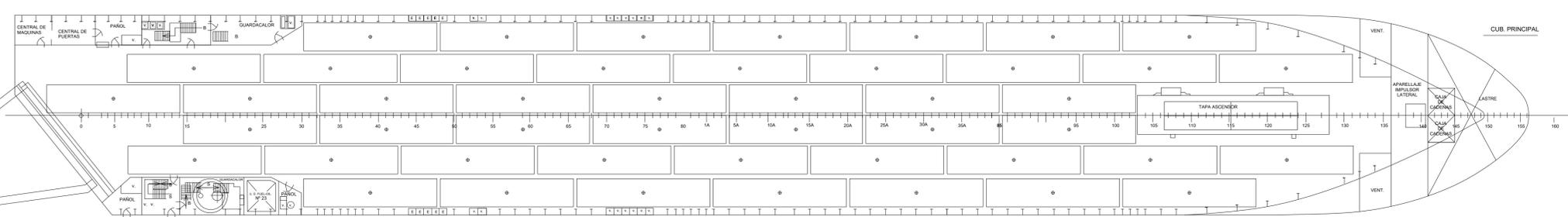
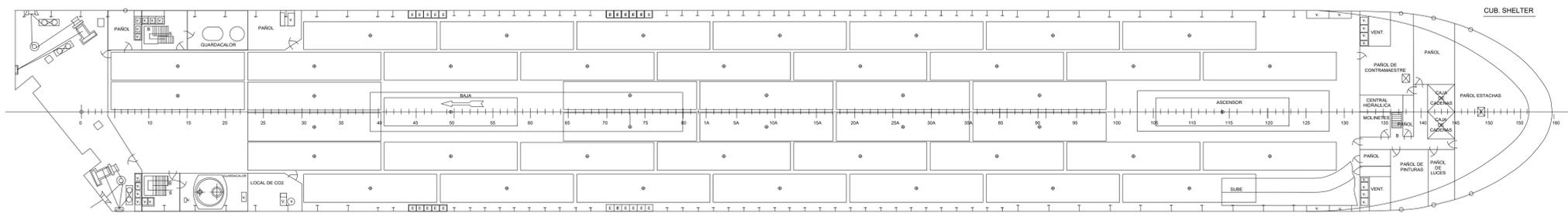
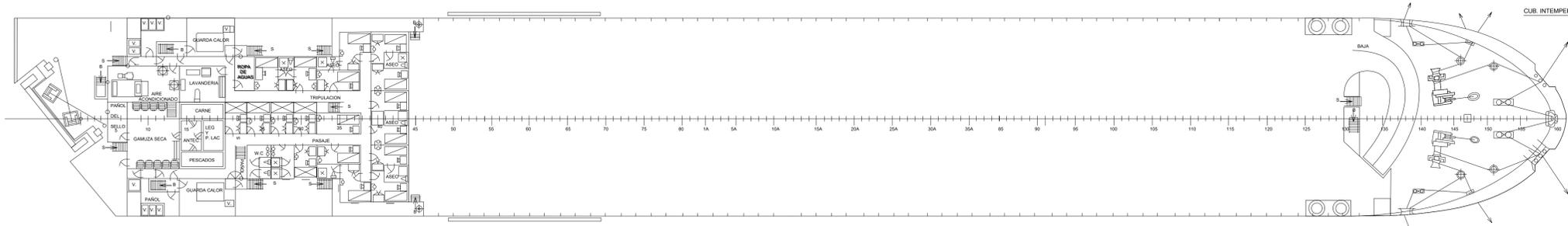
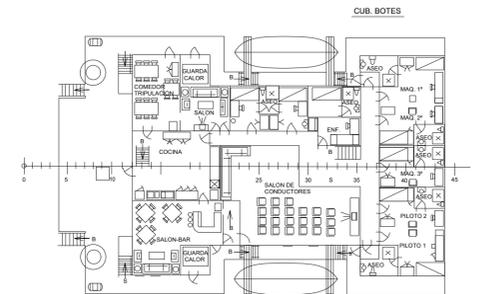
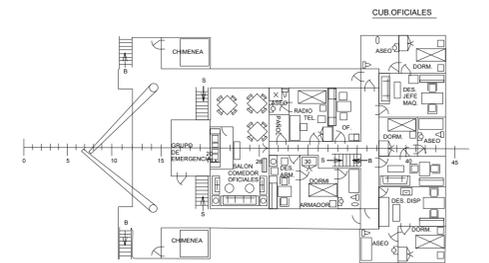
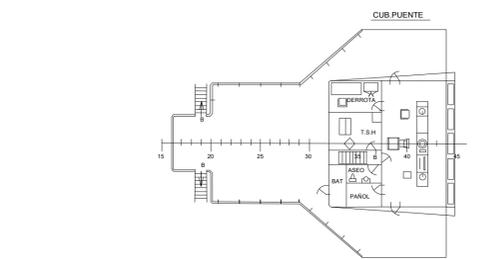
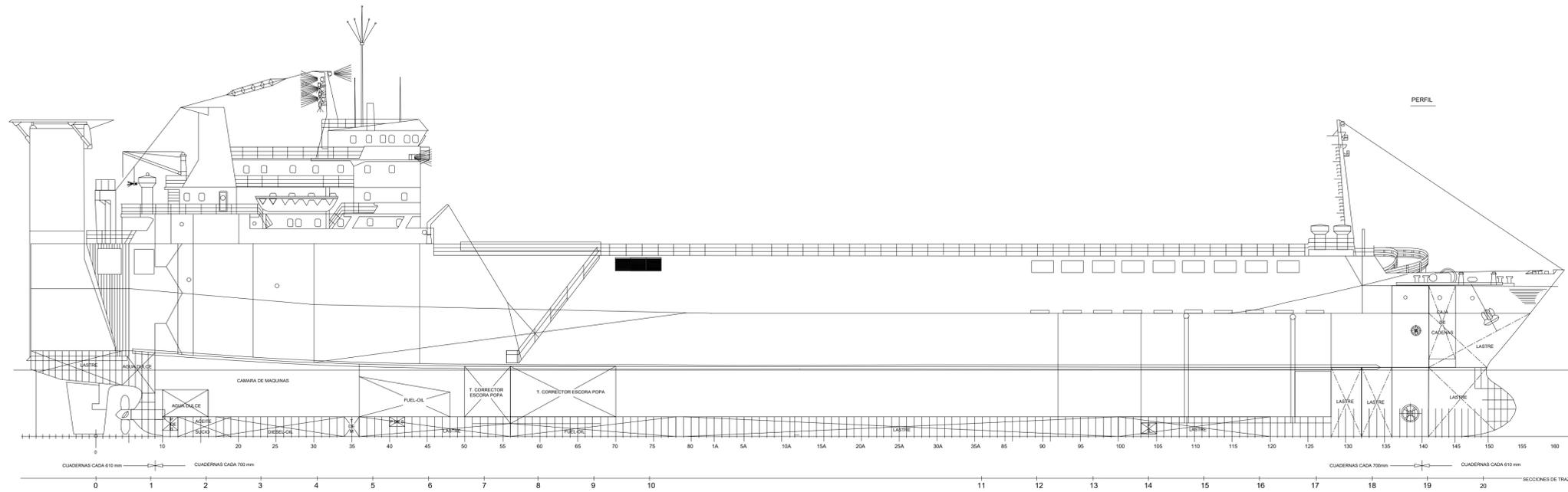
# ANEXO: PLANOS



CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES	
ESLORA TOTAL	141.9 m
ESLORA ENTRE PERPENDICULARES	128.6 m
MANGA DE TRAZADO	18.35 m
PUNTAL A LA CUBIERTA PRINCIPAL	6.35 m
PUNTAL A LA CUBIERTA SHELTER	11.35 m
CALADO MEDIO DE TRAZADO	6.26 m

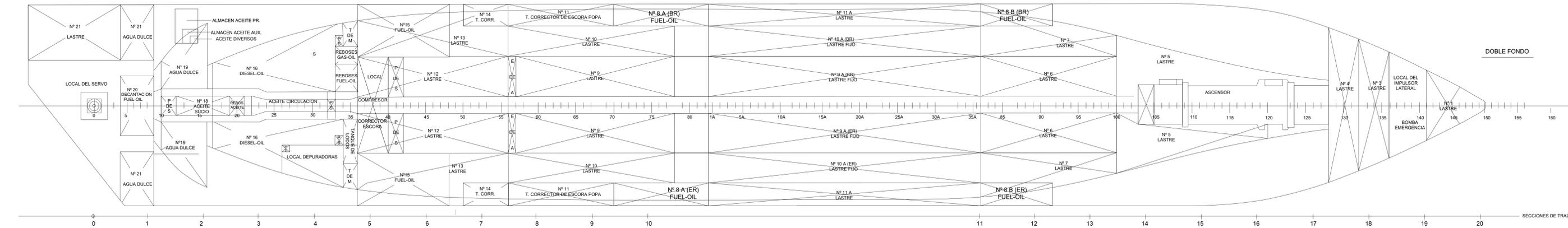
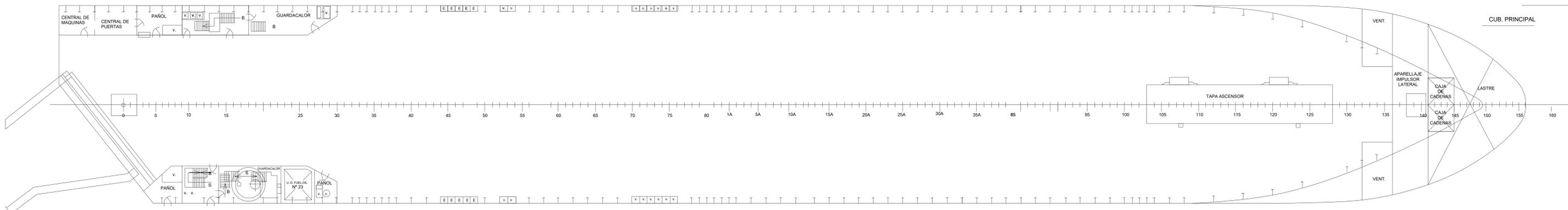
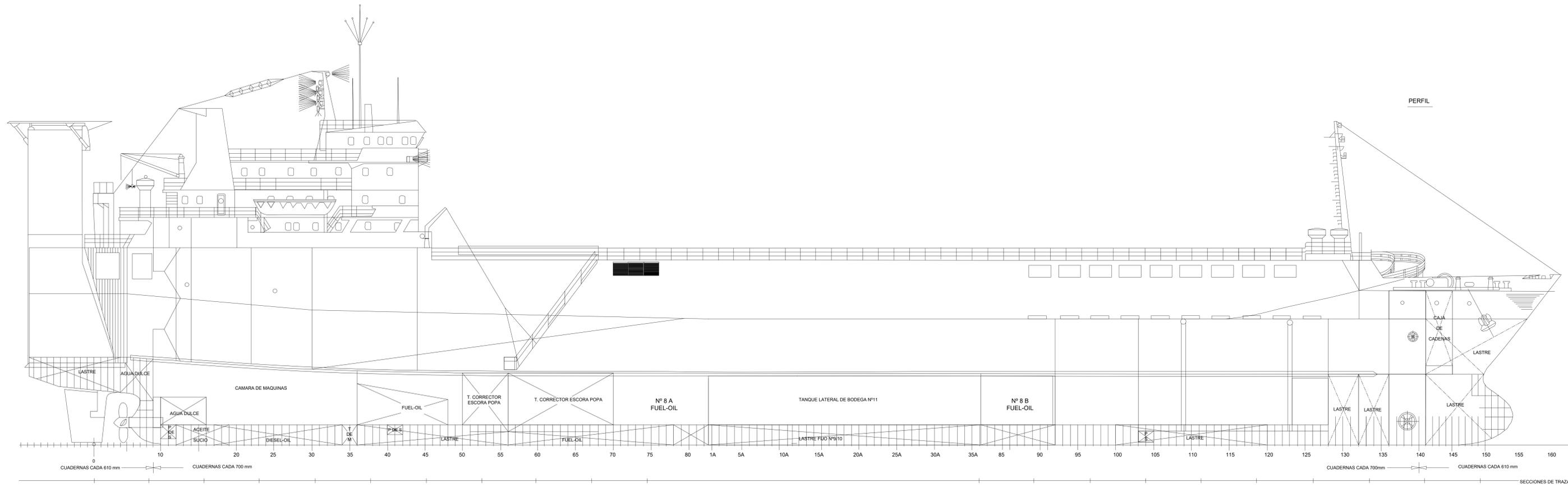
FECHA: 25-2-2020	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA
DIBUJADO: Jaime Palazón Martínez-Portillo	ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIERÍA NAVAL Y OCEÁNICA
TRABAJO FIN DE GRADO EN ARQUITECTURA NAVAL E INGENIERÍA DE SISTEMAS MARINOS "PROYECTO DE REFORMA POR ALARGAMIENTO DE UN BUQUE RO-LO"	
ESCALA: 1:250	BUQUE RO-LO ALARGADO 25.6 METROS PLANO Nº: 1/1





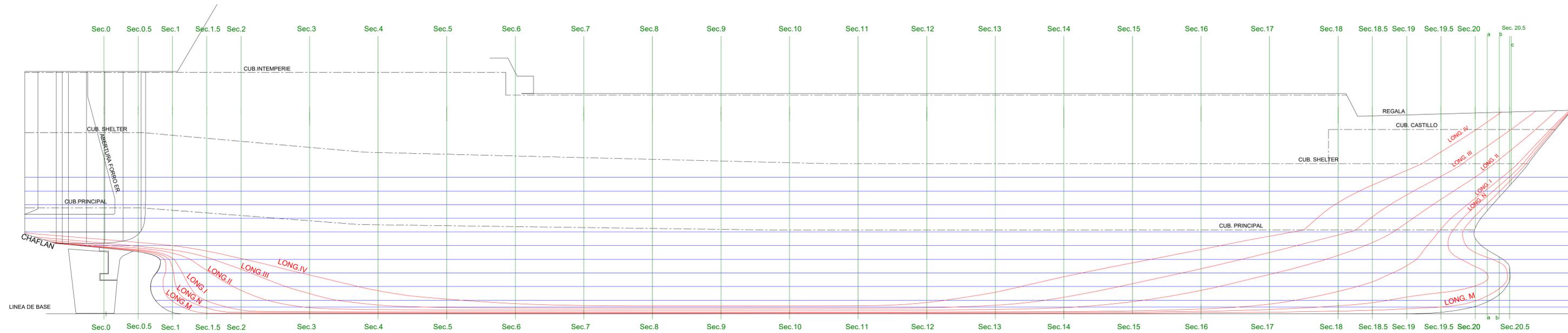
CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES	
ESLORA TOTAL	141.9 m
ESLORA ENTRE PERPENDICULARES	128.6 m
MANGA DE TRAZADO	18.35 m
PUNTAL A LA CUBIERTA PRINCIPAL	6.35 m
PUNTAL A LA CUBIERTA SHELTER	11.35 m
CALADO MEDIO DE TRAZADO	6.26 m

FECHA:	25-2-2020	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA
DIBUJADO:	Jaime Palazón Martínez-Portillo	ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIERÍA NAVAL Y OCEÁNICA
TRABAJO FIN DE GRADO EN ARQUITECTURA NAVAL E INGENIERÍA DE SISTEMAS MARINOS "PROYECTO DE REFORMA POR ALARGAMIENTO DE UN BUQUE RO-LO"		
ESCALA:	1:250	BUQUE RO-LO ALARGADO 25.6 METROS PLANO DE DISPOSICIÓN GENERAL DE REMOLQUE DE 40 PIES PLANO Nº: 1/1

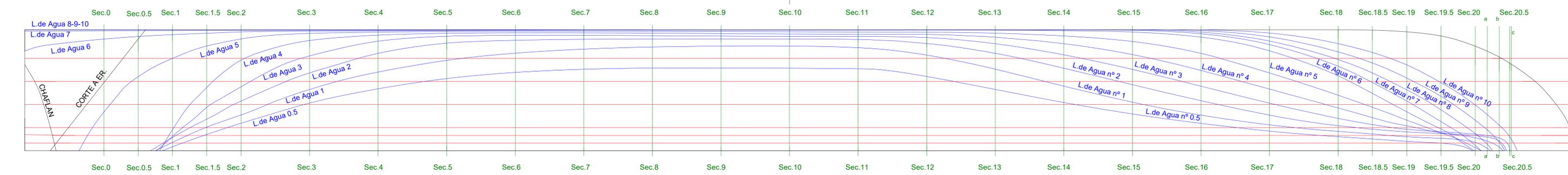
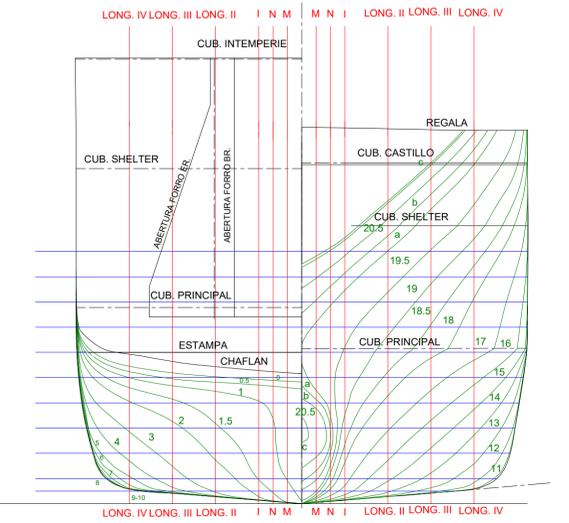


CARACTERISTICAS PRINCIPALES	
ESLORA TOTAL	141,9 m
ESLORA ENTRE PERPENDICULARES	128,6 m
MANGA DE TRAZADO	18,35 m
PUNTAL A LA CUBIERTA PRINCIPAL	6,35 m
PUNTAL A LA CUBIERTA SHELTER	11,35 m
CALADO MEDIO DE TRAZADO	6,26 m

FECHA: 25-2-2020	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA	
DIBUJADO	Jaime Palazón Martínez-Portillo	ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIERÍA NAVAL Y OCEÁNICA
TRABAJO FIN DE GRADO EN ARQUITECTURA NAVAL E INGENIERÍA DE SISTEMAS MARINOS "PROYECTO DE REFORMA POR ALARGAMIENTO DE UN BUQUE RO-LO"		
ESCALA 1/150	PLANO DE DISTRIBUCIÓN DE TANQUES DEL BUQUE ALARGADO 25,8 M.	PLANO Nº: 11



- L. de Agua n° 10
- L. de Agua n° 9
- L. de Agua n° 8
- L. de Agua n° 7
- L. de Agua n° 6
- L. de Agua n° 5
- L. de Agua n° 4
- L. de Agua n° 3
- L. de Agua n° 2
- L. de Agua n° 1
- L. de Agua n° 0,5
- LINEA DE BASE



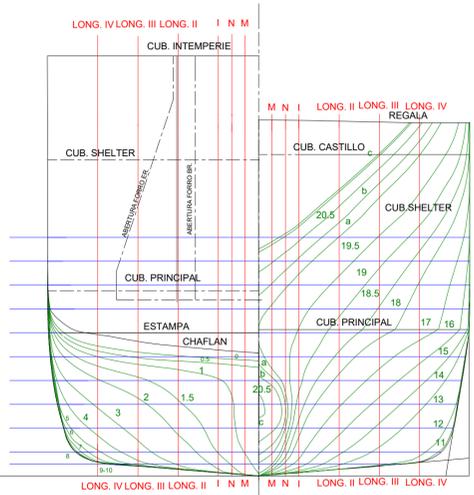
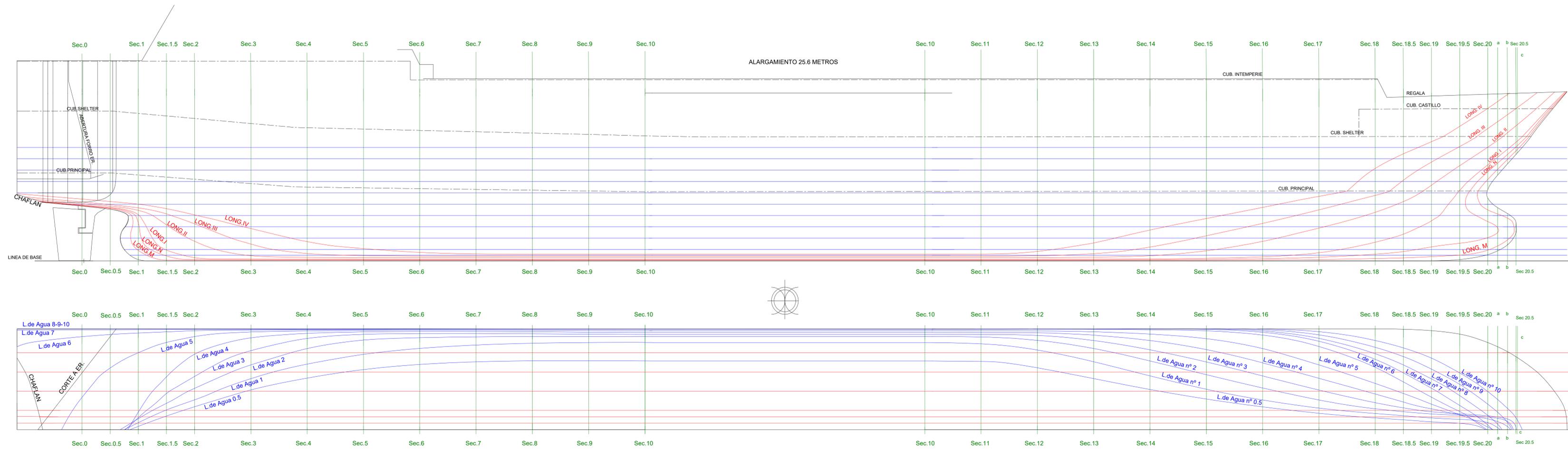
**DATOS DE TRAZADO**

ESLORA TOTAL	116,2 METROS
ESLORA DE REGISTRO	110,3 METROS
ESLORA ENTRE PERPENDICULARES	103 METROS
MANGA DE TRAZADO	18,35 METROS
PUNTAL A LA CUB. PRINCIPAL	6,35 METROS
PUNTAL A LA SHELTER	11,35 METROS

**CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES**

CALADO MEDIO DE TRAZADO	6,223 METROS
SEPARACIÓN ENTRE SECCIONES	5,15 METROS
SEPARACIÓN ENTRE L. DE AGUA	1,033 METROS
SEPARACIÓN ENTRE LONGITUDINALES	1,75 METROS
ASTILLA MUERTA	0,75 METROS

FECHA: 25-2-2020		UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA	
DIBUJADO	Jaime Palazón Martínez-Portillo	ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIERÍA NAVAL Y OCEÁNICA	
		TRABAJO FIN DE GRADO EN ARQUITECTURA NAVAL E INGENIERIA DE SISTEMAS MARINOS. "PROYECTO DE REFORMA POR ALARGAMIENTO DE UN BUQUE RO-LO"	
ESCALA 1/150	PLANO DE FORMAS DEL BUQUE SIN TRANSFORMAR	PLANO Nº 1/1	



- L.de Agua nº 10
- L.de Agua nº 9
- L.de Agua nº 8
- L.de Agua nº 7
- L.de Agua nº 6
- L.de Agua nº 5
- L.de Agua nº 4
- L.de Agua nº 3
- L.de Agua nº 2
- L.de Agua nº 1
- L.de Agua nº 0.5

**DATOS DE TRAZADO**

ESLORA TOTAL.....	141.8 METROS
ESLORA DE REGISTRO.....	135.9 METROS
ESLORA ENTRE PERPENDICULARES.....	128.6 METROS
MANGA DE TRAZADO.....	18.3 METROS
PUNTA A LA CUB. PRINCIPAL.....	6.35 METROS
PUNTA A LA SHELTER.....	11.35 METROS

**CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES**

CALADO MEDIO DE TRAZADO.....	6.26 METROS
SEPARACIÓN ENTRE SECCIONES.....	5.15 METROS
SEPARACIÓN ENTRE L. DE AGUA.....	1.033 METROS
SEPARACIÓN ENTRE LONGITUDINALES.....	1.75 METROS
ASTILLA MUERTA.....	0.75 METROS

FECHA: 25-2-2020		UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA	
DIBUJADO	Jaime Palazón	ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIERÍA NAVAL Y OCEÁNICA	
	Martínez-Portillo		
TRABAJO FIN DE GRADO EN ARQUITECTURA NAVAL E INGENIERÍA DE SISTEMAS MARINOS. "PROYECTO DE REFORMA POR ALARGAMIENTO DE UN BUQUE RO-LO"			
ESCALA 1/150	PLANO DE FORMAS DEL BUQUE ALARGADO 25,6 M	PLANO Nº: 1/1	