



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

Trabajo Fin de Máster

CURSO 2020

*OPTIMIZACIÓN AUTOMÁTICA DE LA ESTABILIDAD
EN AVERÍAS Y EL COMPORTAMIENTO EN LA MAR
DE UN BUQUE ROPAX DE OPERACIÓN EN FIORDOS
MEDIANTE MODELOS PARAMÉTRICOS*

Máster en Ingeniería Naval y Oceánica

ALUMNA/O

Nuria Rioseco Río

TUTORAS/ES

Marcos Míguez González

FECHA

SEPTIEMBRE 2020

Contenido

1. INTRODUCCIÓN	7
2. ANTECEDENTES	7
2.1. COMPORTAMIENTO EN LA MAR	9
2.1.1. <i>MSI</i>	9
2.1.2. <i>Strip theory</i>	10
2.1.3. <i>Efectos del tamaño y forma del casco en el comportamiento del buque</i>	11
2.1.3.1. Movimientos en el plano vertical	11
2.1.3.2. Movimientos en el plano transversal	12
2.2. ESTABILIDAD EN AVERÍAS	12
2.2.1. <i>Criterios probabilísticos</i>	14
2.2.1.1. Pasaje	14
2.2.1.2. Viento	15
2.2.1.3. Embarcaciones de supervivencia	15
2.2.1.4. Daño probabilístico	16
3. METODOLOGÍA	16
3.1. <i>ÁREA REQUERIDA</i>	16
3.2. <i>LÍMITES EN DIMENSIONES</i>	17
3.3. <i>PARAMETRIZACIÓN DE LAS DISTINTAS CONFIGURACIONES</i>	17
3.4. <i>ANÁLISIS Y SOFTWARE</i>	18
3.4.1. <i>Comportamiento del buque en la mar</i>	19
3.4.2. <i>Estabilidad en averías</i>	20
3.4.2.1. Permeabilidades	21
3.4.2.2. Condiciones de carga	22
3.4.2.3. Cálculo longitudinal de la avería	23
3.4.2.4. Extensión transversal de la avería	24
3.4.2.1. Compartimentado longitudinal	25
3.4.2.2. Compartimentado transversal	25
3.4.2.3. Compartimentado vertical	25
3.5. <i>GENERACIÓN DE ALTERNATIVAS</i>	26
3.5.1. <i>1ª alternativa</i>	26
3.5.2. <i>2ª alternativa</i>	27
3.5.3. <i>3ª alternativa</i>	27
3.5.4. <i>4ª alternativa</i>	28
3.5.5. <i>5ª alternativa</i>	29
3.5.6. <i>6ª alternativa</i>	29
3.5.7. <i>7ª alternativa</i>	30
3.5.8. <i>8ª alternativa</i>	30
3.5.9. <i>9ª alternativa</i>	31
3.5.10. <i>10ª alternativa</i>	31
4. SELECCIÓN Y DEFINICIÓN DEL BUQUE BASE	32
4.1. <i>RUTA</i>	33
4.2. <i>ESPACIADO</i>	33
4.3. <i>FORMA DEL CASCO</i>	34
4.4. <i>CONDICIONES DE CARGA</i>	34
4.5. <i>DISPOSICIÓN GENERAL</i>	35
5. BUQUE BASE	36
5.1. <i>COMPORTAMIENTO EN LA MAR</i>	36
5.2. <i>ESTABILIDAD EN AVERÍAS</i>	37
5.2.1. <i>Descripción de compartimentado y dimensiones reglamentarias</i>	37
5.2.1.1. Generalidades del compartimentado	38
5.2.1.2. Compartimentado longitudinal	40
5.2.1.3. Compartimentado transversal	41
5.2.1.4. Compartimentado vertical	41
5.2.1.5. Listado de tanques y compartimentos	42

5.2.1.6.	Dimensiones reglamentarias	43
5.2.2.	<i>Definición y cálculo de las condiciones de carga</i>	43
5.2.2.1.	Condición de carga s	43
5.2.2.2.	Condición de carga l.....	45
5.2.2.3.	Condición de carga p.....	46
5.2.3.	<i>Definición de la subdivisión en zonas longitudinales, transversales y verticales del buque</i>	47
5.2.3.1.	Zonas transversales.....	47
5.2.3.2.	Zonas longitudinales	48
5.2.3.3.	Zonas verticales	49
5.2.3.4.	Permeabilidades	49
5.2.4.	<i>Evaluación de los criterios de estabilidad tras avería</i>	50
5.2.4.1.	Criterios.....	50
5.2.4.2.	Salidas Maxsurf	52
6.	1ª MODIFICACIÓN	53
6.1.	ÁREA REQUERIDA	53
6.2.	LÍMITES EN DIMENSIONES.....	53
6.3.	CÁLCULO DE PARÁMETROS	54
6.4.	COMPORTAMIENTO EN LA MAR	55
6.5.	ESTABILIDAD EN AVERÍAS.....	56
6.5.1.	<i>Descripción de compartimentado y dimensiones reglamentarias</i>	56
6.5.1.1.	Generalidades del compartimentado	56
6.5.1.2.	Compartimentado longitudinal.....	57
6.5.1.3.	Compartimentado transversal	58
6.5.1.4.	Compartimentado vertical.....	58
6.5.1.5.	Listado de tanques y compartimentos.....	59
6.5.1.6.	Dimensiones reglamentarias	60
6.5.2.	<i>Definición y cálculo de las condiciones de carga</i>	60
6.5.2.1.	Condición de máxima y mínima carga	60
6.5.2.2.	Condición de carga s	61
6.5.2.3.	Condición de carga l.....	62
6.5.2.4.	Condición de carga p.....	63
6.5.3.	<i>Definición de la subdivisión en zonas longitudinales, transversales y verticales del buque</i>	64
6.5.3.1.	Zonas transversales.....	64
6.5.3.2.	Zonas longitudinales	65
6.5.3.3.	Zonas verticales	65
6.5.3.4.	Permeabilidades	65
6.5.4.	<i>Evaluación de los criterios de estabilidad tras avería</i>	65
6.5.4.1.	Salidas Maxsurf	66
7.	2ª MODIFICACIÓN	66
7.1.	ÁREA REQUERIDA	67
7.2.	LÍMITES EN DIMENSIONES.....	67
7.3.	CÁLCULO DE PARÁMETROS	67
7.4.	COMPORTAMIENTO EN LA MAR	68
7.5.	ESTABILIDAD EN AVERÍAS.....	69
7.5.1.	<i>Descripción de compartimentado y dimensiones reglamentarias</i>	69
7.5.1.1.	Generalidades del compartimentado	69
7.5.1.2.	Compartimentado longitudinal.....	71
7.5.1.3.	Compartimentado transversal	71
7.5.1.4.	Compartimentado vertical.....	71
7.5.1.5.	Listado de tanques y compartimentos.....	72
7.5.1.6.	Dimensiones reglamentarias	73
7.5.2.	<i>Definición y cálculo de las condiciones de carga</i>	73
7.5.2.1.	Condición de máxima y mínima carga	73
7.5.2.2.	Condición de carga s	74
7.5.2.3.	Condición de carga l.....	75
7.5.2.4.	Condición de carga p.....	76
7.5.3.	<i>Definición de la subdivisión en zonas longitudinales, transversales y verticales del buque</i>	77
7.5.3.1.	Zonas transversales.....	77
7.5.3.2.	Zonas longitudinales	77
7.5.3.3.	Zonas verticales	78
7.5.3.4.	Permeabilidades	78

7.5.4.	<i>Evaluación de los criterios de estabilidad tras avería</i>	78
7.5.4.1.	Salidas Maxsurf	78
8.	3ª MODIFICACIÓN	79
8.1.	ÁREA REQUERIDA	79
8.2.	LÍMITES EN DIMENSIONES.....	79
8.3.	CÁLCULO DE PARÁMETROS	79
8.4.	COMPORTAMIENTO EN LA MAR	80
8.5.	ESTABILIDAD EN AVERÍAS.....	81
8.5.1.	<i>Descripción de compartimentado y dimensiones reglamentarias</i>	81
8.5.1.1.	Generalidades del compartimentado	81
8.5.1.2.	Compartimentado longitudinal.....	83
8.5.1.3.	Compartimentado transversal	83
8.5.1.4.	Compartimentado vertical.....	84
8.5.1.5.	Listado de tanques y compartimentos.....	84
8.5.1.6.	Dimensiones reglamentarias	85
8.5.2.	<i>Definición y cálculo de las condiciones de carga</i>	85
8.5.2.1.	Condición de máxima y mínima carga	85
8.5.2.2.	Condición de carga s	86
8.5.2.3.	Condición de carga l.....	87
8.5.2.4.	Condición de carga p.....	88
8.5.3.	<i>Definición de la subdivisión en zonas longitudinales, transversales y verticales del buque</i>	89
8.5.3.1.	Zonas transversales.....	89
8.5.3.2.	Zonas longitudinales	89
8.5.3.3.	Zonas verticales	90
8.5.4.	<i>Evaluación de los criterios de estabilidad tras avería</i>	90
8.5.4.1.	Salidas Maxsurf	90
9.	4ª MODIFICACIÓN	91
9.1.	ÁREA REQUERIDA	91
9.2.	LÍMITES EN DIMENSIONES.....	91
9.3.	CÁLCULO DE PARÁMETROS	91
9.4.	COMPORTAMIENTO EN LA MAR	92
9.5.	ESTABILIDAD EN AVERÍAS.....	93
9.5.1.	<i>Descripción de compartimentado y dimensiones reglamentarias</i>	93
9.5.1.1.	Generalidades del compartimentado	94
9.5.1.2.	Compartimentado longitudinal.....	95
9.5.1.3.	Compartimentado transversal	95
9.5.1.4.	Compartimentado vertical.....	96
9.5.1.5.	Listado de tanques y compartimentos.....	96
9.5.1.6.	Dimensiones reglamentarias	97
9.5.2.	<i>Definición y cálculo de las condiciones de carga</i>	97
9.5.2.1.	Condición de máxima y mínima carga	97
9.5.2.2.	Condición de carga s	98
9.5.2.3.	Condición de carga l.....	99
9.5.2.4.	Condición de carga p.....	100
9.5.3.	<i>Definición de la subdivisión en zonas longitudinales, transversales y verticales del buque</i>	101
9.5.3.1.	Zonas transversales.....	101
9.5.3.2.	Zonas longitudinales	101
9.5.3.3.	Zonas verticales	102
9.5.3.4.	Permeabilidades	102
9.5.4.	<i>Evaluación de los criterios de estabilidad tras avería</i>	102
9.5.4.1.	Salidas Maxsurf	102
10.	5ª MODIFICACIÓN	103
10.1.	ÁREA REQUERIDA	103
10.2.	LÍMITES EN DIMENSIONES.....	103
10.3.	CÁLCULO DE PARÁMETROS	103
10.4.	COMPORTAMIENTO EN LA MAR	104
10.5.	ESTABILIDAD EN AVERÍAS.....	105
10.5.1.	<i>Descripción de compartimentado y dimensiones reglamentarias</i>	105
10.5.1.1.	Generalidades del compartimentado	106

10.5.1.2.	Compartimentado longitudinal.....	107
10.5.1.3.	Compartimentado transversal.....	107
10.5.1.4.	Compartimentado vertical.....	108
10.5.1.5.	Listado de tanques y compartimentos.....	108
10.5.1.6.	Dimensiones reglamentarias.....	109
10.5.2.	<i>Definición y cálculo de las condiciones de carga.....</i>	<i>109</i>
10.5.2.1.	Condición de máxima y mínima carga.....	109
10.5.2.2.	Condición de carga s.....	110
10.5.2.3.	Condición de carga l.....	111
10.5.2.4.	Condición de carga p.....	112
10.5.3.	<i>Definición de la subdivisión en zonas longitudinales, transversales y verticales del buque... 113</i>	
10.5.3.1.	Zonas transversales.....	113
10.5.3.2.	Zonas longitudinales.....	113
10.5.3.3.	Zonas verticales.....	114
10.5.3.4.	Permeabilidades.....	114
10.5.4.	<i>Evaluación de los criterios de estabilidad tras avería..... 114</i>	
10.5.4.1.	Salidas Maxsurf.....	114
11.	6ª MODIFICACIÓN.....	115
11.1.	ÁREA REQUERIDA.....	115
11.2.	LÍMITES EN DIMENSIONES.....	115
11.3.	CÁLCULO DE PARÁMETROS.....	115
11.4.	COMPORTAMIENTO EN LA MAR.....	116
11.5.	ESTABILIDAD EN AVERÍAS.....	117
11.5.1.	<i>Descripción de compartimentado y dimensiones reglamentarias..... 117</i>	
11.5.1.1.	Generalidades del compartimentado.....	118
11.5.1.2.	Compartimentado longitudinal.....	119
11.5.1.3.	Compartimentado transversal.....	119
11.5.1.4.	Compartimentado vertical.....	120
11.5.1.5.	Listado de tanques y compartimentos.....	120
11.5.1.6.	Dimensiones reglamentarias.....	121
11.5.2.	<i>Definición y cálculo de las condiciones de carga..... 121</i>	
11.5.2.1.	Condición de máxima y mínima carga.....	121
11.5.2.2.	Condición de carga s.....	122
11.5.2.3.	Condición de carga l.....	123
11.5.2.4.	Condición de carga p.....	124
11.5.3.	<i>Definición de la subdivisión en zonas longitudinales, transversales y verticales del buque... 125</i>	
11.5.3.1.	Zonas transversales.....	125
11.5.3.2.	Zonas longitudinales.....	125
11.5.3.3.	Zonas verticales.....	126
11.5.3.4.	Permeabilidades.....	126
11.5.4.	<i>Evaluación de los criterios de estabilidad tras avería..... 126</i>	
11.5.4.1.	Salidas Maxsurf.....	126
12.	7ª MODIFICACIÓN.....	127
12.1.	ÁREA REQUERIDA.....	127
12.2.	LÍMITES EN DIMENSIONES.....	127
12.3.	CÁLCULO DE PARÁMETROS.....	127
12.4.	COMPORTAMIENTO EN LA MAR.....	128
12.5.	ESTABILIDAD EN AVERÍAS.....	129
12.5.1.	<i>Descripción de compartimentado y dimensiones reglamentarias..... 129</i>	
12.5.1.1.	Generalidades del compartimentado.....	130
12.5.1.2.	Compartimentado longitudinal.....	131
12.5.1.3.	Compartimentado transversal.....	132
12.5.1.4.	Compartimentado vertical.....	132
12.5.1.5.	Listado de tanques y compartimentos.....	132
12.5.1.6.	Dimensiones reglamentarias.....	133
12.5.2.	<i>Definición y cálculo de las condiciones de carga..... 133</i>	
12.5.2.1.	Condición de máxima y mínima carga.....	133
12.5.2.2.	Condición de carga s.....	134
12.5.2.3.	Condición de carga l.....	135
12.5.2.4.	Condición de carga p.....	136
12.5.3.	<i>Definición de la subdivisión en zonas longitudinales, transversales y verticales del buque... 137</i>	

12.5.3.1.	Zonas transversales.....	137
12.5.3.2.	Zonas longitudinales.....	137
12.5.3.3.	Zonas verticales.....	138
12.5.3.4.	Permeabilidades.....	138
12.5.4.	<i>Evaluación de los criterios de estabilidad tras avería</i>	138
12.5.4.1.	Salidas Maxsurf.....	138
13.	8ª MODIFICACIÓN.....	139
13.1.	ÁREA REQUERIDA.....	139
13.2.	LÍMITES EN DIMENSIONES.....	139
13.3.	CÁLCULO DE PARÁMETROS.....	139
13.4.	COMPORTAMIENTO EN LA MAR.....	140
13.5.	ESTABILIDAD EN AVERÍAS.....	141
13.5.1.	<i>Descripción de compartimentado y dimensiones reglamentarias</i>	142
13.5.1.1.	Generalidades del compartimentado.....	142
13.5.1.2.	Compartimentado longitudinal.....	143
13.5.1.3.	Compartimentado transversal.....	144
13.5.1.4.	Compartimentado vertical.....	144
13.5.1.5.	Listado de tanques y compartimentos.....	145
13.5.1.6.	Dimensiones reglamentarias.....	146
13.5.2.	<i>Definición y cálculo de las condiciones de carga</i>	146
13.5.2.1.	Condición de máxima y mínima carga.....	146
13.5.2.2.	Condición de carga s.....	147
13.5.2.3.	Condición de carga l.....	148
13.5.2.4.	Condición de carga p.....	149
13.5.3.	<i>Definición de la subdivisión en zonas longitudinales, transversales y verticales del buque</i> ... 150	
13.5.3.1.	Zonas transversales.....	150
13.5.3.2.	Zonas longitudinales.....	151
13.5.3.3.	Zonas verticales.....	151
13.5.3.4.	Permeabilidades.....	151
13.5.4.	<i>Evaluación de los criterios de estabilidad tras avería</i>	151
13.5.4.1.	Salidas Maxsurf.....	152
14.	9ª MODIFICACIÓN.....	152
14.1.	ÁREA REQUERIDA.....	152
14.2.	LÍMITES EN DIMENSIONES.....	153
14.3.	CÁLCULO DE PARÁMETROS.....	153
14.4.	COMPORTAMIENTO EN LA MAR.....	154
14.5.	ESTABILIDAD EN AVERÍAS.....	155
14.5.1.	<i>Descripción de compartimentado y dimensiones reglamentarias</i>	155
14.5.1.1.	Generalidades del compartimentado.....	155
14.5.1.2.	Compartimentado longitudinal.....	156
14.5.1.3.	Compartimentado transversal.....	157
14.5.1.4.	Compartimentado vertical.....	157
14.5.1.5.	Listado de tanques y compartimentos.....	158
14.5.1.6.	Dimensiones reglamentarias.....	159
14.5.2.	<i>Definición y cálculo de las condiciones de carga</i>	159
14.5.2.1.	Condición de máxima y mínima carga.....	159
14.5.2.2.	Condición de carga s.....	160
14.5.2.3.	Condición de carga l.....	161
14.5.2.4.	Condición de carga p.....	162
14.5.3.	<i>Definición de la subdivisión en zonas longitudinales, transversales y verticales del buque</i> ... 163	
14.5.3.1.	Zonas transversales.....	163
14.5.3.2.	Zonas longitudinales.....	163
14.5.3.3.	Zonas verticales.....	164
14.5.3.4.	Permeabilidades.....	164
14.5.4.	<i>Evaluación de los criterios de estabilidad tras avería</i>	164
14.5.4.1.	Salidas Maxsurf.....	164
15.	10ª MODIFICACIÓN.....	165
15.1.	ÁREA REQUERIDA.....	165
15.2.	LÍMITES EN DIMENSIONES.....	165

15.3.	CÁLCULO DE PARÁMETROS	165
15.4.	COMPORTAMIENTO EN LA MAR	166
15.5.	ESTABILIDAD EN AVERÍAS.....	167
15.5.1.	<i>Descripción de compartimentado y dimensiones reglamentarias</i>	<i>167</i>
15.5.1.1.	Generalidades del compartimentado	168
15.5.1.2.	Compartimentado longitudinal.....	169
15.5.1.3.	Compartimentado transversal	169
15.5.1.4.	Compartimentado vertical.....	170
15.5.1.5.	Listado de tanques y compartimentos.....	170
15.5.1.6.	Dimensiones reglamentarias	171
15.5.2.	<i>Definición y cálculo de las condiciones de carga</i>	<i>171</i>
15.5.2.1.	Condición de máxima y mínima carga	171
15.5.2.2.	Condición de carga s	172
15.5.2.3.	Condición de carga l.....	173
15.5.2.4.	Condición de carga p.....	174
15.5.3.	<i>Definición de la subdivisión en zonas longitudinales, transversales y verticales del buque... 175</i>	<i>175</i>
15.5.3.1.	Zonas transversales.....	175
15.5.3.2.	Zonas longitudinales	175
15.5.3.3.	Zonas verticales	176
15.5.3.4.	Permeabilidades	176
15.5.4.	<i>Evaluación de los criterios de estabilidad tras avería</i>	<i>176</i>
15.5.4.1.	Salidas Maxsurf	176
16.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	177
16.1.	COMPORTAMIENTO EN LA MAR	177
16.1.1.	<i>Comportamiento en la mar con olas de popa</i>	<i>177</i>
16.1.1.1.	En función de L/B	177
16.1.1.2.	En función de L/D.....	177
16.1.1.3.	En función de B/D	177
16.1.2.	<i>Comportamiento en la mar con olas de costado (90º)</i>	<i>178</i>
16.1.2.1.	En función de L/B	178
16.1.2.2.	En función de L/D.....	178
16.1.2.3.	En función de B/D	178
16.1.3.	<i>Comportamiento en la mar con olas de proa.....</i>	<i>178</i>
16.1.3.1.	En función de L/B	178
16.1.3.2.	En función de L/D.....	178
16.1.3.3.	En función de B/D	178
16.2.	ESTABILIDAD EN AVERÍAS.....	178
16.2.1.	<i>En función de L/B</i>	<i>178</i>
16.2.2.	<i>En función de L/D</i>	<i>178</i>
16.2.3.	<i>En función de B/D.....</i>	<i>179</i>
16.2.4.	<i>En función de B.....</i>	<i>179</i>
16.2.5.	<i>En función de D</i>	<i>179</i>
16.3.	RECTAS DE REGRESIÓN.....	179
17.	CONCLUSIONES.....	180
18.	BIBLIOGRAFÍA.....	182

1. INTRODUCCIÓN

La finalidad de este trabajo es la optimización de la forma del casco, compartimentado y de la distribución de la carga de un ferry para navegación en fiordos noruegos.

Esta optimización puede plantearse desde muchos puntos de vista, como por ejemplo desde el punto de vista económico, como el coste de construcción, la resistencia al avance y la potencia propulsiva (lo que se traduce en consumo de combustible); así como una mejora en la capacidad de carga, por ejemplo. Pero dado que en los buques de pasaje hay dos puntos que son de especial importancia: el confort del buque al transportar los pasajeros y la seguridad del buque durante el transporte, la optimización se hará en base a estos dos parámetros fundamentales y para ello se realizará el análisis del comportamiento en la mar en función del MSI obtenido en los puntos más desfavorables de las cubiertas de interés, es decir, del índice que mide el porcentaje de personas que pueden sufrir mareo y el análisis de estabilidad en averías para que en caso de avería, el buque sea lo más seguro posible.

La idea es optimizar el buque planteando diferentes soluciones que optimicen el diseño del barco y para ello partiremos de un diseño inicial que ha sido optimizado desde el punto de vista del coste de construcción y se analizarán cómo deben ser las dimensiones principales de este buque para obtener un comportamiento en la mar y una estabilidad en averías más óptima que el diseño inicial.

2. ANTECEDENTES

Tradicionalmente, la optimización del diseño se ha realizado basándose únicamente en la experiencia de los ingenieros, requiriéndose mucho tiempo en el proceso de diseño de las diferentes alternativas y esto se traduce en una reducción del número de alternativas que pueden ser estudiadas, dando lugar a la elección de un diseño que no es lo suficientemente óptimo y que podría no satisfacer plenamente alguna de las necesidades que se le exige cubrir al buque. Es por este motivo que la optimización cobra una mayor importancia a lo largo de los años y los avances en el modelado y algoritmos de optimización son claves en el proceso de diseño, ayudando al diseñador en la toma de decisiones y permitiendo reducir los costos y tiempos, incrementando al mismo tiempo la calidad y funcionalidad ^{1 2}.

El diseño del buque tiene que hacer posible que este cumpla con una serie de requisitos (capacidad de carga, estabilidad transversal, velocidad, etc) y normativas que se le atribuyen, además de ser lo más respetuoso posible con el medioambiente. Es por este motivo que se utiliza un modelo multiobjetivo, haciendo posible tener en cuenta distintos objetivos en la optimización y considerar la importancia de cada uno de ellos. De esta manera, se consiguen diseños mejorados, más innovadores, con mayor capacidad de carga, más seguros, con mayor capacidad de supervivencia, menor necesidad energética y más respetuosos con el medioambiente.

A continuación se detallan los parámetros de modelado necesarios para poder realizar una optimización automática ^{3 4}:

- Variables de diseño del sistema y grados de libertad: en primer lugar es necesario identificar las variables de diseño y también es necesario definir las relaciones entre las variables independientes, obteniendo los grados de libertad del sistema que se

corresponde con la diferencia entre el número de variables y el número de relaciones entre estas variables de diseño. Para identificar las variables de diseño se puede utilizar el método de secuenciación de variables o un algoritmo que las seleccione, considerando cada una de ellas como una ecuación independiente con varias entradas y salidas, teniendo un enfoque unitario. Además, las salidas de una unidad junto con las entradas a esta, pueden utilizarse como entrada a otras unidades siguientes.

Las variables de diseño son 7: eslora (L), manga (B), puntal (T), puntal (D), coeficiente de bloque (Cb), coeficiente de la maestra (Cm) y coeficiente de la flotación (Cw), aunque podría utilizarse un número menor.

- Límites del sistema: se consideran dos límites. Los límites en los valores que las variables de diseño definidas pueden obtener, es decir, los valores máximos y mínimos que L, B, D, T, Cb, Cm y Cw puedan tener; y los límites entre las relaciones entre estas variables, es decir, los valores entre los que $\frac{L}{B}, \frac{L}{D}, \frac{L}{T}, \frac{B}{D}, \frac{B}{T}, \frac{T}{D}$ deben encontrarse.
- Restricciones en el sistema: se incluyen en este punto las restricciones especificadas por el propietario (capacidad de carga que debe tener el buque, velocidad de servicio, etc), las restricciones asociadas al propio proceso de diseño, las restricciones debidas a la normativa y a las leyes físicas que se deben cumplir (SOLAS, Marpol, etc) y las restricciones dadas por diferentes relaciones de diseño con las que el diseñador quiere cumplir. Además, se pueden incluir las restricciones vinculadas a la incertidumbre como por ejemplo la falta de conocimiento del coste de aceros, mano de obra, etc.
- Objetivos del diseño: los objetivos y la importancia de cada uno de ellos son definidos por la persona que vaya a realizar el diseño del buque y será necesario establecer unas funciones objetivo en las que se tendrán en cuenta los límites superior e inferior de cada objetivo, es decir el mejor y peor valor que podría adoptar ese objetivo. Además, estas funciones se multiplicarán después por su correspondiente peso en cuanto a importancia.

Las funciones objetivo se refieren a la cantidad de los objetivos que el diseñador quiere aumentar o disminuir y están sujetas a las restricciones definidas con anterioridad. Dado que es muy frecuente que la mejora en un objetivo de lugar a un valor menos deseado en otro objetivo diferente, es necesario llegar a un equilibrio y considerar que existen objetivos más prioritarios que otros.

En cuanto a los métodos de optimización, existen varios disponibles y entre los que podemos destacar los siguientes ³:

- Método de arranque múltiple: en este tipo de método, cada punto de búsqueda aleatorio generado va a actuar como si fuese un punto de partida inicial en el proceso de optimización local. Esto se lleva a cabo en sucesivas iteraciones, eligiendo el valor mínimo de la función.
- Simulación de recocido: se basa en la mejora, con cada iteración, de la función objetivo y evitando los mínimos locales.

Se basa en la idea de que los sólidos pueden recocerse aumentando en primer lugar la temperatura de forma que los átomos se dispongan azarosamente para luego disminuir la temperatura gradualmente hasta un estado de mínima energía, ordenándose nuevamente los átomos.

En primer lugar se elige una solución inicial aleatoria (S_0) y se calcula la función en s_0 como $f(S_0)$. Mediante una nueva iteración se calcula una nueva configuración s_k y se evalúa la función en ella como $f(S_k)$. Si el valor de la función objetivo calculado como $f = f(S_k) - f(S_0)$ es negativo, una variable aleatoria (Y) es comparada con el valor de la probabilidad de aceptación ($P = e^{-f/T}$) de forma que si el valor de Y es menor que P , la solución aceptada es S_0 y se vuelve al punto inicial realizándose una nueva iteración. Sin embargo, en el caso de que Y sea mayor que P , la solución que se acepta es S_k .

El proceso se inicia con una temperatura de recocido inicial y termina cuando se alcanza la temperatura final de recocido o si no se obtiene, dentro del número de iteraciones prescrito, una mejor solución.

La probabilidad de pasar a un estado (solución) que aumenta la energía (función objetivo) es cada vez más pequeña a medida que el cambio en la función objetivo aumenta y la temperatura disminuye.

En este trabajo se evaluará de forma manual cómo los parámetros del buque varían en función de lo que se desea estudiar y en base a eso se podría implementar este código de manera automática.

Dado que los dos parámetros que se van a tener en cuenta para hacer la optimización son el comportamiento en la mar y la estabilidad en averías, a continuación se hará un pequeño repaso a estos dos puntos:

2.1. Comportamiento en la mar

2.1.1. MSI

El mareo, entendido como una enfermedad que se produce debido a los movimientos del buque en la navegación y que da lugar a náuseas, malestar, etc, es debido principalmente a la aceleración vertical dada en una localización del buque, aunque también podría ser producida por otros movimientos si estos son lo suficientemente grandes y para medirlo se utiliza el índice MSI (Motion Sickness Incidence) el cual surge del experimento O'Hanlan and McCawley (1974)⁵ en el cual se mide la respuesta al mareo de 300 hombres que fueron probados en una cabina sin ventanas (por lo que no recibían ninguna señal visual del movimiento) en la que se simulaba un movimiento sinusoidal vertical con amplitudes hasta los 3,5 metros. Este experimento duró unas 2 horas o hasta que las personas vomitaban.

Se encontró que la frecuencia a la que el MSI se hace severo es a 1,07 radianes/segundo, la cual es muy frecuente en muchos buques, lo que explica que el fenómeno del mareo sea tan usual e importante. Sin embargo, es complicado aplicar estos resultados a la realidad ya que no se conoce exactamente la equivalencia de los movimientos del simulador a los de un buque y la estimación no es muy precisa.

Tras el experimento, la fórmula que se utiliza para medir el MSI es la siguiente:

$$MSI = 100 \cdot \left[0,5 \pm \operatorname{erf} \left(\frac{\pm \log_{10} \frac{a_v}{g} \pm \mu_{MSI}}{0,4} \right) \right]$$

Donde:

erf: función error

a_v : valor medio de las aceleraciones verticales en un punto

μ_{MSI} : dado por la siguiente fórmula:

$$\mu_{MSI} = -0,819 + 2,32 \cdot (\log_{10} w_e)^2$$

2.1.2. Strip theory

Esta teoría está basada en el trabajo de Salvesen (1970)⁵ y permite predecir los movimientos de los 6 grados de libertad heave, roll, pitch, surge, sway y yaw.

Considera que el buque está formado por un número finito de cortes transversales bidimensionales (secciones) las cuales interfieren unas con otras. Cada una de estas rebanadas tiene asociadas unas propiedades hidrodinámicas las cuales contribuyen a los coeficientes de las secciones para después obtener los coeficientes globales que aparecen en las ecuaciones del movimiento del buque. Cada sección se trata como si fuera un segmento de un cilindro infinitamente largo que está flotando.

Esta teoría lineal asume que los movimientos de la embarcación son lineales y armónicos, en cuyo caso la respuesta de la embarcación tanto en el cabeceo como en el oleaje, para una frecuencia y velocidad de ola determinadas, será proporcional a la amplitud de la ola.

Esta teoría ha surgido de la necesidad del cálculo de las ecuaciones del movimiento para los diferentes grados de libertad (surge, sway, heave, roll, pitch y yaw) ya que los métodos experimentales utilizados anteriormente requerían mucho esfuerzo.

En el cálculo de los movimientos de heave y pitch, se asume:

- El buque es esbelto, es decir, que la eslora es mucho más grande que la manga.
- La estructura del buque no se puede flexionar ya que este es rígido.
- No hay sustentación dado que se considera que la velocidad del buque se mantiene moderada.
- Los movimientos son pequeños.
- Las secciones del casco mamparos transversales.
- Se consideran aguas profundas.
- La presencia del casco no interfiere en las olas.

Por otra parte, para los movimientos de balance desacoplados, se asume un sistema amortiguado de masa-muelle-amortiguador:

- Dado que se asume que la altura y la pendiente de las olas son pequeñas, se utiliza la teoría de las olas lineales.
- Fluido incompresible
- Flujo irrotacional

Aunque este método se emplea en buques con un pequeño número de Froude, también

puede ser utilizado cuando es cercano a 0,8 siempre y cuando el buque sea esbelto. Un aspecto a tener en cuenta, es que dado que no se incluyen las fuerzas dinámicas verticales, los movimientos de los buques de planeo podrían ser sobreestimados.

2.1.3. Efectos del tamaño y forma del casco en el comportamiento del buque

Para conocer los efectos del tamaño y forma del casco en el comportamiento del buque se ha seguido una de las publicaciones del Lloyds⁵ que hace referencia al comportamiento con olas grandes y vientos fuertes.

2.1.3.1. Movimientos en el plano vertical

Los movimientos en el plano vertical más importantes son las aceleraciones verticales absolutas en los espacios del buque que están ocupados por personas y los movimientos relativos en la proa.

2.1.3.1.1. Efectos del tamaño del casco

Si a un buque le cambiamos la eslora, pero mantenemos las mismas formas, tendremos como resultado unos cambios proporcionales en todas las dimensiones lineales (manga, calado, etc), mientras que el desplazamiento varía como el cubo de la eslora.

Los buques tienden a encontrar las olas muy largas, pero no responden a olas muy cortas. Si consideramos un buque infinitamente largo y que todas las olas son más pequeñas que la longitud crítica de ola, las funciones de transferencia del heave y del pitch son 0 en todo el rango de frecuencias y el buque. Conforme la longitud del buque se va disminuyendo, algunas de las olas empiezan a superar la longitud crítica y las funciones de transferencia dejan de tener un valor nulo para empezar a tener un valor significativo en el rango de frecuencias de ola importante.

Cuando el buque es muy pequeño, todas las olas son más largas que el buque por lo que las funciones de transferencia en este caso tienen un valor igual a 1. Es decir, a medida que se reduce la eslora del buque, las aceleraciones son mayores ya que los efectos de la frecuencia de encuentro cobran mayor importancia.

2.1.3.1.2. Efectos de la forma del casco

Los cambios en pequeños detalles de la forma del casco tienen poca incidencia en los movimientos del plano vertical, por tanto para corregir estos movimientos es más importante atender a las proporciones generales del barco, así como las dimensiones principales.

Los cambios en la relación calado/eslora y manga/eslora son los que tienen un mayor efecto en el comportamiento en la mar del buque. Una disminución del calado, con la reducción correspondiente en el peso del buque, da lugar a un aumento de la masa añadida y de la amortiguación lo cual es beneficioso ya que disminuye los movimientos relativos y absolutos, aunque el buque también se ve más excitado por las olas ya que el área de la flotación es ahora mayor y es también más frecuente que aparezca el fenómeno del slamming.

En cuanto a la manga, al aumentar esta, disminuyen las aceleraciones verticales.

Un aumento del coeficiente del área de la flotación da lugar a una mayor manga en la proa que se traduce en coeficientes hidrodinámicos más favorables en estas regiones, aunque hay una mayor excitación por las olas. También da lugar a formas más favorables para reducir el las presiones del slamming, aunque una flotación extremadamente grande en la proa hará aumentar la posibilidad de sufrir golpes de slamming e incrementar la humedad en cubierta. A pesar, de esto, tener una flotación grande en la proa es siempre beneficioso ya que disminuye los movimientos absolutos y relativos, además de reducir el slamming cuando este tenga lugar.

2.1.3.2. Movimientos en el plano transversal

Los movimientos en el plano transversal disminuyen fundamentalmente al instalar elementos que reducen el roll y aunque los cambios en la forma y el tamaño del casco no influyen demasiado, es importante el cálculo de la altura metacéntrica ya que tiene una gran influencia en los movimientos debidos al roll y es necesario cumplir con unos criterios de estabilidad. Además un centro de gravedad más hacia a proa es generalmente beneficioso.

Algo importante a tener en cuenta es que la altura metacéntrica podría dar lugar a que la frecuencia natural coincida con los picos del espectro de las olas encontradas por el buque. Además, la frecuencia natural debe situarse en el rango de frecuencias naturales inferiores con períodos naturales prolongados para reducir el balance y las aceleraciones laterales locales, sobretodo en las zonas más altas del buque.

2.2. Estabilidad en averías

Antiguamente los buques debían cumplir con los requisitos deterministas de SOLAS 74, pero desde hace unos 35 años la estabilidad tras averías se calcula también en base a unos criterios probabilísticos, lo cual es mucho más complejo y requiere el uso de computadoras, pero también es mucho más efectivo y se acerca más a la realidad.

Para el cálculo de la estabilidad en averías, se siguen dos reglamentos probabilísticos: El SOLAS capítulo 2.1⁶ y la MSC.216 (82)⁷. Estos reglamentos hacen referencia a la construcción del buque, definiendo la estructura, compartimentado y estabilidad. Ambos se basan en un concepto probabilista y utilizan la probabilidad que tiene el buque de conservar la flotabilidad tras un abordaje como medida de seguridad del buque después de avería y aunque las reglas que aparecen en ambos reglamentos no son exactamente las mismas, sí son muy similares y lo ideal es tener en cuenta la más restrictiva.

El análisis probabilístico consiste en realizar varios análisis de estabilidad a grandes ángulos, calculando el factor s (representa la probabilidad de que el buque conserve la flotabilidad después de que se haya inundado el compartimento o grupo de compartimentos considerado) que depende de ciertos parámetros de la curva GZ. Las curvas GZ se calculan para diferentes condiciones de carga y para diferentes averías. Además, para cada tipo de avería, se calcula un factor p que representa la probabilidad de que sólo se inunde el compartimento o el grupo de compartimentos que se han considerado. El índice de subdivisión alcanzado por el buque (A) es la suma de los productos de los factores p con sus factores s correspondientes y este índice es el parámetro principal de medida de la probabilidad, el cual depende de la suma de los coeficientes de subdivisión a tres calados (ds , dl y dp) y que tiene que ser mayor o igual a R . Siendo R el índice de compartimentado prescrito en función de la eslora de compartimentado y del número de personas a bordo.

Para el cálculo de estas 3 condiciones de carga, es necesaria la definición de algunos conceptos y para ello atendemos a la MSC (216)82, Chapter II-1, Part A, Regulation 2 (Definitions)⁷:

- Subdivisión length (L_s): eslora de compartimentado.
- Mid-length: punto medio de la eslora de subdivisión del buque.
- Aft terminal: límite de popa de la eslora de subdivisión.
- Forward terminal: límite de proa de la eslora de subdivisión.
- Manga (B): manga máxima modulada del buque en o por debajo del calado de subdivisión.
- Deepest subdivisión draught (d_s): línea de flotación correspondiente a la línea de carga del calado de verano.
- Light service draught (d_l): calado correspondiente a la mínima condición de carga. Se incluye en lastre necesario para la estabilidad y/o inmersión. En los buques de pasaje, como es el caso del buque proyecto, deben incluir los pasajeros y la tripulación a bordo.
- Partial subdivisión draught (d_p): se corresponde con la siguiente fórmula:

$$d_p = d_l + 0,6 \cdot (d_s - d_l) = 3,16 \text{ m}$$

La MSC (216)82 indica en Chapter II-1, Part A, "Regulation 6" que para buques de pasaje como es este caso R tiene el siguiente valor:

$$R = 1 - \frac{5000}{L_s + 2,5 \times N + 15225}$$

$$N = N_1 + 2 \times N_2$$

Siendo:

L_s la eslora de compartimentado dada en metros.

N_1 el número de personas para las que se proporcionan botes salvavidas.

N_2 el número de personas (incluidos los oficiales y la tripulación) que no van en los botes.

Por tanto es necesario conocer los botes que llevará el buque y la capacidad de cada uno de ellos y para ello se utilizan las normas establecidas por SOLAS (Capítulo III, Parte B), donde se definen los equipos y medios de salvamentos con los que ha de contar el buque.

Según SOLAS, los buques de pasaje de arqueo bruto igual o superior a 500, como es el caso del buque a optimizar, llevarán a cada banda un bote de rescate (como mínimo).

Podría aceptarse un bote salvavidas como bote de rescate a condición de que cumplierse lo prescrito para los botes de rescate, pero no será este el caso.

Al tratarse de un buque de pasaje de transbordo rodado, además de lo anterior, por lo menos uno de los botes de rescate será un bote de rescate rápido.

Por tanto, el buque poseerá dos botes de rescate rápido Harding tipo "Stinger 630 OB 90 hp", uno a cada banda, el cual puede alcanzar una velocidad de 25 nudos. Cada uno tendrá una capacidad de 12 personas (de las cuales, 3 serán tripulantes), y serán capaces de alcanzar 25 nudos.

El buque transporta 399 pasajeros más 20 tripulantes, lo que da un total de 419 personas. De estas 419 personas, 24 irán en los botes ya que hay 2 botes de 12 personas cada uno y por

tanto:

$$N_1 = 24 \text{ personas}$$

El resto se contabiliza en N2:

$$N_2 = 419 - 24 = 395 \text{ personas}$$

Por tanto:

$$N = N_1 + 2 \times N_2 = 24 + 2 \times 395 = 814 \text{ personas}$$

Por otra parte, para calcular A atendemos a la "Regulation 7" de la MSC.216 (82)⁷ que dice que el índice de subdivisión obtenido (A) se obtiene mediante la suma de los índices parciales A_s , A_p , A_l , calculados para los calados d_s , d_p y d_l .

$$A = 0,4 \times A_s + 0,4 \times A_p + 0,2 \times A_l$$

Siendo cada índice parcial el sumatorio de los resultados de todos los casos de avería que se tomarán en consideración utilizando la siguiente fórmula:

$$A = \sum p_i \times s_i$$

Dónde:

i representa cada uno de los compartimentos o grupo de compartimentos considerados.

p_i representa la probabilidad de que sólo se inunde el compartimento o el grupo de compartimentos considerados, sin atender al compartimentado horizontal.

s_i representa la probabilidad de que el buque conserve la flotabilidad después que se haya inundado el compartimento o el grupo de compartimentos considerados, teniendo en cuenta los efectos del compartimentado horizontal.

En el caso de los buques de carga:

$$A_i > 0,5 \times R$$

Pero en los buques de pasaje, como es nuestro caso, esta condición es más restrictiva y:

$$A_i > 0,9 \times R$$

Tal y como se decía anteriormente, $A \geq R$, pero no puede ser que esto se cumpla y que para un calado determinado, por ejemplo d_l , no haya ninguna supervivencia. Por tanto también se debe cumplir:

$$\text{Para buques de carga: } A_p, A_l, A_s \geq 0,9 \times R$$

$$\text{Para buques de pasaje: } A_p, A_l, A_s \geq 0,5 \times R$$

2.2.1. Criterios probabilísticos

En cuanto a los criterios después de avería hay que tener en cuenta los siguientes:

2.2.1.1. Pasaje

En el que se estudia el efecto que tiene que todas las personas se encuentren en un costado del buque.

Suponiendo:

- La altura del centro de gravedad de cada pasajero es de 1 metro de pie sobre la cubierta y sentado de 0,30 metros.
- El número máximo de pasajeros sobre cada metro cuadrado de cubierta es de cuatro.
- El peso de cada pasajero es de 75 kg.
- Pasajeros lo más al costado que sea posible.

2.2.1.2. Viento

Maxsurf realiza automáticamente los cálculos relativos al área lateral hasta donde se tiene definido el buque en el programa. Se tiene definido hasta las casetas de la cubierta principal, por lo tanto el área adicional que incluiremos será el área por encima de las casetas.

El valor del área adicional se calcula mediante Autocad con su opción de “medir áreas” y para el cálculo de la altura del centro de gravedad del área se utiliza la siguiente fórmula:

$$Y_{centroide} = \sum \frac{Centro\ gravedad \cdot \text{Área}}{\text{Área total}}$$

2.2.1.3. Embarcaciones de supervivencia

Este criterio hace referencia a la escora producida debida a las embarcaciones de supervivencia y para tener en cuenta este criterio en el análisis probabilístico es necesario calcular primero el momento que genera el bote con las personas en el costado del buque, el cual es igual a:

$$A = (\text{Peso del bote} \times \text{distancia del bote a cruzía})$$

La distancia se puede calcular como la semimanga del buque más lo que sobresale el bote del costado.

El buque dispone de 2 botes salvavidas Harding LBT 750 con capacidad para 68 personas cada uno:

Cargo version (C) / Tanker version (T)	L x W x H (m)	Max seating (p at 82.5 kg)	Hook distance (m)	Davit load (kg)
LBT 525 C / LBT 525 T	5.25 x 2.30 x 3.05	25	4.90	4 403 / 4 753
LBT 650 C / LBT 650 T	6.50 x 2.30 x 3.10	36	6.10	5 485 / 5 935
LBT 700 C / LBT 700 T	7.00 x 2.70 x 3.10	48	6.60	7 216 / 7 605
LBT 750 C / LBT 750 T	7.50 x 2.90 x 3.25	68	7.10	8 965 / 9 335
LBT 850 C / LBT 850 T	8.50 x 2.90 x 3.25	80	8.14	10 949 / 11 295
LBT 935 C / LBT 935 T	9.35 x 3.60 x 3.25	102	8.95	13 825 / 14 315
LBT 1090 C / LBT 1090 T	10.90 x 3.90 x 3.50	130	10.50	17 406 / 17 906
LBT 1090 NSC	10.90 x 3.90 x 3.50	110	10.50	18 300
LBT 1180C / LBT 1180 T	11.80 x 4.20 x 3.65	150	11.30	21 350 / 22 000

Tal y como se indica en el cuadro anterior, cada bote pesa 9,335 toneladas en las que ya se incluye el peso de las personas.

El resto de personas van en balsas. Dado que las balsas salvavidas son MES, no cuelgan del costado y por tanto no generan momento.

2.2.1.4. Daño probabilístico

Los factores s se calculan mediante criterios de estabilidad. El cálculo de los factores s se realiza a partir de la curva GZ calculada para cada combinación de caso de carga y condición de daño.

3. METODOLOGÍA

Para llevar a cabo el objetivo del trabajo, se parte del buque inicial y se modifican sus dimensiones principales (eslora, manga y puntal), lo cual hará que varíen otras dimensiones y coeficientes inevitablemente.

Para ello, debemos tener en cuenta un requisito fundamental que es el espacio mínimo requerido y una restricción en cuanto a los límites de las dimensiones.

3.1. Área requerida

El buque debe tener espacio suficiente para albergar 399 pasajeros, 20 tripulantes y 60 coches, o bien, 24 coches y 6 camiones. Es por este motivo que debemos conocer el área mínima requerida por las personas y vehículos para saber cómo variar la manga y la eslora.

El espacio destinado al pasaje y a la tripulación debe ser en cada alternativa igual al del buque base, es decir, de $386,62 \text{ m}^2$ y 143 m^2 , respectivamente; y para calcular el área necesaria para los vehículos es necesario estudiar los dos posibles casos, es decir, cuando el buque transporte 60 coches y cuando transporte 6 camiones y 24 coches.

Las dimensiones de los coches y los camiones consideradas son las siguientes:

	Camiones	Coches
Largo (m)	16	5,5
Ancho (m)	3	2,3

- Buque transporta 60 coches:

$$\begin{aligned} \text{Área cubierta} &= \text{Área coches} + \text{Área casetas} \\ \text{Área cubierta} &= 60 \cdot 5,5 \cdot 2,3 + 2 \cdot 2 \cdot 46 = 943 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

- Buque transporta 6 camiones y 24 coches:

$$\begin{aligned} \text{Área cubierta} &= \text{Área coches} + \text{Área camiones} + \text{Área casetas} \\ \text{Área cubierta} &= 24 \cdot 5,5 \cdot 2,3 + 6 \cdot 16 \cdot 3 + 2 \cdot 2 \cdot 46 = 775,6 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Los coches se situarán en la cubierta principal y dado que el área requerida es mayor cuando se transportan coches y camiones, el área mínima de esta cubierta debe ser de 943 m^2 .

Por otra parte, el pasaje dispondrá de una cubierta y la tripulación de otra diferente, ambas por encima de la cubierta principal. Por esta razón, para poder dar valores a la manga y a la eslora es necesario tener en cuenta el mayor de todas las áreas que en este caso es 943 m^2 y será la que marque el requisito de área mínima.

Sin embargo, hay que tener en cuenta el espacio necesario para el paso de personas y para permitir que exista cierta separación entre los vehículos, por tanto este área siempre será

algo mayor.

3.2. Límites en dimensiones

Las alternativas se realizan tras establecer un límite superior e inferior entre los cuales variar las dimensiones.

Para variar la eslora y la manga debemos atender a la relación $\frac{L}{B}$ ya que por ejemplo podemos incrementar la eslora sin que afecte a la manga, pero si la disminuimos la manga tiene que aumentar para cumplir con el requisito de área mínima. Además las formas del buque en cada alternativa deben ser similares a los buques de la base de datos, así como al buque del que partimos.

Según la base de datos, tendremos un límite superior y un límite inferior para la relación $\frac{L}{B}$ de 6,77 y 2,85, respectivamente.

En cuanto al puntal, el límite superior es 6,45 y el inferior 3,65 para buques de este tipo.

Por tanto, el buque debe cumplir:

- $2,85 \leq \frac{L}{B} \leq 6,77$
- $3,65 \text{ m} \leq D \leq 6,45 \text{ m}$

3.3. Parametrización de las distintas configuraciones

Para cada una de las alternativas es necesario calcular una serie de parámetros. Esto se hace manteniendo algunas relaciones constantes o aplicando fórmulas.

- XG: el XG del buque varía en función de la eslora. Por tanto, se considera que el valor de $\frac{XG}{L}$ permanece constante e igual a -0,019, como en el buque base.
- KG: depende del puntal del buque y por tanto se mantiene constante la relación $\frac{KG}{D}$, con un valor de 0,98.
- Lpp: consideramos que se mantiene constante la relación $\frac{Lpp}{L}$ con un valor igual a 0,79.
- Δ : en cuanto al desplazamiento, calculamos su valor de la siguiente manera:

$$\Delta = \text{Peso Rosca} + \text{Peso Muerto}$$

$$PR = \text{Peso acero} + \text{Peso equipo restante}$$

El peso del acero se calcula mediante la fórmula de Watson:

$$\text{Peso acero} = Lpp^{1,5} \cdot B \cdot D^{0,5} \cdot K$$

Donde K es la constante de Watson que tendrá diferente valor dependiendo del tipo de buque. Para los RoRo-Ferry, K vale 0,037.

Para el cálculo del peso del equipo restante empleamos la siguiente fórmula de Watson:

$$\text{Peso equipo restante} = K \cdot Lpp^{1,3} \cdot B^{0,8} \cdot D^{0,3}$$

Además, tenemos que tener en cuenta el peso de los motores propulsores y de los

generadores. En el buque base cada generador pesa 9,4 t y el peso de cada propulsor es igual a 7,5 t. Teniendo en cuenta que el buque dispone de 3 generador y 4 propulsores:

$$\begin{aligned} \text{Peso propulsores} &= 7,5 \cdot 4 = 30 \text{ t} \\ \text{Peso generadores} &= 9,4 \cdot 3 = 28,2 \text{ t} \end{aligned}$$

El buque inicial dispone de estos generadores y propulsores y en principio, suponemos que el resto de alternativas también. No obstante, será necesario asegurar que con estos mismos propulsores y generadores se satisface la demanda energética requerida.

Esta comprobación se realizará mediante la fórmula de Watson para el cálculo de potencia:

$$PB = \frac{0,889 \cdot \text{Desplazamiento}^{\frac{2}{3}} \cdot \left(40 - \frac{Lpp}{61} + 400 \cdot (K - 1)^2 - 12 \cdot Cb\right)}{15000 - 1,81 \cdot N \cdot Lpp^{\frac{1}{2}}}$$

N son las revoluciones y K (constante de Alexander) se toma igual a 1,05.

Las revoluciones del propulsor se obtienen de los resultados obtenidos en el cálculo de potencia mediante el software Navcad para una velocidad de 13 nudos, es decir, a la velocidad de servicio del buque:

SPEED [kt]	RPMPROP [RPM]
11,00	281
11,50	294
12,00	308
12,50	323
+ 13,00 +	339
13,50	357
14,00	380
14,50	411
15,00	449
15,50	495

Por otra parte, también tenemos que considerar el peso de la habitación (butacas, zona del puente, etc) que se aproxima como un 10% del peso de aceros, las rampas de proa/ popa, de 29,1 t las dos y las trincas, de 2 t. Estos valores se obtienen del buque inicial al considerarlos constantes.

Por último, el peso muerto se compone por la carga útil y los consumos y estos se supondrá que se mantienen constantes.

$$PM = 280,206 \text{ t}$$

3.4. Análisis y software

Se describirá cómo se realizarán los análisis del comportamiento del buque en la mar y la estabilidad en averías, para ello como se verá a continuación, se ha utilizado el software del paquete Bentley Maxsurf. La ventaja que tiene este software es que dispone de una serie de librerías que permitirían ejecutar los cálculos de manera automática y relativamente sencilla.

En primer lugar se harán los análisis para el buque base y después se harán los mismos cálculos para 10 modificaciones de diseño diferentes.

3.4.1. Comportamiento del buque en la mar

El software que se utilizará para el estudio del comportamiento en la mar es el Maxsurf Motions. Este software utiliza la teoría denominada "Strip theory" (explicada en la sección anterior) para predecir el movimiento y la respuesta del buque ante diferentes estados de la mar a una velocidad y rumbo establecidos previamente, permitiendo su optimización. Además, también será necesario indicar un espectro de ola para conocer la distribución de la energía de las olas.

La idea es calcular el comportamiento del buque en la mar atendiendo al índice MSI en los puntos donde se situará el pasaje y la tripulación, es decir, en la cubierta de pasaje, cubierta de la tripulación y en el puente. Para ello se considerarán los puntos más alejados del centro de gravedad del buque ya que son los puntos más desfavorables, es decir, en las esquinas de cada una de estas cubiertas y hacia proa.

Dado que las cubiertas de pasaje, tripulación y puente se considera que no varían, estos puntos tampoco lo harán:

PUNTOS CRÍTICOS			
Cubierta	XG (m)	YG (m)	KG (m)
Cubierta pasaje	13	7,4	10,43
Cubierta tripulación	6,5	5,5	13,33
Cubierta puente	4	4	16,23

Se desea estudiar la respuesta del buque para diferentes rumbos que este pueda tener, por lo que se considerarán diferentes ángulos relativos entre la dirección de avance del buque y la dirección de avance de las olas, estudiando el mar de popa, de proa y de costado.

A la hora de introducir el espectro, se ha elegido la condición de ola más frecuente en el mar del norte (por donde navega el buque) según la siguiente tabla:

Table 1, Probability of sea-states in the North Atlantic described as occurrence per 100000 observations. Derived from BMT's Global Wave Statistics

Hs/Tz	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	13.5	14.5	15.5	16.5	17.5	18.5	SUM
0.5	0.0	0.0	1.3	133.7	865.6	1186.0	634.2	186.3	36.9	5.6	0.7	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3050
1.5	0.0	0.0	0.0	29.3	986.0	4976.0	7738.0	5689.7	2375.7	703.5	160.7	30.5	5.1	0.8	0.1	0.0	0.0	0.0	22575
2.5	0.0	0.0	0.0	2.2	197.5	2156.8	6230.0	7449.5	4860.4	2066.0	644.5	160.2	33.7	6.3	1.1	0.2	0.0	0.0	23810
3.5	0.0	0.0	0.0	0.2	34.9	696.5	3226.5	5675.0	5099.1	2638.0	1114.1	337.7	84.3	18.2	3.5	0.6	0.1	0.0	19128
4.5	0.0	0.0	0.0	0.0	6.0	196.1	1364.3	3288.5	3857.5	2685.5	1275.2	455.1	130.9	31.9	6.9	1.3	0.2	0.0	13289
5.5	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	51.0	498.4	1602.9	2372.7	2008.3	1126.0	463.6	150.9	41.0	9.7	2.1	0.4	0.1	8328
6.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	12.6	167.0	690.3	1257.9	1268.6	825.9	386.8	140.8	42.2	10.9	2.5	0.5	0.1	4806
7.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	52.1	270.1	594.4	703.2	524.9	276.7	111.7	36.7	10.2	2.5	0.6	0.1	2686
8.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	15.4	97.9	255.9	350.6	296.9	174.6	77.6	27.7	8.4	2.2	0.5	0.1	1309
9.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	4.3	33.2	101.9	159.9	152.2	99.2	48.3	18.7	6.1	1.7	0.4	0.1	626
10.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	10.7	37.9	67.5	71.7	51.5	27.3	11.4	4.0	1.2	0.3	0.1	285
11.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	3.3	13.3	26.6	31.4	24.7	14.2	6.4	2.4	0.7	0.2	0.1	124
12.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	1.0	4.4	9.9	12.8	11.0	6.8	3.3	1.3	0.4	0.1	0.0	51
13.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	1.4	3.5	5.0	4.6	3.1	1.8	0.7	0.2	0.1	0.0	21
14.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.4	1.2	1.8	1.3	0.7	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	8
15.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.4	0.6	0.7	0.5	0.3	0.1	0.1	0.0	0.0	3
16.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	1
SUM:	0	0	1	165	2091	9280	19922	24879	20870	12896	6245	2479	837	247	66	16	3	1	100000

The Hs and Tz values are class midpoints.

La ola elegida es aquella que tiene una altura de ola significativa que más aparece en esa ruta, en este caso de 1,5 m, y con un período de ola más frecuente (7,5 s).

Para poder realizar el análisis es necesario, en primer lugar, definir las secciones (normalmente entre 15 y 30) en las que se dividirá el buque, las cuales se miden en planos normales a la línea de base y estas se mueven verticalmente para hacer que la línea de flotación sea horizontal (en lugar de rotar). Por tanto, existe una ligera discrepancia entre la sección real del casco y la sección utilizada.

Más tarde se mapean las secciones para poder calcular las propiedades hidrodinámicas de

cada una, teniendo en cuenta que:

- El mapeo siempre cruza los ejes a 90°.
- Las secciones siempre son continuas.
- Existen limitaciones en el rango de la relación entre la manga de la sección y el calado y los coeficientes del área de la sección que pueden mapearse con precisión.

Se pueden emplear hasta 15 parámetros de mapeo. Cuantos más términos se utilicen mayor será la coincidencia con las secciones reales del casco del buque.

En cuanto a las inercias del pitch y del roll, estas se consideran un porcentaje de la eslora total y de la manga respectivamente. Normalmente se considera un radio de giro del pitch del 25% de la eslora total y un radio de giro del roll entorno al 35%-40% de la manga. Se tomará el porcentaje que nos proporciona por defecto que en este caso es del 25% de la eslora total para la inercia del pitch y yaw y del 40% para la inercia del roll.

Los resultados que se desean obtener es una mejora en el índice MSI al disminuir las aceleraciones verticales del buque, mejorando la estancia del pasaje durante el tiempo de la navegación. Hay que tener en cuenta que no todas las alternativas mejorarán la respuesta del buque en la mar, por lo que habrá que estudiar qué alternativas habrá que descartar.

3.4.2. Estabilidad en averías

En este caso se utiliza el módulo Stability del Maxsurf en el que se definirá el comportamiento del buque, la distribución de los tanques y las condiciones de carga necesarias para poder llevar a cabo el análisis probabilístico siguiendo las indicaciones de SOLAS capítulo 2.1⁶ y la MSC.216 (82)⁷, de las cuales hablamos anteriormente.

En primer lugar, es necesario definir las esloras inundables para situar los mamparos estancos y así poder realizar el compartimentado del buque. Este método se utiliza para garantizar la flotabilidad del buque en caso de avería y para ello se calcula la extensión de la avería transversal y longitudinal mediante los criterios de SOLAS, de la MSC y también se ha considerado el DNV-GL (ya que es la Sociedad de Clasificación a la que pertenece el buque), por ejemplo para el cálculo de la colocación del mamparo de colisión. Se considerará el que de lugar a un valor más restrictivo.

En el caso del buque proyecto, no hay cubiertas de carga rodada por debajo de la cubierta principal; esto es, los vehículos van en la cubierta principal y la zona estanca termina en la misma (sin olvidarse de tener en cuenta las zonas estancas laterales por donde transcurren chimeneas y guardacalores), por lo que, solo habrá mamparos estancos bajo la cubierta principal y en la propia cubierta (los que forman las zonas estancas laterales).

Una vez definido el compartimentado y la disposición de tanques, se calculan 3 condiciones de carga (s, l y p) obtenidas a partir de la condición de máxima y mínima carga del buque. Con estas 3 condiciones y definiendo en el buque distintas zonas obtendremos el índice de compartimentado obtenido (A) el cual establecerá la estabilidad del buque cuando se produce una avería.

Para calcular el índice de subdivisión obtenido (A), se consideran todas las posibles averías y la posibilidad de que se produzca cada una. Además hay que considerar la probabilidad de supervivencia del buque.

El número máximo de zonas adyacentes se ha considerado 2 para la realización del análisis.

Para poder realizar el análisis es necesario definir:

- Zonas: teniendo en cuenta que las zonas no tienen que coincidir necesariamente con el compartimentado.
- Mamparos longitudinales: para lo que es necesario introducir en Maxsurf los valores de “Shell half-beam” y las “b”. “Shell half-beam” es la distancia desde el costado hasta crujía para cada zona, medida en la flotación de máxima carga, y las b son la distancia medida en el centro de cada zona desde el costado hasta los mamparos longitudinales en la flotación de máxima carga.
- Cubiertas: el buque solo se dispone de una única cubierta estanca que sería la cubierta de carga rodada y por tanto, solo se tiene esta en cuenta.

3.4.2.1. Permeabilidades

Por otra parte, es necesario determinar también la permeabilidad de cada espacio susceptible de inundación y para ello atendemos a la MSC (216)82⁷ que la define como la proporción del volume inmerso de ese espacio que puede ser ocupado por agua y en la Regulation 7-3 nos proporciona los siguientes valores dependiendo del espacio que consideremos:

Spaces	Permeability
Appropriated to stores	0.60
Occupied by accommodation	0.95
Occupied by machinery	0.85
Void spaces	0.95
Intended for liquids	0 or 0.95 ¹

Spaces	Permeability at draught d_s	Permeability at draught d_p	Permeability at draught d_l
Dry cargo spaces	0.70	0.80	0.95
Container spaces	0.70	0.80	0.95
Ro-ro spaces	0.90	0.90	0.95
Cargo liquids	0.70	0.80	0.95

- Hay que destacar que en el caso de este buque, aunque lleva carga rodada esta se dispone en una cubierta al aire libre y no en un garaje y por tanto esto no es de aplicación para el caso “Ro-ro spaces”.
- Las casetas se considerarán como “Void spaces” aunque también podrían considerarse como “Appropriated to stores”.
- Tanto la cámara de máquinas como los locales de los propulsores de proa y de popa, se consideran como “Occupied by machinery” ya que tal y como indica el reglamento, los espacios de maquinaria son aquellos espacios que contiene la maquinaria de propulsión principal y auxiliar, incluyendo calderas, generadores y motores eléctricos destinados principalmente a la propulsión.
- Como “Void spaces” metemos todos aquellos espacios destinados a aumentar la reserva de flotabilidad (espacios vacíos).
- En los tanques consideramos una permeabilidad del 95%.

3.4.2.2. Condiciones de carga

La resolución MSC 267/85⁸ (parte “B”, capítulo 3, apartado 3.4) de la IMO dicta que los buques de pasaje deben de cumplir las siguientes condiciones de carga:

- Salida de puerto a plena carga: el buque lleva el 100% de vehículos y el 100% de pasaje. Los tanques de diésel, aceite, agua dulce y LNG salen de puerto al 100%. Los de lodos y aguas negras y grises salen vacíos (aunque en el caso de aguas negras y grises se considera que salen al 0,1% para que corrijan por superficies libres).
- Llegada a puerto a plena carga: el buque llega a puerto con el 100% de vehículos y el 100% de pasaje. Los tanques de consumos se han vaciado hasta el 10% de su capacidad y los tanques de lodos y aguas negras y grises van llenos al 90%. En el caso del MDO que tenemos un tanque almacén, uno de sedimentación y dos de 12 h, no todos los tanques van al 10% ya que siguiendo el orden de consumos normal del buque, primero se consume de los tanques almacén, luego sedimentación y finalmente 12 h, que es donde se supone que debe quedar el 10% del MDO.
- Salida de puerto sin carga: el buque lleva el 100% de pasaje pero no lleva coches ni camiones. Los tanques de consumos van llenos al 100%. El resto de los tanques van vacíos (lodos y aguas negras y grises), aunque consideramos que los de aguas negras y grises van al 0,1% para que corrijan por superficies libres.
- Llegada a puerto sin carga: el buque llega con el 100% de pasaje y sin coches ni camiones. Respecto a los tanques, los tanques de consumos estarán al 10% de su capacidad y los tanques de lodos y aguas negras y grises estarán al 90%.

La condición de máxima carga “Salida a plena carga” se corresponde con la condición de carga s y la condición de carga con un desplazamiento menor “Llegada a puerto sin carga”, se corresponde con la condición de carga l . A partir de estas dos, se calcula una condición de carga parcial que será p .

Para calcular el K_G máximo de cada una de ellas es necesario calcular la curva de K_G máximo en intacta (según los criterios del Código IS 2008 de la IMO).

Calcularemos una curva de K_G máximo para las condiciones s y p , y otra para la condición l . Para el cálculo de esta curva se establecen un rango de desplazamientos de entre el peso en rosca y el desplazamiento Δ_s . Se calculará para 10 desplazamientos intermedios y se fija el trimado en 0. La escora se define entre -30 a 90 grados con pasos de 10 grados.

Este K_G se irá incrementando en pasos de 0,5 m si las condiciones de carga no cumplen con $A \geq R$ hasta que sí lo hagan.

3.4.2.2.1. Condición de carga s

Esta condición de carga se corresponde con la que tiene un mayor desplazamiento y en ella se cumple lo siguiente:

- Desplazamiento (Δ_s): se corresponde con el desplazamiento de la mayor condición de carga.
- Trimado = 0.
- Calado (d_s): es el de la condición de máxima carga.
- XG = 0.
- XG = XB.

3.4.2.2.2. Condición de carga l

Se corresponde con la condición de mínima carga y se cumple lo siguiente:

- Desplazamiento (Δ_s): se corresponde con el desplazamiento de la menor condición de carga.
- Trimado es igual al trimado real que tiene la condición de mínima carga.
- Calado (d_l): es el de la condición de mínima carga.
- XG es el XG de la condición de mínima carga.
- YG = 0.

3.4.2.2.3. Condición de carga p

Se trata de una condición de carga parcial entre s y l y en ella se cumple:

- Calado (d_p):

$$d_p = d_l + 0,6 \cdot (d_s - d_l)$$

- Trimado = 0.
- Desplazamiento (Δ_p): el correspondiente a dicho calado. Una vez calculado d_p obtenemos el desplazamiento.

En resumen, la idea de la optimización del buque en cuanto a estabilidad en averías es incrementar el índice A con la realización de las alternativas para que el buque sea lo más seguro posible en caso de avería y comparar cada una de ellas con el buque inicial para ver si la modificación del diseño es de interés o no.

3.4.2.3. Cálculo longitudinal de la avería

Aparece el concepto de eslora máxima tras avería, que según SOLAS Capítulo 2-1, Regla 8 (estabilidad de los buques de pasaje después de avería) es:

4 Se supondrá que las dimensiones de la avería son las siguientes:

.1 extensión longitudinal: 3 m más el 3 por ciento de la eslora del buque, u 11 m, si esta magnitud es inferior a la anterior. Cuando el factor de subdivisión prescrito sea igual o inferior a 0,33 se aumentará la supuesta extensión longitudinal de la avería según resulte necesario para que queden incluidos dos mamparos estancos transversales principales cualesquiera que sean consecutivos;

Y “eslora del buque” se define en la Regla 2 (definiciones) como:

2 "Eslora del buque": longitud de éste, medida entre las perpendiculares trazadas en los extremos de la línea de máxima carga de compartimentado.

$$\text{Lavería} = 3 + 0,03 \cdot L$$

La eslora de avería sería la mínima a la cual se debería espaciar los mamparos transversales para evitar que una única avería inundase más de un compartimento.

Si además atendemos a la MSC (216)82, en la Part B-2, Regulation 9, indica, para buques de pasaje y buques de carga distintos a los buques tanque, lo siguiente:

	For 0.3 L from the forward perpendicular of the ship	Any other part of the ship
Longitudinal extent	$1/3 L^{2/3}$ or 14.5 m, whichever is less	$1/3 L^{2/3}$ or 14.5 m, whichever is less

Donde L se define en la Regulation 2, como la eslora definida en el Convenio de líneas de carga y este dice lo siguiente:

“Se tomará como eslora (L) el 96% de la eslora total en una línea de flotación situada a una distancia de la quilla igual al 85% del puntal mínimo de trazado, medida desde el canto alto de dicha quilla, o la eslora desde la cara de proa de la roda hasta el eje de la mecha del timón en dicha flotación, si ésta fuera mayor.”

El espaciado entre mamparos transversales será tal que coincida con las cuadernas.

3.4.2.4. Extensión transversal de la avería

Por otra parte, debemos calcular la extensión transversal de la avería. Para ello seguimos utilizando la Regla 8 del capítulo 2-1 de SOLAS.

.2 extensión transversal (medida hacia el interior del buque, desde el costado, perpendicularmente al eje longitudinal, al nivel de la línea de máxima carga de compartimentado): una distancia igual a un quinto de la manga del buque, tal como ésta queda definida en la Regla 2; y

$$\text{Extensión transversal avería} = \frac{B}{5}$$

Por otra parte la MSC (216)82 indica:

	For 0.3 L from the forward perpendicular of the ship	Any other part of the ship
Longitudinal extent	$1/3 L^{2/3}$ or 14.5 m, whichever is less	$1/3 L^{2/3}$ or 14.5 m, whichever is less
Transverse extent	$B/6$ or 10 m, whichever is less	$B/6$ or 5 m, whichever is less
Vertical extent, measured from the keel line	$B/20$ or 2 m, whichever is less	$B/20$ or 2 m, whichever is less

Tanto para SOLAS como para la MSC (216)82, B es la manga máxima en el calado de máxima carga.

$$\text{Extensión transversal avería} = \frac{B}{6}$$

Dado que SOLAS es más restrictivo será el que tendremos en cuenta.

3.4.2.1. Compartimentado longitudinal

El buque que se está diseñando ha de ser seguro en caso de inundación. Esta premisa hace necesaria la subdivisión del mismo en compartimentos separados por mamparos estancos, los cuales aseguran estabilidad en caso de avería. Los mamparos estancos que la Sociedad de Clasificación DNV-GL obliga a llevar son: mamparo de colisión, mamparo en el pique de popa y mamparos de cámara de máquinas.

3.4.2.1.1. Mamparo de colisión

Calculamos el mamparo de colisión atendiendo a la Sociedad de Clasificación DNV-GL (parte 3, capítulo 1, sección 2), el cual hace referencia al capítulo 2-1, regla 10 del SOLAS.

1.3 Position of collision bulkhead

1.3.1 The distance x_C from the forward perpendicular to the collision bulkhead shall be taken between the following limits:

$$\begin{aligned}x_C (\text{minimum}) &= 0.05 L (m) \\x_C (\text{maximum}) &= 3.0 + 0.05 L (m)\end{aligned}$$

An increase of the maximum distance given above may be acceptable upon consideration in each case, provided a floatability and stability calculation shows that, with the craft fully loaded to summer draught on even keel, flooding of the space forward of the collision bulkhead will not result in any other compartments being flooded, nor in an unacceptable loss of stability.

3.4.2.1.2. Mamparos de cámara de máquinas

El DNV-GL obliga a llevar un mamparo estanco en cada extremo del espacio de la cámara de máquinas.

3.4.2.2. Compartimentado transversal

3.4.2.2.1. Espacios vacíos

Se les llama a aquellos espacios del buque que se encuentran vacíos. Sirven para aumentar la reserva de flotabilidad.

3.4.2.2.2. Mamparos longitudinales

Será necesario que el buque lleve algún mamparo longitudinal como doble casco a cada banda del buque a una distancia del costado que sea, como mínimo, la longitud de la avería transversal para hacer frente a la estabilidad en averías. Se proveerá un doble casco en cámara de máquinas y en los espacios vacíos.

3.4.2.3. Compartimentado vertical

3.4.2.3.1. Doble fondo

Según el SOLAS (capítulo 2, regla 12): “los buques cuya eslora sea igual o superior a 61 m pero inferior a 76 m irán provistos de un doble fondo al menos fuera del espacio de máquinas,

doble fondo que llegará a los mamparos de los piques de proa y de popa o a puntos tan cercanos a estos mamparos como sea posible”.

El doble fondo mínimo deberá ser de:

$$dDB = 32 \cdot B \cdot 10^{-3} + c \cdot \sqrt{d}$$

dDB = puntal del doble fondo en metros

c = 0,19

d = calado de escantillonado, en metros.

B= manga del buque, en metros.

Por otra parte la MSC (216)82, indica en la Part B-2, Regulation 9, que la altura del doble fondo se puede calcular como:

$$h = \frac{B}{20}$$

Y que nunca debe tomarse inferior de 760 mm ni superior a 2m.

El valor del doble fondo en buques de este estilo es mayor, por lo que se va a aumentar; primero, para facilitar su construcción y segundo, para poder instalar tanques en el doble fondo y poder acceder a ellos sin problemas de espacio.

3.4.2.3.2. Cubiertas estancas

La única cubierta estanca será la principal (la cubierta de carga rodada).

3.5. Generación de alternativas

Como se explicaba anteriormente, se realizarán una serie de alternativas para estudiar las posibles mejoras en cuanto a comportamiento en la mar y la estabilidad del buque. Estas modificaciones se harán variando L, B y D fundamentalmente, aunque cambiarán también otros parámetros.

3.5.1. 1ª alternativa

Con la idea de estudiar cómo influye un aumento de la relación L/B en el comportamiento del buque en la mar y en la estabilidad en averías del mismo, en la primera alternativa aumentaremos la eslora total y disminuirémos la manga máxima respecto al buque base, manteniendo constante el puntal.

Las dimensiones principales en esta alternativa y algunas relaciones de interés, son:

DIMENSIONES PRINCIPALES	
L	76 m
Lpp	64,36 m
B	16 m
D	5,43 m
T	3,42 m
Cb	0,528
Cp	0,652
Cm	0,81
Desplazamiento	1422 t
Velocidad	13 kn
Pasajeros	399
Tripulación	20
L/B	4,75
B/D	2,95
L/D	14

3.5.2. 2ª alternativa

En este caso, estudiaremos cómo afecta una disminución de la relación L/B en el comportamiento en la mar y estabilidad en averías. Se disminuirá la eslora y se aumentará la manga, mientras se mantiene constante el puntal.

Las dimensiones principales y relaciones dimensionales para esta alternativa son:

DIMENSIONES PRINCIPALES	
L	57 m
Lpp	45,28 m
B	19,8 m
D	5,43 m
T	3,42 m
Cb	0,556
Cp	0,686
Cm	0,81
Desplazamiento	1754 t
Velocidad	13 kn
Pasajeros	399
Tripulación	20
L/B	2,88
B/D	3,65
L/D	10,5

3.5.3. 3ª alternativa

Para conocer cómo afecta la variación de la manga, se incrementará 1 metro respecto al buque inicial para estudiar cómo afecta al comportamiento y estabilidad del buque.

Las dimensiones principales del buque y las relaciones entre dimensiones son ahora las siguientes:

DIMENSIONES PRINCIPALES	
L	61 m
Lpp	48,46 m
B	18,8 m
D	5,43 m
T	3,42 m
Cb	0,55
Cp	0,679
Cm	0,81
Desplazamiento	1678 t
Velocidad	13 kn
Pasajeros	399
Tripulación	20
L/B	3,24
B/D	3,46
L/D	11,23

3.5.4. 4ª alternativa

En este caso incrementaremos la eslora para ver cómo influye su modificación en cuanto al comportamiento en la mar y a la estabilidad en averías.

Las dimensiones principales y relaciones dimensionales son ahora las siguientes:

DIMENSIONES PRINCIPALES	
L	63 m
Lpp	50,05 m
B	17,8 m
D	5,43 m
T	3,42 m
Cb	0,547
Cp	0,675
Cm	0,81
Desplazamiento	1589 t
Velocidad	13 kn
Pasajeros	399
Tripulación	20
L/B	3,54
B/D	3,28
L/D	11,6

3.5.5. 5ª alternativa

Para estudiar cómo influye el aumento del puntal en el comportamiento en la mar y estabilidad en averías, se incrementará en esta alternativa 1 metro su valor respecto al buque inicial.

Las dimensiones principales de esta alternativa y relaciones dimensionales son las siguientes:

DIMENSIONES PRINCIPALES	
L	61 m
Lpp	48,46 m
B	17,8 m
D	6,43 m
T	3,42 m
Cb	0,57
Cp	0,708
Cm	0,806
Desplazamiento	1468 t
Velocidad	13 kn
Pasajeros	399
Tripulación	20
L/B	3,43
B/D	2,77
L/D	9,49

3.5.6. 6ª alternativa

Al contrario que en la alternativa anterior, disminuirémos el puntal para ver su influencia en el comportamiento en la mar y estabilidad en averías.

Las dimensiones principales y relaciones entre dimensiones en esta alternativa son las siguientes:

DIMENSIONES PRINCIPALES	
L	61 m
Lpp	48,46 m
B	17,8 m
D	4,43 m
T	3,42 m
Cb	0,52
Cp	0,636
Cm	0,818
Desplazamiento	1759 t
Velocidad	13 kn
Pasajeros	399
Tripulación	20
L/B	3,43
B/D	4,02
L/D	13,77

3.5.7. 7ª alternativa

Para el estudio del efecto de la relación B/D en cuanto a comportamiento en la mar y estabilidad en averías, variaremos estas dos dimensiones. Por tanto, ahora incrementamos la manga y disminuimos el puntal respecto al buque base quedando las dimensiones principales y relaciones entre dimensiones de la siguiente manera:

DIMENSIONES PRINCIPALES	
L	61 m
Lpp	48,46 m
B	18,8 m
D	6,43 m
T	3,42 m
Cb	0,57
Cp	0,708
Cm	0,806
Desplazamiento	1551 t
Velocidad	13 kn
Pasajeros	399
Tripulación	20
L/B	3,24
B/D	2,92
L/D	9,49

3.5.8. 8ª alternativa

A diferencia del resto de alternativas, en este caso se varían las tres dimensiones principales de interés. Se incrementa la eslora, se disminuye la manga y se incrementa el puntal.

A partir de esta obtendremos diferentes valores de las relaciones L/B, L/D y B/D que más tarde estudiaremos.

Las dimensiones principales son las siguientes en esta alternativa:

DIMENSIONES PRINCIPALES	
L	76 m
Lpp	64,36 m
B	16 m
D	6,43 m
T	3,42 m
Cb	0,57
Cp	0,708
Cm	0,806
Desplazamiento	1645 t
Velocidad	13 kn
Pasajeros	399
Tripulación	20
L/B	4,75
B/D	2,49
L/D	11,82

3.5.9. 9ª alternativa

Para poder realizar el análisis de resultados en base a gráficos como es la idea del proyecto, haremos otra variación del valor de L/B que, junto con otras alternativas, dará lugar a los gráficos deseados. En este caso aumentaremos la eslora 2 metros y la manga 1 metro, respecto al buque inicial, mientras que el puntal se mantendrá constante.

DIMENSIONES PRINCIPALES	
L	63 m
Lpp	50,05 m
B	18,8 m
D	5,43 m
T	3,42 m
Cb	0,55
Cp	0,679
Cm	0,81
Desplazamiento	1733 t
Velocidad	13 kn
Pasajeros	399
Tripulación	20
L/B	3,35
B/D	3,46
L/D	11,6

3.5.10. 10ª alternativa

En esta alternativa se varían las tres dimensiones principales de interés. Se incrementa la eslora, la manga y el puntal respecto al buque base.

Obtenemos entonces diferentes valores de las relaciones L/B, L/D y B/D que más tarde

estudiaremos.

Las dimensiones principales y algunas relaciones de interés son:

DIMENSIONES PRINCIPALES	
L	63 m
Lpp	50,05 m
B	18,8 m
D	6,43 m
T	3,42 m
Cb	0,57
Cp	0,708
Cm	0,806
Desplazamiento	1602
Velocidad	13 kn
Pasajeros	399
Tripulación	20
L/B	3,35
B/D	2,92
L/D	9,8

4. SELECCIÓN Y DEFINICIÓN DEL BUQUE BASE.

El buque base se trata de un Ferry (Ro-Pax) para navegación por los fiordos noruegos con capacidad para 399 pasajeros, 20 tripulantes y 60 turismos, o bien, 24 turismos y 6 trailers con las siguientes dimensiones principales:

DIMENSIONES PRINCIPALES	
L	61 m
Lpp	48,46 m
B	17,8 m
D	5,43 m
T	3,42 m
Cb	0,55
Cp	0,678
Cm	0,81
Desplazamiento	1587 t
Velocidad	13 kn
Pasajeros	399
Tripulación	20

La velocidad de servicio es de 13 nudos y la propulsión es diésel eléctrica. El buque está propulsado mediante pods, llevando dos hélices a popa y dos a proa, que nunca se utilizarán en navegación normal al mismo tiempo. Estos pods obtienen su energía de dos generadores duales diésel-LNG (lleva tres instalados, pero uno es de respeto), permitiendo una navegación

sin excesivas emisiones por encontrarse en zonas ECA y que por tanto, se deben de limitar las emisiones de determinados contaminantes como SOx, NOx, partículas y compuestos volátiles.

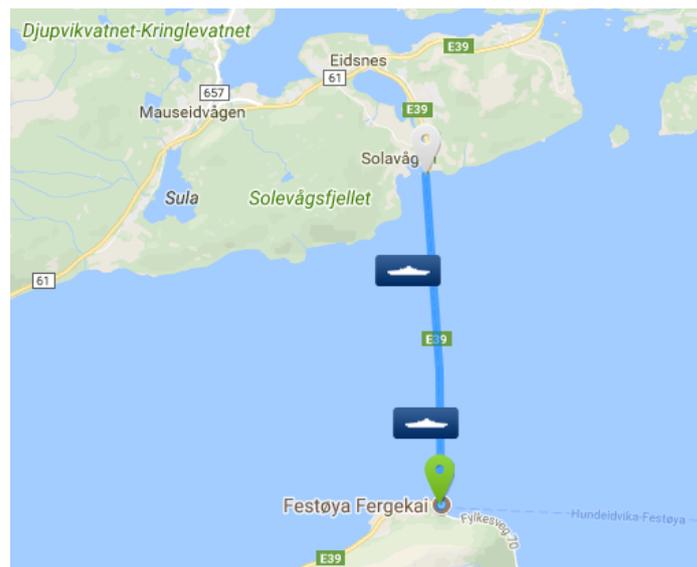
En cuanto a las Sociedades de Clasificación, el buque cumple con los requerimientos de los convenios SOLAS, MARPOL y DNV-GL.

4.1. Ruta

La ruta que realiza el ferry es la que une Festøy con Solavågen y la autonomía, establecida por la RPA, es de siete días de operación.

Este trayecto en ferry dura aproximadamente unos 20 minutos y la ruta no cambia en invierno y verano, sino que es la misma.

La ruta y los horarios pueden verse a continuación:



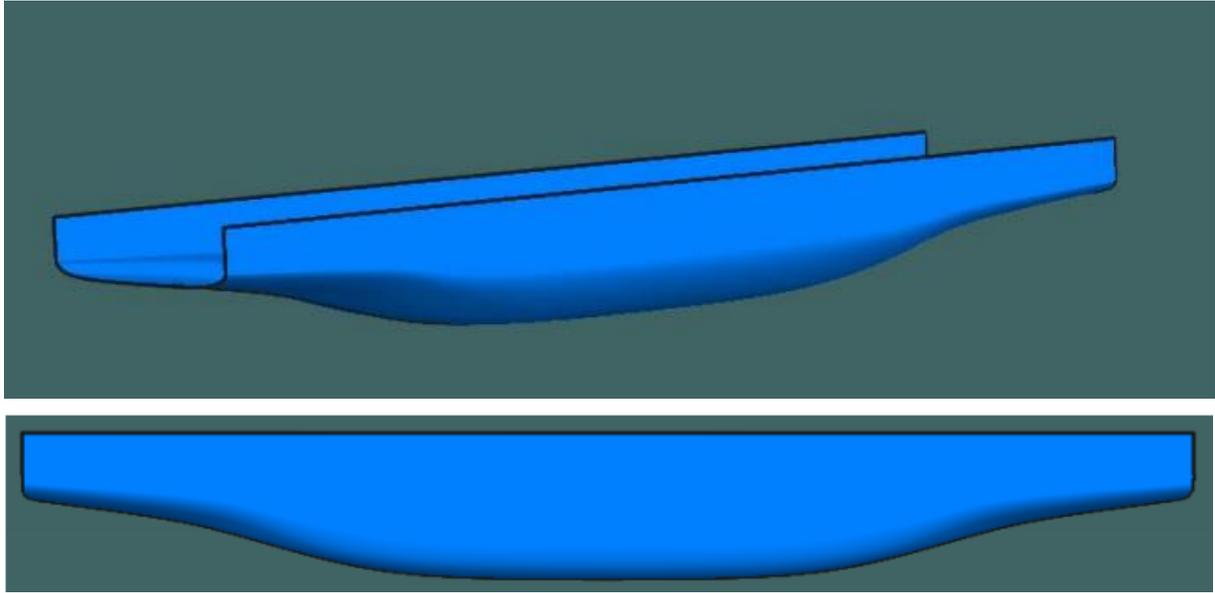
Festøya → Solavågen				
00:40	06:55	10:55	15:25	19:55
01:20	07:25	11:25	15:55	20:25
02:00	07:55	11:55	16:25	20:55
02:40	07:55	12:25	16:55	21:25
04:10	08:25	12:55	17:25	21:55
05:10	08:55	13:25	17:55	22:20
05:50	09:25	13:55	18:25	23:20
06:30	09:55	14:25	18:55	00:00
06:55	10:25	14:55	19:25	

4.2. Espaciado

A continuación se define la clara de cuadernas:

- Entre los mamparos de colisión de proa y de popa (hay que recordar que el buque es simétrico) 500 mm.
- Desde el mamparo de colisión a proa (lo mismo para la popa), se mantiene la separación de 500 mm

4.3. Forma del casco



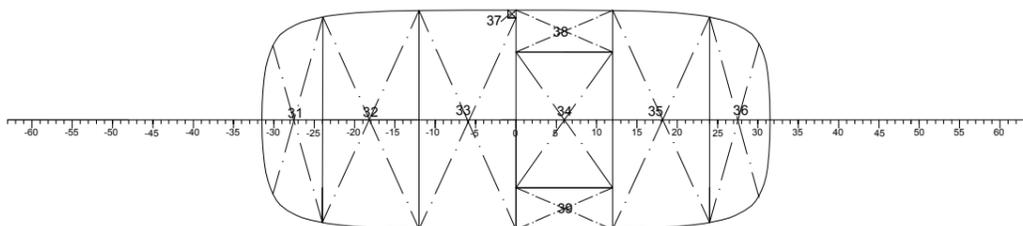
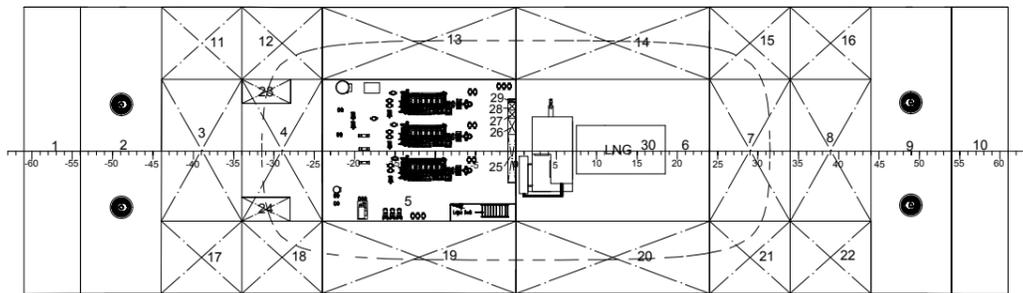
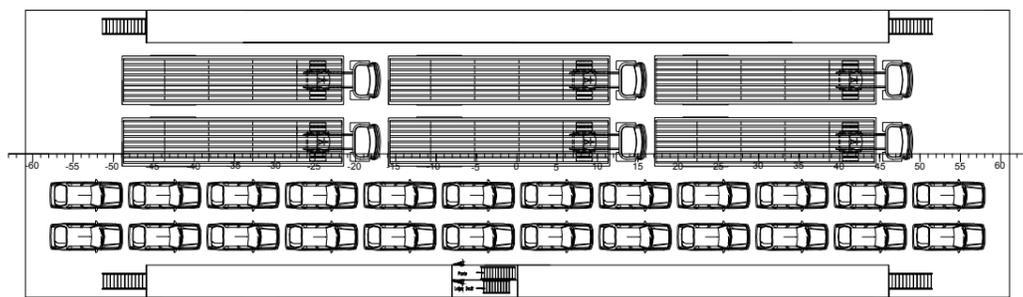
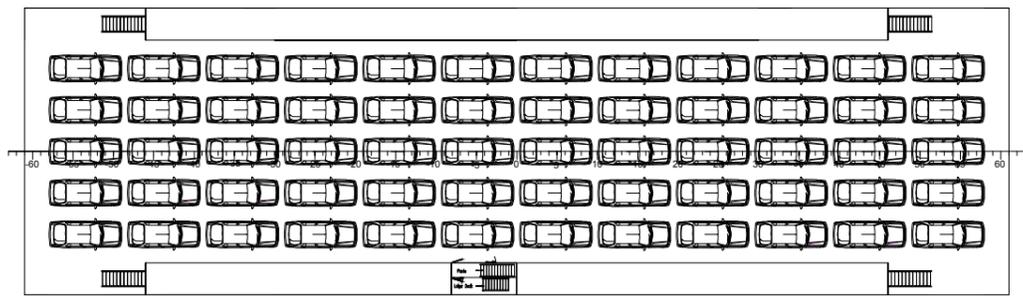
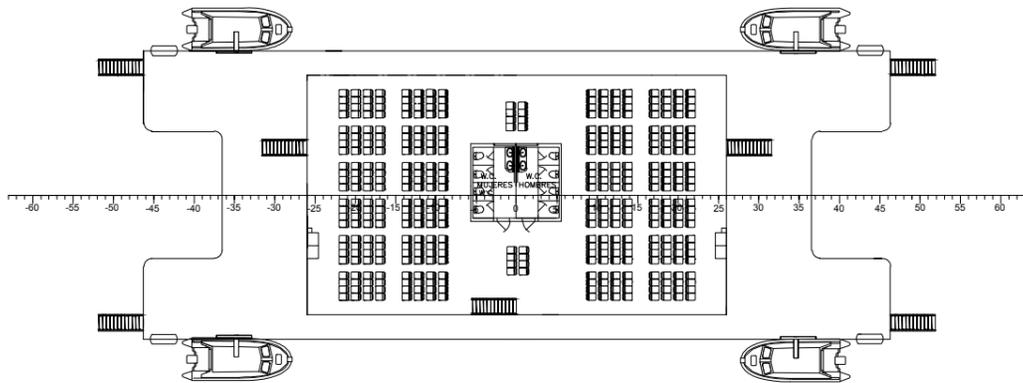
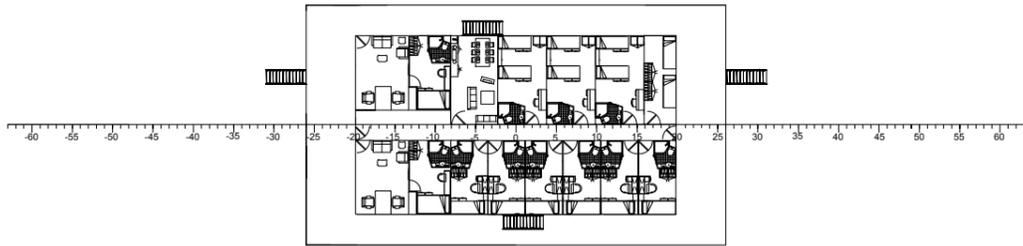
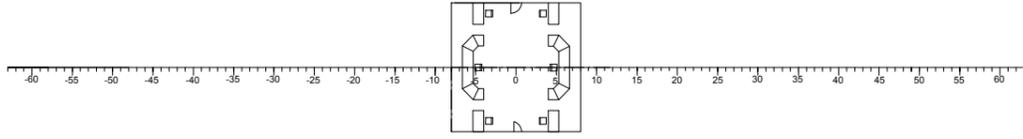
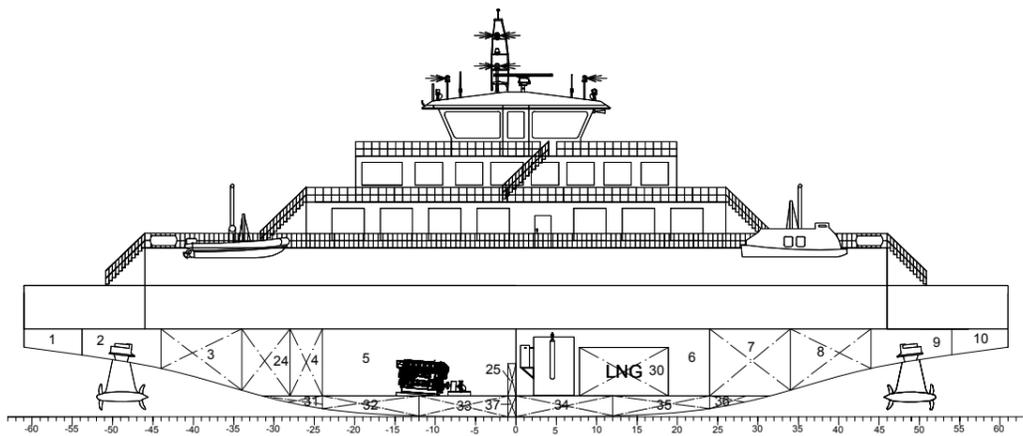
4.4. Condiciones de carga

SALIDA DE PUERTO A PLENA CARGA (CONDICIÓN DE MÁXIMA CARGA)										
Item Name	Quantity	Unit Mass (tonne)	Total Mass (tonne)	Unit Volumen (m^3)	Total Volume (m^3)	Long. Arm (m)	Trans. Arm (m)	Vert. Arm (m)	Total FSM (tonne.m)	FSM type
Lightship	1	1192,261	1192,261			-1,164	0	5,345	0	User Specified
Subtotal rosca			1192,261			-1,164	0	5,345	0	
Pasaje	399	0,1	39,9			0	0	11,13	0	User Specified
Tripulación	20	0,1	2			0	0	14,03	0	User Specified
Coches	24	2,5	60			0	0	6,43	0	User Specified
Camiones	6	26	156			0	0	7,43	0	User Specified
Subtotal carga			257,9			0	0	7,821	0	
LNG	100%	17,018	17,018	37,819	37,819	6,25	0	2,8	0	User Specified
MDO almacén	100%	2,47	2,47	2,94	2,94	-0,25	0,5	2,3	0	User Specified
Sedimentación	100%	0,37	0,37	0,441	0,441	-0,25	-1,5	1,75	0	User Specified
MDO 12 h BR	100%	0,185	0,185	0,221	0,221	-0,25	-2,75	1,75	0	User Specified
Aceite	100%	0,018	0,018	0,02	0,02	-0,25	-3,1	1,4	0	User Specified
Lodos	0%	0,028	0	0,031	0	-0,2	-6,4	1,001	0	User Specified
Aguas negras y grises BR	0,10%	10,522	0,011	10,522	0,011	2,241	-4,252	0,223	0	IMO A.749(18)
Aguas negras y grises ER	0,10%	10,522	0,011	10,522	0,011	2,241	4,252	0,223	0	IMO A.749(18)
Agua dulce BR	100%	10,318	10,318	10,318	10,318	-16,236	-3,495	3,481	0	User Specified
Agua dulce ER	100%	10,318	10,318	10,318	10,318	-16,236	3,495	3,481	0	User Specified
MDO 12 h ER	100%	0,185	0,185	0,221	0,221	-0,25	-2,25	1,75	0	User Specified
Total Loadcase			1491,064	83,37	62,317	-1,085	0	5,711	0	
FS correction								0		
VCG fluid								5,711		

LLEGADA A PUERTO SIN CARGA (CONDICIÓN DE MÍNIMA CARGA)

Item Name	Quantity	Unit Mass (tonne)	Total Mass (tonne)	Unit Volumen (m^3)	Total Volume (m^3)	Long. Arm (m)	Trans. Arm (m)	Vert. Arm (m)	Total FSM (tonne.m)	FSM type
Lightship	1	1192,261	1192,261			-1,164	0	5,345	0	User Specified
Subtotal rosca			1192,261			-1,164	0	5,345	0	
Pasaje	399	0,1	39,9			0	0	11,13	0	User Specified
Tripulación	20	0,1	2			0	0	14,03	0	User Specified
Coches	0	2,5	0			0	0	6,43	0	User Specified
Camiones	0	26	0			0	0	7,43	0	User Specified
Subtotal carga			41,9			0	0	11,268	0	
LNG	10%	17,018	1,702	37,819	3,782	6,25	0	1,581	0	User Specified
MDO almacén	0%	2,47	0	2,94	0	-0,25	0,5	1,3	0	User Specified
Sedimentación	0%	0,37	0	0,441	0	-0,25	-1,5	1,3	0	User Specified
MDO 12 h BR	10%	0,185	0,019	0,221	0,022	-0,25	-2,75	1,345	0	User Specified
Aceite	10%	0,018	0,002	0,02	0,002	-0,25	-3,1	1,31	0	User Specified
Lodos	90%	0,028	0,026	0,031	0,028	-0,25	-6,531	1,188	0	User Specified
Aguas negras y grises BR	90,00%	10,522	9,47	10,522	9,47	2,981	-5,134	0,843	4,247	IMO A.749(18)
Aguas negras y grises ER	90,00%	10,522	9,47	10,522	9,47	2,981	5,134	0,843	4,247	IMO A.749(18)
Agua dulce BR	10%	10,318	1,032	10,318	1,032	-16,109	-3,452	1,706	0	User Specified
Agua dulce ER	10%	10,318	1,032	10,318	1,032	-16,109	3,452	1,706	0	User Specified
MDO 12 h ER	10%	0,185	0,019	0,221	0,022	-0,25	-2,25	1,345	0	User Specified
Total Loadcase			1256,93	83,37	24,859	-1,077	0	5,463	8,493	
FS correction								0,007		
VCG fluid								5,47		

4.5. Disposición general



Leyenda:

- 1: Pique de popa
- 2: Local propulsor de popa
- 3: Espacio vacío PP 1
- 4: Espacio vacío PP 2
- 5: Cámara de máquinas
- 6: Local LNG
- 7: Espacio vacío PR 1
- 8: Espacio vacío PR 2
- 9: Local propulsor de proa
- 10: Pique de proa
- 11: Espacio vacío BR 1
- 12: Espacio vacío BR 2
- 13: Espacio vacío BR 3
- 14: Espacio vacío BR 4
- 15: Espacio vacío BR 5
- 16: Espacio vacío BR 6
- 17: Espacio vacío ER 1
- 18: Espacio vacío ER 2
- 19: Espacio vacío ER 3
- 20: Espacio vacío ER 4
- 21: Espacio vacío ER 5
- 22: Espacio vacío ER 6
- 23: Agua dulce BR
- 24: Agua dulce ER
- 25: MDO almacén
- 26: MDO sedimentación
- 27: MDO 12 h ER
- 28: MDO 12 h BR
- 29: Aceite
- 30: LNG
- 31: Espacio vacío DF 1
- 32: Espacio vacío DF 2
- 33: Espacio vacío DF 3
- 34: Espacio vacío DF 4
- 35: Espacio vacío DF 5
- 36: Espacio vacío DF 6
- 37: Lodos
- 38: Aguas negras y grises BR
- 39: Aguas negras y grises ER

Dimensiones principales:

Eslora entre perpendiculares (Lpp)	48,92 m
Eslora total (Loa)	61 m
Manga (B)	17,8 m
Calado (T)	3,42 m
Puntal a la cubierta principal (D)	5,43 m

Autor: Nuria Rioseco Río	Disposición general
Proyecto: Ferry para navegación en fiordos noruegos (Código 18-18)	Escala: 1:200

5. BUQUE BASE

En este apartado se realizarán en detalle los cálculos de comportamiento en la mar y estabilidad en averías para el buque base.

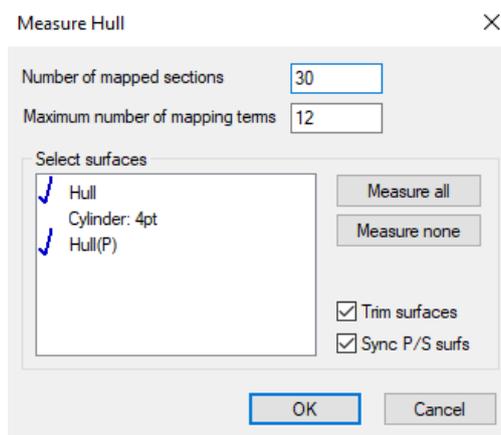
Recordamos las dimensiones principales del buque base:

DIMENSIONES PRINCIPALES	
L	61 m
Lpp	48,46 m
B	17,8 m
D	5,43 m
T	3,42 m
Cb	0,55
Cp	0,678
Cm	0,81
Desplazamiento	1587 t
Velocidad	13 kn
Pasajeros	399
Tripulación	20

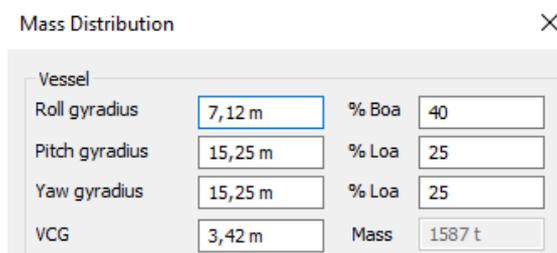
5.1. Comportamiento en la mar

A continuación evaluaremos el comportamiento del buque en la mar basándonos en estudio del índice MSI.

En primer lugar es necesario definir las secciones. En este caso se definen 30 secciones equidistantes utilizando 12 términos:



A continuación se calculan las inercias del pitch y del roll en función de la eslora:



Y se introducen las posiciones específicas donde se desean calcular los movimientos, es decir, en la cubierta de pasaje, de tripulación y de puente:

	Name	Long. Pos. [m]	Offset [m]	Height [m]	Long. Pos. from	Offset from CG	Height from CG	Mil slide friction	Mil tip fore/aft.	Mil tip side/side	Exposure time for MSI [m]
1	Cubierta pasaje	13,00	7,40	10,43	12,98	7,40	7,01	0,70	0,17	0,25	120
2	Cubierta tripulación	6,50	5,50	13,33	6,48	5,50	9,91	0,70	0,17	0,25	120
3	Cubierta puente	4,00	4,00	16,23	3,98	4,00	12,81	0,70	0,17	0,25	120

La velocidad utilizada es la de servicio (13 kn) y los headings utilizados son los siguientes:

	Name	Heading [deg]	Analyse
1	Head	180,0	<input checked="" type="checkbox"/>
2	Bow Quartering	135,0	<input checked="" type="checkbox"/>
3	Beam	90,0	<input checked="" type="checkbox"/>
4	Stern Quartering	45,0	<input checked="" type="checkbox"/>
5	Stern	0,0	<input checked="" type="checkbox"/>

A la hora de introducir el espectro, se ha elegido la condición de ola más frecuente en el mar del norte, la cual tiene una altura de ola significativa de 1,5 m, y con un período de ola más frecuente (7,5 s). Tal y como se explicó en el apartado “metodología”, se utiliza esta ola por ser la que tiene una altura de ola significativa que más aparece en la ruta realizada por el buque.

	Name	Type	Char. height [m]	Modal period [s]	Average period [s]	Zero crossing period [s]
1		JONSWAP	1,500	9,517 s	7,969 s	7,500 s

El resumen de resultados obtenidos para los diferentes headings, es el siguiente:

RESUMEN DE RESULTADOS			
Heading	Cubierta	RMS	Unidades
0°	Cubierta pasaje	0	%
	Cubierta tripulación	0	%
	Cubierta puente	0	%
45°	Cubierta pasaje	3,164	%
	Cubierta tripulación	1,506	%
	Cubierta puente	0,658	%
90°	Cubierta pasaje	25,006	%
	Cubierta tripulación	16,259	%
	Cubierta puente	9,873	%
135°	Cubierta pasaje	19,952	%
	Cubierta tripulación	13,541	%
	Cubierta puente	9,702	%
180°	Cubierta pasaje	8,712	%
	Cubierta tripulación	5,98	%
	Cubierta puente	5,222	%

5.2. Estabilidad en averías

A continuación se realizará el análisis probabilístico para evaluar la estabilidad cuando el buque haya sufrido una avería.

5.2.1. Descripción de compartimentado y dimensiones reglamentarias

Este apartado tiene como finalidad calcular los mamparos, tanto longitudinales como transversales, necesarios y su colocación en el buque para realizar el compartimentado y disposición de tanques. Se calcularán también las dimensiones reglamentarias para realizar el estudio de la estabilidad en averías.

5.2.1.1. Generalidades del compartimentado

5.2.1.1.1. Extensión longitudinal de la avería

Para establecer el compartimentado del buque aparece el concepto de eslora máxima tras avería, que según SOLAS Capítulo 2-1, Regla 8 (estabilidad de los buques de pasaje después de avería) es:

4 Se supondrá que las dimensiones de la avería son las siguientes:

.1 extensión longitudinal: 3 m más el 3 por ciento de la eslora del buque, u 11 m, si esta magnitud es inferior a la anterior. Cuando el factor de subdivisión prescrito sea igual o inferior a 0,33 se aumentará la supuesta extensión longitudinal de la avería según resulte necesario para que queden incluidos dos mamparos estancos transversales principales cualesquiera que sean consecutivos;

Y "eslora del buque" se define en la Regla 2 (definiciones) como:

2 "Eslora del buque": longitud de éste, medida entre las perpendiculares trazadas en los extremos de la línea de máxima carga de compartimentado.

Por tanto, considerando el calado en la condición de máxima carga, tenemos la siguiente eslora (47,62 m):

1	Draft Amidships m	3,282
2	Displacement t	1491
3	Heel deg	0,0
4	Draft at FP m	2,932
5	Draft at AP m	3,631
6	Draft at LCF m	3,307
7	Trim (+ve by stern) m	0,699
8	WL Length m	47,620

$$L_{\text{avería}} = 3 + 0,03 \cdot L$$

La eslora de avería sería la mínima a la cual se debería espaciar los mamparos transversales para evitar que una única avería inundase más de un compartimento.

Para el buque proyecto se tiene:

$$L_{\text{avería}} = 3 + 0,03 \cdot 47,62 = 4,6 \text{ m}$$

Para ajustar esa distancia a nuestra clara de cuadernas (500 mm entre los dos mamparos de colisión) habría que llevarla hasta 5 metros (0,5×10). Intentando minimizar el coste de acero, se tiende a poner el mamparo en el lugar de una cuaderna. Esto da lugar a un espaciado de 10 cuadernas (5 m), como mínimo entre mamparos para cumplir con la eslora mínima de avería.

Esta disposición mínima que es establecida por seguridad, no siempre es posible debido a que los espacios necesarios para maquinaria como cámara de máquinas o los espacios en proa y popa ya que son diferentes a esta subdivisión, por lo cual, en estas situaciones, la subdivisión se adaptará a las dimensiones de los equipos y a la distancia requerida para su manipulación y revisión.

Los compartimentos más a proa serán un espacio destinado para la caja de cadenas, el local del propulsor y espacios vacíos. A popa se seguirá la misma distribución.

Si además atendemos a la MSC (216)82, en la Part B-2, Regulation 9, indica, para buques de pasaje y buques de carga distintos a los buques tanque, lo siguiente:

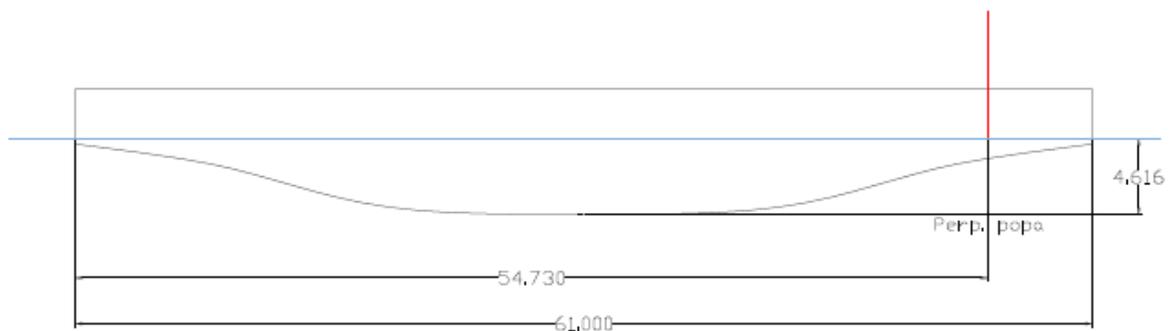
	For 0.3 L from the forward perpendicular of the ship	Any other part of the ship
Longitudinal extent	$\frac{1}{3} L^{2/3}$ or 14.5 m, whichever is less	$\frac{1}{3} L^{2/3}$ or 14.5 m, whichever is less

Donde L se define en la Regulation 2, como la eslora definida en el Convenio de líneas de carga y este dice lo siguiente:

“Se tomará como eslora (L) el 96% de la eslora total en una línea de flotación situada a una distancia de la quilla igual al 85% del puntal mínimo de trazado, medida desde el canto alto de dicha quilla, o la eslora desde la cara de proa de la roda hasta el eje de la mecha del timón en dicha flotación, si ésta fuera mayor.” El 85% del puntal mínimo de trazado son 4,616 metros. Si calculamos con Maxsurf la eslora en la flotación para este calado nos da un valor de 61 metros, por lo que el 96% de esta eslora son 58,56 metros.

	Draft Amidships m	4,616
1	Displacement t	2721
2	Heel deg	0,0
3	Draft at FP m	4,616
4	Draft at AP m	4,616
5	Draft at LCF m	4,616
6	Trim (+ve by stern) m	0,000
7	WL Length m	61,000

Por otra parte, tenemos que calcular la eslora desde la cara de proa de la roda hasta el eje de la mecha del timón en esa misma flotación y mirar si este valor es superior al anterior.



Dado que la eslora mayor es la de 58,56 metros, consideraremos este valor y según la MSC (216)82:

$$\text{Extensión longitudinal avería} = \frac{1}{3} \cdot 58,56^{\frac{2}{3}} = 4,95 \text{ m}$$

Con el espaciado indicado anteriormente, cumpliríamos con los dos criterios ya que hemos considerado el más restrictivo.

5.2.1.1.2. Extensión transversal de la avería

Por otra parte, debemos calcular la extensión transversal de la avería. Para ello seguimos .2 extensión transversal (medida hacia el interior del buque, desde el costado, perpendicularmente al eje longitudinal, al nivel de la línea de máxima carga de compartimentado): una distancia igual a un quinto de la manga del buque, tal como ésta queda definida en la Regla 2; y

utilizando la Regla 8 del capítulo 2-1 de SOLAS.

$$\text{Extensión transversal avería} = \frac{B}{5} = \frac{16,9}{5} = 3,38 \text{ m}$$

Por otra parte la MSC (216)82 indica:

	For 0.3 L from the forward perpendicular of the ship	Any other part of the ship
Longitudinal extent	$1/3 L^{2/3}$ or 14.5 m, whichever is less	$1/3 L^{2/3}$ or 14.5 m, whichever is less
Transverse extent	$B/6$ or 10 m, whichever is less	$B/6$ or 5 m, whichever is less
Vertical extent, measured from the keel line	$B/20$ or 2 m, whichever is less	$B/20$ or 2 m, whichever is less

Tanto para SOLAS como para la MSC (216)82, B es la manga máxima en el calado de máxima carga. Por tanto B es 16,9 m.

$$\text{Extensión transversal avería} = \frac{B}{6} = \frac{16,9}{6} = 2,82 \text{ m}$$

Como vemos, en este caso SOLAS es más restrictivo y por tanto, al que tendremos en cuenta.

5.2.1.2. Compartimentado longitudinal

El buque que se está diseñando ha de ser seguro en caso de inundación. Esta premisa hace necesaria la subdivisión del mismo en compartimentos separados por mamparos estancos, los cuales aseguran estabilidad en caso de avería. Los mamparos estancos que la Sociedad de Clasificación DNV-GL obliga a llevar son: mamparo de colisión, mamparo en el pique de popa y mamparos de cámara de máquinas.

5.2.1.2.1. Mamparo de colisión

Calculamos el mamparo de colisión atendiendo a la Sociedad de Clasificación DNV-GL (parte 3, capítulo 1, sección 2), el cual hace referencia al capítulo 2-1, regla 10 del SOLAS.

1.3 Position of collision bulkhead

1.3.1 The distance x_C from the forward perpendicular to the collision bulkhead shall be taken between the following limits:

$$\begin{aligned} x_C (\text{minimum}) &= 0.05 L (m) \\ x_C (\text{maximum}) &= 3.0 + 0.05 L (m) \end{aligned}$$

An increase of the maximum distance given above may be acceptable upon consideration in each case, provided a floatability and stability calculation shows that, with the craft fully loaded to summer draught on even keel, flooding of the space forward of the collision bulkhead will not result in any other compartments being flooded, nor in an unacceptable loss of stability.

$$L_{pp} = 48,46 \text{ m}$$

$$0,05 \cdot 48,46 = 2,423 \text{ m}$$

$$2,423 + 3 = 5,423 \text{ m}$$

La distancia a la que se ha decidido colocar el mamparo de colisión, tanto en proa como en popa (por ser un buque simétrico), ha sido a 2,5 m de la correspondiente perpendicular. Esta decisión se debe a que, colocándolos a esa distancia, coincide con la situación de una

cuaderna, por lo que se optimiza el diseño.

En este caso, los mamparos de colisión se colocarán en las cuadernas -54 y 54.

5.2.1.2.2. Mamparos de cámara de máquinas

El DNV-GL obliga a llevar un mamparo estanco en cada extremo del espacio de la cámara de máquinas. Se situaría un mamparo a proa y otro a popa de la cámara de máquinas, en las cuadernas -24 y 0.

5.2.1.3. Compartimentado transversal

5.2.1.3.1. Espacios vacíos

Se les llama a aquellos espacios del buque que se encuentran vacíos. Sirven para aumentar la reserva de flotabilidad.

5.2.1.3.2. Mamparos longitudinales

Anteriormente se calculaba la extensión transversal de la avería y obteníamos un valor de 3,38 m, por tanto, será necesario que el buque lleve algún mamparo longitudinal como doble casco a cada banda del buque y a 3,4 m, como mínimo, del costado para hacer frente a la estabilidad en averías. Se proveerá un doble casco en cámara de máquinas y en los espacios vacíos.

5.2.1.4. Compartimentado vertical

5.2.1.4.1. Doble fondo

Según el SOLAS (capítulo 2, regla 12): “los buques cuya eslora sea igual o superior a 61 m pero inferior a 76 m irán provistos de un doble fondo al menos fuera del espacio de máquinas, doble fondo que llegará a los mamparos de los piques de proa y de popa o a puntos tan cercanos a estos mamparos como sea posible”.

El doble fondo mínimo deberá ser de:

$$dDB = 32 \cdot B \cdot 10^{-3} + c \cdot \sqrt{d}$$

$$dDB = 32 \cdot 17,8 \cdot 10^{-3} + 0,19 \times \sqrt{3,42} = 0,921 \text{ metros}$$

dDB = puntal del doble fondo en metros

c = 0,19

d = calado de escantillonado, en metros.

B= manga del buque, en metros.

Por otra parte la MSC (216)82, indica en la Part B-2, Regulation 9, que la altura del doble fondo se puede calcular como:

$$h = \frac{B}{20} = \frac{17,8}{20} = 0,89 \text{ m}$$

Y que nunca debe tomarse inferior de 760 mm ni superior a 2m.

El valor del doble fondo en buques de este estilo es mayor, por lo que se va a aumentar; primero, para facilitar su construcción y segundo, para poder instalar tanques en el doble fondo y poder acceder a ellos sin problemas de espacio.

El valor del doble fondo será de 1,3 metros.

5.2.1.4.2. Cubiertas estancas

La única cubierta estanca será la principal, situada a 5,43 metros de la línea base.

5.2.1.5. Listado de tanques y compartimentos

Name	Type	Intact Perm. %	Damaged Perm. %	Specific gravity	Fluid type	Boundary Surfaces	Aft (m)	Fore (m)	F. Port (m)	F. Stbd. (m)	F. Top (m)	F. Bott. (m)
Local LNG	Compartment	85	85				0	12	-4,4	4,4	5,433	1,3
LNG	Tank	98	98	0,45			3,5	8,9	-1,5	1,5	4,3	1,3
Cámara de máquinas	Compartment	85	85			none	-12	0	-4,4	4,4	5,433	1,3
Espacio vacío PP 1	Compartment	95	95			none	-22	-17	-4,4	4,4	5,433	1,3
Espacio vacío PP 2	Compartment	95	95			none	-17	-12	-4,4	4,4	5,433	1,3
Local propulsor PP	Compartment	85	85			none	-27	-22	-9,8	9,8	5,433	1,3
Espacio vacío PR 1	Compartment	95	95			none	12	17	-4,4	4,4	5,433	1,3
Espacio vacío PR 2	Compartment	95	95			none	17	22	-4,4	4,4	5,433	1,3
Local propulsor PR	Compartment	85	85			none	22	27	-9,8	9,8	5,433	1,3
Espacio vacío BR 1	Compartment	95	95			none	-22	-17	-8,9	-4,4	5,433	1,3
Espacio vacío BR 2	Compartment	95	95			none	-17	-12	-8,9	-4,4	5,433	1,3
Espacio vacío BR 3	Compartment	95	95			none	-12	0	-8,9	-4,4	5,433	1,3
Espacio vacío BR 4	Compartment	95	95			none	0	12	-8,9	-4,4	5,433	1,3
Espacio vacío BR 5	Compartment	95	95			none	12	17	-8,9	-4,4	5,433	1,3
Espacio vacío BR 6	Compartment	95	95			none	17	22	-8,9	-4,4	5,433	1,3
Espacio vacío ER 1	Compartment	95	95			none	-22	-17	4,4	8,9	5,433	1,3
Espacio vacío ER 2	Compartment	95	95			none	-17	-12	4,4	8,9	5,433	1,3
Espacio vacío ER 3	Compartment	95	95			none	-12	0	4,4	8,9	5,433	1,3
Espacio vacío ER 4	Compartment	95	95			none	0	12	4,4	8,9	5,433	1,3
Espacio vacío ER 5	Compartment	95	95			none	12	17	4,4	8,9	5,433	1,3
Espacio vacío ER 6	Compartment	95	95			none	17	22	4,4	8,9	5,433	1,3
MDO almacén	Tank	98	98	0,84		none	-0,5	0	-1	2	3,3	1,3
Sedimentación	Tank	98	98	0,84		none	-0,5	0	-2	-1	2,2	1,3
MDO 12 h BR	Tank	98	98	0,84		none	-0,5	0	-3	-2,5	2,2	1,3
MDO 12 h ER	Tank	98	98	0,84		none	-0,5	0	-2,5	-2	2,2	1,3
Aceite	Tank	98	98	0,92	Lube Oil	none	-0,5	0	-3,2	-3	1,5	1,3
Lodos	Tank	98	98	0,92		none	-0,5	0	-8,9	-6,4	1,3	0
Aguas negras y grises BR	Tank	98	98	1		none	0	6	-8,9	-4,2	1,3	0
Aguas negras y grises ER	Tank	98	98	1		none	0	6	4,2	8,9	1,3	0
Agua dulce BR	Tank	98	98	1	Fresh Water	none	-17	-15,5	-4,4	-2,6	5,433	1,3
Agua dulce ER	Tank	98	98	1	Fresh Water	none	-17	-15,5	2,6	4,4	5,433	1,3
Espacio vacío bajo DF 1	Compartment	95	95			none	-16	-12	-8,9	8,9	1,3	0
Espacio vacío bajo DF 2	Compartment	95	95			none	-12	-6	-8,9	8,9	1,3	0
Espacio vacío bajo DF 3	Compartment	95	95			none	-6	0	-8,9	8,9	1,3	0
Espacio vacío bajo DF 4	Compartment	95	95			none	0	6	-4,2	4,2	1,3	0
Espacio vacío bajo DF 5	Compartment	95	95			none	6	12	-8,9	8,9	1,3	0
Espacio vacío bajo DF 6	Compartment	95	95			none	12	16	-8,9	8,9	1,3	0
Pique de proa	Compartment	85	85			none	27	30,5	-8,9	8,9	5,433	0
Pique de popa	Compartment	85	85			none	-30,5	-27	-8,9	8,9	5,433	0
Caseta BR	Compartment	85	85			none	-23	23	-8,9	-6,9	8,133	5,433
Caseta ER	Compartment	85	85			none	-23	23	6,9	8,9	8,133	5,433
Non Buoyant Garaje Central	Non-Buoyant Vol.	100	100			none	-23	23	-6,9	6,9	8,133	5,433
Non Buoyant Garaje Popa	Non-Buoyant Vol.	100	100			none	-30,5	-23	-10	10	8,133	5,433
Non Buoyant Garaje Proa	Non-Buoyant Vol.	100	100			none	23	30,5	-10	10	8,133	5,433
Local LNG (LNG)	Linked Neg. Compart.	85	85				3,501	8,9	-1,5	1,5	4,3	1,3
Espacio vacío PP 2 (Agua dulce BR)	Linked Neg. Compart.	95	95			none	-17	-15,5	-4,4	-2,6	5,433	1,3
Espacio vacío PP 2 (Agua dulce ER)	Linked Neg. Compart.	95	95			none	-17	-15,5	2,6	4,4	5,433	1,3
Cámara de máquinas (MDO almacén)	Linked Neg. Compart.	85	85			none	-0,5	0	-1	2	3,3	1,3
Cámara de máquinas (Sedimentación)	Linked Neg. Compart.	85	85			none	-0,5	0	-2	-1	2,2	1,3
Cámara de máquinas (MDO 12 h BR)	Linked Neg. Compart.	85	85			none	-0,5	0	-3	-2,5	2,2	1,3
Cámara de máquinas (MDO 12 h ER)	Linked Neg. Compart.	85	85			none	-0,5	0	-2,5	-2	2,2	1,3
Cámara de máquinas (Aceite)	Linked Neg. Compart.	85	85			none	-0,5	0	-3,2	-3	1,5	1,3
Espacio vacío bajo DF 3 (Lodos)	Linked Neg. Compart.	95	95			none	-0,5	0	-8,9	-6,4	1,3	0

5.2.1.6. Dimensiones reglamentarias

Inicialmente es necesario definir algunos conceptos y para ello seguiremos la MSC (216)82, Chapter II-1, Part A, Regulation 2 (Definitions):

- Subdivisión length (L_s): 61 m.
- Mid-length: 0 m.
- Aft terminal: -30,5 m.
- Forward terminal: 30,5 m.
- Manga (B): 16,819 m.
- Deepest subdivisión draught (d_s): 3,29 m.
- Light service draught (d_l): 2,95 m.
- Partial subdivisión draught (d_p): se corresponde con la siguiente fórmula:

$$d_p = d_l + 0,6 \cdot (d_s - d_l) = 3,16 \text{ m}$$

A continuación se presentan los valores para estas dimensiones. Los calados d_s , d_l y d_p se han definido de acuerdo a la MSC (216)82, pero en el siguiente apartado se explican los pasos que se han seguido para llegar a estos valores. Además también se definirán algunos otros parámetros como el índice de compartimentado prescrito, etc.

	Item	Value	Units	Selected
1	Probabilistic damage			<input type="checkbox"/>
2	Resolution – MSC.216(82) or MSC.19(58)	MSC.216(82)		<input type="checkbox"/>
3	Do automatic combinations of vertical damage ?	Yes		<input type="checkbox"/>
4				<input type="checkbox"/>
5	Loadcases			<input type="checkbox"/>
6	Deepest subdivision draft (summer loadline) Loadcase	subdivision	draft: 3,29	<input checked="" type="checkbox"/>
7	Partial subdivision draft Loadcase	partial	draft: 3,16	<input checked="" type="checkbox"/>
8	Light service draft Loadcase	lightship	draft: 2,95	<input checked="" type="checkbox"/>
9				<input type="checkbox"/>
10	Vessel parameters			<input type="checkbox"/>
11	Type – Cargo or Passenger	Passenger		<input type="checkbox"/>
12	Lifeboat capacity N_1	24		<input type="checkbox"/>
13	Permitted max. num. of persons in excess of N_1: N_2	395		<input type="checkbox"/>
14	Subdivision length L_s	61,000	m	<input type="checkbox"/>
15	Aft terminal of L_s	-30,500	m	<input type="checkbox"/>
16	Fwd terminal of L_s	30,500	m	<input type="checkbox"/>
17	Mid L_s	0,000	m	<input type="checkbox"/>
18	Intact displacement at subdivision draft (lightship)	1257,034	t	<input type="checkbox"/>
19	max. moulded breadth at or below deepest subdivision draft: B	16,891	m	<input type="checkbox"/>
20	max. number of adjacent zones to consider	2		<input type="checkbox"/>
21	min. probability (p.r.v) of damage to consider	0,000100		<input type="checkbox"/>
22	max. trim angle to consider	40,0	deg	<input type="checkbox"/>
23	Limit longitudinal extent of damage? (L_max=60,000; J_max=0,30303)	Limit		<input type="checkbox"/>
24	Limit vertical extent of damage?	Limit		<input type="checkbox"/>
25	max. vertical extent of damage	15,795	m	<input type="checkbox"/>
26	Damaged side – Starboard or Port	Starboard		<input type="checkbox"/>
27	Zone 1 located at bow or stern?	Stern		<input type="checkbox"/>

5.2.2. Definición y cálculo de las condiciones de carga

5.2.2.1. Condición de carga s

De las condiciones de carga, la que tiene un mayor desplazamiento es la de “Salida a plena

carga" y el desplazamiento en esta condición, el trimado y el calado tienen los siguientes valores:

$$\Delta_s = 1491,064 \text{ t}$$

$$\text{trim} = 0 \text{ m}$$

$$d_s = 3,281 \text{ m}$$

Añadimos en Maxsurf esta condición de carga teniendo en cuenta:

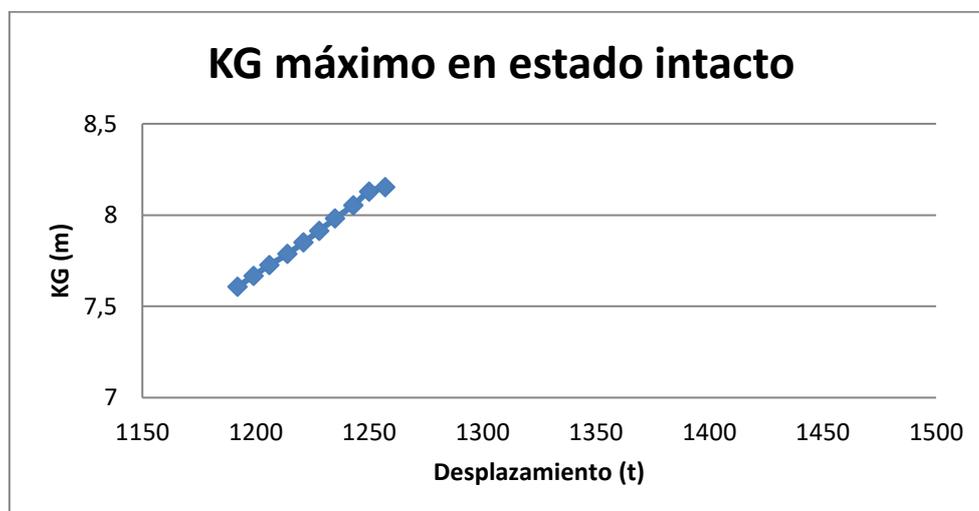
$$X_G = 0$$

$$X_G = X_B$$

También es necesario conocer el K_G máximo que será el correspondiente para Δ_s y trimado igual a 0.

A continuación se calcula la curva de K_G máximo. Se establecen un rango de desplazamientos de entre el peso en rosca y el desplazamiento Δ_s . Se calculará para 10 desplazamientos intermedios y se fija el trimado en 0. La escora se define entre -30 a 90 grados con pasos de 10 grados.

Displacement (intact) tonne	Limit KG m
1192	7,235
1225	7,474
1258	7,727
1292	8,025
1325	8,196
1358	8,23
1391	8,264
1425	8,292
1458	8,314
1491	8,334



Por tanto:

$$K_{G\text{máx}} = 8,334 \text{ m}$$

CONDICIÓN DE CARGA S										
Item Name	Quantity	Unit Mass (tonne)	Total Mass (tonne)	Unit Volume (m^3)	Total Volume (m^3)	Long. Arm (m)	Trans. Arm (m)	Vert. Arm (m)	Total FSM (tonne.m)	FSM Type
Displacement	1	1491,064	1491,064			0	0	8,334	0	User Specified
Total Loadgroup			1491,064	0	0	0	0	8,334	0	
FS correction								0		
VCG fluid								8,334		

Draft Amidships m	3,295
Displacement t	1491
Heel deg	0
Draft at FP m	3,288
Draft at AP m	3,301
Draft at LCF m	3,295
Trim (+ve by stern) m	0,013
WL Length m	47,039
Beam max extents on WL m	16,891
Wetted Area m^2	799,933
Waterpl. Area m^2	727,448
Prismatic coeff. (Cp)	0,688
Block coeff. (Cb)	0,556
Max Sect. area coeff. (Cm)	0,808
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,916
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	-0,002
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	-0,034
KB m	2,026
KG fluid m	8,334
BMt m	10,946
BML m	79,49
GMt corrected m	4,638
GML m	73,182
KMt m	12,972
KML m	81,516
Immersion (TPc) tonne/cm	7,456
MTc tonne.m	22,27
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	120,685
Max deck inclination deg	0,0155
Trim angle (+ve by stern) deg	0,0155

5.2.2.2. Condición de carga I

La condición con un desplazamiento menor es la de "Llegada a puerto sin carga":

$$\Delta_l = 1256,93 \text{ t}$$

$$\text{trim} = \text{valor real} = 0,77 \text{ m}$$

$$d_l = 2,956 \text{ m}$$

En esta condición de carga se cumple:

$$Y_G = 0$$

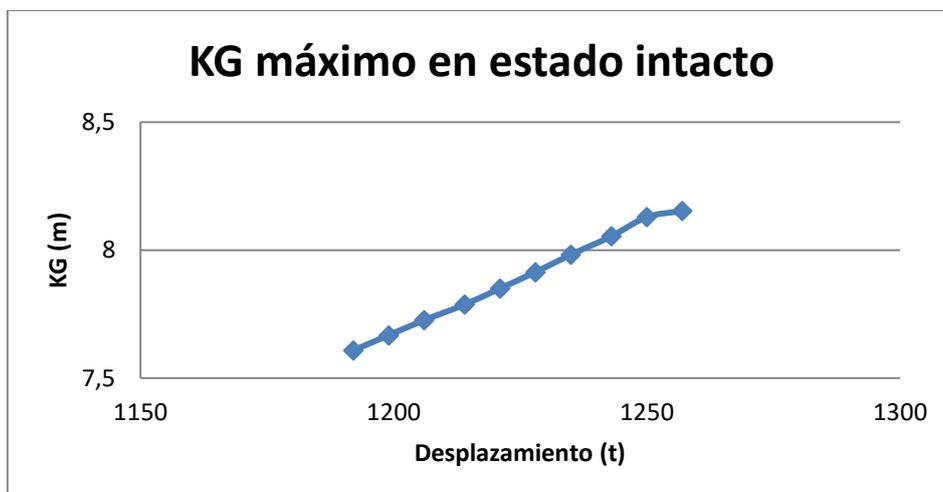
$$X_G = X_{Greal} = -1,077$$

El K_G máximo en intacta a tener en cuenta será para Δ_l y trimado = trimado real.

Calculamos la curva de K_G máximo. Se establecen un rango de desplazamientos de entre el peso en rosca y el desplazamiento correspondiente a la condición I.

Se calculará para 10 desplazamientos intermedios y el trimado será el trimado real, en este caso 0,77. La escora se define entre -30 a 90 grados con pasos de 10 grados.

Displacement (intact) tonne	Limit KG m
1192	7,608
1199	7,667
1206	7,726
1214	7,787
1221	7,85
1228	7,914
1235	7,982
1243	8,054
1250	8,129
1257	8,153



Obtenemos el siguiente valor:

$$K_{Gm\acute{a}x} = 8,153 \text{ m}$$

CONDICIÓN DE CARGA L										
Item Name	Quantity	Unit Mass (tonne)	Total Mass (tonne)	Unit Volume (m^3)	Total Volume (m^3)	Long. Arm (m)	Trans. Arm (m)	Vert. Arm (m)	Total FSM (tonne.m)	FSM Type
Displacement	1	1256,93	1256,93			-1,077	0	8,153	0	User Specified
Total Loadgroup			1256,93	0	0	-1,077	0	8,153	0	
FS correction								0		
VCG fluid								8,153		

Draft Amidships m	2,956
Displacement t	1257
Heel deg	0
Draft at FP m	2,57
Draft at AP m	3,341
Draft at LCF m	2,978
Trim (+ve by stern) m	0,77
WL Length m	44,202
Beam max extents on WL m	16,636
Wetted Area m^2	731,812
Waterpl. Area m^2	673,058
Prismatic coeff. (Cp)	0,691
Block coeff. (Cb)	0,555
Max Sect. area coeff. (Cm)	0,804
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,915
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	-1,173
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	-1,422
KB m	1,829
KG fluid m	8,153
BMt m	11,475
BML m	78,028
GMt corrected m	5,15
GML m	71,704
KMt m	13,302
KML m	79,848
Immersion (TPc) tonne/cm	6,899
MTc tonne.m	18,395
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	112,985
Max deck inclination deg	0,9005
Trim angle (+ve by stern) deg	0,9005

5.2.2.3. Condición de carga p

Una vez que sabemos cuáles son las condiciones de máxima y mínima carga, calculamos una condición parcial. Calculamos entonces el calado para esta condición (d_p) mediante la siguiente fórmula:

$$d_p = d_l + 0,6 \times (d_s - d_l)$$
$$d_p = 2,956 + 0,6 \times (3,295 - 2,956) = 3,159 \text{ m}$$

En esta condición:

$$trim = 0$$

Mediante Maxsurf calculamos el desplazamiento correspondiente a un calado de 3,159 m y obtenemos un valor de 1392 t.

Estos datos los introducimos en Maxsurf para una nueva condición de carga p.

Para conocer el valor de K_G máximo calculamos la curva de K_G máximo. Nos fijamos en la curva calculada en el apartado "Condición de carga s" ya que el trimado también es igual a 0. Obtenemos por tanto:

$$K_{G\text{máx}} = 8,264 \text{ m}$$

En caso de que no se cumpliesen los criterios en avería para alguna de las condiciones de carga calculadas anteriormente, habría que reducir el K_G hasta que cumpliera.

CONDICIÓN DE CARGA P										
Item Name	Quantity	Unit Mass (tonne)	Total Mass (tonne)	Unit Volume (m^3)	Total Volume (m^3)	Long. Arm (m)	Trans. Arm (m)	Vert. Arm (m)	Total FSM (tonne.m)	FSM Type
Displacement	1	1392	1392			0	0	8,264	0	User Specified
Total Loadgroup			1392	0	0	0	0	8,264	0	
FS correction								0		
VCG fluid								8,264		

Draft Amidships m	3,16
Displacement t	1392
Heel deg	0
Draft at FP m	3,152
Draft at AP m	3,167
Draft at LCF m	3,16
Trim (+ve by stern) m	0,014
WL Length m	45,55
Beam max extents on WL m	16,76
Wetted Area m^2	768,016
Waterpl. Area m^2	701,417
Prismatic coeff. (Cp)	0,698
Block coeff. (Cb)	0,563
Max Sect. area coeff. (Cm)	0,806
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,919
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	-0,002
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	-0,025
KB m	1,94
KG fluid m	8,264
BMt m	11,113
BML m	77,59
GMt corrected m	4,789
GML m	71,266
KMt m	13,053
KML m	79,53
Immersion (TPc) tonne/cm	7,19
MTc tonne.m	20,245
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	116,355
Max deck inclination deg	0,0167
Trim angle (+ve by stern) deg	0,0167

5.2.3. Definición de la subdivisión en zonas longitudinales, transversales y verticales del buque

5.2.3.1. Zonas transversales

Definimos la subdivisión en zonas en las que se va a dividir el buque. Hay que tener en cuenta que las zonas no tienen que coincidir necesariamente con el compartimentado.

Se ha elegido la siguiente subdivisión del buque:

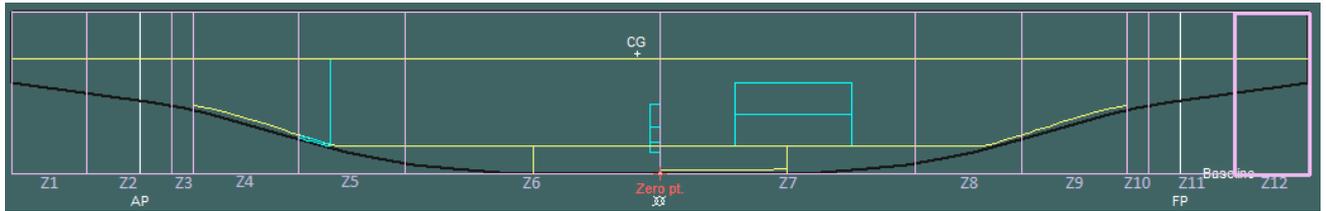
- Zona 1: se extiende desde la cuaderna -61 hasta la cuaderna -54. Por tanto esta zona se extiende desde la popa del buque (-30,5 m) hasta la cuaderna -54, situada a -27 m del centro del buque.
- Zona 2: se extiende desde la cuaderna -54 hasta la -46, es decir, desde -27 m hasta -23 m.
- Zona 3: se extiende desde la cuaderna -46 hasta la -44, es decir, desde -23 m hasta -22 m.
- Zona 4: se extiende desde la cuaderna -44 hasta la -34, es decir, desde -22 m hasta -17 m.
- Zona 5: se extiende desde la cuaderna -34 hasta la -24, es decir, desde -17 m hasta -12 m.
- Zona 6: se extiende desde la cuaderna -24 hasta la 0, es decir, desde -12 m hasta 0 m.
- Zona 7: se extiende desde la cuaderna 0 hasta la 24, es decir, desde 0 m hasta 12 m.
- Zona 8: se extiende desde la cuaderna 24 hasta la 34, es decir, desde 12 m hasta 17 m.
- Zona 9: se extiende desde la cuaderna 34 hasta la 44, es decir desde 17 m hasta 22 m.
- Zona 10: se extiende desde la cuaderna 44 hasta la 46, es decir desde 22 m hasta 23 m.
- Zona 11: se extiende desde la cuaderna 46 hasta la 54, es decir, desde 23 m hasta 27 m.
- Zona 12: se extiende desde la cuaderna 54 hasta la 61, es decir, desde 27 m hasta 30,5 m (la proa del buque).

Aunque lo ideal es que las zonas coincidan con el compartimentado, en este caso se ha decidido añadir dos zonas más que formarían parte del mismo compartimento (zonas 3 y 10) ya que coincidiría con el mamparo límite de las casetas, las cuales se consideraron estancas.

Introducimos en Maxsurf las zonas descritas anteriormente:

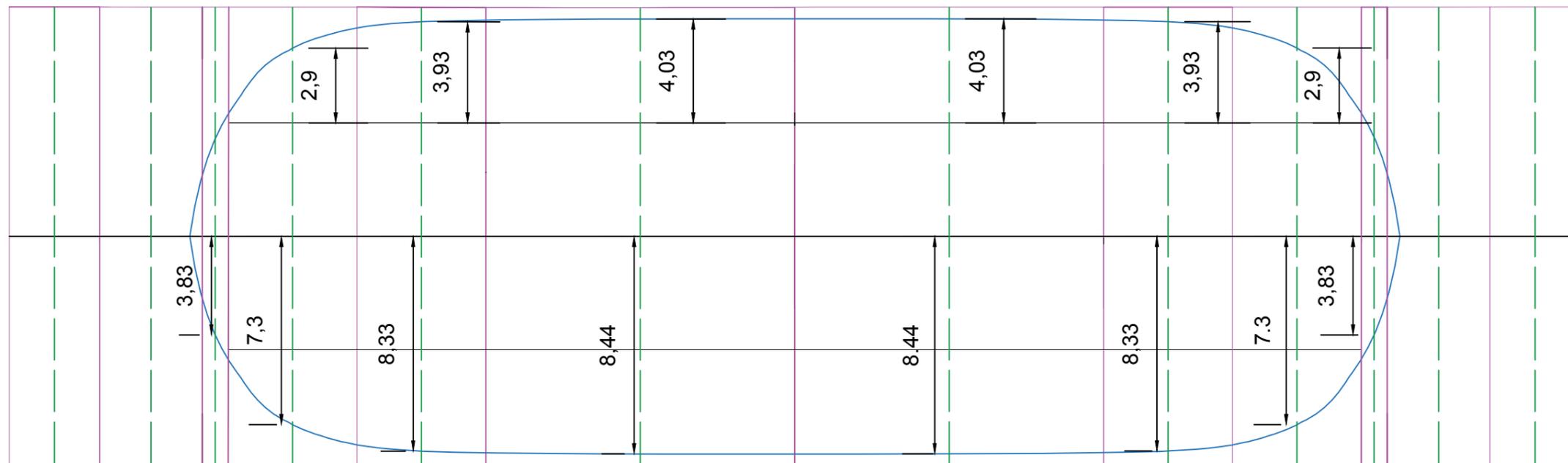
	Name	Aft m	Fwd m	Length m	Centre m
1	Zone 1	-30,500	-27,000	3,500	-28,750
2	Zone 2	-27,000	-23,000	4,000	-25,000
3	Zone 3	-23,000	-22,000	1,000	-22,500
4	Zone 4	-22,000	-17,000	5,000	-19,500
5	Zone 5	-17,000	-12,000	5,000	-14,500
6	Zone 6	-12,000	0,000	12,000	-6,000
7	Zone 7	0,000	12,000	12,000	6,000
8	Zone 8	12,000	17,000	5,000	14,500
9	Zone 9	17,000	22,000	5,000	19,500
10	Zone 10	22,000	23,000	1,000	22,500
11	Zone 11	23,000	27,000	4,000	25,000
12	Zone 12	27,000	30,500	3,500	28,750

Y quedaría de la siguiente manera:



5.2.3.2. Zonas longitudinales

	Zones	Shell half-beam m	Num. L.Bh	b 1 m
1	1 adjacent			
2	Zone 1, 1	0,000	0	n/a
3	Zone 2, 1	0,000	0	n/a
4	Zone 3, 1	3,830	0	n/a
5	Zone 4, 1	7,300	1	2,900
6	Zone 5, 1	8,330	1	3,930
7	Zone 6, 1	8,440	1	4,030
8	Zone 7, 1	8,440	1	4,030
9	Zone 8, 1	8,330	1	3,930
10	Zone 9, 1	7,300	1	2,900
11	Zone 10, 1	3,830	0	n/a
12	Zone 11, 1	0,000	0	n/a
13	Zone 12, 1	0,000	0	n/a



Dimensiones principales:

Eslora entre perpendiculares (Lpp)	48,92 m
Eslora total (Loa)	61 m
Manga (B)	17,8 m
Calado (T)	3,42 m
Puntal a la cubierta principal (D)	5,43 m

Autor: Nuria Rioseco Río	Zonas de subdivisión
Proyecto: Ferry para navegación en fiordos noruegos (Código 18-18)	Escala: 1:200

5.2.3.3. Zonas verticales

El buque solo dispone de una única cubierta estanca que sería la cubierta de carga rodada y por tanto, solo se tiene esta en cuenta.

	Zones	Num. Dec	H 1 m
1	<i>1 adjacent</i>		
2	Zone 1, 1	1	5,430
3	Zone 2, 1	1	5,430
4	Zone 3, 1	1	5,430
5	Zone 4, 1	1	5,430
6	Zone 5, 1	1	5,430
7	Zone 6, 1	1	5,430
8	Zone 7, 1	1	5,430
9	Zone 8, 1	1	5,430
10	Zone 9, 1	1	5,430
11	Zone 10, 1	1	5,430
12	Zone 11, 1	1	5,430
13	Zone 12, 1	1	5,430

5.2.3.4. Permeabilidades

A continuación se muestra cuáles serían las permeabilidades para cada compartimento según el calado que se considere.

Name	Type	Deepest subdivision draft Perm. %	Partial subdivision draft Perm. %	Light service draft Perm. %
Local LNG	Compartment	85	85	85
LNG	Tank	95	95	95
Cámara de máquinas	Compartment	85	85	85
Espacio vacío PP 1	Compartment	95	95	95
Espacio vacío PP 2	Compartment	95	95	95
Local propulsor PP	Compartment	85	85	85
Espacio vacío PR 1	Compartment	95	95	95
Espacio vacío PR 2	Compartment	95	95	95
Local propulsor PR	Compartment	85	85	85
Espacio vacío BR 1	Compartment	95	95	95
Espacio vacío BR 2	Compartment	95	95	95
Espacio vacío BR 3	Compartment	95	95	95
Espacio vacío BR 4	Compartment	95	95	95
Espacio vacío BR 5	Compartment	95	95	95
Espacio vacío BR 6	Compartment	95	95	95
Espacio vacío ER 1	Compartment	95	95	95
Espacio vacío ER 2	Compartment	95	95	95
Espacio vacío ER 3	Compartment	95	95	95
Espacio vacío ER 4	Compartment	95	95	95
Espacio vacío ER 5	Compartment	95	95	95
Espacio vacío ER 6	Compartment	95	95	95
MDO almacén	Tank	95	95	95
Sedimentación	Tank	95	95	95
MDO 12 h BR	Tank	95	95	95
MDO 12 h ER	Tank	95	95	95
Aceite	Tank	95	95	95
Lodos	Tank	95	95	95
Aguas negras y grises BR	Tank	95	95	95
Aguas negras y grises ER	Tank	95	95	95
Agua dulce BR	Tank	95	95	95
Agua dulce ER	Tank	95	95	95
Espacio vacío bajo DF 1	Compartment	95	95	95
Espacio vacío bajo DF 2	Compartment	95	95	95
Espacio vacío bajo DF 3	Compartment	95	95	95
Espacio vacío bajo DF 4	Compartment	95	95	95
Espacio vacío bajo DF 5	Compartment	95	95	95
Espacio vacío bajo DF 6	Compartment	95	95	85
Pique de proa	Compartment	85	85	85
Pique de popa	Compartment	85	85	85
Caseta BR	Compartment	95	95	95
Caseta ER	Compartment	95	95	95

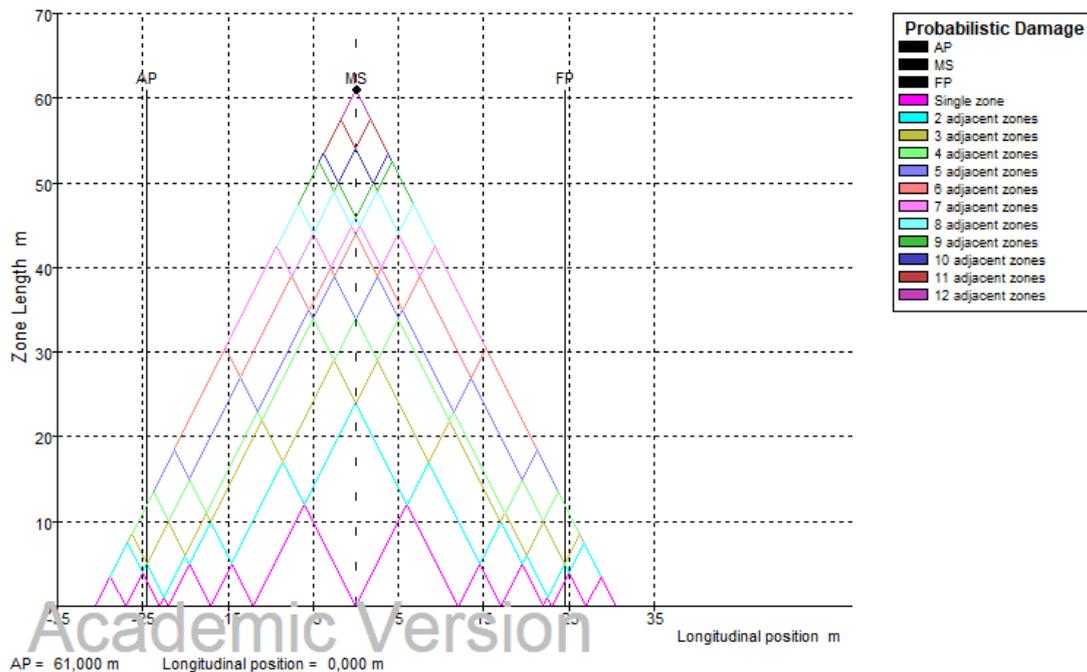
5.2.4. Evaluación de los criterios de estabilidad tras avería

El factor de R es 0,9 dado que se trata de un buque de pasaje como se comentaba anteriormente y los resultados en este apartado son los siguientes:

29	MSC.216(82) -- Required subdivision index			<input type="checkbox"/>
30	Pax ships: $R = 1 - 5000 / (L_S + 2.5 N + 15225)$	0,71133		<input type="checkbox"/>
31	Reduction factor for R	1,000		<input type="checkbox"/>
32	Required subdivision index (applying reduction factor)	0,71133		<input type="checkbox"/>
33	Factor of R for required subdivision index for each loadcase	0,900		<input type="checkbox"/>
34	Required subdivision index for each loadcase	0,64020		<input type="checkbox"/>

Para calcular el índice de subdivisión obtenido (A), se consideran todas las posibles averías y la posibilidad de que se produzca cada una. Además hay que considerar la probabilidad de supervivencia del buque.

A partir de Maxsurf obtenemos el siguiente esquema para el cálculo de la probabilidad de avería.



5.2.4.1. Criterios

En cuanto a los criterios después de avería, seleccionamos los siguientes en Maxsurf:

5.2.4.1.1. Pasaje

		Default M_passenger	Value	Units
1	<input type="checkbox"/>	Pass. crowding arm = $nPass M / disp$		
2	<input type="checkbox"/>	number of passengers: $nPass =$	419	
3	<input type="checkbox"/>	passenger mass: $M =$	0,075	tonne
4	<input type="checkbox"/>	distance from centre line: $D =$	8,900	m
5	<input type="checkbox"/>	cosine power: $n =$	0	

Donde:

- 419 es el número de personas que transporta el buque (pasaje y tripulación).
- 0,075 toneladas es el peso de cada persona.
- 8,9 es la semimanga del buque.

5.2.4.1.2. Viento

		Default M_wind	Value	Units
1	<input type="checkbox"/>	Wind arm = a P A (h - H) / (g disp.) c		
2	<input type="checkbox"/>	constant: a =	0,99997	
3	<input type="checkbox"/>	wind model	Pressure	
4	<input type="checkbox"/>	wind pressure: P =	120,0	Pa
5	<input checked="" type="checkbox"/>	area centroid height (from zero point)	9,960	m
6	<input type="checkbox"/>	approx. area centroid height: h = A/L		m
7	<input type="checkbox"/>	total area: A =	150,000	m ²
8	<input checked="" type="checkbox"/>	additional area: A =	477,950	m ²
9	<input checked="" type="checkbox"/>	height of lateral resistance: H =	0,000	m
10	<input type="checkbox"/>	H = mean draft / 2		m
11	<input type="checkbox"/>	H = vert. centre of projected lat. u'wa		m
12	<input type="checkbox"/>	H = waterline		m
13	<input type="checkbox"/>	H = baseline		m
14	<input type="checkbox"/>	cosine power: n =	0	
15	<input type="checkbox"/>	gust ratio	1	

Maxsurf realiza automáticamente los cálculos relativos al área lateral hasta donde se tiene definido el buque en el programa. Se tiene definido hasta las casetas de la cubierta principal (hasta 8,133 metros), por lo tanto el área adicional que incluiremos será el área por encima de las casetas.

El valor del área adicional nos lo indica el Autocad con su opción de “medir áreas”, el cual nos da un valor de 477,95 m².

También tenemos que indicar en Maxsurf la altura del centro de gravedad del área. Para ello utilizamos la siguiente fórmula:

$$Y \text{ centroide} = \sum \frac{\text{Centro gravedad} \times \text{Área}}{\text{Área total}}$$

Calculamos entonces el centro de gravedad de cada superficie y el valor de su área mediante Autocad, dando los siguientes valores:

$$\frac{135 \times 6,788 + 114,85 \times 9,287 + 75,4 \times 11,885 + 37,7 \times 14,785 + 23,2 \times 17,69}{386,15}$$

Y centroide = 9,96 m

5.2.4.1.3. Embarcaciones de supervivencia

		Default M_survivalcraft	Value	Units
1	<input type="checkbox"/>	Heeling arm = $A / disp. \cos^n(\phi)$		
2	<input type="checkbox"/>	A =	88,683	tonne.m
3	<input type="checkbox"/>	n =	0	

$$A = (9,335 \times 9,5) = 88,683 \text{ t} \cdot \text{m}$$

La semimanga del buque es de 8,9 metros y teniendo en cuenta lo que sobresale el bote del costado, sale un total de 9,5 metros y por tanto el momento de los botes en el costado del buque es de 88,683 t·m.

5.2.4.1.4. Daño probabilístico

		Default Probabilistic Damage Subdivision Index s-factor MSC.216(82)	Value	Units
1	<input type="checkbox"/>	Vessel type	Passenger	
2	<input checked="" type="checkbox"/>	Use s Final		
3	<input checked="" type="checkbox"/>	Use s Intermed		
4	<input checked="" type="checkbox"/>	Use s Moment		
5	<input type="checkbox"/>	Lower angle of range: greater of		
6	<input checked="" type="checkbox"/>	spec. heel angle	0,0	deg
7	<input checked="" type="checkbox"/>	angle of equilibrium		deg
8	<input type="checkbox"/>	Upper angle of range: lesser of		
9	<input checked="" type="checkbox"/>	first downflooding angle		deg
10	<input checked="" type="checkbox"/>	angle of vanishing stability		deg
11	<input type="checkbox"/>	immersion angle of	Marginline	deg
12	<input type="checkbox"/>	s Final		
13	<input type="checkbox"/>	max. GZ limit	0,120	m
14	<input type="checkbox"/>	range limit	16,0	deg
15	<input type="checkbox"/>	K-factor min. heel	7,0	deg
16	<input type="checkbox"/>	K-factor max. heel	15,0	deg
17	<input type="checkbox"/>	s Intermediate		
18	<input type="checkbox"/>	max. GZ limit	0,050	m
19	<input type="checkbox"/>	range limit	7,0	deg
20	<input type="checkbox"/>	max. allowable equilibrium heel angle	15,0	deg
21	<input type="checkbox"/>	s Moment		
22	<input type="checkbox"/>	intact displacement at subdivision dra	1491,095	tonne
23	<input type="checkbox"/>	GZ reduction	0,040	m
24	<input type="checkbox"/>	Select passenger heel moment		
25	<input type="checkbox"/>	M_passenger		
26	<input type="checkbox"/>	Select wind heel moment		
27	<input type="checkbox"/>	M_wind		
28	<input type="checkbox"/>	Select survival craft heel moment		
29	<input type="checkbox"/>	M_survivalcraft		
30	<input checked="" type="checkbox"/>	angle of equilibrium must be less than	PotentialDfloodingPoints	deg
31	<input type="checkbox"/>	angle of equilibrium must be less than	DeckEdge	deg
32	<input type="checkbox"/>	shall be greater than (>)	0,0000	

5.2.4.2. Salidas Maxsurf

En las siguientes salidas de Maxsurf observamos que el buque cumple con $A \geq R$ para cada uno de los calados y por tanto, no es necesario bajar el K_G en ninguna de las condiciones s,l y p.

Las averías las genera directamente el Maxsurf con la pestaña “Extent of Damage” y se ha considerado un número máximo de 2 zonas adyantes.

RESUMEN DE RESULTADOS		
Condición de carga	A	R
s	0,829	0,64
p	0,833	0,64
l	0,846	0,64
Total	0,834	0,711

6. 1ª MODIFICACIÓN

En este apartado se realizarán los cálculos de comportamiento en la mar y estabilidad en averías para la primera alternativa, cuyas dimensiones principales son las siguientes:

DIMENSIONES PRINCIPALES	
L	76 m
Lpp	64,36 m
B	16 m
D	5,43 m
T	3,42 m
Cb	0,528
Cp	0,652
Cm	0,81
Desplazamiento	1422 t
Velocidad	13 kn
Pasajeros	399
Tripulación	20

Aumentaremos la eslora total y disminuirémos la manga máxima respecto al buque base, manteniendo constante el puntal. Ahora la eslora tendrá un valor de 76 m y la manga, de 16 m para asegurar que se encuentra dentro de los límites de las restricciones y que cumple con el área requerida.

En caso de sólo transportar coches, estos se dispondrán en 5 filas de 12 coches cada uno y en caso de transportar coches y camiones, los coches formarán 2 filas de 12 coches cada uno y los camiones 2 filas con 3 camiones cada una.

6.1. Área requerida

Teniendo en cuenta que esta cubierta tiene forma rectangular y que su manga y eslora son 76 m y 16 m, se tiene un área de 1216 m² por lo que se cumple con el área mínima requerida calculada anteriormente (943 m²).

6.2. Límites en dimensiones

- $\frac{L}{B} = 4,75 \rightarrow \text{Cumple: } 2,85 \leq \frac{L}{B} \leq 6,77$

- $D = 5,43 \rightarrow$ Cumple: $3,65 \leq D \leq 6,45$

6.3. Cálculo de parámetros

- XG: manteniendo la relación $\frac{XG}{L} = -0,019$, tenemos un nuevo $XG = -1,444$ m.
- KG: no se ha variado el puntal, KG queda igual. $KG = 5,345$ m.
- Lpp: manteniendo la relación $\frac{Lpp}{L} = 0,79$, se obtiene $Lpp = 64,36$ m.
- En cuanto al desplazamiento, calculamos su valor de la siguiente manera:

$$\Delta = \text{Peso Rosca} + \text{Peso Muerto}$$

$$PR = \text{Peso aceros} + \text{Peso equipos}$$

$$\text{Peso aceros} = Lpp^{1,5} \cdot B \cdot D^{0,5} \cdot K = 64,36^{1,5} \cdot 16 \cdot 5,43^{0,5} \cdot 0,037 = 712,27 \text{ t}$$

Donde K es la constante de Watson que tendrá diferente valor dependiendo del tipo de buque. Para los RoRo-Ferry, K vale 0,037.

$$\text{Peso equipos} = K \cdot Lpp^{1,3} \cdot B^{0,8} \cdot D^{0,3} = 0,045 \cdot 64,36^{1,3} \cdot 16 \cdot 5,43^{0,3} = 866,28 \text{ t}$$

Además, sabemos que cada generador pesa 9,4 t y que el peso de cada propulsor es igual a 7,5 t. Teniendo en cuenta que el buque dispone de 3 generador y 4 propulsores:

$$\text{Peso propulsores} = 7,5 \cdot 4 = 30 \text{ t}$$

$$\text{Peso generadores} = 9,4 \cdot 3 = 28,2 \text{ t}$$

Por otra parte, también tenemos que considerar el peso de la habilitación (butacas, zona del puente, etc) que se aproxima como un 10% del peso de aceros, las rampas de proa/ popa, de 29,1 t las dos y las trincas, de 2 t.

$$PR = 712,27 + 866,28 + 30 + 28,2 + 71,23 + 29,1 + 2 = 1739,1 \text{ t}$$

El peso muerto se compone por la carga útil y los consumos y estos se mantienen constante aunque se modifiquen las dimensiones.

$$PM = 280,206 \text{ t}$$

Por tanto el desplazamiento ahora tiene el siguiente valor:

$$\Delta = 1739,1 + 280,206 = 2019,3 \text{ t}$$

A continuación estimaremos la potencia necesaria para ver si la potencia instalada es suficiente.

La potencia se estima mediante la fórmula de Watson:

$$PB = \frac{0,889 \cdot \text{Desplazamiento}^{\frac{2}{3}} \cdot \left(40 - \frac{Lpp}{61} + 400 \cdot (K - 1)^2 - 12 \cdot Cb\right)}{15000 - 1,81 \cdot N \cdot Lpp^{\frac{1}{2}}}$$

N son las revoluciones y K (constante de Alexander) como 1,05.

$$PB = \frac{0,889 \cdot 2019,3^{\frac{2}{3}} \cdot \left(40 - \frac{64,36}{61} + 400 \cdot (1,05 - 1)^2 - 12 \cdot 0,528\right)}{15000 - 1,81 \cdot 339 \cdot 64,36^{\frac{1}{2}}} = 1052,35 \text{ kW}$$

Dado que los motores trabajarán al 85%, se requiere una potencia de 1238,06 kW.

El buque dispone de 2 motores eléctricos de 660 kW a proa y otros 2 a popa, es decir 1320 kW y como podemos comprobar se satisface la demanda necesaria.

6.4. Comportamiento en la mar

A continuación evaluaremos el comportamiento del buque en la mar basándonos en el estudio del índice MSI en los puntos más desfavorables de las cubiertas de pasaje, tripulación y puente. El análisis se hará para olas de proa (180° y 135°), de popa (0° y 45°) y de costado (90°)

Se definen 30 secciones equidistantes utilizando 12 términos y las inercias del pitch y del yaw se consideran como un 25% de la eslora total del buque, mientras que la inercia del roll se considera un 40% de la manga, tal y como aparece por defecto en Maxsurf:

Mass Distribution ×

Vessel

Roll gyradius	<input type="text" value="6,4 m"/>	% Boa	<input type="text" value="40"/>
Pitch gyradius	<input type="text" value="19 m"/>	% Loa	<input type="text" value="25"/>
Yaw gyradius	<input type="text" value="19 m"/>	% Loa	<input type="text" value="25"/>
VCG	<input type="text" value="3,42 m"/>	Mass	<input type="text" value="1420 t"/>

Se considera la ola más frecuente en el mar del norte, la cual tiene una altura de ola significativa de 1,5 m, y con período de ola de 7,5 s:

El resumen de resultados obtenidos para los diferentes headings, es el siguiente:

Resumen de resultados			
Heading	Cubierta	RMS	Unidades
0°	Cubierta pasaje	0	%
	Cubierta tripulación	0	%
	Cubierta puente	0	%
45°	Cubierta pasaje	2,956	%
	Cubierta tripulación	1,388	%
	Cubierta puente	0,599	%
90°	Cubierta pasaje	25,393	%
	Cubierta tripulación	16,903	%
	Cubierta puente	10,692	%
135°	Cubierta pasaje	21,42	%
	Cubierta tripulación	14,759	%
	Cubierta puente	10,807	%
180°	Cubierta pasaje	10,233	%
	Cubierta tripulación	7,048	%
	Cubierta puente	6,081	%

Podemos concluir que con la primera alternativa se aprecia una ligera mejora, respecto al buque inicial, en el MSI cuando las olas son de popa. Sin embargo, cuando las olas son de

costado o de proa, las nuevas dimensiones hacen que el buque empeore su comportamiento en la mar, siendo más notorio este empeoramiento cuando el heading es de 180°.

6.5. Estabilidad en averías

En este apartado se realizará el análisis probabilístico para calcular la estabilidad en averías.

6.5.1. Descripción de compartimentado y dimensiones reglamentarias

Este apartado tiene como finalidad calcular los mamparos, tanto longitudinales como transversales, necesarios y su colocación en el buque para realizar el compartimentado y disposición de tanques. Se calcularán también las dimensiones reglamentarias para realizar el estudio de la estabilidad en averías.

6.5.1.1. Generalidades del compartimentado

6.5.1.1.1. Extensión longitudinal de la avería

Considerando el calado en la condición de máxima carga, tenemos la siguiente eslora (69,44 m).

1	Draft Amidships m	4,125
2	Displacement t	2040
3	Heel deg	0,0
4	Draft at FP m	3,943
5	Draft at AP m	4,307
6	Draft at LCF m	4,153
7	Trim (+ve by stern) m	0,364
8	WL Length m	69,437

Según SOLAS Capítulo 2-1, Regla 8 (estabilidad de los buques de pasaje después de averías):

$$L_{\text{avería}} = 3 + 0,03 \cdot L$$

Para la primera alternativa se tiene:

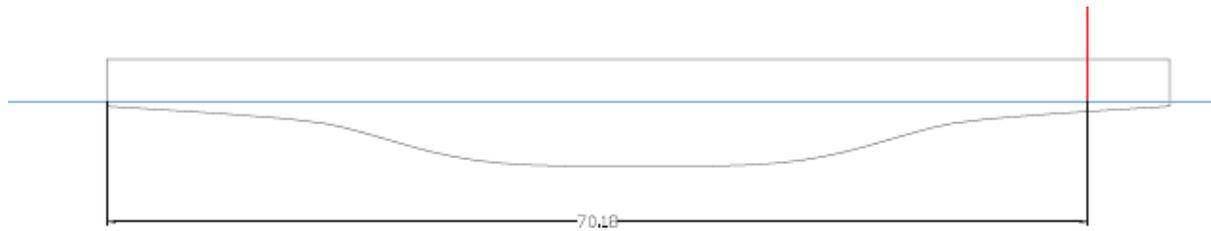
$$L_{\text{avería}} = 3 + 0,03 \times 69,44 = 5,1 \text{ m}$$

Si además atendemos a la MSC (216)82, en la Part B-2, Regulation 9, tenemos que realizar otro cálculo:

El 85% del puntal mínimo de trazado son 4,616 metros. Si calculamos con Maxsurf la eslora en la flotación para este calado nos da un valor de 76 metros, por lo que el 96% de esta eslora son 72,96 metros.

	Draft Amidships m	4,616
1	Displacement t	2894
2	Heel deg	0,0
3	Draft at FP m	4,616
4	Draft at AP m	4,616
5	Draft at LCF m	4,616
6	Trim (+ve by stern) m	0,000
7	WL Length m	76,000

Por otra parte, tenemos que calcular la eslora desde la cara de proa de la roda hasta el eje de la mecha del timón para esta misma flotación y mirar si este valor es superior al anterior.



La eslora a tener en cuenta será la de 72,96 metros y por tanto, según la MSC (216)82:

$$\text{Extensión longitudinal avería} = \frac{1}{3} \cdot 72,96^{\frac{2}{3}} = 5,82 \text{ m}$$

El espaciado entre mamparos transversales será de 6 metros para que coincida con las cuadernas.

6.5.1.1.2. Extensión transversal de la avería

Por otra parte, debemos calcular la extensión transversal de la avería. Para ello seguimos utilizando la Regla 8 del capítulo 2-1 de SOLAS.

$$\text{Extensión transversal avería} = \frac{B}{5} = \frac{15,62}{5} = 3,12 \text{ m}$$

Por otra parte la MSC (216)82 indica:

$$\text{Extensión transversal avería} = \frac{B}{6} = \frac{15,62}{6} = 2,6 \text{ m}$$

Dado que SOLAS es más restrictivo será el que tendremos en cuenta.

6.5.1.2. Compartimentado longitudinal

Los mamparos estancos que la Sociedad de Clasificación DNV-GL obliga a llevar son: mamparo de colisión, mamparo en el pique de popa y mamparos de cámara de máquinas.

6.5.1.2.1. Mamparo de colisión

Calculamos el mamparo de colisión atendiendo a la Sociedad de Clasificación DNV-GL (parte 3, capítulo 1, sección 2), el cual hace referencia al capítulo 2-1, regla 10 del SOLAS.

$$L_{pp} = 64,36 \text{ m}$$

$$x_c \text{ mínimo} = 0,05 \cdot L_{pp} = 3,22 \text{ m}$$

$$x_c \text{ máximo} = 0,05 \cdot L_{pp} + 3 = 3,22 + 3 = 6,22 \text{ m}$$

La distancia a la que se ha decidido colocar el mamparo de colisión, tanto en proa como en popa (por ser un buque simétrico), ha sido a 4 m de la correspondiente perpendicular para que de esta forma coincida con una de las cuadernas.

En este caso, los mamparos de colisión se colocarán en las cuadernas -72 y 72.

6.5.1.2.2. Mamparos de cámara de máquinas

El DNV-GL obliga a llevar un mamparo estanco en cada extremo del espacio de la cámara de máquinas. Se situará un mamparo a proa y otro a popa de la cámara de máquinas, en las cuadernas -24 y 0.

6.5.1.3. Compartimentado transversal

6.5.1.3.1. Mamparos longitudinales

Anteriormente se calculaba la extensión transversal de la avería y obteníamos un valor de 3,12 m, por tanto, será necesario que el buque lleve algún mamparo longitudinal como doble casco a cada banda del buque y a 3,12 m, como mínimo, del costado para hacer frente a la estabilidad en averías. Se proveerá un doble casco en cámara de máquinas y en los espacios vacíos.

6.5.1.4. Compartimentado vertical

6.5.1.4.1. Doble fondo

El doble fondo mínimo deberá ser de:

$$dDB = 32 \cdot B \cdot 10^{-3} + c \cdot \sqrt{d}$$
$$dDB = 32 \times 16 \cdot 10^{-3} + 0,19 \cdot \sqrt{3,42} = 0,86 \text{ metros}$$

dDB = puntal del doble fondo en metros

c = 0,19

d = calado de escantillonado, en metros.

B= manga del buque, en metros.

Por otra parte la MSC (216)82, indica en la Part B-2, Regulation 9, que la altura del doble fondo se puede calcular como:

$$h = \frac{B}{20} = \frac{16}{20} = 0,8 \text{ m}$$

Y que nunca debe tomarse inferior de 760 mm ni superior a 2m.

Como se decía anteriormente, el valor del doble fondo en buques de este estilo es mayor, por lo que se va a aumentar. El valor del doble fondo será de 1,3 metros.

6.5.1.4.2. Cubiertas estancas

La única cubierta estanca será la principal, situada a 5,43 metros de la línea base.

6.5.1.5. Listado de tanques y compartimentos

Name	Type	Intact Perm. %	Damaged Perm. %	Specific gravit	Fluid type	Boundary Surfaces	Aft (m)	Fore (m)	F. Port (m)	F. Stbd (m)	F. Top (m)	F. Bottom (m)
Local LNG	Compartment	85	85			none	0	12	-4,4	4,4	5,433	1,3
LNG	Tank	98	98	0,45			3,501	8,999	-1,5	1,5	4,3	1,3
Cámara de máquinas	Compartment	85	85			none	-12	0	-4,4	4,4	5,433	1,3
Espacio vacío PP 1	Compartment	85	85			none	-30	-24	-4,4	4,4	5,433	1,3
Espacio vacío PP 2	Compartment	85	85			none	-24	-18	-4,4	4,4	5,433	1,3
Espacio vacío PP 3	Compartment	85	85			none	-18	-12	-4,4	4,4	5,433	1,3
Local propulsor PP	Compartment	85	85			none	-36	-30	-9,8	9,8	5,433	1,3
Espacio vacío PR 1	Compartment	85	85			none	12	18	-4,4	4,4	5,433	1,3
Espacio vacío PR 2	Compartment	85	85			none	18	24	-4,4	4,4	5,433	1,3
Espacio vacío PR 3	Compartment	85	85			none	24	30	-4,4	4,4	5,433	1,3
Local propulsor PR	Compartment	85	85			none	30	36	-9,8	9,8	5,433	1,3
Espacio vacío BR 1	Compartment	85	85			none	-30	-24	-8	-4,4	5,433	1,3
Espacio vacío BR 2	Compartment	85	85			none	-24	-18	-8	-4,4	5,433	1,3
Espacio vacío BR 3	Compartment	85	85			none	-18	-12	-8	-4,4	5,433	1,3
Espacio vacío BR 4	Compartment	85	85			none	-12	0	-8	-4,4	5,433	1,3
Espacio vacío BR 5	Compartment	85	85			none	0	12	-8	-4,4	5,433	1,3
Espacio vacío BR 6	Compartment	85	85			none	12	18	-8	-4,4	5,433	1,3
Espacio vacío BR 7	Compartment	85	85			none	18	24	-8	-4,4	5,433	1,3
Espacio vacío BR 8	Compartment	85	85			none	24	30	-8	-4,4	5,433	1,3
Espacio vacío ER 1	Compartment	85	85			none	-30	-24	4,4	8	5,433	1,3
Espacio vacío ER 2	Compartment	85	85			none	-24	-18	4,4	8	5,433	1,3
Espacio vacío ER 3	Compartment	85	85			none	-18	-12	4,4	8	5,433	1,3
Espacio vacío ER 4	Compartment	85	85			none	-12	0	4,4	8	5,433	1,3
Espacio vacío ER 5	Compartment	85	85			none	0	12	4,4	8	5,433	1,3
Espacio vacío ER 6	Compartment	85	85			none	12	18	4,4	8	5,433	1,3
Espacio vacío ER 7	Compartment	85	85			none	18	24	4,4	8	5,433	1,3
Espacio vacío ER 8	Compartment	85	85			none	24	30	4,4	8	5,433	1,3
MDO almacén	Tank	98	98	0,84		none	-0,5	0	-1	2	3,3	1,3
Sedimentación	Tank	98	98	0,84		none	-0,5	0	-2	-1	2,2	1,3
MDO 12 h BR	Tank	98	98	0,84		none	-0,5	0	-3	-2,5	2,2	1,3
MDO 12 h ER	Tank	98	98	0,84		none	-0,5	0	-2,5	-2	2,2	1,3
Aceite	Tank	98	98	0,92	Lube Oil	none	-0,5	0	-3,2	-3	1,5	1,3
Lodos	Tank	98	98	0,92		none	-0,1	0,1	-0,5	0	0,2	0
Aguas negras y grises BR	Tank	98	98	1		none	0	8	-8	-4	1,3	0
Aguas negras y grises ER	Tank	98	98	1		none	0	8	4	8	1,3	0
Agua dulce BR	Tank	98	98	1	Fresh Water	none	-18	-16,5	-4,4	-1,5	4,5	1,3
Agua dulce ER	Tank	98	98	1	Fresh Water	none	-18	-16,5	1,5	4,4	4,5	1,3
Espacio vacío bajo DF 1	Compartment	85	85			none	-18	-12	-8	8	1,3	0
Espacio vacío bajo DF 2	Compartment	85	85			none	-12	-6	-8	8	1,3	0
Espacio vacío bajo DF 3	Compartment	85	85			none	-6	0	-8	8	1,3	0
Espacio vacío bajo DF 4	Compartment	85	85			none	0	6	-4,4	4,4	1,3	0
Espacio vacío bajo DF 5	Compartment	85	85			none	6	12	-8	8	1,3	0
Espacio vacío bajo DF 6	Compartment	85	85			none	12	18	-8	8	1,3	0
Pique de proa	Compartment	85	85			none	36	37,999	-8	8	5,433	0
Pique de popa	Compartment	85	85			none	-37,999	-36	-8	8	5,433	0
Caseta BR	Compartment	85	85			none	-23	23	-8	-6,9	8,133	5,433
Caseta ER	Compartment	85	85			none	-23	23	6,9	8	8,133	5,433
Non Buoyant Garaje Central	Non-Buoyant Vol.	100	100			none	-23	23	-6,9	6,9	8,133	5,433
Non Buoyant Garaje Popa	Non-Buoyant Vol.	100	100			none	-37,999	-23	-8	8	8,133	5,433
Non Buoyant Garaje Proa	Non-Buoyant Vol.	100	100			none	23	37,999	-8	8	8,133	5,433
Cámara de máquinas (MDO almacén)	Linked Neg. Compart.	85	85			none	-0,5	0	-1	2	3,3	1,3
Cámara de máquinas (Sedimentación)	Linked Neg. Compart.	85	85			none	-0,5	0	-2	-1	2,2	1,3
Cámara de máquinas (MDO 12 h BR)	Linked Neg. Compart.	85	85			none	-0,5	0	-3	-2,5	2,2	1,3
Cámara de máquinas (MDO 12 h ER)	Linked Neg. Compart.	85	85			none	-0,5	0	-2,5	-2	2,2	1,3
Cámara de máquinas (Aceite)	Linked Neg. Compart.	85	85			none	-0,5	0	-3,2	-3	1,5	1,3
Local LNG (LNG)	Linked Neg. Compart.	85	85				3,501	8,999	-1,5	1,5	4,3	1,3
Espacio vacío bajo DF 3 (Lodos)	Linked Neg. Compart.	85	85			none	-0,1	0	-0,5	0	0,2	0
Espacio vacío bajo DF 5 (Aguas negras y grises BR)	Linked Neg. Compart.	85	85			none	6	8	-8	-4	1,3	0
Espacio vacío bajo DF 5 (Aguas negras y grises ER)	Linked Neg. Compart.	85	85			none	6	8	4	8	1,3	0
Espacio vacío PP 3 (Agua dulce BR)	Linked Neg. Compart.	85	85			none	-18	-16,5	-4,4	-1,5	4,5	1,3
Espacio vacío PP 3 (Agua dulce ER)	Linked Neg. Compart.	85	85			none	-18	-16,5	1,5	4,4	4,5	1,3
Espacio vacío bajo DF 4 (Lodos)	Linked Neg. Compart.	85	85			none	0	0,1	-0,5	0	0,2	0
Espacio vacío bajo DF 4 (Aguas negras y grises BR)	Linked Neg. Compart.	85	85			none	0	6	-8	-4	1,3	0
Espacio vacío bajo DF 4 (Aguas negras y grises ER)	Linked Neg. Compart.	85	85			none	0	6	4	8	1,3	0

6.5.1.6. Dimensiones reglamentarias

- Subdivisión length (L_s): 76 m.
- Mid-length: 0 m.
- Aft terminal: -38 m.
- Forward terminal: 38 m.
- Manga (B): 15,64 m.
- Deepest subdivision draught (d_s): 4,13 m.
- Light service draught (d_l): 3,88 m.
- Partial subdivision draught (d_p): se corresponde con la siguiente fórmula:

$$dp = dl + 0,6 \cdot (ds - dl) = 4,03 \text{ m}$$

	Item	Value	Units	Selected
1	<i>Probabilistic damage</i>			<input type="checkbox"/>
2	Resolution – MSC.216(82) or MSC.19(58)	MSC.216(82)		<input type="checkbox"/>
3	Do automatic combinations of vertical damage ?	Yes		<input type="checkbox"/>
4				<input type="checkbox"/>
5	<i>Loadcases</i>			<input type="checkbox"/>
6	Deepest subdivision draft (summer loadline) Loadcase	Condición de c	draft: 4,14	<input checked="" type="checkbox"/>
7	Partial subdivision draft Loadcase	Condición de c	draft: 4,03	<input checked="" type="checkbox"/>
8	Light service draft Loadcase	Condición de c	draft: 3,87	<input checked="" type="checkbox"/>
9				<input type="checkbox"/>
10	<i>Vessel parameters</i>			<input type="checkbox"/>
11	Type – Cargo or Passenger	Passenger		<input type="checkbox"/>
12	Lifeboat capacity N_1	24		<input type="checkbox"/>
13	Permitted max. num. of persons in excess of N_1: N_2	395		<input type="checkbox"/>
14	Subdivision length L_s	76,000	m	<input type="checkbox"/>
15	Aft terminal of L_s	-38,000	m	<input type="checkbox"/>
16	Fwd terminal of L_s	38,000	m	<input type="checkbox"/>
17	Mid L_s	0,000	m	<input type="checkbox"/>
18	Intact displacement at subdivision draft (Condición de carga s)	2040,089	t	<input type="checkbox"/>
19	max. moulded breadth at or below deepest subdivision draft: B	15,638	m	<input type="checkbox"/>
20	max. number of adjacent zones to consider	2		<input type="checkbox"/>
21	min. probability (p.r.v) of damage to consider	0,000100		<input type="checkbox"/>
22	max. trim angle to consider	40,0	deg	<input type="checkbox"/>
23	Limit longitudinal extent of damage? (L_max=60,000; J_max=0,30303)	Limit		<input type="checkbox"/>
24	Limit vertical extent of damage?	Limit		<input type="checkbox"/>
25	max. vertical extent of damage	16,641	m	<input type="checkbox"/>
26	Damaged side – Starboard or Port	Starboard		<input type="checkbox"/>
27	Zone 1 located at bow or stern?	Stern		<input type="checkbox"/>

6.5.2. Definición y cálculo de las condiciones de carga

6.5.2.1. Condición de máxima y mínima carga

SALIDA DE PUERTO A PLENA CARGA (CONDICIÓN DE MÁXIMA CARGA)										
Item Name	Quantity	Unit Mass (tonne)	Total Mass (tonne)	Unit Volumen (m^3)	Total Volume (m^3)	Long. Arm (m)	Trans. Arm (m)	Vert. Arm (m)	Total FSM (tonne.m)	FSM type
Lightship	1	1739,1	1739,1			-1,444	0	5,345	0	User Specified
Subtotal rosca			1739,1			-1,444	0	5,345	0	
Pasaje	399	0,1	39,9			0	0	11,13	0	User Specified
Tripulación	20	0,1	2			0	0	14,03	0	User Specified
Coches	24	2,5	60			0	0	6,43	0	User Specified
Camiones	6	26	156			0	0	7,43	0	User Specified
Subtotal carga			257,9			0	0	7,821	0	
LNG	100%	17,108	17,108	38,017	38,017	6,25	0	2,8	0	User Specified
MDO almacén	100%	2,47	2,47	2,94	2,94	-0,25	0,5	2,3	0	User Specified
Sedimentación	100%	0,37	0,37	0,441	0,441	-0,25	-1,5	1,75	0	User Specified
MDO 12 h BR	100%	0,185	0,185	0,221	0,221	-0,25	-2,75	1,75	0	User Specified
MDO 12 h ER	100%	0,185	0,185	0,221	0,221	-0,25	-2,25	1,75	0	User Specified
Aceite	100%	0,018	0,018	0,02	0,02	-0,25	-3,1	1,4	0	User Specified
Lodos	0%	0,018	0	0,019	0	0	-0,004	0	0	User Specified
Aguas negras y grises BR	0,1%	10,28	0,01	10,28	0,01	2,261	-4,007	0,282	0	User Specified
Aguas negras y grises ER	0,1%	10,28	0,01	10,28	0,01	2,261	4,007	0,282	0	User Specified
Agua dulce BR	100%	11,361	11,361	11,361	11,361	-17,228	-2,928	3,163	0	User Specified
Agua dulce ER	100%	11,361	11,361	11,361	11,361	-17,228	2,928	3,163	0	User Specified
Total Loadcase			2040,078	85,16	64,6	-1,371	0	5,607	0	
FS correction								0		
VCG fluid								5,607		

LLEGADA A PUERTO SIN CARGA (CONDICIÓN DE MÍNIMA CARGA)										
Item Name	Quantity	Unit Mass (tonne)	Total Mass (tonne)	Unit Volumen (m^3)	Total Volume (m^3)	Long. Arm (m)	Trans. Arm (m)	Vert. Arm (m)	Total FSM (tonne.m)	FSM type
Lightship	1	1739,1	1739,1			-1,444	0	5,345	0	User Specified
Subtotal rosca			1739,1			-1,444	0	5,345	0	
Pasaje	399	0,1	39,9			0	0	11,13	0	User Specified
Tripulación	20	0,1	2			0	0	14,03	0	User Specified
Coches	0	2,5	0			0	0	6,43	0	User Specified
Camiones	0	26	0			0	0	7,43	0	User Specified
Subtotal carga			41,9			0	0	11,268	0	
LNG	10%	17,108	1,711	38,017	3,802	6,25	0	1,579	5,497	Maximum
MDO almacén	0%	2,47	0	2,94	0	-0,25	0,5	1,3	0	Maximum
Sedimentación	0%	0,37	0	0,441	0	-0,25	-1,5	1,3	0	Maximum
MDO 12 h BR	10%	0,185	0,019	0,221	0,022	-0,25	-2,75	1,345	0,004	Maximum
MDO 12 h ER	10%	0,185	0,019	0,221	0,022	-0,25	-2,25	1,345	0,004	Maximum
Aceite	10%	0,018	0,002	0,02	0,002	-0,25	-3,1	1,31	0	Maximum
Lodos	90%	0,018	0,016	0,019	0,017	0	-0,249	0,091	0,002	Maximum
Aguas negras y grises BR	90%	10,28	9,252	10,28	9,252	3,924	-4,733	0,875	5,764	Maximum
Aguas negras y grises ER	90%	10,28	9,252	10,28	9,252	3,924	4,733	0,875	5,764	Maximum
Agua dulce BR	10%	11,361	1,136	11,361	1,136	-17,037	-2,737	1,925	3,049	Maximum
Agua dulce ER	10%	11,361	1,136	11,361	1,136	-17,037	2,737	1,925	3,049	Maximum
Total Loadcase			1803,542	85,16	24,642	-1,368	0	5,429	23,134	
FS correction								0,013		
VCG fluid								5,442		

6.5.2.2. Condición de carga s

$$\Delta_s = 2040,1 t$$

$$trim = 0 m$$

$$d_s = 4,13 m$$

Añadimos en Maxsurf esta condición de carga teniendo en cuenta:

$$X_G = 0$$

$$X_G = X_B$$

A continuación se calcula el K_G máximo para distintos desplazamientos:

Displacement (intact) tonne	Limit KG m
1739	6,689
1772	6,630
1806	6,561
1839	6,483
1873	6,395
1906	6,296
1940	6,187
1973	6,066
2007	5,933
2040	5,789

Por tanto:

$$K_{Gm\acute{a}x} = 5,79 m$$

En caso de que no cumpliera, se iría bajando progresivamente el KG en pasos de 0,5 m e igual en las condiciones de carga l y p.

CONDICIÓN DE CARGA S

Item Name	Quantity	Unit Mass (tonne)	Total Mass (tonne)	Unit Volumen (m ³)	Total Volume (m ³)	Long. Arm (m)	Trans. Arm (m)	Vert. Arm (m)	Total FSM (tonne.m)	FSM type
Lightship	1	2040,1	2040,1			0	0	5,79	0	User Specified
Total Loadgroup			2040,1	0	0	0	0	5,79	0	
FS correction								0		
VCG fluid								5,79		

6.5.2.3. Condición de carga I

La condición con un desplazamiento menor es la de "Llegada a puerto sin carga":

$$\Delta_l = 1803,5 \text{ t}$$

$$\text{trim} = \text{valor real} = 0,47 \text{ m}$$

$$d_l = 3,88 \text{ m}$$

En esta condición de carga se cumple:

$$Y_G = 0$$

$$X_G = X_{Greal} = -1,369$$

El K_G máximo en intacta a tener en cuenta será para Δ_l y trimado = trimado real.

Displacement (intact) tonne	Limit KG m
1739	6,740
1746	6,725
1753	6,710
1761	6,694
1768	6,679
1775	6,663
1782	6,647
1789	6,631
1796	6,615
1804	6,598

Obtenemos el siguiente valor:

$$K_{Gm\acute{a}x} = 6,6 \text{ m}$$

CONDICIÓN DE CARGA L

Item Name	Quantity	Unit Mass (tonne)	Total Mass (tonne)	Unit Volumen (m ³)	Total Volume (m ³)	Long. Arm (m)	Trans. Arm (m)	Vert. Arm (m)	Total FSM (tonne.m)	FSM type
Lightship	1	1803,542	1803,542			-1,369	0	6,6	0	User Specified
Total Loadgroup			1803,542	0	0	-1,369	0	6,6	0	
FS correction								0		
VCG fluid								6,6		

6.5.2.4. Condición de carga p

$$d_p = d_l + 0,6 \times (d_s - d_l)$$
$$d_p = 3,8 + 0,6 \times (3,9 - 3,8) = 4,03 \text{ m}$$

En esta condición:

$$\text{trim} = 0$$

Mediante Maxsurf calculamos el desplazamiento correspondiente a un calado de 4,03 m y obtenemos un valor de 1928 t.

Estos datos los introducimos en Maxsurf para una nueva condición de carga p.

Displacement (intact) tonne	Limit KG m
1739	6,689
1760	6,653
1781	6,613
1802	6,570
1823	6,523
1844	6,471
1865	6,416
1886	6,357
1907	6,294
1928	6,226

$$K_{G\text{máx}} = 6,226 \text{ m}$$

En caso de que no se cumpliesen los criterios en avería para alguna de las condiciones de carga calculadas anteriormente, habría que reducir el K_G hasta que cumpliera.

CONDICIÓN DE CARGA P

Item Name	Quantity	Unit Mass (tonne)	Total Mass (tonne)	Unit Volumen (m ³)	Total Volume (m ³)	Long. Arm (m)	Trans. Arm (m)	Vert. Arm (m)	Total FSM (tonne.m)	FSM type
Lightship	1	1928	1928			0	0	6,23	0	User Specified
Total Loadgroup			1928	0	0	0	0	6,23	0	
FS correction								0		
VCG fluid								6,23		

6.5.3. Definición de la subdivisión en zonas longitudinales, transversales y verticales del buque

6.5.3.1. Zonas transversales

Definimos la subdivisión en zonas en las que se va a dividir el buque. Hay que tener en cuenta que las zonas no tienen que coincidir necesariamente con el compartimentado.

Se definen las siguientes zonas transversales:

- Zona 1: se extiende desde la cuaderna -76 hasta la cuaderna -72.
- Zona 2: se extiende desde la cuaderna -72 hasta la -60.
- Zona 3: se extiende desde la cuaderna -60 hasta la -48.
- Zona 4: se extiende desde la cuaderna -48 hasta la -36.
- Zona 5: se extiende desde la cuaderna -36 hasta la -24.
- Zona 6: se extiende desde la cuaderna -24 hasta la 0.
- Zona 7: se extiende desde la cuaderna 0 hasta la 24.
- Zona 8: se extiende desde la cuaderna 24 hasta la 36.
- Zona 9: se extiende desde la cuaderna 36 hasta la 48.
- Zona 10: se extiende desde la cuaderna 48 hasta la 60.
- Zona 11: se extiende desde la cuaderna 60 hasta la 72.
- Zona 12: se extiende desde la cuaderna 72 hasta la 76.

Introducimos en Maxsurf las zonas descritas anteriormente:

	Name	Aft m	Fwd m	Length m	Centre m
1	Zone 1	-38,000	-36,000	2,000	-37,000
2	Zone 2	-36,000	-30,000	6,000	-33,000
3	Zone 3	-30,000	-24,000	6,000	-27,000
4	Zone 4	-24,000	-18,000	6,000	-21,000
5	Zone 5	-18,000	-12,000	6,000	-15,000
6	Zone 6	-12,000	0,000	12,000	-6,000
7	Zone 7	0,000	12,000	12,000	6,000
8	Zone 8	12,000	18,000	6,000	15,000
9	Zone 9	18,000	24,000	6,000	21,000
10	Zone 10	24,000	30,000	6,000	27,000
11	Zone 11	30,000	36,000	6,000	33,000
12	Zone 12	36,000	38,000	2,000	37,000

6.5.3.2. Zonas longitudinales

	Zones	Shell half-beam m	Num. L.Bh	b 1 m
1	1 adjacent			
2	Zone 1, 1	0,000	0	n/a
3	Zone 2, 1	5,230	1	0,860
4	Zone 3, 1	7,000	1	2,630
5	Zone 4, 1	7,500	1	3,130
6	Zone 5, 1	7,790	1	3,410
7	Zone 6, 1	7,850	1	3,440
8	Zone 7, 1	7,850	1	3,440
9	Zone 8, 1	7,790	1	3,410
10	Zone 9, 1	7,500	1	3,130
11	Zone 10, 1	7,000	1	2,630
12	Zone 11, 1	5,230	1	0,860
13	Zone 12, 1	0,000	0	n/a

6.5.3.3. Zonas verticales

Solo se tiene en cuenta la cubierta principal por ser la única cubierta estanca.

	Zones	Num. Dec	H 1 m
1	1 adjacent		
2	Zone 1, 1	1	5,430
3	Zone 2, 1	1	5,430
4	Zone 3, 1	1	5,430
5	Zone 4, 1	1	5,430
6	Zone 5, 1	1	5,430
7	Zone 6, 1	1	5,430
8	Zone 7, 1	1	5,430
9	Zone 8, 1	1	5,430
10	Zone 9, 1	1	5,430
11	Zone 10, 1	1	5,430
12	Zone 11, 1	1	5,430
13	Zone 12, 1	1	5,430

6.5.3.4. Permeabilidades

Las permeabilidades se calculan de la misma manera y son las mismas que en el buque inicial.

6.5.4. Evaluación de los criterios de estabilidad tras avería

El factor de R es 0,9 dado que se trata de un buque de pasaje:

29	MSC.216(82) – Required subdivision index			<input type="checkbox"/>
30	Pax ships: $R = 1 - 5000 / (L_S + 2.5 N + 15225)$	0,71158		<input type="checkbox"/>
31	Reduction factor for R	1,000		<input type="checkbox"/>
32	Required subdivision index (appying reduction factor)	0,71158		<input type="checkbox"/>
33	Factor of R for required subdivision index for each loadcase	0,900		<input type="checkbox"/>
34	Required subdivision index for each loadcase	0,64042		<input type="checkbox"/>

6.5.4.1. Salidas Maxsurf

Se puede observar que la primera alternativa cumple con $A \geq R$ en cada una de las condiciones de carga definidas y por tanto, no es necesario bajar el K_G en ninguna de las condiciones s, l y p.

Las averías las genera directamente el Maxsurf con la pestaña “Extent of Damage” y se ha considerado un número máximo de 2 zonas adyantes.

RESUMEN DE RESULTADOS		
Condición de carga	A	R
s	0,857	0,64
p	0,862	0,64
l	0,865	0,64
Total	0,86	0,711

Se observa una pequeña mejora respecto a la estabilidad en averías del buque ya que se incrementa el valor del índice A.

7. 2ª MODIFICACIÓN

A continuación se realizarán los cálculos de comportamiento en la mar y de estabilidad en averías para la segunda alternativa, la cual tiene las siguientes dimensiones principales:

DIMENSIONES PRINCIPALES	
L	57 m
Lpp	45,28 m
B	19,8 m
D	5,43 m
T	3,42 m
Cb	0,556
Cp	0,686
Cm	0,81
Desplazamiento	1754 t
Velocidad	13 kn
Pasajeros	399
Tripulación	20

Ahora estudiaremos el comportamiento que tendrá el buque disminuyendo la eslora y aumentando la manga, mientras se mantiene constante el puntal.

Dimensionaremos el buque atendiendo al primer caso (buque transporta solo coches) ya que es la condición que implica una mayor superficie en la cubierta y supondremos que los coches se disponen en 6 filas con 10 coches cada una de ellas. De esta forma con una eslora y una manga de 55 y 13,8 metros obtendríamos el área necesaria y sumando 2 metros de casetas a cada costado y 2 metros a mayores para el paso de personas, tendríamos una manga final de 19,8 metros. En el caso de la eslora total, añadiremos 2 metros a mayores permitiendo cierta separación entre vehículos.

7.1. Área requerida

Con una eslora de 57 m y una manga de 19,8 m se obtiene un área de 1128,6 m² en la cubierta principal y por tanto se cumple con el área mínima requerida (943 m²).

7.2. Límites en dimensiones

- $\frac{L}{B} = 2,9 \rightarrow$ Cumple: $2,85 \leq \frac{L}{B} \leq 6,77$
- $D = 5,43 \rightarrow$ Cumple: $3,65 \leq D \leq 6,45$

7.3. Cálculo de parámetros

- XG: manteniendo la relación $\frac{XG}{L} = -0,019$, tenemos un nuevo XG = -1,083 m.
- KG: no se ha variado el puntal, KG queda igual. KG = 5,345 m.
- Lpp: manteniendo la relación $\frac{Lpp}{L} = 0,79$, se obtiene Lpp = 45,28 m.
- Δ :

$$\Delta = \text{Peso Rosca} + \text{Peso Muerto}$$

$$PR = \text{Peso aceros} + \text{Peso equipos}$$

$$\text{Peso aceros} = Lpp^{1,5} \cdot B \cdot D^{0,5} \cdot K = 45,28^{1,5} \cdot 19,8 \cdot 5,43^{0,5} \cdot 0,037 = 520,15 \text{ t}$$

$$\text{Peso equipos} = K \cdot Lpp^{1,3} \cdot B^{0,8} \cdot D^{0,3} = 0,045 \cdot 45,28^{1,3} \cdot 19,8 \cdot 5,43^{0,3} = 632,61 \text{ t}$$

Además, sabemos que cada generador pesa 9,4 t y que el peso de cada propulsor es igual a 7,5 t. Teniendo en cuenta que el buque dispone de 3 generador y 4 propulsores:

$$\text{Peso propulsores} = 7,5 \cdot 4 = 30 \text{ t}$$

$$\text{Peso generadores} = 9,4 \cdot 3 = 28,2 \text{ t}$$

Por otra parte, también tenemos que considerar el peso de la habitación (butacas, zona del puente, etc) que se aproxima como un 10% del peso de aceros, las rampas de proa/ popa, de 29,1 t las dos y las trincas, de 2 t.

$$PR = 520,15 + 632,61 + 30 + 28,2 + 71,23 + 29,1 + 2 = 1313,29 \text{ t}$$

El peso muerto se mantiene constante aunque se modifiquen las dimensiones.

$$PM = 280,206 \text{ t}$$

Por tanto el desplazamiento ahora tiene el siguiente valor:

$$\Delta = 1313,29 + 280,206 = 1593,5 \text{ t}$$

A continuación estimaremos la potencia necesaria para ver si la potencia instalada es suficiente.

La potencia se estima mediante la fórmula de Watson:

$$PB = \frac{0,889 \cdot \text{Desplazamiento}^{\frac{2}{3}} \cdot (40 - \frac{Lpp}{61} + 400 \cdot (K - 1)^2 - 12 \cdot Cb)}{15000 - 1,81 \cdot N \cdot Lpp^{\frac{1}{2}}}$$

N son las revoluciones y K (constante de Alexander) como 1,05.

$$PB = \frac{0,889 \cdot 1593,5^{\frac{2}{3}} \cdot (40 - \frac{45,28}{61} + 400 \cdot (1,05 - 1)^2 - 12 \cdot 0,556)}{15000 - 1,81 \cdot 339 \cdot 45,28^{\frac{1}{2}}} = 832,48 \text{ kW}$$

Dado que los motores trabajarán al 85%, se requiere una potencia de 979,4 kW.

El buque dispone de 2 motores eléctricos de 660 kW a proa y otros 2 a popa, es decir 1320 kW y como podemos comprobar se satisface la demanda necesaria.

7.4. Comportamiento en la mar

A continuación evaluaremos el comportamiento del buque en la mar basándonos en el estudio del índice MSI en los puntos más desfavorables de las cubiertas de pasaje, tripulación y puente. El análisis se hará para olas de proa (180° y 135°), de popa (0° y 45°) y de costado (90°).

Se definen 30 secciones equidistantes utilizando 12 términos y las inercias del pitch y del yaw se consideran como un 25% de la eslora total del buque, mientras que la inercia del roll se considera un 40% de la manga, tal y como indica Maxsurf por defecto.

Mass Distribution ×

Vessel

Roll gyradius	7,92 m	% Boa	40
Pitch gyradius	14,25 m	% Loa	25
Yaw gyradius	14,25 m	% Loa	25
VCG	3,42 m	Mass	1754 t

Para realizar el análisis se considera una ola con una altura del mar del norte de 1,5 m y un período de ola de 7,5 s.

El resumen de resultados obtenidos para los diferentes headings, es el siguiente:

Resumen de resultados			
Heading	Cubierta	RMS	Unidades
0º	Cubierta pasaje	0	%
	Cubierta tripulación	0	%
	Cubierta puente	0	%
45º	Cubierta pasaje	3,161	%
	Cubierta tripulación	1,493	%
	Cubierta puente	0,646	%
90º	Cubierta pasaje	24,595	%
	Cubierta tripulación	15,712	%
	Cubierta puente	9,272	%
135º	Cubierta pasaje	19	%
	Cubierta tripulación	12,71	%
	Cubierta puente	8,95	%
180º	Cubierta pasaje	7,88	%
	Cubierta tripulación	5,414	%
	Cubierta puente	4,75	%

Se aprecia una mejoría en todos los headings, siendo muy ligera o prácticamente nula cuando las olas son de popa. Cuando las olas son de costado (90º) y de proa, esta mejora es más apreciable, sobretodo para un heading de 135º.

Cuando las olas son totalmente de proa, el mareo disminuye más en la cubierta de pasaje que en la cubierta de tripulación y puente.

7.5. Estabilidad en averías

A continuación se realizará el análisis probabilístico para calcular la estabilidad en averías.

7.5.1. Descripción de compartimentado y dimensiones reglamentarias

La finalidad de este apartado es el cálculo de los mamparos (longitudinales y transversales) y su situación en el buque, realizando el compartimentado de este y la disposición de tanques. También se calculan las dimensiones reglamentarias para el cálculo de las condiciones de carga necesarias para evaluar la estabilidad en averías.

7.5.1.1. Generalidades del compartimentado

7.5.1.1.1. Extensión longitudinal de la avería

Considerando el calado en la condición de máxima carga, tenemos la siguiente eslora (46,5 m).

1	Draft Amidships m	3,239
2	Displacement t	1612
3	Heel deg	0,0
4	Draft at FP m	2,921
5	Draft at AP m	3,557
6	Draft at LCF m	3,260
7	Trim (+ve by stern) m	0,637
8	WL Length m	46,495

Según SOLAS Capítulo 2-1, Regla 8 (estabilidad de los buques de pasaje después de averías):

$$\text{Lavería} = 3 + 0,03 \cdot L$$

Para la segunda alternativa se tiene:

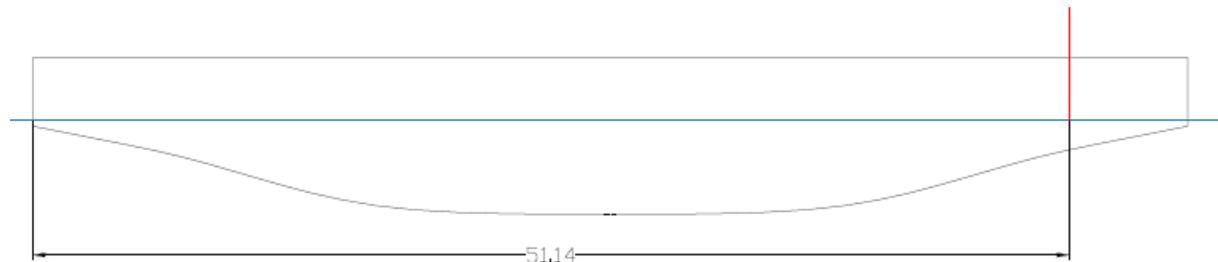
$$\text{Lavería} = 3 + 0,03 \times 46,5 = 4,4 \text{ m}$$

Si además atendemos a la MSC (216)82, en la Part B-2, Regulation 9, tenemos que realizar otro cálculo:

El 85% del puntal mínimo de trazado son 4,616 metros. Si calculamos con Maxsurf la eslora en la flotación para este calado nos da un valor de 57 metros, por lo que el 96% de esta eslora son 54,72 metros.

	Draft Amidships m	4,616
1	Displacement t	2958
2	Heel deg	0,0
3	Draft at FP m	4,616
4	Draft at AP m	4,616
5	Draft at LCF m	4,616
6	Trim (+ve by stern) m	0,000
7	WL Length m	57,000

Por otra parte, tenemos que calcular la eslora desde la cara de proa de la roda hasta el eje de la mecha del timón para esta misma flotación y mirar si este valor es superior al anterior.



La eslora a tener en cuenta será la de 54,72 metros y por tanto, según la MSC (216)82:

$$\text{Extensión longitudinal avería} = \frac{1}{3} \cdot 54,72^{\frac{2}{3}} = 4,8 \text{ m}$$

El espaciado entre mamparos transversales será de 5 metros para que coincida con las cuadernas.

7.5.1.1.2. Extensión transversal de la avería

Por otra parte, debemos calcular la extensión transversal de la avería. Para ello seguimos utilizando la Regla 8 del capítulo 2-1 de SOLAS.

$$\text{Extensión transversal avería} = \frac{B}{5} = \frac{18,7}{5} = 3,74 \text{ m}$$

Por otra parte la MSC (216)82 indica:

$$\text{Extensión transversal avería} = \frac{B}{6} = \frac{18,7}{6} = 3,12 \text{ m}$$

Dado que SOLAS es más restrictivo será el que tendremos en cuenta.

7.5.1.2. Compartimentado longitudinal

Los mamparos estancos que la Sociedad de Clasificación DNV-GL obliga a llevar son: mamparo de colisión, mamparo en el pique de popa y mamparos de cámara de máquinas.

7.5.1.2.1. Mamparo de colisión

Calculamos el mamparo de colisión atendiendo a la Sociedad de Clasificación DNV-GL (parte 3, capítulo 1, sección 2), el cual hace referencia al capítulo 2-1, regla 10 del SOLAS.

$$L_{pp} = 45,28 \text{ m}$$

$$x_c \text{ mínimo} = 0,05 \cdot 45,28 = 2,264 \text{ m}$$

$$x_c \text{ máximo} = 2,264 + 3 = 5,264 \text{ m}$$

La distancia a la que se ha decidido colocar el mamparo de colisión, tanto en proa como en popa (por ser un buque simétrico), ha sido a 3 m de la correspondiente perpendicular para que de esta forma coincida con una de las cuadernas.

En este caso, los mamparos de colisión se colocarán en las cuadernas -52 y 52.

7.5.1.2.2. Mamparos de cámara de máquinas

El DNV-GL obliga a llevar un mamparo estanco en cada extremo del espacio de la cámara de máquinas. Se situaría un mamparo a proa y otro a popa de la cámara de máquinas, en las cuadernas -24 y 0.

7.5.1.3. Compartimentado transversal

7.5.1.3.1. Mamparos longitudinales

Anteriormente se calculaba la extensión transversal de la avería y obteníamos un valor de 3,74 m, por tanto, será necesario que el buque lleve algún mamparo longitudinal como doble casco a cada banda del buque y a 3,74 m, como mínimo, del costado para hacer frente a la estabilidad en averías. Se proveerá un doble casco en cámara de máquinas y en los espacios vacíos a 4 m del costado.

7.5.1.4. Compartimentado vertical

7.5.1.4.1. Doble fondo

El doble fondo mínimo deberá ser de:

$$dDB = 32 \cdot B \cdot 10^{-3} + c \cdot \sqrt{d}$$
$$dDB = 32 \times 19,8 \cdot 10^{-3} + 0,19 \cdot \sqrt{3,42} = 0,98 \text{ metros}$$

dDB = puntal del doble fondo en metros

c = 0,19

d = calado de escantillonado, en metros.

B= manga del buque, en metros.

Por otra parte la MSC (216)82, indica en la Part B-2, Regulation 9, que la altura del doble fondo se puede calcular como:

$$h = \frac{B}{20} = \frac{19,8}{20} = 1 \text{ m}$$

Y que nunca debe tomarse inferior de 760 mm ni superior a 2m.

Dado que el doble fondo en este tipo de buques adquiere un valor superior, aumentaremos la altura del doble fondo hasta 1,3 metros.

7.5.1.4.2. Cubiertas estancas

La única cubierta estanca será la principal, situada a 5,43 metros de la línea base.

7.5.1.5. Listado de tanques y compartimentos

Name	Type	Intact Perm. %	Damaged Perm. %	Specific gravit	Fluid type	Boundary Surfaces	Aft (m)	Fore (m)	F. Port (m)	F. Stbd (m)	F. Top (m)	F. Bottom (m)
Local LNG	Compartment	85	85			none	0	12	-5,9	5,9	5,433	1,3
LNG	Tank	98	98	0,45			3,501	8,999	-1,5	1,5	4,3	1,3
Cámara de máquinas	Compartment	85	85			none	-12	0	-5,9	5,9	5,433	1,3
Espacio vacío PP 1	Compartment	95	95			none	-20	-16	-5,9	5,9	5,433	1,3
Espacio vacío PP 2	Compartment	95	95			none	-16	-12	-5,9	5,9	5,433	1,3
Local propulsor PP	Compartment	85	85			none	-26	-24	-9,9	9,9	5,433	1,3
Espacio vacío PR 1	Compartment	95	95			none	12	16	-5,9	5,9	5,433	1,3
Espacio vacío PR 2	Compartment	95	95			none	16	20	-5,9	5,9	5,433	1,3
Local propulsor PR	Compartment	85	85			none	20	26	-9,9	9,9	5,433	1,3
Espacio vacío BR 1	Compartment	95	95			none	-20	-16	-9,9	-5,9	5,433	1,3
Espacio vacío BR 2	Compartment	95	95			none	-16	-12	-9,9	-5,9	5,433	1,3
Espacio vacío BR 3	Compartment	95	95			none	-12	0	-9,9	-5,9	5,433	1,3
Espacio vacío BR 4	Compartment	95	95			none	0	12	-9,9	-5,9	5,433	1,3
Espacio vacío BR 5	Compartment	95	95			none	12	16	-9,9	-5,9	5,433	1,3
Espacio vacío BR 6	Compartment	95	95			none	16	20	-9,9	-5,9	5,433	1,3
Espacio vacío ER 1	Compartment	95	95			none	-20	-16	5,9	9,9	5,433	1,3
Espacio vacío ER 2	Compartment	95	95			none	-16	-12	5,9	9,9	5,433	1,3
Espacio vacío ER 3	Compartment	95	95			none	-12	0	5,9	9,9	5,433	1,3
Espacio vacío ER 4	Compartment	95	95			none	0	12	5,9	9,9	5,433	1,3
Espacio vacío ER 5	Compartment	95	95			none	12	16	5,9	9,9	5,433	1,3
Espacio vacío ER 6	Compartment	95	95			none	16	20	5,9	9,9	5,433	1,3
MDO almacén	Tank	98	98	0,84		none	-0,5	0	-1	2	3,3	1,3
Sedimentación	Tank	98	98	0,84		none	-0,5	0	-2	-1	2,2	1,3
MDO 12 h BR	Tank	98	98	0,84		none	-0,5	0	-3	-2,5	2,2	1,3
MDO 12 h ER	Tank	98	98	0,84		none	-0,5	0	-2,5	-2	2,2	1,3
Aceite	Tank	98	98	0,92	Lube Oil	none	-0,5	0	-3,2	-3	1,5	1,3
Lodos	Tank	98	98	0,92		none	-0,4	0	-9,9	-7	1,2	0
Aguas negras y grises BR	Tank	98	98	1		none	0	5	-9,9	-4,5	1,3	0
Aguas negras y grises ER	Tank	98	98	1		none	0	5	4,5	9,9	1,3	0
Agua dulce BR	Tank	98	98	1	Fresh Water	none	-16	-14,5	-5,9	-4,1	5,433	1,3
Agua dulce ER	Tank	98	98	1	Fresh Water	none	-16	-14,5	4,1	5,9	5,433	1,3
Espacio vacío bajo DF 1	Compartment	95	95			none	-16	-12	-9,9	9,9	1,3	0
Espacio vacío bajo DF 2	Compartment	95	95			none	-12	-6	-9,9	9,9	1,3	0
Espacio vacío bajo DF 3	Compartment	95	95			none	-6	0	-9,9	9,9	1,3	0
Espacio vacío bajo DF 4	Compartment	95	95			none	0	6	-4,2	4,2	1,3	0
Espacio vacío bajo DF 5	Compartment	95	95			none	6	12	-9,9	9,9	1,3	0
Espacio vacío bajo DF 6	Compartment	95	95			none	12	16	-9,9	9,9	1,3	0
Pique de proa	Compartment	85	85			none	26	28,499	-9,9	9,9	5,433	0
Pique de popa	Compartment	85	85			none	-27	-26	-9,9	9,9	5,433	0
Caseta BR	Compartment	85	85			none	-23	23	-9,9	-6,9	8,133	5,433
Caseta ER	Compartment	85	85			none	-23	23	7,9	9,9	8,133	5,433
Non Buoyant Garaje Central	Non-Buoyant Vol.	100	100			none	-23	23	-7,9	7,9	8,133	5,433
Non Buoyant Garaje Popa	Non-Buoyant Vol.	100	100			none	-28,499	-23	-9,9	9,9	8,133	5,433
Non Buoyant Garaje Proa	Non-Buoyant Vol.	100	100			none	23	28,499	-9,9	9,9	8,133	5,433
Caseta BR (Non Buoyant Garaje Central)	Linked Neg. Compart.	85	85			none	-23	23	-7,9	7,9	8,133	5,433
Espacio vacío bajo DF 3 (Lodos)	Linked Neg. Compart.	95	95			none	-0,4	0	-9,9	-7	1,2	0
Espacio vacío PP 2 (Agua dulce BR)	Linked Neg. Compart.	95	95			none	-16	-14,5	-5,9	-4,1	5,433	1,3
Espacio vacío PP 2 (Agua dulce ER)	Linked Neg. Compart.	95	95			none	-16	-14,5	4,1	5,9	5,433	1,3
Local LNG (LNG)	Linked Neg. Compart.	85	85				3,501	8,999	-1,5	1,5	4,3	1,3
Cámara de máquinas (MDO almacén)	Linked Neg. Compart.	85	85			none	-0,5	0	-1	2	3,3	1,3
Cámara de máquinas (Sedimentación)	Linked Neg. Compart.	85	85			none	-0,5	0	-2	-1	2,2	1,3
Cámara de máquinas (MDO 12 h BR)	Linked Neg. Compart.	85	85			none	-0,5	0	-3	-2,5	2,2	1,3
Cámara de máquinas (MDO 12 h ER)	Linked Neg. Compart.	85	85			none	-0,5	0	-2,5	-2	2,2	1,3
Cámara de máquinas (Aceite)	Linked Neg. Compart.	85	85			none	-0,5	0	-3,2	-3	1,5	1,3

7.5.1.6. Dimensiones reglamentarias

- Subdivisión length (L_s): 57 m.
- Mid-length: 0 m.
- Aft terminal: -28,5 m.
- Forward terminal: 28,5 m.
- Manga (B): 18,7 m.
- Depest subdivisión draught (d_s): 3,24 m.
- Light service draught (d_l): 2,96 m.
- Partial subdivisión draught (d_p): se corresponde con la siguiente fórmula:

$$dp = dl + 0,6 \cdot (ds - dl) = 3,13 \text{ m}$$

	Item	Value	Units	Selected
1	<i>Probabilistic damage</i>			<input type="checkbox"/>
2	Resolution -- MSC.216(82) or MSC.19(58)	MSC.216(82)		<input type="checkbox"/>
3	Do automatic combinations of vertical damage ?	Yes		<input type="checkbox"/>
4				<input type="checkbox"/>
5	<i>Loadcases</i>			<input type="checkbox"/>
6	Deepest subdivision draft (summer loadline) Loadcase	Condición de c	draft: 3,25	<input checked="" type="checkbox"/>
7	Partial subdivision draft Loadcase	Condición de c	draft: 3,13	<input checked="" type="checkbox"/>
8	Light service draft Loadcase	Condición de c	draft: 2,95	<input checked="" type="checkbox"/>
9				<input type="checkbox"/>
10	<i>Vessel parameters</i>			<input type="checkbox"/>
11	Type -- Cargo or Passenger	Passenger		<input type="checkbox"/>
12	Lifeboat capacity N_1	24		<input type="checkbox"/>
13	Permitted max. num. of persons in excess of N_1: N_2	395		<input type="checkbox"/>
14	Subdivision length L_s	57,000	m	<input type="checkbox"/>
15	Aft terminal of L_s	-28,500	m	<input type="checkbox"/>
16	Fwd terminal of L_s	28,500	m	<input type="checkbox"/>
17	Mid L_s	0,000	m	<input type="checkbox"/>
18	Intact displacement at subdivision draft (Condición de carga I)	1393,048	t	<input type="checkbox"/>
19	max. moulded breadth at or below deepest subdivision draft: B	18,618	m	<input type="checkbox"/>
20	max. number of adjacent zones to consider	2		<input type="checkbox"/>
21	min. probability (p.r.v) of damage to consider	0,000100		<input type="checkbox"/>
22	max. trim angle to consider	40,0	deg	<input type="checkbox"/>
23	Limit longitudinal extent of damage? (L_max=60,000; J_max=0,30303)	Limit		<input type="checkbox"/>
24	Limit vertical extent of damage?	Limit		<input type="checkbox"/>
25	max. vertical extent of damage	15,750	m	<input type="checkbox"/>
26	Damaged side -- Starboard or Port	Starboard		<input type="checkbox"/>
27	Zone 1 located at bow or stern?	Stern		<input type="checkbox"/>

7.5.2. Definición y cálculo de las condiciones de carga

7.5.2.1. Condición de máxima y mínima carga

SALIDA DE PUERTO A PLENA CARGA (CONDICIÓN DE MÁXIMA CARGA)										
Item Name	Quantity	Unit Mass (tonne)	Total Mass (tonne)	Unit Volumen (m^3)	Total Volume (m^3)	Long. Arm (m)	Trans. Arm (m)	Vert. Arm (m)	Total FSM (tonne.m)	FSM type
Lightship	1	1313,29	1313,29			-1,083	0	5,345	0	User Specified
Subtotal rosca			1313,29			-1,083	0	5,345	0	
Pasaje	399	0,1	39,9			0	0	11,13	0	User Specified
Tripulación	20	0,1	2			0	0	14,03	0	User Specified
Coches	24	2,5	60			0	0	6,43	0	User Specified
Camiones	6	26	156			0	0	7,43	0	User Specified
Subtotal carga			257,9			0	0	7,821	0	
LNG	100%	17,108	17,108	38,017	38,017	6,25	0	2,8	0	User Specified
MDO almacén	100%	2,47	2,47	2,94	2,94	-0,25	0,5	2,3	0	User Specified
Sedimentación	100%	0,37	0,37	0,441	0,441	-0,25	-1,5	1,75	0	User Specified
MDO 12 h BR	100%	0,185	0,185	0,221	0,221	-0,25	-2,75	1,75	0	User Specified
MDO 12 h ER	100%	0,185	0,185	0,221	0,221	-0,25	-2,25	1,75	0	User Specified
Aceite	100%	0,018	0,018	0,02	0,02	-0,25	-3,1	1,4	0	User Specified
Lodos	0%	0,017	0	0,019	0	-0,166	-7	0,957	0	User Specified
Aguas negras y grises BR	0,1%	10,494	0,01	10,494	0,01	2,125	-4,563	0,202	0	IMO A.749(18)
Aguas negras y grises ER	0,1%	10,494	0,01	10,494	0,01	2,125	4,563	0,202	0	IMO A.749(18)
Agua dulce BR	100%	10,718	10,718	10,718	10,718	-15,242	-4,995	3,407	0	User Specified
Agua dulce ER	100%	10,718	10,718	10,718	10,718	-15,242	4,995	3,407	0	User Specified
Total Loadcase			1612,982	84,3	63,315	-1,019	0	5,682	0	
FS correction								0		
VCG fluid								5,682		

LLEGADA A PUERTO SIN CARGA (CONDICIÓN DE MÍNIMA CARGA)

Item Name	Quantity	Unit Mass (tonne)	Total Mass (tonne)	Unit Volumen (m^3)	Total Volume (m^3)	Long. Arm (m)	Trans. Arm (m)	Vert. Arm (m)	Total FSM (tonne.m)	FSM type
Lightship	1	1313,29	1313,29			-1,083	0	5,345	0	User Specified
Subtotal rosca			1313,29			-1,083	0	5,345	0	
Pasaje	399	0,1	39,9			0	0	11,13	0	User Specified
Tripulación	20	0,1	2			0	0	14,03	0	User Specified
Coches	0	2,5	0			0	0	6,43	0	User Specified
Camiones	0	26	0			0	0	7,43	0	User Specified
Subtotal carga			41,9			0	0	11,268	0	
LNG	90%	17,108	15,397	38,017	34,215	6,25	0	2,664	0	User Specified
MDO almacén	0%	2,47	0	2,94	0	-0,25	0,5	1,3	0	User Specified
Sedimentación	0%	0,37	0	0,441	0	-0,25	-1,5	1,3	0	User Specified
MDO 12 h BR	10%	0,185	0,019	0,221	0,022	-0,25	-2,75	1,345	0,004	User Specified
MDO 12 h ER	10%	0,185	0,019	0,221	0,022	-0,25	-2,25	1,345	0,004	User Specified
Aceite	10%	0,018	0,002	0,02	0,002	-0,25	-3,1	1,31	0	User Specified
Lodos	90%	0,017	0,015	0,019	0,017	-0,2	-7,123	1,11	0,002	User Specified
Aguas negras y grises BR	90%	10,494	9,445	10,494	9,445	2,492	-5,59	0,831	5,636	IMO A.749(18)
Aguas negras y grises ER	90%	10,494	9,445	10,494	9,445	2,492	5,59	0,831	5,636	IMO A.749(18)
Agua dulce BR	10%	10,718	1,072	10,718	1,072	-15,169	-4,951	1,575	0,729	User Specified
Agua dulce ER	10%	10,718	1,072	10,718	1,072	-15,169	4,951	1,575	0,729	User Specified
Total Loadcase			1391,674	84,3	55,311	-0,942	0	5,426	12,741	
FS correction								0,009		
VCG fluid								5,436		

7.5.2.2. Condición de carga s

$$\Delta_s = 1612,981 t$$

$$\text{trim} = 0 m$$

$$d_s = 3,24 m$$

Añadimos en Maxsurf esta condición de carga teniendo en cuenta:

$$X_G = 0$$

$$X_G = X_B$$

Mediante Maxsurf obtenemos el siguiente K_G :

$$K_{G\text{máx}} = 8,49 m$$

CONDICIÓN DE CARGA S

Item Name	Quantity	Unit Mass (tonne)	Total Mass (tonne)	Unit Volumen (m ³)	Total Volume (m ³)	Long. Arm (m)	Trans. Arm (m)	Vert. Arm (m)	Total FSM (tonne.m)	FSM type
Lightship	1	1612,98	1612,98			0	0	8,49	0	User Specified
Total Loadgroup			1612,98	0	0	0	0	8,49	0	
FS correction								0		
VCG fluid								8,49		

7.5.2.3. Condición de carga I

La condición con un desplazamiento menor es la de “Llegada a puerto sin carga”:

$$\Delta_l = 1391,674 \text{ t}$$

$$\text{trim} = \text{valor real} = 0,61 \text{ m}$$

$$d_l = 2,96 \text{ m}$$

En esta condición de carga se cumple:

$$Y_G = 0$$

$$X_G = X_{Greal} = -0,942$$

El K_G máximo en intacta a tener en cuenta será para Δ_l y trimado = trimado real.

Obtenemos el siguiente valor:

$$K_{Gm\acute{a}x} = 8,65 \text{ m}$$

CONDICIÓN DE CARGA L

Item Name	Quantity	Unit Mass (tonne)	Total Mass (tonne)	Unit Volumen (m ³)	Total Volume (m ³)	Long. Arm (m)	Trans. Arm (m)	Vert. Arm (m)	Total FSM (tonne.m)	FSM type
Lightship	1	1391,674	1391,674			-0,942	0	8,65	0	User Specified
Total Loadgroup			1391,674	0	0	-0,942	0	8,65	0	
FS correction								0		
VCG fluid								8,65		

7.5.2.4. Condición de carga p

$$d_p = d_l + 0,6 \times (d_s - d_l)$$

$$d_p = 2,96 + 0,6 \times (3,24 - 2,96) = 3,13 \text{ m}$$

En esta condición:

$$\text{trim} = 0$$

Mediante Maxsurf calculamos el desplazamiento correspondiente a un calado de 3,13 m y obtenemos un valor de 1517 t.

El K_G obtenido es el siguiente:

$$K_{G\text{máx}} = 8,55 \text{ m}$$

En caso de que no se cumpliesen los criterios en avería para alguna de las condiciones de carga calculadas anteriormente, habría que reducir el K_G hasta que cumpliera.

CONDICIÓN DE CARGA P

Item Name	Quantity	Unit Mass (tonne)	Total Mass (tonne)	Unit Volumen (m ³)	Total Volume (m ³)	Long. Arm (m)	Trans. Arm (m)	Vert. Arm (m)	Total FSM (tonne.m)	FSM type
Lightship	1	1517	1517			0	0	8,55	0	User Specified
Total Loadgroup			1517	0	0	0	0	8,55	0	
FS correction								0		
VCG fluid								8,55		

7.5.3. Definición de la subdivisión en zonas longitudinales, transversales y verticales del buque

7.5.3.1. Zonas transversales

Definimos la subdivisión en zonas en las que se va a dividir el buque. Hay que tener en cuenta que las zonas no tienen que coincidir necesariamente con el compartimentado.

Se definen las siguientes zonas transversales:

- Zona 1: se extiende desde la cuaderna -57 hasta la cuaderna -52.
- Zona 2: se extiende desde la cuaderna -52 hasta la -40.
- Zona 3: se extiende desde la cuaderna -40 hasta la -32.
- Zona 4: se extiende desde la cuaderna -32 hasta la -24.
- Zona 5: se extiende desde la cuaderna -24 hasta la -0.
- Zona 6: se extiende desde la cuaderna -0 hasta la 24.
- Zona 7: se extiende desde la cuaderna 24 hasta la 32.
- Zona 8: se extiende desde la cuaderna 32 hasta la 40.
- Zona 9: se extiende desde la cuaderna 40 hasta la 52.
- Zona 10: se extiende desde la cuaderna 52 hasta la 57.

Introducimos en Maxsurf las zonas descritas anteriormente:

	Name	Aft m	Fwd m	Length m	Centre m
1	Zone 1	-28,500	-26,000	2,500	-27,250
2	Zone 2	-26,000	-20,000	6,000	-23,000
3	Zone 3	-20,000	-16,000	4,000	-18,000
4	Zone 4	-16,000	-12,000	4,000	-14,000
5	Zone 5	-12,000	0,000	12,000	-6,000
6	Zone 6	0,000	12,000	12,000	6,000
7	Zone 7	12,000	16,000	4,000	14,000
8	Zone 8	16,000	20,000	4,000	18,000
9	Zone 9	20,000	26,000	6,000	23,000
10	Zone 10	26,000	28,500	2,500	27,250

7.5.3.2. Zonas longitudinales

	Zones	Shell half-beam m	Num. L.Bh	b 1 m
1	1 adjacent			
2	Zone 1, 1	0,000	0	n/a
3	Zone 2, 1	0,590	0	n/a
4	Zone 3, 1	8,610	1	2,710
5	Zone 4, 1	9,190	1	3,290
6	Zone 5, 1	9,300	1	3,400
7	Zone 6, 1	9,300	1	3,440
8	Zone 7, 1	9,190	1	3,290
9	Zone 8, 1	8,610	1	2,710
10	Zone 9, 1	0,590	0	n/a
11	Zone 10, 1	0,000	0	n/a

7.5.3.3. Zonas verticales

En cuanto a las cubiertas, sólo se tendrá en cuenta la cubierta principal ya que es la única cubierta estanca.

	Zones	Num. Dec	H 1 m
1	1 adjacent		
2	Zone 1, 1	1	5,430
3	Zone 2, 1	1	5,430
4	Zone 3, 1	1	5,430
5	Zone 4, 1	1	5,430
6	Zone 5, 1	1	5,430
7	Zone 6, 1	1	5,430
8	Zone 7, 1	1	5,430
9	Zone 8, 1	1	5,430
10	Zone 9, 1	1	5,430
11	Zone 10, 1	1	5,430

7.5.3.4. Permeabilidades

Las permeabilidades se calculan de la misma manera y son las mismas que en el buque inicial.

7.5.4. Evaluación de los criterios de estabilidad tras avería

El factor de R es 0,9 dado que se trata de un buque de pasaje:

29	MSC.216(82) – Required subdivision index			<input type="checkbox"/>
30	Pax ships: $R = 1 - 5000 / (L_S + 2.5 N + 15225)$	0,71158		<input type="checkbox"/>
31	Reduction factor for R	1,000		<input type="checkbox"/>
32	Required subdivision index (applying reduction factor)	0,71158		<input type="checkbox"/>
33	Factor of R for required subdivision index for each loadcase	0,900		<input type="checkbox"/>
34	Required subdivision index for each loadcase	0,64042		<input type="checkbox"/>

7.5.4.1. Salidas Maxsurf

La alternativa cumple con $A \geq R$ en cada una de las condiciones de carga definidas y por tanto, no es necesario bajar el K_G en ninguna de las condiciones s, l y p.

Las averías las genera directamente el Maxsurf con la pestaña “Extent of Damage” y se ha considerado un número máximo de 2 zonas adyantes.

RESUMEN DE RESULTADOS		
Condición de carga	A	R
s	0,862	0,64
p	0,865	0,64
l	0,876	0,64
Total	0,866	0,711

Dado que el índice A obtenido es mayor que el obtenido en el buque base, esta alternativa mejora, ligeramente, la estabilidad en averías.

8. 3ª MODIFICACIÓN

A continuación se realizarán los análisis de comportamiento en la mar y estabilidad en averías para la tercera alternativa, cuyas dimensiones principales son:

DIMENSIONES PRINCIPALES	
L	61 m
Lpp	48,46 m
B	18,8 m
D	5,43 m
T	3,42 m
Cb	0,55
Cp	0,679
Cm	0,81
Desplazamiento	1678 t
Velocidad	13 kn
Pasajeros	399
Tripulación	20

A continuación se aumentará la manga respecto al buque inicial para estudiar cómo afecta al comportamiento y estabilidad del buque. Aumentaremos la manga en 1 metro, de esta manera mejoraremos también el acceso a los vehículos y la maniobrabilidad de estos.

8.1. Área requerida

Dado que se incrementa la manga 1 m, se cumple con el área mínima requerida ya que ahora el área de la cubierta principal es incluso mayor.

8.2. Límites en dimensiones

- $\frac{L}{B} = 3,24 \rightarrow$ Cumple: $2,85 \leq \frac{L}{B} \leq 6,77$
- $D = 5,43 \rightarrow$ Cumple: $3,65 \leq D \leq 6,45$

8.3. Cálculo de parámetros

- XG: dado que la eslora no varía, se considera que XG es igual al valor del XG del buque base, es decir, XG = -1,164 m.
- KG: no se ha variado el puntal, KG sigue teniendo el mismo valor. KG = 5,345 m.
- Lpp: como la eslora se sigue manteniendo constante, Lpp no varía. Lpp = 48,46 m.
- Δ :

$$\Delta = \text{Peso Rosca} + \text{Peso Muerto}$$

$$PR = \text{Peso aceros} + \text{Peso equipos}$$

$$\text{Peso aceros} = Lpp^{1,5} \cdot B \cdot D^{0,5} \cdot K = 48,46^{1,5} \cdot 18,8 \cdot 5,43^{0,5} \cdot 0,037 = 546,81 \text{ t}$$

$$\text{Peso equipos} = K \cdot Lpp^{1,3} \cdot B^{0,8} \cdot D^{0,3} = 0,045 \cdot 48,46^{1,5} \cdot 18,8 \cdot 5,43^{0,5} = 665,04 \text{ t}$$

Además, sabemos que cada generador pesa 9,4 t y que el peso de cada propulsor es igual a 7,5 t. Teniendo en cuenta que el buque dispone de 3 generador y 4 propulsores:

$$\begin{aligned} \text{Peso propulsores} &= 7,5 \cdot 4 = 30 \text{ t} \\ \text{Peso generadores} &= 9,4 \cdot 3 = 28,2 \text{ t} \end{aligned}$$

Por otra parte, también tenemos que considerar el peso de la habitación (butacas, zona del puente, etc) que se aproxima como un 10% del peso de aceros, las rampas de proa/ popa, de 29,1 t las dos y las trincas, de 2 t.

$$PR = 546,81 + 665,04 + 30 + 28,2 + 71,23 + 29,1 + 2 = 1372,38 \text{ t}$$

El peso muerto se mantiene constante aunque se modifiquen las dimensiones.

$$PM = 280,206 \text{ t}$$

Por tanto el desplazamiento ahora tiene el siguiente valor:

$$\Delta = 1372,38 + 280,206 = 1652,59 \text{ t}$$

A continuación estimaremos la potencia necesaria para ver si la potencia instalada es suficiente.

La potencia se estima mediante la fórmula de Watson:

$$PB = \frac{0,889 \cdot \text{Desplazamiento}^{\frac{2}{3}} \cdot \left(40 - \frac{L_{pp}}{61} + 400 \cdot (K - 1)^2 - 12 \cdot C_b\right)}{15000 - 1,81 \cdot N \cdot L_{pp}^{\frac{1}{2}}}$$

N son las revoluciones y K (constante de Alexander) como 1,05.

$$PB = \frac{0,889 \cdot 1652,59^{\frac{2}{3}} \cdot \left(40 - \frac{48,46}{61} + 400 \cdot (1,05 - 1)^2 - 12 \cdot 0,541\right)}{15000 - 1,81 \cdot 339 \cdot 48,46^{\frac{1}{2}}} = 867,551 \text{ kW}$$

Dado que los motores trabajarán al 85%, se requiere una potencia de 1139,46 kW.

El buque dispone de 2 motores eléctricos de 660 kW a proa y otros 2 a popa, es decir 1320 kW y como podemos comprobar se satisface la demanda necesaria.

8.4. Comportamiento en la mar

A continuación evaluaremos el comportamiento del buque en la mar basándonos en el estudio del índice MSI en los puntos más desfavorables de las cubiertas de pasaje, tripulación y puente, definidos anteriormente. El análisis se hará para olas de proa (180° y 135°), de popa (0° y 45°) y de costado (90°).

Se definen 30 secciones equidistantes utilizando 12 términos. Las inercias del pitch y del yaw se consideran como un 25% de la eslora total y la inercia del roll como un 40% de la manga que son los valores que aparecen en Maxsurf por defecto:

Mass Distribution ×

Vessel			
Roll gyradius	7,52 m	% Boa	40
Pitch gyradius	15,25 m	% Loa	25
Yaw gyradius	15,25 m	% Loa	25
VCG	3,42 m	Mass	1676 t

La ola considerada es una que tiene una altura de 1,5 m y un período de ola de 7,5 s.

El resumen de resultados obtenidos para los diferentes headings, es el siguiente:

Resumen de resultados			
Heading	Cubierta	RMS	Unidades
0º	Cubierta pasaje	0	%
	Cubierta tripulación	0	%
	Cubierta puente	0	%
45º	Cubierta pasaje	3,319	%
	Cubierta tripulación	1,525	%
	Cubierta puente	0,664	%
90º	Cubierta pasaje	25,603	%
	Cubierta tripulación	16,201	%
	Cubierta puente	9,688	%
135º	Cubierta pasaje	19,965	%
	Cubierta tripulación	13,266	%
	Cubierta puente	9,407	%
180º	Cubierta pasaje	8,334	%
	Cubierta tripulación	5,733	%
	Cubierta puente	5,015	%

Con las modificaciones realizadas en esta alternativa, el comportamiento en la mar respecto al MSI mejora en las cubiertas más altas para todos los headings.

8.5. Estabilidad en averías

A continuación se realiza el análisis probabilístico de la estabilidad en averías.

8.5.1. Descripción de compartimentado y dimensiones reglamentarias

A continuación se calculan los mamparos y la ubicación de estos, realizando el compartimentado del buque y la disposición de los tanques. También se calculan las condiciones de carga s , l y p por lo que es necesario calcular las dimensiones reglamentarias.

8.5.1.1. Generalidades del compartimentado

8.5.1.1.1. Extensión longitudinal de la avería

Considerando el calado en la condición de máxima carga, tenemos la siguiente eslora

(49,3 m).

1	Draft Amidships m	3,414
2	Displacement t	1687
3	Heel deg	0,0
4	Draft at FP m	3,038
5	Draft at AP m	3,790
6	Draft at LCF m	3,449
7	Trim (+ve by stern) m	0,752
8	WL Length m	49,274

Según SOLAS Capítulo 2-1, Regla 8 (estabilidad de los buques de pasaje después de avería):

$$\text{Lavería} = 3 + 0,03 \cdot L$$

Para la tercera alternativa se obtiene:

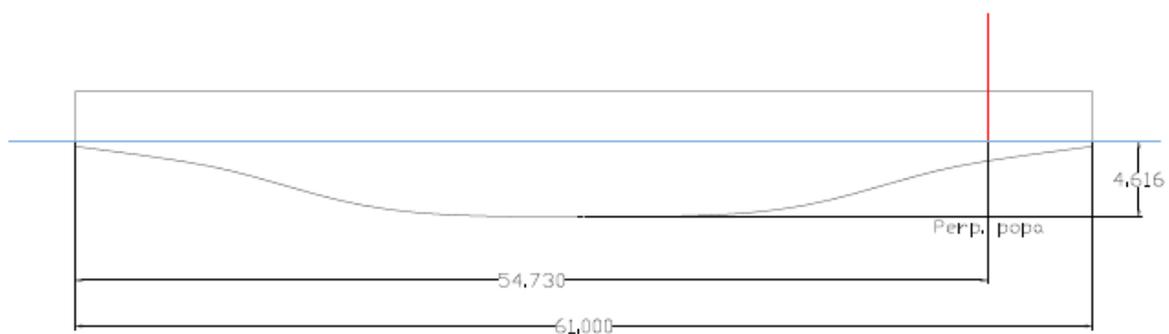
$$\text{Lavería} = 3 + 0,03 \times 49,3 = 4,48 \text{ m}$$

Si además también queremos realizar este cálculo atendiendo a la MSC (216)82, Part B-2, Regulation 9, debemos calcular de otra forma la extensión de la avería:

El 85% del puntal mínimo de trazado son 4,616 metros. Si calculamos con Maxsurf la eslora en la flotación para este calado nos da un valor de 61 metros, por lo que el 96% de esta eslora son 58,56 metros.

	Draft Amidships m	4,616
1	Displacement t	2877
2	Heel deg	0,0
3	Draft at FP m	4,616
4	Draft at AP m	4,616
5	Draft at LCF m	4,616
6	Trim (+ve by stern) m	0,000
7	WL Length m	61,000

Por otra parte, tenemos que calcular la eslora desde la cara de proa de la roda hasta el eje de la mecha del timón para esta misma flotación y mirar si este valor es superior al anterior.



La eslora a tener en cuenta será la de 58,56 metros y por tanto, según la MSC (216)82:

$$\text{Extensión longitudinal avería} = \frac{1}{3} \cdot 58,56^{\frac{2}{3}} = 4,95 \text{ m}$$

El espaciado entre mamparos transversales será de 5 metros para que coincida con las cuadernas.

8.5.1.1.2. Extensión transversal de la avería

Por otra parte, debemos calcular la extensión transversal de la avería. Para ello seguimos utilizando la Regla 8 del capítulo 2-1 de SOLAS.

$$\text{Extensión transversal avería} = \frac{B}{5} = \frac{18,04}{5} = 3,6 \text{ m}$$

Por otra parte la MSC (216)82 indica:

$$\text{Extensión transversal avería} = \frac{B}{6} = \frac{18,04}{6} = 3 \text{ m}$$

Dado que SOLAS es más restrictivo será el que tendremos en cuenta.

8.5.1.2. Compartimentado longitudinal

Es necesaria una subdivisión del buque en compartimentos separados mediante mamparos estancos, asegurando la estabilidad en averías. Tal y como indica el DNV-GL los mamparos estancos que debe de tener el buque son: mamparo de colisión, mamparo de pique de popa y mamparos de cámara de máquinas.

8.5.1.2.1. Mamparo de colisión

Calculamos el mamparo de colisión atendiendo a la Sociedad de Clasificación DNV-GL (parte 3, capítulo 1, sección 2), el cual hace referencia al capítulo 2-1, regla 10 del SOLAS.

$$L_{pp} = 48,46 \text{ m}$$

$$x_c \text{ mínimo} = 0,05 \cdot L_{pp} = 0,05 \cdot 48,46 = 2,423 \text{ m}$$

$$x_c \text{ máximo} = 0,05 \cdot L_{pp} + 3 = 2,423 + 3 = 5,453 \text{ m}$$

La distancia a la que se ha decidido colocar el mamparo de colisión, tanto en proa como en popa (por ser un buque simétrico), ha sido a 2,5 m de la correspondiente perpendicular para que de esta forma coincida con una de las cuadernas.

En este caso, los mamparos de colisión se colocarán en las cuadernas -54 y 54.

8.5.1.2.2. Mamparos de cámara de máquinas

El DNV-GL obliga a llevar un mamparo estanco en cada extremo del espacio de la cámara de máquinas. Se situaría un mamparo a proa y otro a popa de la cámara de máquinas, en las cuadernas -24 y 0.

8.5.1.3. Compartimentado transversal

8.5.1.3.1. Mamparos longitudinales

Anteriormente se calculaba la extensión transversal de la avería y obteníamos un valor de 3,6 m, por tanto, será necesario que el buque lleve algún mamparo longitudinal como doble casco a cada banda del buque y a 3,6 m del costado para hacer frente a la estabilidad en averías.

8.5.1.4. Compartimentado vertical

8.5.1.4.1. Doble fondo

El doble fondo mínimo deberá ser de:

$$dDB = 32 \cdot B \cdot 10^{-3} + c \cdot \sqrt{d}$$
$$dDB = 32 \times 18,8 \cdot 10^{-3} + 0,19 \cdot \sqrt{3,42} = 0,95 \text{ metros}$$

dDB = puntal del doble fondo en metros

c = 0,19

d = calado de escantillonado, en metros.

B= manga del buque, en metros.

Por otra parte la MSC (216)82, indica en la Part B-2, Regulation 9, que la altura del doble fondo se puede calcular como:

$$h = \frac{B}{20} = \frac{18,8}{20} = 0,94 \text{ m}$$

Y que nunca debe tomarse inferior de 760 mm ni superior a 2m.

Dado que el doble fondo en este tipo de buques adquiere un valor superior, aumentaremos la altura del doble fondo hasta 1,3 metros.

8.5.1.4.2. Cubiertas estancas

La única cubierta estanca será la principal, situada a 5,43 metros de la línea base.

8.5.1.5. Listado de tanques y compartimentos

Name	Type	Intact Perm. %	Damaged Perm. %	Specific gravit	Fluid type	Boundary Surfaces	Aft (m)	Fore (m)	F. Port (m)	F. Stbd (m)	F. Top (m)	F. Bottom (m)
Local LNG	Compartment	85	85			none	0	12	-5,8	5,8	5,433	1,3
LNG	Tank	98	98	0,45			3,501	8,999	-1,5	1,5	4,3	1,3
Cámara de máquinas	Compartment	85	85			none	-12	0	-5,8	5,8	5,433	1,3
Espacio vacío PP 1	Compartment	95	95			none	-22	-17	-5,8	5,8	5,433	1,3
Espacio vacío PP 2	Compartment	95	95			none	-17	-12	-5,8	5,8	5,433	1,3
Local propulsor PP	Compartment	85	85			none	-27	-22	-9,4	9,4	5,433	1,3
Espacio vacío PR 1	Compartment	95	95			none	12	17	-5,8	5,8	5,433	1,3
Espacio vacío PR 2	Compartment	95	95			none	17	22	-5,8	5,8	5,433	1,3
Local propulsor PR	Compartment	85	85			none	22	27	-9,4	9,4	5,433	1,3
Espacio vacío BR 1	Compartment	95	95			none	-22	-17	-9,4	-5,8	5,433	1,3
Espacio vacío BR 2	Compartment	95	95			none	-17	-12	-9,4	-5,8	5,433	1,3
Espacio vacío BR 3	Compartment	95	95			none	-12	0	-9,4	-5,8	5,433	1,3
Espacio vacío BR 4	Compartment	95	95			none	0	12	-9,4	-5,8	5,433	1,3
Espacio vacío BR 5	Compartment	95	95			none	12	17	-9,4	-5,8	5,433	1,3
Espacio vacío BR 6	Compartment	95	95			none	17	22	-9,4	-5,8	5,433	1,3
Espacio vacío ER 1	Compartment	95	95			none	-22	-17	5,8	9,4	5,433	1,3
Espacio vacío ER 2	Compartment	95	95			none	-17	-12	5,8	9,4	5,433	1,3
Espacio vacío ER 3	Compartment	95	95			none	-12	0	5,8	9,4	5,433	1,3
Espacio vacío ER 4	Compartment	95	95			none	0	12	5,8	9,4	5,433	1,3
Espacio vacío ER 5	Compartment	95	95			none	12	17	5,8	9,4	5,433	1,3
Espacio vacío ER 6	Compartment	95	95			none	17	22	5,8	9,4	5,433	1,3
MDO almacén	Tank	98	98	0,84		none	-0,5	0	-1	2	3,3	1,3
Sedimentación	Tank	98	98	0,84		none	-0,5	0	-2	-1	2,2	1,3
MDO 12 h BR	Tank	98	98	0,84		none	-0,5	0	-3	-2,5	2,2	1,3
MDO 12 h ER	Tank	98	98	0,84		none	-0,5	0	-2,5	-2	2,2	1,3
Aceite	Tank	98	98	0,92	Lube Oil	none	-0,5	0	-3,2	-3	1,5	1,3
Lodos	Tank	98	98	0,92		none	-0,5	0	-9,4	-6,9	1,3	0
Aguas negras y grises BR	Tank	98	98	1		none	0	6	-9,4	-4,5	1,3	0
Aguas negras y grises ER	Tank	98	98	1		none	0	6	4,5	9,4	1,3	0
Agua dulce BR	Tank	98	98	1	Fresh Water	none	-17	-15,5	-5,8	-2,6	5,433	1,3
Agua dulce ER	Tank	98	98	1	Fresh Water	none	-17	-15,5	2,6	5,8	5,433	1,3
Espacio vacío bajo DF 1	Compartment	95	95			none	-16	-12	-9,4	9,4	1,3	0
Espacio vacío bajo DF 2	Compartment	95	95			none	-12	-6	-9,4	9,4	1,3	0
Espacio vacío bajo DF 3	Compartment	95	95			none	-6	0	-9,4	9,4	1,3	0
Espacio vacío bajo DF 4	Compartment	95	95			none	0	6	-4,2	4,2	1,3	0
Espacio vacío bajo DF 5	Compartment	95	95			none	6	12	-9,4	9,4	1,3	0
Espacio vacío bajo DF 6	Compartment	95	95			none	12	16	-9,4	9,4	1,3	0
Pique de proa	Compartment	85	85			none	27	30,499	-9,4	9,4	5,433	0
Pique de popa	Compartment	85	85			none	-30,499	-27	-9,4	9,4	5,433	0
Caseta BR	Compartment	85	85			none	-23	23	-9,4	-6,9	8,133	5,433
Caseta ER	Compartment	85	85			none	-23	23	6,9	9,4	8,133	5,433
Non Buoyant Garaje Central	Non-Buoyant Vol.	100	100			none	-23	23	-6,9	6,9	8,133	5,433
Non Buoyant Garaje Popa	Non-Buoyant Vol.	100	100			none	-30,499	-23	-9,4	-9,4	8,133	5,433
Non Buoyant Garaje Proa	Non-Buoyant Vol.	100	100			none	23	30,499	-9,4	9,4	8,133	5,433
Espacio vacío bajo DF 3 (Lodos)	Linked Neg. Compart.	95	95			none	-0,5	0	-9,4	-6,9	1,3	0
Espacio vacío PP 2 (Agua dulce BR)	Linked Neg. Compart.	95	95			none	-17	-15,5	-5,8	-2,6	5,433	1,3
Espacio vacío PP 2 (Agua dulce ER)	Linked Neg. Compart.	95	95			none	-17	-15,5	2,6	5,8	5,433	1,3
Local LNG (LNG)	Linked Neg. Compart.	85	85				3,501	8,999	-1,5	1,5	4,3	1,3
Cámara de máquinas (MDO almacén)	Linked Neg. Compart.	85	85			none	-0,5	0	-1	2	3,3	1,3
Cámara de máquinas (Sedimentación)	Linked Neg. Compart.	85	85			none	-0,5	0	-2	-1	2,2	1,3
Cámara de máquinas (MDO 12 h BR)	Linked Neg. Compart.	85	85			none	-0,5	0	-3	-2,5	2,2	1,3
Cámara de máquinas (MDO 12 h ER)	Linked Neg. Compart.	85	85			none	-0,5	0	-2,5	-2	2,2	1,3
Cámara de máquinas (Aceite)	Linked Neg. Compart.	85	85			none	-0,5	0	-3,2	-3	1,5	1,3

8.5.1.6. Dimensiones reglamentarias

- Subdivisión length (L_s): 61 m.
- Mid-length: 0 m.
- Aft terminal: -30,5 m.
- Forward terminal: 30,5 m.
- Manga (B): 18,04 m.
- Depest subdivisión draught (d_s): 3,41 m.
- Light service draught (d_l): 3,1 m.
- Partial subdivisión draught (d_p): se corresponde con la siguiente fórmula:

$$dp = dl + 0,6 \cdot (ds - dl) = 3,3 m$$

	Item	Value	Units	Selected
1	<i>Probabilistic damage</i>			<input type="checkbox"/>
2	Resolution -- MSC.216(82) or MSC.19(58)	MSC.216(82)		<input type="checkbox"/>
3	Do automatic combinations of vertical damage ?	Yes		<input type="checkbox"/>
4				<input type="checkbox"/>
5	<i>Loadcases</i>			<input type="checkbox"/>
6	Deepest subdivision draft (summer loadline) Loadcase	Condición de c	draft: 3,43	<input checked="" type="checkbox"/>
7	Partial subdivision draft Loadcase	Condición de c	draft: 3,29	<input checked="" type="checkbox"/>
8	Light service draft Loadcase	Condición de c	draft: 3,09	<input checked="" type="checkbox"/>
9				<input type="checkbox"/>
10	<i>Vessel parameters</i>			<input type="checkbox"/>
11	Type -- Cargo or Passenger	Passenger		<input type="checkbox"/>
12	Lifeboat capacity N_1	24		<input type="checkbox"/>
13	Permitted max. num. of persons in excess of N_1: N_2	395		<input type="checkbox"/>
14	Subdivision length L_s	61,000	m	<input type="checkbox"/>
15	Aft terminal of L_s	-30,500	m	<input type="checkbox"/>
16	Fwd terminal of L_s	30,500	m	<input type="checkbox"/>
17	Mid L_s	0,000	m	<input type="checkbox"/>
18	Intact displacement at subdivision draft (Condición de carga I)	1439,060	t	<input type="checkbox"/>
19	max. moulded breadth at or below deepest subdivision draft: B	17,700	m	<input type="checkbox"/>
20	max. number of adjacent zones to consider	2		<input type="checkbox"/>
21	min. probability (p.r.v) of damage to consider	0,000100		<input type="checkbox"/>
22	max. trim angle to consider	40,0	deg	<input type="checkbox"/>
23	Limit longitudinal extent of damage? (L_max=60,000; J_max=0,30303)	Limit		<input type="checkbox"/>
24	Limit vertical extent of damage?	Limit		<input type="checkbox"/>
25	max. vertical extent of damage	15,931	m	<input type="checkbox"/>
26	Damaged side -- Starboard or Port	Starboard		<input type="checkbox"/>
27	Zone 1 located at bow or stern?	Stern		<input type="checkbox"/>

8.5.2. Definición y cálculo de las condiciones de carga

8.5.2.1. Condición de máxima y mínima carga

SALIDA DE PUERTO A PLENA CARGA (CONDICIÓN DE MÁXIMA CARGA)										
Item Name	Quantity	Unit Mass (tonne)	Total Mass (tonne)	Unit Volumen (m^3)	Total Volume (m^3)	Long. Arm (m)	Trans. Arm (m)	Vert. Arm (m)	Total FSM (tonne.m)	FSM type
Lightship	1	1372,38	1372,38			-1,164	0	5,345	0	User Specified
Subtotal rosca			1372,38			-1,164	0	5,345	0	
Pasaje	399	0,1	39,9			0	0	11,13	0	User Specified
Tripulación	20	0,1	2			0	0	14,03	0	User Specified
Coches	24	2,5	60			0	0	6,43	0	User Specified
Camiones	6	26	156			0	0	7,43	0	User Specified
Subtotal carga			257,9			0	0	7,821	0	
LNG	100%	17,108	17,108	38,017	38,017	6,25	0	2,8	0	User Specified
MDO almacén	100%	2,47	2,47	2,94	2,94	-0,25	0,5	2,3	0	User Specified
Sedimentación	100%	0,37	0,37	0,441	0,441	-0,25	-1,5	1,75	0	User Specified
MDO 12 h BR	100%	0,185	0,185	0,221	0,221	-0,25	-2,75	1,75	0	User Specified
MDO 12 h ER	100%	0,185	0,185	0,221	0,221	-0,25	-2,25	1,75	0	User Specified
Aceite	100%	0,018	0,018	0,02	0,02	-0,25	-3,1	1,4	0	User Specified
Lodos	0%	0,014	0	0,015	0	-0,211	-6,9	1,09	0	User Specified
Aguas negras y grises BR	0,1%	10,708	0,011	10,708	0,011	2,27	-4,552	0,233	0	IMO A.749(18)
Aguas negras y grises ER	0,1%	10,708	0,011	10,708	0,011	2,27	4,553	0,233	0	IMO A.749(18)
Agua dulce BR	100%	18,096	18,096	18,096	18,096	-16,236	-4,18	3,506	0	User Specified
Agua dulce ER	100%	18,096	18,096	18,096	18,096	-16,236	4,18	3,506	0	User Specified
Total Loadcase			1686,829	99,481	78,071	-1,232	0	5,652	0	
FS correction								0		
VCG fluid								5,652		

LLEGADA A PUERTO SIN CARGA (CONDICIÓN DE MÍNIMA CARGA)										
Item Name	Quantity	Unit Mass (tonne)	Total Mass (tonne)	Unit Volumen (m^3)	Total Volume (m^3)	Long. Arm (m)	Trans. Arm (m)	Vert. Arm (m)	Total FSM (tonne.m)	FSM type
Lightship	1	1372,38	1372,38			-1,164	0	5,345	0	User Specified
Subtotal rosca			1372,38			-1,164	0	5,345	0	
Pasaje	399	0,1	39,9			0	0	11,13	0	User Specified
Tripulación	20	0,1	2			0	0	14,03	0	User Specified
Coches	0	2,5	0			0	0	6,43	0	User Specified
Camiones	0	26	0			0	0	7,43	0	User Specified
Subtotal carga			41,9			0	0	11,268	0	
LNG	10%	17,108	1,711	38,017	3,802	6,25	0	1,579	0	User Specified
MDO almacén	0%	2,47	0	2,94	0	-0,25	0,5	1,3	0	User Specified
Sedimentación	0%	0,37	0	0,441	0	-0,25	-1,5	1,3	0	User Specified
MDO 12 h BR	10%	0,185	0,019	0,221	0,022	-0,25	-2,75	1,345	0	User Specified
MDO 12 h ER	10%	0,185	0,019	0,221	0,022	-0,25	-2,25	1,345	0	User Specified
Aceite	10%	0,018	0,002	0,02	0,002	-0,25	-3,1	1,31	0	User Specified
Lodos	90%	0,014	0,013	0,015	0,014	-0,25	-6,992	1,222	0	User Specified
Aguas negras y grises BR	90%	10,708	9,637	10,708	9,637	2,981	-5,461	0,849	4,622	IMO A.749(18)
Aguas negras y grises ER	90%	10,708	9,637	10,708	9,637	2,981	5,461	0,849	4,622	IMO A.749(18)
Agua dulce BR	10%	18,096	1,81	18,096	1,81	-16,105	-3,998	1,747	0	User Specified
Agua dulce ER	10%	18,096	1,81	18,096	1,81	-16,105	3,998	1,747	0	User Specified
Total Loadcase			1438,936	99,481	26,755	-1,103	0	5,444	9,244	
FS correction								0,006		
VCG fluid								5,45		

8.5.2.2. Condición de carga s

$$\Delta_s = 1686,829 \text{ t}$$

$$\text{trim} = 0 \text{ m}$$

$$d_s = 3,41 \text{ m}$$

Añadimos en Maxsurf esta condición de carga teniendo en cuenta:

$$X_G = 0$$

$$X_G = X_B$$

Mediante Maxsurf obtenemos el siguiente K_G :

$$K_{G\text{máx}} = 9,1 \text{ m}$$

CONDICIÓN DE CARGA S

Item Name	Quantity	Unit Mass (tonne)	Total Mass (tonne)	Unit Volumen (m ³)	Total Volume (m ³)	Long. Arm (m)	Trans. Arm (m)	Vert. Arm (m)	Total FSM (tonne.m)	FSM type
Lightship	1	1686,829	1686,829			0	0	9,1	0	User Specified
Total Loadgroup			1686,829	0	0	0	0	9,1	0	
FS correction								0		
VCG fluid								9,1		

8.5.2.3. Condición de carga I

La condición con un desplazamiento menor es la de “Llegada a puerto sin carga”:

$$\Delta_l = 1438,936 \text{ t}$$

$$\text{trim} = \text{valor real} = 0,74 \text{ m}$$

$$d_l = 3,1 \text{ m}$$

En esta condición de carga se cumple:

$$Y_G = 0$$

$$X_G = X_{Greal} = -1,232$$

El K_G máximo en intacta a tener en cuenta será para Δ_l y trimado = trimado real.

Obtenemos el siguiente valor:

$$K_{Gm\acute{a}x} = 8,97 \text{ m}$$

CONDICIÓN DE CARGA L

Item Name	Quantity	Unit Mass (tonne)	Total Mass (tonne)	Unit Volumen (m ³)	Total Volume (m ³)	Long. Arm (m)	Trans. Arm (m)	Vert. Arm (m)	Total FSM (tonne.m)	FSM type
Lightship	1	1438,936	1438,936			-1,232	0	8,967	0	User Specified
Total Loadgroup			1438,936	0	0	-1,232	0	8,967	0	
FS correction								0		
VCG fluid								8,967		

8.5.2.4. Condición de carga p

$$d_p = d_l + 0,6 \times (d_s - d_l)$$

$$d_p = 3,1 + 0,6 \times (3,41 - 3,1) = 3,29 \text{ m}$$

En esta condición:

$$\text{trim} = 0$$

Mediante Maxsurf calculamos el desplazamiento correspondiente a un calado de 3,29 m y obtenemos un valor de 1573 t.

El K_G obtenido es el siguiente:

$$K_{G\text{máx}} = 9,03 \text{ m}$$

En caso de que no se cumpliesen los criterios en avería para alguna de las condiciones de carga calculadas anteriormente, habría que reducir el K_G hasta que cumpliera.

CONDICIÓN DE CARGA P

Item Name	Quantity	Unit Mass (tonne)	Total Mass (tonne)	Unit Volumen (m ³)	Total Volume (m ³)	Long. Arm (m)	Trans. Arm (m)	Vert. Arm (m)	Total FSM (tonne.m)	FSM type
Lightship	1	1573	1573			0	0	9,034	0	User Specified
Total Loadgroup			1573	0	0	0	0	9,034	0	
FS correction								0		
VCG fluid								9,034		

8.5.3. Definición de la subdivisión en zonas longitudinales, transversales y verticales del buque

8.5.3.1. Zonas transversales

Se definen las siguientes zonas transversales:

- Zona 1: se extiende desde la cuaderna -61 hasta la cuaderna -54.
- Zona 2: se extiende desde la cuaderna -54 hasta la -44.
- Zona 3: se extiende desde la cuaderna -44 hasta la -34.
- Zona 4: se extiende desde la cuaderna -34 hasta la -24.
- Zona 5: se extiende desde la cuaderna -24 hasta la -0.
- Zona 6: se extiende desde la cuaderna -0 hasta la 24.
- Zona 7: se extiende desde la cuaderna 24 hasta la 34.
- Zona 8: se extiende desde la cuaderna 34 hasta la 44.
- Zona 9: se extiende desde la cuaderna 44 hasta la 54.
- Zona 10: se extiende desde la cuaderna 54 hasta la 61.

Introducimos en Maxsurf las zonas descritas anteriormente:

	Name	Aft m	Fwd m	Length m	Centre m
1	Zone 1	-30,500	-27,000	3,500	-28,750
2	Zone 2	-27,000	-22,000	5,000	-24,500
3	Zone 3	-22,000	-17,000	5,000	-19,500
4	Zone 4	-17,000	-12,000	5,000	-14,500
5	Zone 5	-12,000	0,000	12,000	-6,000
6	Zone 6	0,000	12,000	12,000	6,000
7	Zone 7	12,000	17,000	5,000	14,500
8	Zone 8	17,000	22,000	5,000	19,500
9	Zone 9	22,000	27,000	5,000	24,500
10	Zone 10	27,000	30,500	3,500	28,750

8.5.3.2. Zonas longitudinales

	Zones	Shell half-beam m	Num. L.Bh	b 1 m
1	1 adjacent			
2	Zone 1, 1	0,000	0	n/a
3	Zone 2, 1	0,000	0	n/a
4	Zone 3, 1	7,980	1	2,190
5	Zone 4, 1	8,880	1	3,080
6	Zone 5, 1	8,980	1	3,180
7	Zone 6, 1	8,980	1	3,180
8	Zone 7, 1	8,880	1	3,080
9	Zone 8, 1	7,980	1	2,190
10	Zone 9, 1	0,000	0	n/a
11	Zone 10, 1	0,000	0	n/a

8.5.3.3. Zonas verticales

Dado que la única cubierta estanca que tiene el buque es la cubierta principal, únicamente se tendrá en cuenta esta.

	Zones	Num. Dec	H 1 m
1	1 adjacent		
2	Zone 1, 1	1	5,430
3	Zone 2, 1	1	5,430
4	Zone 3, 1	1	5,430
5	Zone 4, 1	1	5,430
6	Zone 5, 1	1	5,430
7	Zone 6, 1	1	5,430
8	Zone 7, 1	1	5,430
9	Zone 8, 1	1	5,430
10	Zone 9, 1	1	5,430
11	Zone 10, 1	1	5,430

8.5.4. Evaluación de los criterios de estabilidad tras avería

El factor de R es 0,9 dado que se trata de un buque de pasaje:

29	MSC.216(82) – Required subdivision index			<input type="checkbox"/>
30	Pax ships: $R = 1 - 5000 / (L_S + 2.5 N + 15225)$	0,71133		<input type="checkbox"/>
31	Reduction factor for R	1,000		<input type="checkbox"/>
32	Required subdivision index (appying reduction factor)	0,71133		<input type="checkbox"/>
33	Factor of R for required subdivision index for each loadcase	0,900		<input type="checkbox"/>
34	Required subdivision index for each loadcase	0,64020		<input type="checkbox"/>

8.5.4.1. Salidas Maxsurf

La alternativa cumple con $A \geq R$ en cada una de las condiciones de carga definidas y por tanto, no es necesario bajar el K_G en ninguna de las condiciones s, l y p.

Las averías las genera directamente el Maxsurf con la pestaña “Extent of Damage” y se ha considerado un número máximo de 2 zonas adyantes.

RESUMEN DE RESULTADOS		
Condición de carga	A	R
s	0,89	0,64
p	0,914	0,64
l	0,917	0,64
Total	0,905	0,711

Se aprecia una mejora importante respecto al buque base ya que A se incrementa (superior a 0,9).

9. 4ª MODIFICACIÓN

A continuación se realizarán los cálculos de comportamiento en la mar y estabilidad en averías para la cuarta alternativa, cuyas dimensiones principales son las siguientes:

DIMENSIONES PRINCIPALES	
L	63 m
Lpp	50,05 m
B	17,8 m
D	5,43 m
T	3,42 m
Cb	0,547
Cp	0,675
Cm	0,81
Desplazamiento	1589 t
Velocidad	13 kn
Pasajeros	399
Tripulación	20

En este caso aumentaremos la eslora 2 metros y mantendremos el resto de dimensiones constante.

9.1. Área requerida

Dado que se incrementa la eslora, el área de la cubierta principal aumenta por lo que se cumple el área requerida.

9.2. Límites en dimensiones

- $\frac{L}{B} = 3,54 \rightarrow$ Cumple: $2,85 \leq \frac{L}{B} \leq 6,77$
- $D = 5,43 \rightarrow$ Cumple: $3,65 \leq D \leq 6,45$

9.3. Cálculo de parámetros

- XG: manteniendo la relación $\frac{XG}{L} = -0,019$, tenemos un nuevo $XG = -1,197$ m.
- KG: no se ha variado el puntal, KG queda igual. $KG = 5,345$ m.
- Lpp: manteniendo la relación $\frac{Lpp}{L} = 0,79$, se obtiene $Lpp = 50,05$ m.
- Δ :

$$\Delta = \text{Peso Rosca} + \text{Peso Muerto}$$

$$PR = \text{Peso aceros} + \text{Peso equipos}$$

$$\text{Peso aceros} = Lpp^{1,5} \cdot B \cdot D^{0,5} \cdot K = 50,05^{1,5} \cdot 17,8 \cdot 5,43^{0,5} \cdot 0,037 = 543,41 \text{ t}$$

$$Peso\ equipos = K \cdot Lpp^{1,3} \cdot B^{0,8} \cdot D^{0,3} = 0,045 \cdot 50,05^{1,5} \cdot 17,8 \cdot 5,43^{0,5} = 660,9\ t$$

Además, sabemos que cada generador pesa 9,4 t y que el peso de cada propulsor es igual a 7,5 t. Teniendo en cuenta que el buque dispone de 3 generador y 4 propulsores:

$$Peso\ propulsores = 7,5 \cdot 4 = 30\ t$$

$$Peso\ generadores = 9,4 \cdot 3 = 28,2\ t$$

Por otra parte, también tenemos que considerar el peso de la habilitación (butacas, zona del puente, etc) que se aproxima como un 10% del peso de aceros, las rampas de proa/ popa, de 29,1 t las dos y las trincas, de 2 t.

$$PR = 543,41 + 660,9 + 30 + 28,2 + 71,23 + 29,1 + 2 = 1364,84\ t$$

El peso muerto se mantiene constante aunque se modifiquen las dimensiones.

$$PM = 280,206\ t$$

Por tanto el desplazamiento ahora tiene el siguiente valor:

$$\Delta = 1364,84 + 280,206 = 1645,05\ t$$

A continuación estimaremos la potencia necesaria para ver si la potencia instalada es suficiente.

La potencia se estima mediante la fórmula de Watson:

$$PB = \frac{0,889 \cdot Desplazamiento^{\frac{2}{3}} \cdot (40 - \frac{Lpp}{61} + 400 \cdot (K - 1)^2 - 12 \cdot Cb)}{15000 - 1,81 \cdot N \cdot Lpp^{\frac{1}{2}}}$$

N son las revoluciones y K (constante de Alexander) como 1,05.

$$PB = \frac{0,889 \cdot 1645,05^{\frac{2}{3}} \cdot (40 - \frac{50,05}{61} + 400 \cdot (1,05 - 1)^2 - 12 \cdot 0,547)}{15000 - 1,81 \cdot 339 \cdot 50,05^{\frac{1}{2}}} = 868,02\ kW$$

Dado que los motores trabajarán al 85%, se requiere una potencia de 1021,2 kW.

El buque dispone de 2 motores eléctricos de 660 kW a proa y otros 2 a popa, es decir 1320 kW y como podemos comprobar se satisface la demanda necesaria, por lo que no sería necesario hacer cambios en los motores propulsores.

9.4. Comportamiento en la mar

A continuación evaluaremos el comportamiento del buque en la mar basándonos en el estudio del índice MSI en los puntos más desfavorables de la cubierta de pasaje, tripulación y puente. El análisis se realizará para mar de proa (180º y 135º), de popa (0º y 45º) y mar de costado (90º).

Se definen 30 secciones equidistantes utilizando 12 términos y las inercias del pitch y del yaw se consideran un 25% de la eslora total, mientras que la inercia del roll se considera un 40% de la manga, tal y como indica Maxsurf por defecto:

Mass Distribution ×

Vessel			
Roll gyradius	7,12 m	% Boa	40
Pitch gyradius	15,75 m	% Loa	25
Yaw gyradius	15,75 m	% Loa	25
VCG	3,42 m	Mass	1587 t

Se evaluará para una del norte de 1,5 m y con un período de ola de 7,5 s.

El resumen de resultados obtenidos para los diferentes headings, es el siguiente:

Resumen de resultados			
Heading	Cubierta	RMS	Unidades
0º	Cubierta pasaje	0	%
	Cubierta tripulación	0	%
	Cubierta puente	0	%
45º	Cubierta pasaje	3,225	%
	Cubierta tripulación	1,527	%
	Cubierta puente	0,666	%
90º	Cubierta pasaje	25,109	%
	Cubierta tripulación	16,319	%
	Cubierta puente	9,915	%
135º	Cubierta pasaje	20,109	%
	Cubierta tripulación	13,643	%
	Cubierta puente	9,779	%
180º	Cubierta pasaje	8,812	%
	Cubierta tripulación	6,057	%
	Cubierta puente	5,284	%

Prácticamente no hay cambios, se puede apreciar un peor comportamiento del buque en esta alternativa y en todos los headings, pero esta diferencia es prácticamente nula.

9.5. Estabilidad en averías

A continuación se realiza la estabilidad en averías del buque mediante un análisis probabilístico.

9.5.1. Descripción de compartimentado y dimensiones reglamentarias

En primer lugar es necesario calcular el compartimentado del buque y para ello hay que conocer la disposición de los mamparos, tanto longitudinales como transversales, que es lo que se hará en este apartado. También se calculan las dimensiones reglamentarias necesarias para el cálculo de las condiciones de carga s , l y p utilizadas en el análisis de estabilidad en averías.

9.5.1.1. Generalidades del compartimentado

9.5.1.1.1. Extensión longitudinal de la avería

Considerando el calado en la condición de máxima carga, tenemos la siguiente eslora (50,78 m).

1	Draft Amidships m	3,499
2	Displacement t	1664
3	Heel deg	0,0
4	Draft at FP m	3,174
5	Draft at AP m	3,825
6	Draft at LCF m	3,530
7	Trim (+ve by stern) m	0,651
8	WL Length m	50,781

Según SOLAS Capítulo 2-1, Regla 8 (estabilidad de los buques de pasaje después de avería):

$$L_{\text{avería}} = 3 + 0,03 \cdot L$$

Para la cuarta alternativa se tiene:

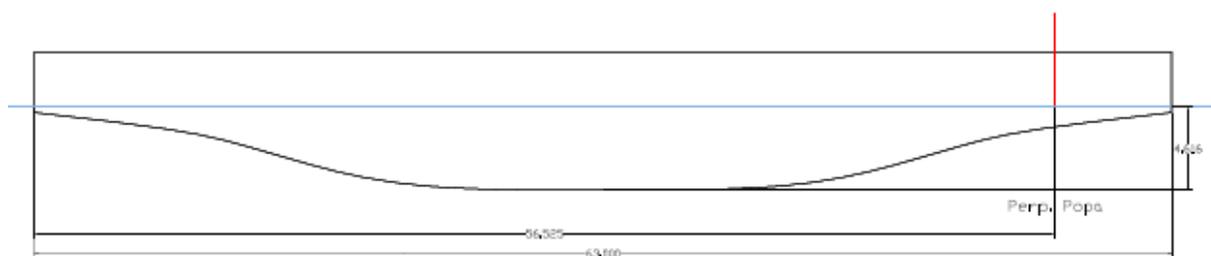
$$L_{\text{avería}} = 3 + 0,03 \times 50,78 = 4,52 \text{ m}$$

Si además atendemos a la MSC (216)82, en la Part B-2, Regulation 9:

El 85% del puntal mínimo de trazado son 4,616 metros. Si calculamos con Maxsurf la eslora en la flotación para este calado nos da un valor de 63 metros, por lo que el 96% de esta eslora son 60,48 metros.

	Draft Amidships m	4,616
1	Displacement t	2747
2	Heel deg	0,0
3	Draft at FP m	4,616
4	Draft at AP m	4,616
5	Draft at LCF m	4,616
6	Trim (+ve by stern) m	0,000
7	WL Length m	63,000

Por otra parte, tenemos que calcular la eslora desde la cara de proa de la roda hasta el eje de la mecha del timón para esta misma flotación y mirar si este valor es superior al anterior.



La eslora a tener en cuenta será la de 60,48 metros y por tanto, según la MSC (216)82:

$$\text{Extensión longitudinal avería} = \frac{1}{3} \cdot 60,48^{\frac{2}{3}} = 5,14 \text{ m}$$

El espaciado entre mamparos transversales será de 5,5 metros para que coincida con las cuadernas.

9.5.1.1.2. Extensión transversal de la avería

Por otra parte, debemos calcular la extensión transversal de la avería. Para ello seguimos utilizando la Regla 8 del capítulo 2-1 de SOLAS.

$$\text{Extensión transversal avería} = \frac{B}{5} = \frac{17,13}{5} = 3,43 \text{ m}$$

Por otra parte la MSC (216)82 indica:

$$\text{Extensión transversal avería} = \frac{B}{6} = \frac{17,13}{6} = 2,86 \text{ m}$$

Dado que SOLAS es más restrictivo será el que tendremos en cuenta.

9.5.1.2. Compartimentado longitudinal

Los mamparos estancos que debe tener son: mamparo de colisión, mamparo en el pique de popa y mamparos de cámara de máquinas.

9.5.1.2.1. Mamparo de colisión

Calculamos el mamparo de colisión atendiendo a la Sociedad de Clasificación DNV-GL (parte 3, capítulo 1, sección 2), el cual hace referencia al capítulo 2-1, regla 10 del SOLAS.

$$L_{pp} = 50,05 \text{ m}$$

$$x_c \text{ mínimo} = 0,05 \cdot L_{pp} = 0,05 \cdot 50,05 = 2,5 \text{ m}$$

$$x_c \text{ máximo} = 0,05 \cdot L_{pp} + 3 = 2,5 + 3 = 5,5 \text{ m}$$

La distancia a la que se ha decidido colocar el mamparo de colisión, tanto en proa como en popa (por ser un buque simétrico), ha sido a 3,5 m de la correspondiente perpendicular para que de esta forma coincida con una de las cuadernas.

En este caso, los mamparos de colisión se colocarán en las cuadernas -57 y 57.

9.5.1.2.2. Mamparos de cámara de máquinas

El DNV-GL obliga a llevar un mamparo estanco en cada extremo del espacio de la cámara de máquinas. Se situaría un mamparo a proa y otro a popa de la cámara de máquinas, en las cuadernas -24 y 0.

9.5.1.3. Compartimentado transversal

9.5.1.3.1. Mamparos longitudinales

Anteriormente se calculaba la extensión transversal de la avería y obteníamos un valor de 3,43 m, por tanto, será necesario que el buque lleve algún mamparo longitudinal como doble casco a cada banda del buque y a 3,43 m del costado, como mínimo, para hacer frente a la estabilidad en averías. En este caso pondremos un mamparo como doble casco a 3,5 metros del costado.

9.5.1.4. Compartimentado vertical

9.5.1.4.1. Doble fondo

El doble fondo mínimo deberá ser de:

$$dDB = 32 \cdot B \cdot 10^{-3} + c \cdot \sqrt{d}$$
$$dDB = 32 \times 17,8 \cdot 10^{-3} + 0,19 \cdot \sqrt{3,42} = 0,92 \text{ metros}$$

dDB = puntal del doble fondo en metros

c = 0,19

d = calado de escantillonado, en metros.

B= manga del buque, en metros.

Por otra parte la MSC (216)82, indica en la Part B-2, Regulation 9, que la altura del doble fondo se puede calcular como:

$$h = \frac{B}{20} = \frac{17,8}{20} = 0,9 \text{ m}$$

Y que nunca debe tomarse inferior de 760 mm ni superior a 2m.

Dado que el doble fondo en este tipo de buques adquiere un valor superior, aumentaremos la altura del doble fondo hasta 1,3 metros.

9.5.1.4.2. Cubiertas estancas

La única cubierta estanca será la principal, situada a 5,43 metros de la línea base.

9.5.1.5. Listado de tanques y compartimentos

Name	Type	Intact Perm. %	Damaged Perm. %	Specific gravit	Fluid type	Boundary Surfaces	Aft (m)	Fore (m)	F. Port (m)	F. Stbd (m)	F. Top (m)	F. Bottom (m)
Local LNG	Compartment	85	85			none	0	12	-5,4	5,4	5,433	1,3
LNG	Tank	98	98	0,45			3,501	8,999	-1,5	1,5	4,3	1,3
Cámara de máquinas	Compartment	85	85			none	-12	0	-5,4	5,4	5,433	1,3
Espacio vacío PP 1	Compartment	95	95			none	-23	-17,5	-5,4	5,4	5,433	1,3
Espacio vacío PP 2	Compartment	95	95			none	-17,5	-12	-5,4	5,4	5,433	1,3
Local propulsor PP	Compartment	85	85			none	-28,5	-23	-8,9	8,9	5,433	1,3
Espacio vacío PR 1	Compartment	95	95			none	12	17,5	-5,4	5,4	5,433	1,3
Espacio vacío PR 2	Compartment	95	95			none	17,5	23	-5,4	5,4	5,433	1,3
Local propulsor PR	Compartment	85	85			none	23	28,5	-8,9	8,9	5,433	1,3
Espacio vacío BR 1	Compartment	95	95			none	-23	-17,5	-8,9	-5,4	5,433	1,3
Espacio vacío BR 2	Compartment	95	95			none	-17,5	-12	-8,9	-5,4	5,433	1,3
Espacio vacío BR 3	Compartment	95	95			none	-12	0	-8,9	-5,4	5,433	1,3
Espacio vacío BR 4	Compartment	95	95			none	0	12	-8,9	-5,4	5,433	1,3
Espacio vacío BR 5	Compartment	95	95			none	12	17,5	-8,9	-5,4	5,433	1,3
Espacio vacío BR 6	Compartment	95	95			none	17,5	23	-8,9	-5,4	5,433	1,3
Espacio vacío ER 1	Compartment	95	95			none	-23	-17,5	5,4	8,9	5,433	1,3
Espacio vacío ER 2	Compartment	95	95			none	-17,5	-12	5,4	8,9	5,433	1,3
Espacio vacío ER 3	Compartment	95	95			none	-12	0	5,4	8,9	5,433	1,3
Espacio vacío ER 4	Compartment	95	95			none	0	12	5,4	8,9	5,433	1,3
Espacio vacío ER 5	Compartment	95	95			none	12	17,5	5,4	8,9	5,433	1,3
Espacio vacío ER 6	Compartment	95	95			none	17,5	23	5,4	8,9	5,433	1,3
MDO almacén	Tank	98	98	0,84		none	-0,5	0	-1	2	3,3	1,3
Sedimentación	Tank	98	98	0,84		none	-0,5	0	-2	-1	2,2	1,3
MDO 12 h BR	Tank	98	98	0,84		none	-0,5	0	-3	-2,5	2,2	1,3
MDO 12 h ER	Tank	98	98	0,84		none	-0,5	0	-2,5	-2	2,2	1,3
Aceite	Tank	98	98	0,92	Lube Oil	none	-0,5	0	-3,2	-3	1,5	1,3
Lodos	Tank	98	98	0,92		none	-0,5	0	-8,9	-6,4	1,3	0
Aguas negras y grises BR	Tank	98	98	1		none	0	6	-8,9	-4,2	1,3	0
Aguas negras y grises ER	Tank	98	98	1		none	0	6	4,2	8,9	1,3	0
Agua dulce BR	Tank	98	98	1	Fresh Water	none	-17	-15,5	-4,4	-2,6	5,433	1,3
Agua dulce ER	Tank	98	98	1	Fresh Water	none	-17	-15,5	2,6	4,4	5,433	1,3
Espacio vacío bajo DF 1	Compartment	95	95			none	-16	-12	-8,9	8,9	1,3	0
Espacio vacío bajo DF 2	Compartment	95	95			none	-12	-6	-8,9	8,9	1,3	0
Espacio vacío bajo DF 3	Compartment	95	95			none	-6	0	-8,9	8,9	1,3	0
Espacio vacío bajo DF 4	Compartment	95	95			none	0	6	-4,2	4,2	1,3	0
Espacio vacío bajo DF 5	Compartment	95	95			none	6	12	-8,9	8,9	1,3	0
Espacio vacío bajo DF 6	Compartment	95	95			none	12	16	-8,9	8,9	1,3	0
Pique de proa	Compartment	85	85			none	28,5	31,499	-8,9	8,9	5,433	0
Pique de popa	Compartment	85	85			none	-31,499	-28,5	-8,9	8,9	5,433	0
Caseta BR	Compartment	85	85			none	-23	23	-8,9	-6,9	8,133	5,433
Caseta ER	Compartment	85	85			none	-23	23	6,9	8,9	8,133	5,433
Non Buoyant Garaje Central	Non-Buoyant Vol.	100	100			none	-23	23	-6,9	6,9	8,133	5,433
Non Buoyant Garaje Popa	Non-Buoyant Vol.	100	100			none	-31,499	-23	-8,9	8,9	8,133	5,433
Non Buoyant Garaje Proa	Non-Buoyant Vol.	100	100			none	23	31,499	-8,9	8,9	8,133	5,433
Espacio vacío bajo DF 3 (Lodos)	Linked Neg. Compart.	95	95			none	-0,5	0	-8,9	-6,4	1,3	0
Local LNG (LNG)	Linked Neg. Compart.	85	85				3,501	8,999	-1,5	1,5	4,3	1,3
Cámara de máquinas (MDO almacén)	Linked Neg. Compart.	85	85			none	-0,5	0	-1	2	3,3	1,3
Cámara de máquinas (Sedimentación)	Linked Neg. Compart.	85	85			none	-0,5	0	-2	-1	2,2	1,3
Cámara de máquinas (MDO 12 h BR)	Linked Neg. Compart.	85	85			none	-0,5	0	-3	-2,5	2,2	1,3
Cámara de máquinas (MDO 12 h ER)	Linked Neg. Compart.	85	85			none	-0,5	0	-2,5	-2	2,2	1,3
Cámara de máquinas (Aceite)	Linked Neg. Compart.	85	85			none	-0,5	0	-3,2	-3	1,5	1,3
Espacio vacío PP 2 (Agua dulce BR)	Linked Neg. Compart.	95	95			none	-17	-15,5	-4,4	-2,6	5,433	1,3
Espacio vacío PP 2 (Agua dulce ER)	Linked Neg. Compart.	95	95			none	-17	-15,5	2,6	4,4	5,433	1,3

9.5.1.6. Dimensiones reglamentarias

- Subdivisión length (L_s): 63 m.
- Mid-length: 0 m.
- Aft terminal: -31,5 m.
- Forward terminal: 31,5 m.
- Manga (B): 17,13 m.
- Depest subdivisión draught (d_s): 3,5 m.
- Light service draught (d_l): 3,2 m.
- Partial subdivisión draught (d_p): se corresponde con la siguiente fórmula:

$$dp = dl + 0,6 \cdot (ds - dl) = 3,38 m$$

	Item	Value	Units	Selected
1	<i>Probabilistic damage</i>			<input type="checkbox"/>
2	Resolution -- MSC.216(82) or MSC.19(58)	MSC.216(82)		<input type="checkbox"/>
3	Do automatic combinations of vertical damage ?	Yes		<input type="checkbox"/>
4				<input type="checkbox"/>
5	<i>Loadcases</i>			<input type="checkbox"/>
6	Deepest subdivision draft (summer loadline) Loadcase	Condición de c	draft: 3,51	<input checked="" type="checkbox"/>
7	Partial subdivision draft Loadcase	Condición de c	draft: 3,38	<input checked="" type="checkbox"/>
8	Light service draft Loadcase	Condición de c	draft: 3,19	<input checked="" type="checkbox"/>
9				<input type="checkbox"/>
10	<i>Vessel parameters</i>			<input type="checkbox"/>
11	Type -- Cargo or Passenger	Passenger		<input type="checkbox"/>
12	Lifeboat capacity N_1	24		<input type="checkbox"/>
13	Permitted max. num. of persons in excess of N_1: N_2	395		<input type="checkbox"/>
14	Subdivision length L_s	63,000	m	<input type="checkbox"/>
15	Aft terminal of L_s	-31,500	m	<input type="checkbox"/>
16	Fwd terminal of L_s	31,500	m	<input type="checkbox"/>
17	Mid L_s	0,000	m	<input type="checkbox"/>
18	Intact displacement at subdivision draft (Condición de carga I)	1429,520	t	<input type="checkbox"/>
19	max. moulded breadth at or below deepest subdivision draft: B	17,089	m	<input type="checkbox"/>
20	max. number of adjacent zones to consider	2		<input type="checkbox"/>
21	min. probability (p.r.v) of damage to consider	0,000100		<input type="checkbox"/>
22	max. trim angle to consider	40,0	deg	<input type="checkbox"/>
23	Limit longitudinal extent of damage? (L_max=60,000; J_max=0,30303)	Limit		<input type="checkbox"/>
24	Limit vertical extent of damage?	Limit		<input type="checkbox"/>
25	max. vertical extent of damage	16,014	m	<input type="checkbox"/>
26	Damaged side -- Starboard or Port	Starboard		<input type="checkbox"/>
27	Zone 1 located at bow or stern?	Stern		<input type="checkbox"/>

9.5.2. Definición y cálculo de las condiciones de carga

9.5.2.1. Condición de máxima y mínima carga

SALIDA DE PUERTO A PLENA CARGA (CONDICIÓN DE MÁXIMA CARGA)										
Item Name	Quantity	Unit Mass (tonne)	Total Mass (tonne)	Unit Volumen (m^3)	Total Volume (m^3)	Long. Arm (m)	Trans. Arm (m)	Vert. Arm (m)	Total FSM (tonne.m)	FSM type
Lightship	1	1364,84	1364,84			-1,197	0	5,345	0	User Specified
Subtotal rosca			1364,84			-1,197	0	5,345	0	
Pasaje	399	0,1	39,9			0	0	11,13	0	User Specified
Tripulación	20	0,1	2			0	0	14,03	0	User Specified
Coches	24	2,5	60			0	0	6,43	0	User Specified
Camiones	6	26	156			0	0	7,43	0	User Specified
Subtotal carga			257,9			0	0	7,821	0	
LNG	100%	17,108	17,108	38,017	38,017	6,25	0	2,8	0	User Specified
MDO almacén	100%	2,47	2,47	2,94	2,94	-0,25	0,5	2,3	0	User Specified
Sedimentación	100%	0,37	0,37	0,441	0,441	-0,25	-1,5	1,75	0	User Specified
MDO 12 h BR	100%	0,185	0,185	0,221	0,221	-0,25	-2,75	1,75	0	User Specified
MDO 12 h ER	100%	0,185	0,185	0,221	0,221	-0,25	-2,25	1,75	0	User Specified
Aceite	100%	0,018	0,018	0,02	0,02	-0,25	-3,1	1,4	0	User Specified
Lodos	0%	0,028	0	0,031	0	-0,2	-6,4	1,001	0	User Specified
Aguas negras y grises BR	0,1%	10,523	0,011	10,523	0,011	2,242	-4,252	0,223	0	IMO A.749(18)
Aguas negras y grises ER	0,1%	10,523	0,011	10,523	0,011	2,242	4,252	0,223	0	IMO A.749(18)
Agua dulce BR	100%	10,318	10,318	10,318	10,318	-16,236	-3,495	3,481	0	User Specified
Agua dulce ER	100%	10,318	10,318	10,318	10,318	-16,236	3,495	3,481	0	User Specified
Total Loadcase			1663,733	83,572	62,515	-1,12	0	5,673	0	
FS correction								0		
VCG fluid								5,673		

LLEGADA A PUERTO SIN CARGA (CONDICIÓN DE MÍNIMA CARGA)

Item Name	Quantity	Unit Mass (tonne)	Total Mass (tonne)	Unit Volumen (m^3)	Total Volume (m^3)	Long. Arm (m)	Trans. Arm (m)	Vert. Arm (m)	Total FSM (tonne.m)	FSM type
Lightship	1	1364,84	1364,84			-1,197	0	5,345	0	User Specified
Subtotal rosca			1364,84			-1,197	0	5,345	0	
Pasaje	399	0,1	39,9			0	0	11,13	0	User Specified
Tripulación	20	0,1	2			0	0	14,03	0	User Specified
Coches	0	2,5	0			0	0	6,43	0	User Specified
Camiones	0	26	0			0	0	7,43	0	User Specified
Subtotal carga			41,9			0	0	11,268	0	
LNG	10%	17,108	1,711	38,017	3,802	6,25	0	1,579	5,497	User Specified
MDO almacén	0%	2,47	0	2,94	0	-0,25	0,5	1,3	0	User Specified
Sedimentación	0%	0,37	0	0,441	0	-0,25	-1,5	1,3	0	User Specified
MDO 12 h BR	10%	0,185	0,019	0,221	0,022	-0,25	-2,75	1,345	0,004	User Specified
MDO 12 h ER	10%	0,185	0,019	0,221	0,022	-0,25	-2,25	1,345	0,004	User Specified
Aceite	10%	0,018	0,002	0,02	0,002	-0,25	-3,1	1,31	0	User Specified
Lodos	90%	0,028	0,026	0,031	0,028	-0,25	-6,531	1,188	0,001	IMO A.749(18)
Aguas negras y grises BR	90%	10,523	9,471	10,523	9,471	2,981	-5,134	0,843	4,245	IMO A.749(18)
Aguas negras y grises ER	90%	10,523	9,471	10,523	9,471	2,981	5,134	0,843	8,622	User Specified
Agua dulce BR	10%	10,318	1,032	10,318	1,032	-16,109	-3,452	1,706	0,729	User Specified
Agua dulce ER	10%	10,318	1,032	10,318	1,032	-16,109	3,452	1,706	0,729	User Specified
Total Loadcase			1429,521	83,572	24,881	-1,119	0	5,449	19,833	
FS correction								0,014		
VCG fluid								5,463		

9.5.2.2. Condición de carga s

$$\Delta_s = 1663,733 \text{ t}$$

$$\text{trim} = 0 \text{ m}$$

$$d_s = 3,5 \text{ m}$$

Añadimos en Maxsurf esta condición de carga teniendo en cuenta:

$$X_G = 0$$

$$X_G = X_B$$

Mediante Maxsurf obtenemos el siguiente K_G :

$$K_{G\text{máx}} = 8,142 \text{ m}$$

CONDICIÓN DE CARGA S

Item Name	Quantity	Unit Mass (tonne)	Total Mass (tonne)	Unit Volumen (m ³)	Total Volume (m ³)	Long. Arm (m)	Trans. Arm (m)	Vert. Arm (m)	Total FSM (tonne.m)	FSM type
Lightship	1	1663,733	1663,733			0	0	0	0	User Specified
Total Loadgroup			1663,733	0	0	0	0	0	0	
FS correction								0		
VCG fluid								0		

9.5.2.3. Condición de carga I

La condición con un desplazamiento menor es la de “Llegada a puerto sin carga”:

$$\Delta_l = 1429,521t$$

$$\text{trim} = \text{valor real} = 0,73 \text{ m}$$

$$d_l = 3,2 \text{ m}$$

En esta condición de carga se cumple:

$$Y_G = 0$$

$$X_G = X_{Greal} = -1,119$$

El K_G máximo en intacta a tener en cuenta será para Δ_l y trimado = trimado real.

Obtenemos el siguiente valor:

$$K_{Gm\acute{a}x} = 8,354 \text{ m}$$

CONDICIÓN DE CARGA L

Item Name	Quantity	Unit Mass (tonne)	Total Mass (tonne)	Unit Volumen (m ³)	Total Volume (m ³)	Long. Arm (m)	Trans. Arm (m)	Vert. Arm (m)	Total FSM (tonne.m)	FSM type
Lightship	1	1429,521	1429,521			-1,119	0	0	0	User Specified
Total Loadgroup			1429,521	0	0	-1,119	0	0	0	
FS correction								0		
VCG fluid								0		

9.5.2.4. Condición de carga p

$$d_p = d_l + 0,6 \times (d_s - d_l)$$

$$d_p = 3,2 + 0,6 \times (3,5 - 3,2) = 3,38 \text{ m}$$

En esta condición:

$$\text{trim} = 0$$

Mediante Maxsurf calculamos el desplazamiento correspondiente a un calado de 3,38 m y obtenemos un valor de 1558 t.

El K_G obtenido es el siguiente:

$$K_{G\text{máx}} = 8,322 \text{ m}$$

En caso de que no se cumpliesen los criterios en avería para alguna de las condiciones de carga calculadas anteriormente, habría que reducir el K_G hasta que cumpliera.

CONDICIÓN DE CARGA P

Item Name	Quantity	Unit Mass (tonne)	Total Mass (tonne)	Unit Volumen (m ³)	Total Volume (m ³)	Long. Arm (m)	Trans. Arm (m)	Vert. Arm (m)	Total FSM (tonne.m)	FSM type
Lightship	1	1558	1558			0	0	8,322	0	User Specified
Total Loadgroup			1558	0	0	0	0	8,322	0	
FS correction								0		
VCG fluid								8,322		

9.5.3. Definición de la subdivisión en zonas longitudinales, transversales y verticales del buque

9.5.3.1. Zonas transversales

Se definen las siguientes zonas transversales:

- Zona 1: se extiende desde la cuaderna -63 hasta la cuaderna -57.
- Zona 2: se extiende desde la cuaderna -57 hasta la -46.
- Zona 3: se extiende desde la cuaderna -46 hasta la -35.
- Zona 4: se extiende desde la cuaderna -35 hasta la -24.
- Zona 5: se extiende desde la cuaderna -24 hasta la -0.
- Zona 6: se extiende desde la cuaderna -0 hasta la 24.
- Zona 7: se extiende desde la cuaderna 24 hasta la 35.
- Zona 8: se extiende desde la cuaderna 35 hasta la 46.
- Zona 9: se extiende desde la cuaderna 46 hasta la 57.
- Zona 10: se extiende desde la cuaderna 57 hasta la 63.

Introducimos en Maxsurf las zonas descritas anteriormente:

	Name	Aft m	Fwd m	Length m	Centre m
1	Zone 1	-31,500	-28,500	3,000	-30,000
2	Zone 2	-28,500	-23,000	5,500	-25,750
3	Zone 3	-23,000	-17,500	5,500	-20,250
4	Zone 4	-17,500	-12,000	5,500	-14,750
5	Zone 5	-12,000	0,000	12,000	-6,000
6	Zone 6	0,000	12,000	12,000	6,000
7	Zone 7	12,000	17,500	5,500	14,750
8	Zone 8	17,500	23,000	5,500	20,250
9	Zone 9	23,000	28,500	5,500	25,750
10	Zone 10	28,500	31,500	3,000	30,000

9.5.3.2. Zonas longitudinales

	Zones	Shell half-beam m	Num. L.Bh	b 1 m
1	1 adjacent			
2	Zone 1, 1	0,000	0	n/a
3	Zone 2, 1	0,000	0	n/a
4	Zone 3, 1	7,480	1	2,100
5	Zone 4, 1	8,450	1	3,050
6	Zone 5, 1	8,540	1	3,140
7	Zone 6, 1	8,540	1	3,140
8	Zone 7, 1	8,450	1	3,050
9	Zone 8, 1	7,480	1	2,100
10	Zone 9, 1	0,000	0	n/a
11	Zone 10, 1	0,000	0	n/a

9.5.3.3. Zonas verticales

Sólo se considera la cubierta principal por ser la única estanca.

	Zones	Num. Dec	H 1 m
1	1 adjacent		
2	Zone 1, 1	1	5,430
3	Zone 2, 1	1	5,430
4	Zone 3, 1	1	5,430
5	Zone 4, 1	1	5,430
6	Zone 5, 1	1	5,430
7	Zone 6, 1	1	5,430
8	Zone 7, 1	1	5,430
9	Zone 8, 1	1	5,430
10	Zone 9, 1	1	5,430
11	Zone 10, 1	1	5,430

9.5.3.4. Permeabilidades

Las permeabilidades se calculan de la misma manera y son las mismas que en el buque inicial.

9.5.4. Evaluación de los criterios de estabilidad tras avería

El factor de R es 0,9 dado que se trata de un buque de pasaje:

29	MSC 216(82) – Required subdivision index			<input type="checkbox"/>
30	Pax ships: $R = 1 - 5000 / (L_S + 2.5 N + 15225)$	0,71137		<input type="checkbox"/>
31	Reduction factor for R	1,000		<input type="checkbox"/>
32	Required subdivision index (applying reduction factor)	0,71137		<input type="checkbox"/>
33	Factor of R for required subdivision index for each loadcase	0,900		<input type="checkbox"/>
34	Required subdivision index for each loadcase	0,64023		<input type="checkbox"/>

9.5.4.1. Salidas Maxsurf

Esta alternativa cumple con $A \geq R$ en cada una de las condiciones de carga definidas y por tanto, no es necesario bajar el K_G en ninguna de las condiciones s, l y p.

Las averías las genera directamente el Maxsurf con la pestaña “Extent of Damage” y se ha considerado un número máximo de 2 zonas adyantes.

RESUMEN DE RESULTADOS		
Condición de carga	A	R
s	0,924	0,64
p	0,866	0,64
l	0,924	0,64
Total	0,901	0,711

La estabilidad en averías mejora considerablemente para una condición de mínima carga y una condición de máxima carga (s y l), sin embargo cuando el buque navega con una condición de carga parcial, esta mejora no es tan relevante.

10. 5ª MODIFICACIÓN

A continuación se realizarán los análisis de comportamiento en la mar y de la estabilidad en averías para esta alternativa, cuyas dimensiones son las siguientes:

DIMENSIONES PRINCIPALES	
L	61 m
Lpp	48,46 m
B	17,8m
D	6,43 m
T	3,42 m
Cb	0,57
Cp	0,708
Cm	0,806
Desplazamiento	1468 t
Velocidad	13 kn
Pasajeros	399
Tripulación	20

A continuación aumentaremos el puntal 1 metro, mientras que el resto de dimensiones las mantendremos constantes.

10.1. Área requerida

Como únicamente se modifica el puntal, el área de la cubierta principal es la misma y cumple con el área mínima requerida.

10.2. Límites en dimensiones

- $\frac{L}{B} = 3,43 \rightarrow$ Cumple: $2,85 \leq \frac{L}{B} \leq 6,77$
- $D = 6,43 \rightarrow$ Cumple: $3,65 \leq D \leq 6,45$

10.3. Cálculo de parámetros

- XG: como la eslora no varía, XG no varía. $XG = - 1,164$ m.
- KG: varía con el puntal. Mantendremos constante la relación $\frac{KG}{D} = 0,98$. $KG = 6,3$ m.
- Lpp: dado que la eslora no varía, Lpp se mantiene constante e igual al buque base. $Lpp = 48,46$ m.
- Δ :

$$\Delta = \text{Peso Rosca} + \text{Peso Muerto}$$

$$PR = \text{Peso aceros} + \text{Peso equipos}$$

$$\text{Peso aceros} = Lpp^{1,5} \cdot B \cdot D^{0,5} \cdot K = 48,46^{1,5} \cdot 17,8 \cdot 6,43^{0,5} \cdot 0,037 = 557,66 \text{ t}$$

$$\text{Peso equipos} = K \cdot Lpp^{1,3} \cdot B^{0,8} \cdot D^{0,3} = 0,045 \cdot 48,46^{1,5} \cdot 17,8 \cdot 6,43^{0,5} = 678,23 \text{ t}$$

Además, sabemos que cada generador pesa 9,4 t y que el peso de cada propulsor es igual a 7,5 t. Teniendo en cuenta que el buque dispone de 3 generador y 4 propulsores:

$$\begin{aligned} \text{Peso propulsores} &= 7,5 \cdot 4 = 30 \text{ t} \\ \text{Peso generadores} &= 9,4 \cdot 3 = 28,2 \text{ t} \end{aligned}$$

Por otra parte, también tenemos que considerar el peso de la habilitación (butacas, zona del puente, etc) que se aproxima como un 10% del peso de aceros, las rampas de proa/ popa, de 29,1 t las dos y las trincas, de 2 t.

$$PR = 557,661 + 678,23 + 30 + 28,2 + 71,23 + 29,1 + 2 = 1396,42 \text{ t}$$

El peso muerto se mantiene constante aunque se modifiquen las dimensiones.

$$PM = 280,206 \text{ t}$$

Por tanto el desplazamiento ahora tiene el siguiente valor:

$$\Delta = 1396,42 + 280,206 = 1976,63 \text{ t}$$

A continuación estimaremos la potencia necesaria para ver si la potencia instalada es suficiente.

La potencia se estima mediante la fórmula de Watson:

$$PB = \frac{0,889 \cdot \text{Desplazamiento}^{\frac{2}{3}} \cdot \left(40 - \frac{Lpp}{61} + 400 \cdot (K - 1)^2 - 12 \cdot Cb\right)}{15000 - 1,81 \cdot N \cdot Lpp^{\frac{1}{2}}}$$

N son las revoluciones y K (constante de Alexander) como 1,05.

$$PB = \frac{0,889 \cdot 1976,63^{\frac{2}{3}} \cdot \left(40 - \frac{48,46}{61} + 400 \cdot (1,05 - 1)^2 - 12 \cdot 0,57\right)}{15000 - 1,81 \cdot 339 \cdot 48,46^{\frac{1}{2}}} = 967,45 \text{ kW}$$

Dado que los motores trabajarán al 85%, se requiere una potencia de 1138,18 kW.

El buque dispone de 2 motores eléctricos de 660 kW a proa y otros 2 a popa, es decir 1320 kW y como podemos comprobar se satisface la demanda necesaria, por lo que no sería necesario hacer cambios en los motores propulsores.

10.4. Comportamiento en la mar

A continuación evaluaremos el comportamiento del buque en la mar basándonos en el estudio del índice MSI para los puntos de las cubiertas de pasaje, tripulación y puente mas desfavorables. El análisis se realizara para olas de proa (180° y 135°), de popa (0° y 45°) y de costado (90°).

Se definen 30 secciones equidistantes utilizando 12 términos. Las inercias del pitch y del yaw se consideran un 25% de la eslora total del buque y la inercia del roll se considera un 40% de la manga. Estos son los valores que aparecen por defecto en el Maxsurf.

Mass Distribution ×

Vessel			
Roll gyradius	7,12 m	% Boa	40
Pitch gyradius	15,25 m	% Loa	25
Yaw gyradius	15,25 m	% Loa	25
VCG	3,42 m	Mass	1467 t

La ola considerada tiene una altura de 1,5 m y un período de 7,5 s.

El resumen de resultados obtenidos para los diferentes headings, es el siguiente:

Resumen de resultados			
Heading	Cubierta	RMS	Unidades
0º	Cubierta pasaje	0,041	%
	Cubierta tripulación	0,022	%
	Cubierta puente	0,019	%
45º	Cubierta pasaje	2,497	%
	Cubierta tripulación	1,153	%
	Cubierta puente	0,48	%
90º	Cubierta pasaje	22,846	%
	Cubierta tripulación	15,053	%
	Cubierta puente	9,316	%
135º	Cubierta pasaje	20,027	%
	Cubierta tripulación	13,892	%
	Cubierta puente	10,241	%
180º	Cubierta pasaje	10,491	%
	Cubierta tripulación	7,272	%
	Cubierta puente	6,347	%

Se aprecia una mejoría para las olas de costado (90º) y para las olas de popa, excepto cuando estas forman un ángulo de 0º con el buque. Para olas de proa, el efecto es el contrario.

Hay que destacar que las diferencias en el comportamiento en la mar para la alternativa 5 son muy pequeñas respecto al buque base.

10.5. Estabilidad en averías

A continuación se realiza el análisis probabilístico de estabilidad en averías.

10.5.1. Descripción de compartimentado y dimensiones reglamentarias

En primer lugar es necesario calcular el compartimentado del buque y para ello hay que conocer la disposición de los mamparos, tanto longitudinales como transversales, que es lo que se hará en este apartado. También se calculan las dimensiones reglamentarias necesarias para el cálculo de las condiciones de carga s , l y p utilizadas en el análisis de estabilidad en averías.

10.5.1.1. Generalidades del compartimentado

10.5.1.1.1. Extensión longitudinal de la avería

Considerando el calado en la condición de máxima carga, tenemos la siguiente eslora (47,75).

1	Draft Amidships m	3,717
2	Displacement t	1694
3	Heel deg	0,0
4	Draft at FP m	3,309
5	Draft at AP m	4,125
6	Draft at LCF m	3,749
7	Trim (+ve by stern) m	0,816
8	WL Length m	47,739

Según SOLAS Capítulo 2-1, Regla 8 (estabilidad de los buques de pasaje después de avería):

$$L_{\text{avería}} = 3 + 0,03 \cdot L$$

Para la quinta alternativa se tiene:

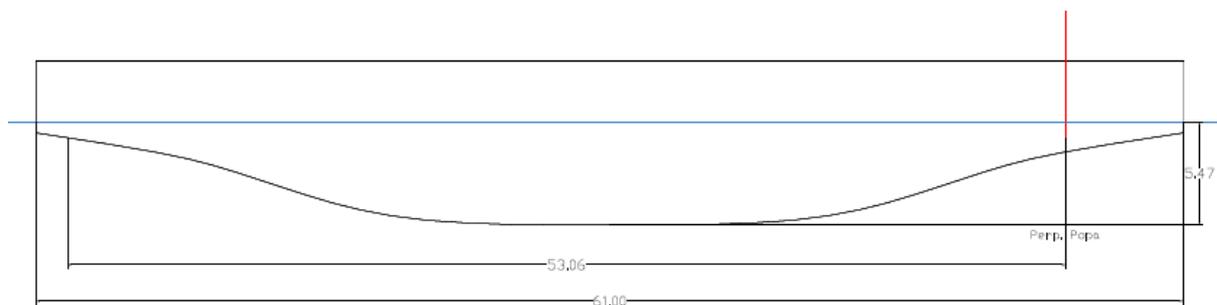
$$L_{\text{avería}} = 3 + 0,03 \times 47,74 = 4,43 \text{ m}$$

Si además atendemos a la MSC (216)82, en la Part B-2, Regulation 9:

El 85% del puntal mínimo de trazado son 5,47 metros. Si calculamos con Maxsurf la eslora en la flotación para este calado nos da un valor de 61 metros, por lo que el 96% de esta eslora son 58,56 metros.

	Draft Amidships m	5,470
1	Displacement t	3355
2	Heel deg	0,0
3	Draft at FP m	5,470
4	Draft at AP m	5,470
5	Draft at LCF m	5,470
6	Trim (+ve by stern) m	0,000
7	WL Length m	61,000

Por otra parte, tenemos que calcular la eslora desde la cara de proa de la roda hasta el eje de la mecha del timón para esta misma flotación y mirar si este valor es superior al anterior. Dado que da un valor de 53,06 m, elegimos la medida anterior.



Según la MSC (216)82:

$$\text{Extensión longitudinal avería} = \frac{1}{3} \cdot 58,56^{\frac{2}{3}} = 5,03 \text{ m}$$

El espaciado entre mamparos transversales será de 5,5 metros para que coincida con una de

las cuadernas cuadernas.

10.5.1.1.2. Extensión transversal de la avería

Por otra parte, debemos calcular la extensión transversal de la avería. Para ello seguimos utilizando la Regla 8 del capítulo 2-1 de SOLAS.

$$\text{Extensión transversal avería} = \frac{B}{5} = \frac{16,97}{5} = 3,4 \text{ m}$$

Por otra parte la MSC (216)82 indica:

$$\text{Extensión transversal avería} = \frac{B}{6} = \frac{16,97}{6} = 2,83 \text{ m}$$

Dado que SOLAS es más restrictivo será el que tendremos en cuenta.

10.5.1.2. Compartimentado longitudinal

10.5.1.2.1. Mamparo de colisión

Calculamos el mamparo de colisión atendiendo a la Sociedad de Clasificación DNV-GL (parte 3, capítulo 1, sección 2), el cual hace referencia al capítulo 2-1, regla 10 del SOLAS.

$$L_{pp} = 48,46 \text{ m}$$

$$x_c \text{ mínimo} = 0,05 \cdot L_{pp} = 0,05 \cdot 48,46 = 2,42 \text{ m}$$

$$x_c \text{ máximo} = 0,05 \cdot L_{pp} + 3 = 2,42 + 3 = 5,42 \text{ m}$$

La distancia a la que se ha decidido colocar el mamparo de colisión, tanto en proa como en popa (por ser un buque simétrico), ha sido a 4 m de la correspondiente perpendicular para que de esta forma coincida con una de las cuadernas.

En este caso, los mamparos de colisión se colocarán en las cuadernas -57 y 57.

10.5.1.2.2. Mamparos de cámara de máquinas

El DNV-GL obliga a llevar un mamparo estanco en cada extremo del espacio de la cámara de máquinas. Se situaría un mamparo a proa y otro a popa de la cámara de máquinas, en las cuadernas -24 y 0.

10.5.1.3. Compartimentado transversal

10.5.1.3.1. Mamparos longitudinales

Anteriormente se calculaba la extensión transversal de la avería y obteníamos un valor de 3,43 m, por tanto, será necesario que el buque lleve algún mamparo longitudinal como doble casco a cada banda del buque y a 3,43 m del costado, como mínimo, para hacer frente a la estabilidad en averías. En este caso pondremos un mamparo como doble casco a 3,5 metros del costado.

10.5.1.4. Compartimentado vertical

10.5.1.4.1. Doble fondo

El doble fondo mínimo deberá ser de:

$$dDB = 32 \cdot B \cdot 10^{-3} + c \cdot \sqrt{d}$$
$$dDB = 32 \times 17,8 \cdot 10^{-3} + 0,19 \cdot \sqrt{3,42} = 0,92 \text{ metros}$$

dDB = puntal del doble fondo en metros

c = 0,19

d = calado de escantillonado, en metros.

B= manga del buque, en metros.

Por otra parte la MSC (216)82, indica en la Part B-2, Regulation 9, que la altura del doble fondo se puede calcular como:

$$h = \frac{B}{20} = \frac{17,8}{20} = 0,9 \text{ m}$$

Y que nunca debe tomarse inferior de 760 mm ni superior a 2m.

Dado que el doble fondo en este tipo de buques adquiere un valor superior, aumentaremos la altura del doble fondo hasta 1,3 metros.

10.5.1.4.2. Cubiertas estancas

La única cubierta estanca será la principal, situada a 6,43 metros de la línea base.

10.5.1.5. Listado de tanques y compartimentos

Name	Type	Intact Perm. %	Damaged Perm. %	Specific gravit	Fluid type	Boundary Surfaces	Aft (m)	Fore (m)	F. Port (m)	F. Stbd (m)	F. Top (m)	F. Bottom (m)
Local LNG	Compartment	85	85			none	0	12	-5,4	5,4	6,433	1,3
LNG	Tank	98	98	0,45		3639	3,501	8,999	-1,5	1,5	4,3	1,3
Cámara de máquinas	Compartment	85	85			none	-12	0	-5,4	5,4	6,433	1,3
Espacio vacío PP 1	Compartment	95	95			none	-23	-17,5	-5,4	5,4	6,433	1,3
Espacio vacío PP 2	Compartment	95	95			none	-17,5	-12	-5,4	5,4	6,433	1,3
Local propulsor PP	Compartment	85	85			none	-28,5	-23	-8,9	8,9	6,433	1,3
Espacio vacío PR 1	Compartment	95	95			none	12	17,5	-5,4	5,4	6,433	1,3
Espacio vacío PR 2	Compartment	95	95			none	17,5	23	-5,4	5,4	6,433	1,3
Local propulsor PR	Compartment	85	85			none	23	28,5	-8,9	8,9	6,433	1,3
Espacio vacío BR 1	Compartment	95	95			none	-23	-17,5	-8,9	-5,4	6,433	1,3
Espacio vacío BR 2	Compartment	95	95			none	-17,5	-12	-8,9	-5,4	6,433	1,3
Espacio vacío BR 3	Compartment	95	95			none	-12	0	-8,9	-5,4	6,433	1,3
Espacio vacío BR 4	Compartment	95	95			none	0	12	-8,9	-5,4	6,433	1,3
Espacio vacío BR 5	Compartment	95	95			none	12	17,5	-8,9	-5,4	6,433	1,3
Espacio vacío BR 6	Compartment	95	95			none	17,502	23	-8,9	-5,4	6,433	1,3
Espacio vacío ER 1	Compartment	95	95			none	-23	-17,5	5,4	8,9	6,433	1,3
Espacio vacío ER 2	Compartment	95	95			none	-17,5	-12	5,4	8,9	6,433	1,3
Espacio vacío ER 3	Compartment	95	95			none	-12	0	5,4	8,9	6,433	1,3
Espacio vacío ER 4	Compartment	95	95			none	0	12	5,4	8,9	6,433	1,3
Espacio vacío ER 5	Compartment	95	95			none	12	17,5	5,4	8,9	6,433	1,3
Espacio vacío ER 6	Compartment	95	95			none	17,5	23	5,4	8,9	6,433	1,3
MDO almacén	Tank	98	98	0,84		none	-0,5	0	-1	2	3,3	1,3
Sedimentación	Tank	98	98	0,84		none	-0,5	0	-2	-1	2,2	1,3
MDO 12 h BR	Tank	98	98	0,84		none	-0,5	0	-3	-2,5	2,2	1,3
MDO 12 h ER	Tank	98	98	0,84		none	-0,5	0	-2,5	-2	2,2	1,3
Aceite	Tank	98	98	0,92	Lube Oil	none	-0,5	0	-3,2	-3	1,5	1,3
Lodos	Tank	98	98	0,92		none	-3	0	-8,9	-6,5	1,3	0
Aguas negras y grises BR	Tank	98	98	1		none	0	6	-8,9	-4	1,3	0
Aguas negras y grises ER	Tank	98	98	1		none	0	6	4	8,9	1,3	0
Agua dulce BR	Tank	98	98	1	Fresh Water	none	-17,5	-16	-5,4	-3,8	6,433	1,3
Agua dulce ER	Tank	98	98	1	Fresh Water	none	-17,5	-16	3,8	5,4	6,433	1,3
Espacio vacío bajo DF 1	Compartment	95	95			none	-17,5	-12	-8,9	8,9	1,3	0
Espacio vacío bajo DF 2	Compartment	95	95			none	-12	-6	-8,9	8,9	1,3	0
Espacio vacío bajo DF 3	Compartment	95	95			none	-6	0	-8,9	8,9	1,3	0
Espacio vacío bajo DF 4	Compartment	95	95			none	0	6	-4,2	4,2	1,3	0
Espacio vacío bajo DF 5	Compartment	95	95			none	6	12	-8,9	8,9	1,3	0
Espacio vacío bajo DF 6	Compartment	95	95			none	12	17,5	-8,9	8,9	1,3	0
Pique de proa	Compartment	85	85			none	28,5	30,499	-8,9	8,9	6,433	0
Pique de popa	Compartment	85	85			none	-30,499	-28,5	-8,9	8,9	6,433	0
Caseta BR	Compartment	85	85			none	-23	23	-8,9	-6,9	9,133	6,433
Caseta ER	Compartment	85	85			none	-23	23	6,9	8,9	9,133	6,433
Non Buoyant Garaje Central	Non-Buoyant Vol.	100	100			none	-23	23	-6,9	6,9	9,133	6,433
Non Buoyant Garaje Popa	Non-Buoyant Vol.	100	100			none	-30,499	-23	-8,9	8,9	9,133	6,433
Non Buoyant Garaje Proa	Non-Buoyant Vol.	100	100			none	23	30,499	-8,9	8,9	9,133	6,433
Local LNG (LNG)	Linked Neg. Compart.	85	85			3639	3,501	8,999	-1,5	1,5	4,3	1,3
Cámara de máquinas (MDO almacén)	Linked Neg. Compart.	85	85			none	-0,5	0	-1	2	3,3	1,3
Cámara de máquinas (Sedimentación)	Linked Neg. Compart.	85	85			none	-0,5	0	-2	-1	2,2	1,3
Cámara de máquinas (MDO 12 h BR)	Linked Neg. Compart.	85	85			none	-0,5	0	-3	-2,5	2,2	1,3
Cámara de máquinas (MDO 12 h ER)	Linked Neg. Compart.	85	85			none	-0,5	0	-2,5	-2	2,2	1,3
Cámara de máquinas (Aceite)	Linked Neg. Compart.	85	85			none	-0,5	0	-3,2	-3	1,5	1,3
Espacio vacío PP 2 (Agua dulce BR)	Linked Neg. Compart.	95	95			none	-17,5	-16	-5,4	-3,8	6,433	1,3
Espacio vacío PP 2 (Agua dulce ER)	Linked Neg. Compart.	95	95			none	-17,5	-16	3,8	5,4	6,433	1,3
Espacio vacío bajo DF 4 (Aguas negras y grises BR)	Linked Neg. Compart.	95	95			none	0	6	-8,9	-4	1,3	0
Espacio vacío bajo DF 4 (Aguas negras y grises ER)	Linked Neg. Compart.	95	95			none	0	6	4	8,9	1,3	0
Espacio vacío bajo DF 3 (Lodos)	Linked Neg. Compart.	95	95			none	-3	0	-8,9	-6,5	1,3	0

10.5.1.6. Dimensiones reglamentarias

- Subdivisión length (L_s): 61 m.
- Mid-length: 0 m.
- Aft terminal: -30,5 m.
- Forward terminal: 30,5 m.
- Manga (B): 16,97 m.
- Depest subdivisión draught (d_s): 3,72 m.
- Light service draught (d_l): 3,4 m.
- Partial subdivisión draught (d_p): se corresponde con la siguiente fórmula:

$$dp = dl + 0,6 \cdot (ds - dl) = 3,6 m$$

	Item	Value	Units	Selected
1	<i>Probabilistic damage</i>			<input type="checkbox"/>
2	Resolution -- MSC.216(82) or MSC.19(58)	MSC.216(82)		<input type="checkbox"/>
3	Do automatic combinations of vertical damage ?	Yes		<input type="checkbox"/>
4				<input type="checkbox"/>
5	<i>Loadcases</i>			<input type="checkbox"/>
6	Deepest subdivision draft (summer loadline) Loadcase	Condición de c	draft: 3,73	<input checked="" type="checkbox"/>
7	Partial subdivision draft Loadcase	Condición de c	draft: 3,6 m	<input checked="" type="checkbox"/>
8	Light service draft Loadcase	Condición de c	draft: 3,39	<input checked="" type="checkbox"/>
9				<input type="checkbox"/>
10	<i>Vessel parameters</i>			<input type="checkbox"/>
11	Type -- Cargo or Passenger	Passenger		<input type="checkbox"/>
12	Lifeboat capacity N_1	24		<input type="checkbox"/>
13	Permitted max. num. of persons in excess of N_1: N_2	395		<input type="checkbox"/>
14	Subdivision length L_s	61,000	m	<input type="checkbox"/>
15	Aft terminal of L_s	-30,500	m	<input type="checkbox"/>
16	Fwd terminal of L_s	30,500	m	<input type="checkbox"/>
17	Mid L_s	0,000	m	<input type="checkbox"/>
18	Intact displacement at subdivision draft (Condición de carga I)	1459,648	t	<input type="checkbox"/>
19	max. moulded breadth at or below deepest subdivision draft: B	16,900	m	<input type="checkbox"/>
20	max. number of adjacent zones to consider	2		<input type="checkbox"/>
21	min. probability (p.r.v) of damage to consider	0,000100		<input type="checkbox"/>
22	max. trim angle to consider	40,0	deg	<input type="checkbox"/>
23	Limit longitudinal extent of damage? (L_max=60,000; J_max=0,30303)	Limit		<input type="checkbox"/>
24	Limit vertical extent of damage?	Limit		<input type="checkbox"/>
25	max. vertical extent of damage	limited (yes) or unlimited (n		<input type="checkbox"/>
26	Damaged side -- Starboard or Port	Starboard		<input type="checkbox"/>
27	Zone 1 located at bow or stern?	Stern		<input type="checkbox"/>

10.5.2. Definición y cálculo de las condiciones de carga

10.5.2.1. Condición de máxima y mínima carga

SALIDA DE PUERTO A PLENA CARGA (CONDICIÓN DE MÁXIMA CARGA)										
Item Name	Quantity	Unit Mass (tonne)	Total Mass (tonne)	Unit Volumen (m^3)	Total Volume (m^3)	Long. Arm (m)	Trans. Arm (m)	Vert. Arm (m)	Total FSM (tonne.m)	FSM type
Lightship	1	1396,42	1396,42			-1,164	0	6,3	0	User Specified
Subtotal rosca			1396,42			-1,164	0	6,3	0	
Pasaje	399	0,1	39,9			0	0	12,13	0	User Specified
Tripulación	20	0,1	2			0	0	15,03	0	User Specified
Coches	24	2,5	60			0	0	7,43	0	User Specified
Camiones	6	26	156			0	0	8,43	0	User Specified
Subtotal carga			257,9			0	0	8,821	0	
LNG	90%	17,015	15,314	37,812	34,031	6,235	0	2,665	0	User Specified
MDO almacén	100%	2,47	2,47	2,94	2,94	-0,25	0,5	2,3	0	User Specified
Sedimentación	100%	0,37	0,37	0,441	0,441	-0,25	-1,5	1,75	0	User Specified
MDO 12 h BR	100%	0,185	0,185	0,221	0,221	-0,25	-2,75	1,75	0	User Specified
MDO 12 h ER	100%	0,185	0,185	0,221	0,221	-0,25	-2,25	1,75	0	User Specified
Aceite	100%	0,018	0,018	0,02	0,02	-0,25	-3,1	1,4	0	User Specified
Lodos	0%	0,015	0	0,016	0	-2,971	-4,334	1,208	0	User Specified
Aguas negras y grises BR	0,1%	10,669	0,011	10,669	0,011	0,866	-4,082	0,226	0	IMO A.749(18)
Aguas negras y grises ER	0,1%	10,669	0,011	10,669	0,011	0,866	4,082	0,226	0	IMO A.749(18)
Agua dulce BR	100%	10,358	10,358	10,358	10,358	-16,735	-4,593	4,228	0	User Specified
Agua dulce ER	100%	10,358	10,358	10,358	10,358	-16,735	4,593	4,228	0	User Specified
Total Loadcase			1693,599	83,722	58,609	-1,109	0	6,618	0	
FS correction								0		
VCG fluid								6,618		

LLEGADA A PUERTO SIN CARGA (CONDICIÓN DE MÍNIMA CARGA)

Item Name	Quantity	Unit Mass (tonne)	Total Mass (tonne)	Unit Volumen (m^3)	Total Volume (m^3)	Long. Arm (m)	Trans. Arm (m)	Vert. Arm (m)	Total FSM (tonne.m)	FSM type
Lightship	1	1396,42	1396,42			-1,164	0	6,3	0	User Specified
Subtotal rosca			1396,42			-1,164	0	6,3	0	
Pasaje	399	0,1	39,9			0	0	12,13	0	User Specified
Tripulación	20	0,1	2			0	0	15,03	0	User Specified
Coches	0	2,5	0			0	0	7,43	0	User Specified
Camiones	0	26	0			0	0	8,43	0	User Specified
Subtotal carga			41,9			0	0	12,268	0	
LNG	0%	17,015	0	37,812	0	3,509	0	1,3	0	User Specified
MDO almacén	0%	2,47	0	2,94	0	-0,497	0,333	1,3	0	User Specified
Sedimentación	0%	0,37	0	0,441	0	-0,497	-1	1,3	0	User Specified
MDO 12 h BR	10%	0,185	0,019	0,221	0,022	-0,254	-2,75	1,345	0,004	User Specified
MDO 12 h ER	10%	0,185	0,019	0,221	0,022	-0,254	-2,25	1,345	0,004	User Specified
Aceite	10%	0,018	0,002	0,02	0,002	-0,268	-3,1	1,31	0	User Specified
Lodos	90%	0,015	0,013	0,016	0,014	-1,61	-6,537	1,266	0	User Specified
Aguas negras y grises BR	90%	10,669	9,602	10,669	9,602	2,897	-4,941	0,84	4,31	IMO A.749(18)
Aguas negras y grises ER	90%	10,669	9,602	10,669	9,602	2,897	4,941	0,84	4,31	IMO A.749(18)
Agua dulce BR	10%	10,358	1,036	10,358	1,036	-16,605	-4,526	2,217	0,512	User Specified
Agua dulce ER	10%	10,358	1,036	10,358	1,036	-16,605	4,526	2,217	0,512	User Specified
Total Loadcase			1459,647	83,722	21,335	-1,099	0	6,394	9,654	
FS correction								0,007		
VCG fluid								6,4		

10.5.2.2. Condición de carga s

$$\Delta_s = 1693,6 \text{ t}$$

$$\text{trim} = 0 \text{ m}$$

$$d_s = 3,72 \text{ m}$$

Añadimos en Maxsurf esta condición de carga teniendo en cuenta:

$$X_G = 0$$

$$X_G = X_B$$

Mediante Maxsurf obtenemos el siguiente K_G :

$$K_{G\text{máx}} = 9,145 \text{ m}$$

CONDICIÓN DE CARGA S

Item Name	Quantity	Unit Mass (tonne)	Total Mass (tonne)	Unit Volumen (m^3)	Total Volume (m^3)	Long. Arm (m)	Trans. Arm (m)	Vert. Arm (m)	Total FSM (tonne.m)	FSM type
Lightship	1	1694,96	1694,96			0	0	9,145	0	User Specified
Total Loadgroup			1694,96	0	0	0	0	9,145	0	
FS correction								0		
VCG fluid								9,145		

10.5.2.3. Condición de carga I

La condición con un desplazamiento menor es la de “Llegada a puerto sin carga”:

$$\Delta_l = 1459,647 \text{ t}$$

$$\text{trim} = \text{valor real} = 0,863 \text{ m}$$

$$d_l = 3,4 \text{ m}$$

En esta condición de carga se cumple:

$$Y_G = 0$$

$$X_G = X_{Greal} = -1,098$$

El K_G máximo en intacta a tener en cuenta será para Δ_l y trimado = trimado real.

Obtenemos el siguiente valor:

$$K_{Gm\acute{a}x} = 8,906 \text{ m}$$

CONDICIÓN DE CARGA L

Item Name	Quantity	Unit Mass (tonne)	Total Mass (tonne)	Unit Volumen (m ³)	Total Volume (m ³)	Long. Arm (m)	Trans. Arm (m)	Vert. Arm (m)	Total FSM (tonne.m)	FSM type
Lightship	1	1459,647	1459,647			-1,098	0	8,906	0	User Specified
Total Loadgroup			1459,647	0	0	-1,098	0	8,906	0	
FS correction								0		
VCG fluid								8,906		

10.5.2.4. Condición de carga p

$$d_p = d_l + 0,6 \times (d_s - d_l)$$

$$d_p = 3,4 + 0,6 \times (3,72 - 3,4) = 3,6 \text{ m}$$

En esta condición:

$$\text{trim} = 0$$

Mediante Maxsurf calculamos el desplazamiento correspondiente a un calado de 3,6 m y obtenemos un valor de 1596 t.

El K_G obtenido es el siguiente:

$$K_{G\text{máx}} = 9,065 \text{ m}$$

En caso de que no se cumpliesen los criterios en avería para alguna de las condiciones de carga calculadas anteriormente, habría que reducir el K_G hasta que cumpliera.

CONDICIÓN DE CARGA P

Item Name	Quantity	Unit Mass (tonne)	Total Mass (tonne)	Unit Volumen (m ³)	Total Volume (m ³)	Long. Arm (m)	Trans. Arm (m)	Vert. Arm (m)	Total FSM (tonne.m)	FSM type
Lightship	1	1596	1596			0	0	9,065	0	User Specified
Total Loadgroup			1596	0	0	0	0	9,065	0	
FS correction								0		
VCG fluid								9,065		

10.5.3. Definición de la subdivisión en zonas longitudinales, transversales y verticales del buque

10.5.3.1. Zonas transversales

Se definen las siguientes zonas transversales:

- Zona 1: se extiende desde la cuaderna -63 hasta la cuaderna -56.
- Zona 2: se extiende desde la cuaderna -56 hasta la -44.
- Zona 3: se extiende desde la cuaderna -44 hasta la -34.
- Zona 4: se extiende desde la cuaderna -34 hasta la -24.
- Zona 5: se extiende desde la cuaderna -24 hasta la -0.
- Zona 6: se extiende desde la cuaderna 0 hasta la 24.
- Zona 7: se extiende desde la cuaderna 24 hasta la 34.
- Zona 8: se extiende desde la cuaderna 34 hasta la 44.
- Zona 9: se extiende desde la cuaderna 44 hasta la 56.
- Zona 10: se extiende desde la cuaderna 56 hasta la 63.

Introducimos en Maxsurf las zonas descritas anteriormente:

	Name	Aft m	Fwd m	Length m	Centre m
1	Zone 1	-31,500	-28,000	3,500	-29,750
2	Zone 2	-28,000	-22,000	6,000	-25,000
3	Zone 3	-22,000	-17,000	5,000	-19,500
4	Zone 4	-17,000	-12,000	5,000	-14,500
5	Zone 5	-12,000	0,000	12,000	-6,000
6	Zone 6	0,000	12,000	12,000	6,000
7	Zone 7	12,000	17,000	5,000	14,500
8	Zone 8	17,000	22,000	5,000	19,500
9	Zone 9	22,000	28,000	6,000	25,000
10	Zone 10	28,000	31,500	3,500	29,750

10.5.3.2. Zonas longitudinales

	Zones	Shell half-beam m	Num. L.Bh	b 1 m
1	1 adjacent			
2	Zone 1, 1	0,000	0	n/a
3	Zone 2, 1	0,000	0	n/a
4	Zone 3, 1	6,880	1	1,480
5	Zone 4, 1	8,320	1	2,920
6	Zone 5, 1	8,440	1	3,040
7	Zone 6, 1	8,440	1	3,040
8	Zone 7, 1	8,320	1	2,920
9	Zone 8, 1	6,880	1	1,480
10	Zone 9, 1	0,000	0	n/a
11	Zone 10, 1	0,000	0	n/a

10.5.3.3. Zonas verticales

Únicamente se considera la cubierta principal ya que es la única cubierta estanca.

	Zones	Num. Dec	H 1 m
1	1 adjacent		
2	Zone 1, 1	1	6,430
3	Zone 2, 1	1	6,430
4	Zone 3, 1	1	6,430
5	Zone 4, 1	1	6,430
6	Zone 5, 1	1	6,430
7	Zone 6, 1	1	6,430
8	Zone 7, 1	1	6,430
9	Zone 8, 1	1	6,430
10	Zone 9, 1	1	6,430
11	Zone 10, 1	1	6,430

10.5.3.4. Permeabilidades

Las permeabilidades se calculan de la misma manera y son las mismas que en el buque inicial.

10.5.4. Evaluación de los criterios de estabilidad tras avería

El factor de R es 0,9 dado que se trata de un buque de pasaje:

29	MSC.216(82) – Required subdivision index			<input type="checkbox"/>
30	Pax ships: $R = 1 - 5000 / (L_S + 2.5 N + 15225)$	0,67290		<input type="checkbox"/>
31	Reduction factor for R	1,000		<input type="checkbox"/>
32	Required subdivision index (applying reduction factor)	0,67290		<input type="checkbox"/>
33	Factor of R for required subdivision index for each loadcase	0,900		<input type="checkbox"/>
34	Required subdivision index for each loadcase	0,60561		<input type="checkbox"/>

10.5.4.1. Salidas Maxsurf

La alternativa cumple con $A \geq R$ en cada una de las condiciones de carga definidas y por tanto, no es necesario bajar el K_G en ninguna de las condiciones s, l y p.

Las averías las genera directamente el Maxsurf con la pestaña “Extent of Damage” y se ha considerado un número máximo de 2 zonas adyantes.

RESUMEN DE RESULTADOS		
Condición de carga	A	R
s	0,831	0,606
p	0,86	0,606
l	0,888	0,606
Total	0,854	0,673

En cuanto a la estabilidad en averías, prácticamente no hay mejoría respecto al buque inicial.

11. 6ª MODIFICACIÓN

A continuación se realizarán los análisis de comportamiento en la mar y estabilidad en averías para la sexta alternativa, cuyas dimensiones principales son las siguientes:

DIMENSIONES PRINCIPALES	
L	61 m
Lpp	48,46 m
B	17,8 m
D	4,43 m
T	3,42 m
Cb	0,52
Cp	0,636
Cm	0,818
Desplazamiento	1759 t
Velocidad	13 kn
Pasajeros	399
Tripulación	20

En esta alternativa se disminuye el puntal, manteniéndose constantes el resto de dimensiones.

11.1. Área requerida

Únicamente disminuye el puntal, por lo que el área de la cubierta principal permanece constante.

11.2. Límites en dimensiones

- $\frac{L}{B} = 3,43 \rightarrow \text{Cumple: } 2,85 \leq \frac{L}{B} \leq 6,77$
- $D = 4,43 \rightarrow \text{Cumple: } 3,65 \leq D \leq 6,45$

11.3. Cálculo de parámetros

- XG: dado que la eslora no varía, se considera que XG es igual al valor del XG del buque base, es decir, $XG = -1,164$ m.
- KG: varía con el puntal. Mantendremos constante la relación $\frac{KG}{D} = 0,98$. $KG = 4,34$ m.
- Lpp: como la eslora se sigue manteniendo constante, Lpp no varía. $Lpp = 48,46$ m.
- Δ :

$$\Delta = \text{Peso Rosca} + \text{Peso Muerto}$$

$$PR = \text{Peso aceros} + \text{Peso equipos}$$

$$\text{Peso aceros} = Lpp^{1,5} \cdot B \cdot D^{0,5} \cdot K = 48,46^{1,5} \cdot 17,8 \cdot 4,43^{0,5} \cdot 0,037 = 467,63 \text{ t}$$

$$Peso\ equipos = K \cdot Lpp^{1,3} \cdot B^{0,8} \cdot D^{0,3} = 0,045 \cdot 48,46^{1,5} \cdot 17,8 \cdot 4,43^{0,5} = 568,73\ t$$

Además, sabemos que cada generador pesa 9,4 t y que el peso de cada propulsor es igual a 7,5 t. Teniendo en cuenta que el buque dispone de 3 generador y 4 propulsores:

$$Peso\ propulsores = 7,5 \cdot 4 = 30\ t$$

$$Peso\ generadores = 9,4 \cdot 3 = 28,2\ t$$

Por otra parte, también tenemos que considerar el peso de la habitación (butacas, zona del puente, etc) que se aproxima como un 10% del peso de aceros, las rampas de proa/ popa, de 29,1 t las dos y las trincas, de 2 t.

$$PR = 467,63 + 568,73 + 30 + 28,2 + 71,23 + 29,1 + 2 = 1196,89\ t$$

El peso muerto se mantiene constante aunque se modifiquen las dimensiones.

$$PM = 280,206\ t$$

Por tanto el desplazamiento ahora tiene el siguiente valor:

$$\Delta = 1196,89 + 280,206 = 1477,1\ t$$

A continuación estimaremos la potencia necesaria para ver si la potencia instalada es suficiente.

La potencia se estima mediante la fórmula de Watson:

$$PB = \frac{0,889 \cdot Desplazamiento^{\frac{2}{3}} \cdot \left(40 - \frac{Lpp}{61} + 400 \cdot (K - 1)^2 - 12 \cdot Cb\right)}{15000 - 1,81 \cdot N \cdot Lpp^{\frac{1}{2}}}$$

N son las revoluciones y K (constante de Alexander) como 1,05.

$$PB = \frac{0,889 \cdot 1477,1^{\frac{2}{3}} \cdot \left(40 - \frac{48,46}{61} + 400 \cdot (1,05 - 1)^2 - 12 \cdot 0,52\right)}{15000 - 1,81 \cdot 339 \cdot 48,46^{\frac{1}{2}}} = 811,01\ kW$$

Dado que los motores trabajarán al 85%, se requiere una potencia de 954,13 kW.

El buque dispone de 2 motores eléctricos de 660 kW a proa y otros 2 a popa, es decir 1320 kW y como podemos comprobar se satisface la demanda necesaria, por lo que no sería necesario hacer cambios en los motores propulsores.

11.4. Comportamiento en la mar

A continuación evaluaremos el comportamiento del buque en la mar basándonos en el estudio del índice MSI en los puntos más desfavorables de la cubierta de pasaje, tripulación y puente. El análisis se hará para olas de proa (180° y 135°), de popa (0° y 45°) y de costado (90°).

Se definen 30 secciones equidistantes utilizando 12 términos. Las inercias del pitch y del yaw se consideran como un 25% de la eslora total del buque y la del roll como un 40% de la manga, tal y como aparece en Maxsurf por defecto.

Mass Distribution ×

Vessel			
Roll gyradius	7,12 m	% Boa	40
Pitch gyradius	15,25 m	% Loa	25
Yaw gyradius	15,25 m	% Loa	25
VCG	3,42 m	Mass	1757 t

La ola considerada para realizar el análisis es de 1,5 m de altura y con un período de 7,5 s.

El resumen de resultados obtenidos para los diferentes headings, es el siguiente:

Resumen de resultados			
Heading	Cubierta	RMS	Unidades
0º	Cubierta pasaje	0,239	%
	Cubierta tripulación	0,133	%
	Cubierta puente	0,114	%
45º	Cubierta pasaje	4,073	%
	Cubierta tripulación	2,028	%
	Cubierta puente	0,942	%
90º	Cubierta pasaje	27,303	%
	Cubierta tripulación	17,397	%
	Cubierta puente	10,186	%
135º	Cubierta pasaje	19,757	%
	Cubierta tripulación	12,842	%
	Cubierta puente	8,712	%
180º	Cubierta pasaje	6,142	%
	Cubierta tripulación	4,159	%
	Cubierta puente	3,634	%

Se aprecia una mejora del índice MSI cuando el mar es de proa, mientras que para olas de popa y de costado el efecto es el contrario.

11.5. Estabilidad en averías

A continuación se realizará el análisis probabilístico de la estabilidad.

11.5.1. Descripción de compartimentado y dimensiones reglamentarias

A continuación se calcula el compartimentado del buque y para ello es necesario calcular la situación de los mamparos y de los tanques. Después, se realizará el cálculo de las condiciones de carga s , l y p por lo que se definirán también las dimensiones reglamentarias necesarias.

11.5.1.1. Generalidades del compartimentado

11.5.1.1.1. Extensión longitudinal de la avería

Considerando el calado en la condición de máxima carga, tenemos la siguiente eslora (51,08).

1	Draft Amidships m	3,107
2	Displacement t	1497
3	Heel deg	0,0
4	Draft at FP m	2,837
5	Draft at AP m	3,376
6	Draft at LCF m	3,130
7	Trim (+ve by stern) m	0,539
8	WL Length m	51,075

Según SOLAS Capítulo 2-1, Regla 8 (estabilidad de los buques de pasaje después de avería):

$$L_{\text{avería}} = 3 + 0,03 \cdot L$$

Para esta alternativa se tiene:

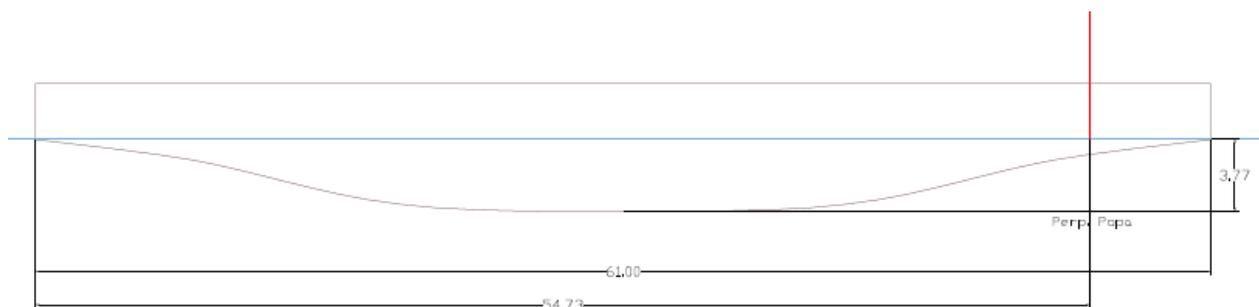
$$L_{\text{avería}} = 3 + 0,03 \times 51,08 = 4,53 \text{ m}$$

Si además atendemos a la MSC (216)82, en la Part B-2, Regulation 9, indica, para buques de pasaje y buques de carga distintos a los buques tanque, lo siguiente:

El 85% del puntal mínimo de trazado son 5,47 metros. Si calculamos con Maxsurf la eslora en la flotación para este calado nos da un valor de 61 metros, por lo que el 96% de esta eslora son 58,56 metros.

	Draft Amidships m	3,770
1	Displacement t	2107
2	Heel deg	0,0
3	Draft at FP m	3,770
4	Draft at AP m	3,770
5	Draft at LCF m	3,770
6	Trim (+ve by stern) m	0,000
7	WL Length m	61,000

Por otra parte, tenemos que calcular la eslora desde la cara de proa de la roda hasta el eje de la mecha del timón para esta misma flotación y mirar si este valor es superior al anterior. Dado que da un valor de 54,73 m, elegimos la medida anterior.



Según la MSC (216)82:

$$\text{Extensión longitudinal avería} = \frac{1}{3} \cdot 58,56^{\frac{2}{3}} = 5,03 \text{ m}$$

El espaciado entre mamparos transversales será de 5,5 metros para que coincida con una de las cuadernas cuadernas.

11.5.1.1.2. Extensión transversal de la avería

Por otra parte, debemos calcular la extensión transversal de la avería. Para ello seguimos utilizando la Regla 8 del capítulo 2-1 de SOLAS.

$$\text{Extensión transversal avería} = \frac{B}{5} = \frac{17,18}{5} = 3,44 \text{ m}$$

Por otra parte la MSC (216)82 indica:

$$\text{Extensión transversal avería} = \frac{B}{6} = \frac{17,18}{6} = 2,86 \text{ m}$$

Dado que SOLAS es más restrictivo será el que tendremos en cuenta.

11.5.1.2. Compartimentado longitudinal

11.5.1.2.1. Mamparo de colisión

Calculamos el mamparo de colisión atendiendo a la Sociedad de Clasificación DNV-GL (parte 3, capítulo 1, sección 2), el cual hace referencia al capítulo 2-1, regla 10 del SOLAS.

$$L_{pp} = 48,46 \text{ m}$$

$$x_c \text{ mínimo} = 0,05 \cdot L_{pp} = 0,05 \cdot 48,46 = 2,42 \text{ m}$$

$$x_c \text{ máximo} = 0,05 \cdot L_{pp} + 3 = 2,42 + 3 = 5,42 \text{ m}$$

La distancia a la que se ha decidido colocar el mamparo de colisión, tanto en proa como en popa (por ser un buque simétrico), ha sido a 4 m de la correspondiente perpendicular para que de esta forma coincida con una de las cuadernas.

En este caso, los mamparos de colisión se colocarán en las cuadernas -57 y 57.

11.5.1.2.2. Mamparos de cámara de máquinas

El DNV-GL obliga a llevar un mamparo estanco en cada extremo del espacio de la cámara de máquinas. Se situaría un mamparo a proa y otro a popa de la cámara de máquinas, en las cuadernas -24 y 0.

11.5.1.3. Compartimentado transversal

11.5.1.3.1. Mamparos longitudinales

Anteriormente se calculaba la extensión transversal de la avería y obteníamos un valor de 3,43 m, por tanto, será necesario que el buque lleve algún mamparo longitudinal como doble

casco a cada banda del buque y a 3,44 m del costado, como mínimo, para hacer frente a la estabilidad en averías. En este caso pondremos un mamparo como doble casco a 3,5 metros del costado.

11.5.1.4. Compartimentado vertical

11.5.1.4.1. Doble fondo

El doble fondo mínimo deberá ser de:

$$dDB = 32 \cdot B \cdot 10^{-3} + c \cdot \sqrt{d}$$
$$dDB = 32 \times 17,8 \cdot 10^{-3} + 0,19 \cdot \sqrt{3,42} = 0,92 \text{ metros}$$

dDB = puntal del doble fondo en metros

c = 0,19

d = calado de escantillonado, en metros.

B= manga del buque, en metros.

Por otra parte la MSC (216)82, indica en la Part B-2, Regulation 9, que la altura del doble fondo se puede calcular como:

$$h = \frac{B}{20} = \frac{17,8}{20} = 0,9 \text{ m}$$

Y que nunca debe tomarse inferior de 760 mm ni superior a 2m.

Dado que el doble fondo en este tipo de buques adquiere un valor superior, aumentaremos la altura del doble fondo hasta 1,3 metros.

11.5.1.4.2. Cubiertas estancas

La única cubierta estanca será la principal, situada a 4,43 metros de la línea base.

11.5.1.5. Listado de tanques y compartimentos

Name	Type	Intact Perm. %	Damaged Perm. %	Specific gravit	Fluid type	Boundary Surfaces	Aft (m)	Fore (m)	F. Port (m)	F. Stbd (m)	F. Top (m)	F. Bottom (m)
Local LNG	Compartment	85	85			none	0	12	-5,4	5,4	4,433	1,3
LNG	Tank	98	98	0,45			3,501	8,999	-1,5	1,5	4,3	1,3
Cámara de máquinas	Compartment	85	85			none	-12	0	-5,4	5,4	4,433	1,3
Espacio vacío PP 1	Compartment	95	95			none	-23	-17,5	-5,4	5,4	4,433	1,3
Espacio vacío PP 2	Compartment	95	95			none	-17,5	-12	-5,4	5,4	4,433	1,3
Local propulsor PP	Compartment	85	85			none	-28,5	-23	-8,9	8,9	4,433	1,3
Espacio vacío PR 1	Compartment	95	95			none	12	17,5	-5,4	5,4	4,433	1,3
Espacio vacío PR 2	Compartment	95	95			none	17,5	23	-5,4	5,4	4,3	1,3
Local propulsor PR	Compartment	85	85			none	23	28,5	-8,9	8,9	4,433	1,3
Espacio vacío BR 1	Compartment	95	95			none	-23	-17,5	-8,9	-5,4	4,433	1,3
Espacio vacío BR 2	Compartment	95	95			none	-17,5	-12	-8,9	-5,4	4,433	1,3
Espacio vacío BR 3	Compartment	95	95			none	-12	0	-8,9	-5,4	4,433	1,3
Espacio vacío BR 4	Compartment	95	95			none	0	12	-8,9	-5,4	4,433	1,3
Espacio vacío BR 5	Compartment	95	95			none	12	17,5	-8,9	-5,4	4,3	1,3
Espacio vacío BR 6	Compartment	95	95			none	17,502	23	-8,9	-5,4	4,433	1,3
Espacio vacío ER 1	Compartment	95	95			none	-23	-17,5	5,4	8,9	4,433	1,3
Espacio vacío ER 2	Compartment	95	95			none	-17,5	-12	5,4	8,9	4,433	1,3
Espacio vacío ER 3	Compartment	95	95			none	-12	0	5,4	8,9	4,433	1,3
Espacio vacío ER 4	Compartment	95	95			none	0	12	5,4	8,9	4,433	1,3
Espacio vacío ER 5	Compartment	95	95			none	12	17,5	5,4	8,9	4,433	1,3
Espacio vacío ER 6	Compartment	95	95			none	17,5	23	5,4	8,9	4,433	1,3
MDO almacén	Tank	98	98	0,84		none	-0,5	0	-1	2	3,3	1,3
Sedimentación	Tank	98	98	0,84		none	-0,5	0	-2	-1	2,2	1,3
MDO 12 h BR	Tank	98	98	0,84		none	-0,5	0	-3	-2,5	2,2	1,3
MDO 12 h ER	Tank	98	98	0,84		none	-0,5	0	-2,5	-2	2,2	1,3
Aceite	Tank	98	98	0,92	Lube Oil	none	-0,5	0	-3,2	-3,1	1,5	1,3
Lodos	Tank	98	98	0,92		none	-0,5	0	-8,9	-6,7	1,3	0
Aguas negras y grises BR	Tank	98	98	1		none	0	5	-8,9	-4,1	1,3	0
Aguas negras y grises ER	Tank	98	98	1		none	0	5	4,1	8,9	1,3	0
Agua dulce BR	Tank	98	98	1	Fresh Water	none	-17,5	-16	-5,4	-3	4,433	1,3
Agua dulce ER	Tank	98	98	1	Fresh Water	none	-17,5	-16	3	5,4	4,433	1,3
Espacio vacío bajo DF 1	Compartment	95	95			none	-17,5	-12	-8,9	8,9	1,3	0
Espacio vacío bajo DF 2	Compartment	95	95			none	-12	-6	-8,9	8,9	1,3	0
Espacio vacío bajo DF 3	Compartment	95	95			none	-6	0	-8,9	8,9	1,3	0
Espacio vacío bajo DF 4	Compartment	95	95			none	0	6	-4,2	4,2	1,3	0
Espacio vacío bajo DF 5	Compartment	95	95			none	6	12	-8,9	8,9	1,3	0
Espacio vacío bajo DF 6	Compartment	95	95			none	12	17,5	-8,9	8,9	1,3	0
Pique de proa	Compartment	85	85			none	28,5	30,499	-8,9	8,9	4,433	0
Pique de popa	Compartment	85	85			none	-30,499	-28,5	-8,9	8,9	4,433	0
Caseta BR	Compartment	85	85			none	-23	23	-8,9	-6,9	7,133	4,433
Caseta ER	Compartment	85	85			none	-23	23	6,9	8,9	7,133	4,433
Non Buoyant Garaje Central	Non-Buoyant Vol.	100	100			none	-23	23	-6,9	6,9	7,133	4,433
Non Buoyant Garaje Popa	Non-Buoyant Vol.	100	100			none	-30,499	-23	-8,9	8,9	7,133	4,433
Non Buoyant Garaje Proa	Non-Buoyant Vol.	100	100			none	23	30,499	-8,9	8,9	7,133	4,433
Cámara de máquinas (MDO almacén)	Linked Neg. Compart.	85	85			none	-0,5	0	-1	2	3,3	1,3
Cámara de máquinas (Sedimentación)	Linked Neg. Compart.	85	85			none	-0,5	0	-2	-1	2,2	1,3
Cámara de máquinas (MDO 12 h BR)	Linked Neg. Compart.	85	85			none	-0,5	0	-3	-2,5	2,2	1,3
Cámara de máquinas (MDO 12 h ER)	Linked Neg. Compart.	85	85			none	-0,5	0	-2,5	-2	2,2	1,3
Local LNG (LNG)	Linked Neg. Compart.	85	85				3,501	8,999	-1,5	1,5	4,3	1,3
Espacio vacío PP 2 (Agua dulce BR)	Linked Neg. Compart.	95	95			none	-17,5	-16	-5,4	-3	4,433	1,3
Espacio vacío PP 2 (Agua dulce ER)	Linked Neg. Compart.	95	95			none	-17,5	-16	3	5,4	4,433	1,3
Espacio vacío bajo DF 4 (Aguas negras y grises BR)	Linked Neg. Compart.	95	95			none	0	5	-8,9	-4,1	1,3	0
Espacio vacío bajo DF 4 (Aguas negras y grises ER)	Linked Neg. Compart.	95	95			none	0	5	4,1	8,9	1,3	0
Espacio vacío bajo DF 3 (Lodos)	Linked Neg. Compart.	95	95			none	-0,5	0	-8,9	-6,7	1,3	0
Cámara de máquinas (Aceite)	Linked Neg. Compart.	85	85			none	-0,5	0	-3,2	-3,1	1,5	1,3

11.5.1.6. Dimensiones reglamentarias

- Subdivisión length (L_s): 61 m.
- Mid-length: 0 m.
- Aft terminal: -30,5 m.
- Forward terminal: 30,5 m.
- Manga (B): 17,18 m.
- Depest subdivisión draught (d_s): 3,1 m.
- Light service draught (d_l): 2,81 m.
- Partial subdivisión draught (d_p): se corresponde con la siguiente fórmula:

$$dp = dl + 0,6 \cdot (ds - dl) = 2,98 m$$

	Item	Value	Units	Selected
1	<i>Probabilistic damage</i>			<input type="checkbox"/>
2	Resolution -- MSC.216(82) or MSC.19(58)	MSC.216(82)		<input type="checkbox"/>
3	Do automatic combinations of vertical damage ?	Yes		<input type="checkbox"/>
4				<input type="checkbox"/>
5	<i>Loadcases</i>			<input type="checkbox"/>
6	Deepest subdivision draft (summer loadline) Loadcase	Condición de c	draft: 3,11	<input checked="" type="checkbox"/>
7	Partial subdivision draft Loadcase	Condición de c	draft: 2,98	<input checked="" type="checkbox"/>
8	Light service draft Loadcase	Condición de c	draft: 2,80	<input checked="" type="checkbox"/>
9				<input type="checkbox"/>
10	<i>Vessel parameters</i>			<input type="checkbox"/>
11	Type -- Cargo or Passenger	Passenger		<input type="checkbox"/>
12	Lifeboat capacity N_1	24		<input type="checkbox"/>
13	Permitted max. num. of persons in excess of N_1: N_2	395		<input type="checkbox"/>
14	Subdivision length L_s	61,000	m	<input type="checkbox"/>
15	Aft terminal of L_s	-30,500	m	<input type="checkbox"/>
16	Fwd terminal of L_s	30,500	m	<input type="checkbox"/>
17	Mid L_s	0,000	m	<input type="checkbox"/>
18	Intact displacement at subdivision draft (Condición de carga I)	1261,462	t	<input type="checkbox"/>
19	max. moulded breadth at or below deepest subdivision draft: B	17,147	m	<input type="checkbox"/>
20	max. number of adjacent zones to consider	2		<input type="checkbox"/>
21	min. probability (p.r.v) of damage to consider	0,000100		<input type="checkbox"/>
22	max. trim angle to consider	40,0	deg	<input type="checkbox"/>
23	Limit longitudinal extent of damage? (L_max=60,000; J_max=0,30303)	Limit		<input type="checkbox"/>
24	Limit vertical extent of damage?	Limit		<input type="checkbox"/>
25	max. vertical extent of damage	15,617	m	<input type="checkbox"/>
26	Damaged side -- Starboard or Port	Starboard		<input type="checkbox"/>
27	Zone 1 located at bow or stern?	Stern		<input type="checkbox"/>

11.5.2. Definición y cálculo de las condiciones de carga

11.5.2.1. Condición de máxima y mínima carga

SALIDA DE PUERTO A PLENA CARGA (CONDICIÓN DE MÁXIMA CARGA)										
Item Name	Quantity	Unit Mass (tonne)	Total Mass (tonne)	Unit Volumen (m^3)	Total Volume (m^3)	Long. Arm (m)	Trans. Arm (m)	Vert. Arm (m)	Total FSM (tonne.m)	FSM type
Lightship	1	1196,89	1196,89			-1,164	0	4,34	0	User Specified
Subtotal rosca			1196,89			-1,164	0	4,34	0	
Pasaje	399	0,1	39,9			0	0	10,13	0	User Specified
Tripulación	20	0,1	2			0	0	13,03	0	User Specified
Coches	24	2,5	60			0	0	5,43	0	User Specified
Camiones	6	26	156			0	0	6,43	0	User Specified
Subtotal carga			257,9			0	0	6,821	0	
LNG	100%	17,108	17,108	38,017	38,017	6,25	0	2,8	0	User Specified
MDO almacén	100%	2,47	2,47	2,94	2,94	-0,25	0,5	2,3	0	User Specified
Sedimentación	100%	0,37	0,37	0,441	0,441	-0,25	-1,5	1,75	0	User Specified
MDO 12 h BR	100%	0,185	0,185	0,221	0,221	-0,25	-2,75	1,75	0	User Specified
MDO 12 h ER	100%	0,185	0,185	0,221	0,221	-0,25	-2,25	1,75	0	User Specified
Aceite	100%	0,009	0,009	0,01	0,01	-0,25	-3,15	1,4	0	User Specified
Lodos	0%	0,019	0	0,021	0	-0,219	-6,7	1,058	0	User Specified
Aguas negras y grises BR	0,1%	10,471	0,01	10,471	0,01	2,163	-4,163	0,181	0	IMO A.749(18)
Aguas negras y grises ER	0,1%	10,471	0,01	10,471	0,01	2,163	4,163	0,181	0	IMO A.749(18)
Agua dulce BR	100%	10,256	10,256	10,256	10,256	-16,733	-4,184	2,976	0	User Specified
Agua dulce ER	100%	10,256	10,256	10,256	10,256	-16,733	4,184	2,976	0	User Specified
Total Loadcase			1495,65	83,322	62,381	-1,09	0	4,727	0	
FS correction								0		
VCG fluid								4,727		

LLEGADA A PUERTO SIN CARGA (CONDICIÓN DE MÍNIMA CARGA)

Item Name	Quantity	Unit Mass (tonne)	Total Mass (tonne)	Unit Volumen (m^3)	Total Volume (m^3)	Long. Arm (m)	Trans. Arm (m)	Vert. Arm (m)	Total FSM (tonne.m)	FSM type
Lightship	1	1196,89	1196,89			-1,164	0	4,34	0	User Specified
Subtotal rosca			1196,89			-1,164	0	4,34	0	
Pasaje	399	0,1	39,9			0	0	10,13	0	User Specified
Tripulación	20	0,1	2			0	0	13,03	0	User Specified
Coches	0	2,5	0			0	0	5,43	0	User Specified
Camiones	0	26	0			0	0	6,43	0	User Specified
Subtotal carga			41,9			0	0	10,268	0	
LNG	10%	17,108	1,711	38,017	3,802	6,25	0	1,579	0	User Specified
MDO almacén	0%	2,47	0	2,94	0	-0,25	0,5	1,3	0	User Specified
Sedimentación	0%	0,37	0	0,441	0	-0,25	-1,5	1,3	0	User Specified
MDO 12 h BR	10%	0,185	0,019	0,221	0,022	-0,25	-2,75	1,345	0	User Specified
MDO 12 h ER	10%	0,185	0,019	0,221	0,022	-0,25	-2,25	1,345	0	User Specified
Aceite	10%	0,009	0,001	0,01	0,001	-0,25	-3,15	1,31	0	User Specified
Lodos	90%	0,019	0,017	0,021	0,018	-0,25	-6,808	1,21	0	User Specified
Aguas negras y grises BR	90%	10,471	9,424	10,471	9,424	2,493	-5,162	0,819	5,234	IMO A.749(18)
Aguas negras y grises ER	90%	10,471	9,424	10,471	9,424	2,493	5,162	0,819	5,234	IMO A.749(18)
Agua dulce BR	10%	10,256	1,026	10,256	1,026	-16,578	-4,044	1,64	0	User Specified
Agua dulce ER	10%	10,256	1,026	10,256	1,026	-16,578	4,044	1,64	0	User Specified
Total Loadcase			1261,454	83,322	24,763	-1,086	0	4,476	10,468	
FS correction								0,008		
VCG fluid								4,484		

11.5.2.2. Condición de carga s

$$\Delta_s = 1495,65 \text{ t}$$

$$\text{trim} = 0 \text{ m}$$

$$d_s = 3,1 \text{ m}$$

Añadimos en Maxsurf esta condición de carga teniendo en cuenta:

$$X_G = 0$$

$$X_G = X_B$$

Mediante Maxsurf obtenemos el siguiente K_G :

$$K_{G\text{máx}} = 6,753 \text{ m}$$

CONDICIÓN DE CARGA S

Item Name	Quantity	Unit Mass (tonne)	Total Mass (tonne)	Unit Volumen (m ³)	Total Volume (m ³)	Long. Arm (m)	Trans. Arm (m)	Vert. Arm (m)	Total FSM (tonne.m)	FSM type
Lightship	1	1495,65	1495,65			0	0	6,753	0	User Specified
Total Loadgroup			1495,65	0	0	0	0	6,753	0	
FS correction								0		
VCG fluid								6,753		

11.5.2.3. Condición de carga I

La condición con un desplazamiento menor es la de “Llegada a puerto sin carga”:

$$\Delta_l = 1261,454 \text{ t}$$

$$\text{trim} = \text{valor real} = 0,61 \text{ m}$$

$$d_l = 2,81 \text{ m}$$

En esta condición de carga se cumple:

$$Y_G = 0$$

$$X_G = X_{Greal} = -1,096$$

El K_G máximo en intacta a tener en cuenta será para Δ_l y trimado = trimado real.

Obtenemos el siguiente valor:

$$K_{Gm\acute{a}x} = 7,242 \text{ m}$$

CONDICIÓN DE CARGA L

Item Name	Quantity	Unit Mass (tonne)	Total Mass (tonne)	Unit Volumen (m ³)	Total Volume (m ³)	Long. Arm (m)	Trans. Arm (m)	Vert. Arm (m)	Total FSM (tonne.m)	FSM type
Lightship	1	1261,454	1261,454			-1,086	0	7,242	0	User Specified
Total Loadgroup			1261,454	0	0	-1,086	0	7,242	0	
FS correction								0		
VCG fluid								7,242		

11.5.2.4. Condición de carga p

$$d_p = d_l + 0,6 \times (d_s - d_l)$$
$$d_p = 2,81 + 0,6 \times (3,1 - 2,81) = 2,98 \text{ m}$$

En esta condición:

$$\text{trim} = 0$$

Mediante Maxsurf calculamos el desplazamiento correspondiente a un calado de 2,98 m y obtenemos un valor de 1386 t.

El K_G obtenido es el siguiente:

$$K_{G\text{máx}} = 7,102 \text{ m}$$

En caso de que no se cumplieren los criterios en avería para alguna de las condiciones de carga calculadas anteriormente, habría que reducir el K_G hasta que cumpliera.

CONDICIÓN DE CARGA P

Item Name	Quantity	Unit Mass (tonne)	Total Mass (tonne)	Unit Volumen (m ³)	Total Volume (m ³)	Long. Arm (m)	Trans. Arm (m)	Vert. Arm (m)	Total FSM (tonne.m)	FSM type
Lightship	1	1386	1386			0	0	7,102	0	User Specified
Total Loadgroup			1386	0	0	0	0	7,102	0	
FS correction								0		
VCG fluid								7,102		

11.5.3. Definición de la subdivisión en zonas longitudinales, transversales y verticales del buque

11.5.3.1. Zonas transversales

Se definen las siguientes zonas transversales:

- Zona 1: se extiende desde la cuaderna -61 hasta la cuaderna -57.
- Zona 2: se extiende desde la cuaderna -57 hasta la -46.
- Zona 3: se extiende desde la cuaderna -46 hasta la -35.
- Zona 4: se extiende desde la cuaderna -35 hasta la -24.
- Zona 5: se extiende desde la cuaderna -24 hasta la -0.
- Zona 6: se extiende desde la cuaderna 0 hasta la 24.
- Zona 7: se extiende desde la cuaderna 24 hasta la 35.
- Zona 8: se extiende desde la cuaderna 35 hasta la 46.
- Zona 9: se extiende desde la cuaderna 46 hasta la 57.
- Zona 10: se extiende desde la cuaderna 57 hasta la 61.

Introducimos en Maxsurf las zonas descritas anteriormente:

	Name	Aft m	Fwd m	Length m	Centre m
1	Zone 1	-30,500	-28,500	2,000	-29,500
2	Zone 2	-28,500	-23,000	5,500	-25,750
3	Zone 3	-23,000	-17,500	5,500	-20,250
4	Zone 4	-17,500	-12,000	5,500	-14,750
5	Zone 5	-12,000	0,000	12,000	-6,000
6	Zone 6	0,000	12,000	12,000	6,000
7	Zone 7	12,000	17,500	5,500	14,750
8	Zone 8	17,500	23,000	5,500	20,250
9	Zone 9	23,000	28,500	5,500	25,750
10	Zone 10	28,500	30,500	2,000	29,500

11.5.3.2. Zonas longitudinales

	Zones	Shell half-beam m	Num. L.Bh	b 1 m
1	1 adjacent			
2	Zone 1, 1	0,000	0	n/a
3	Zone 2, 1	0,000	0	n/a
4	Zone 3, 1	7,640	1	2,240
5	Zone 4, 1	8,480	1	3,090
6	Zone 5, 1	8,550	1	3,160
7	Zone 6, 1	8,550	1	3,160
8	Zone 7, 1	8,480	1	3,090
9	Zone 8, 1	7,640	1	2,240
10	Zone 9, 1	0,000	0	n/a
11	Zone 10, 1	0,000	0	n/a

11.5.3.3. Zonas verticales

Hay que tener en cuenta que sólo se considera la cubierta principal ya que es la única cubierta estanca.

	Zones	Num. Dec	H 1 m
1	1 adjacent		
2	Zone 1, 1	1	4,430
3	Zone 2, 1	1	4,430
4	Zone 3, 1	1	4,430
5	Zone 4, 1	1	4,430
6	Zone 5, 1	1	4,430
7	Zone 6, 1	1	4,430
8	Zone 7, 1	1	4,430
9	Zone 8, 1	1	4,430
10	Zone 9, 1	1	4,430
11	Zone 10, 1	1	4,430

11.5.3.4. Permeabilidades

Las permeabilidades se calculan de la misma manera y son las mismas que en el buque inicial.

11.5.4. Evaluación de los criterios de estabilidad tras avería

El factor de R es 0,9 dado que se trata de un buque de pasaje:

29	MSC.216(82) – Required subdivision index			<input type="checkbox"/>
30	Pax ships: $R = 1 - 5000 / (L_S + 2.5 N + 15225)$	0,71133		<input type="checkbox"/>
31	Reduction factor for R	1,000		<input type="checkbox"/>
32	Required subdivision index (appying reduction factor)	0,71133		<input type="checkbox"/>
33	Factor of R for required subdivision index for each loadcase	0,900		<input type="checkbox"/>
34	Required subdivision index for each loadcase	0,64020		<input type="checkbox"/>

11.5.4.1. Salidas Maxsurf

La alternativa cumple con $A \geq R$ en cada una de las condiciones de carga definidas y por tanto, no es necesario bajar el K_G en ninguna de las condiciones s, l y p.

Las averías las genera directamente el Maxsurf con la pestaña “Extent of Damage” y se ha considerado un número máximo de 2 zonas adyantes.

RESUMEN DE RESULTADOS		
Condición de carga	A	R
s	0,781	0,64
p	0,786	0,64
l	0,82	0,64
Total	0,79	0,71

En cuanto a la estabilidad en averías, el buque será ahora menos seguro ya que el índice A obtenido ha disminuido.

12. 7ª MODIFICACIÓN

A continuación se realizarán los análisis de comportamiento en la mar y estabilidad en averías para esta alternativa. Las dimensiones principales son las siguientes:

DIMENSIONES PRINCIPALES	
L	61 m
Lpp	48,46 m
B	18,8 m
D	6,43 m
T	3,42 m
Cb	0,57
Cp	0,708
Cm	0,806
Desplazamiento	1551 t
Velocidad	13 kn
Pasajeros	399
Tripulación	20

En esta alternativa se incrementa la manga y el puntal 1 metro respecto al buque base.

12.1. Área requerida

Dado que la manga aumenta, el área ahora es mayor que el del buque base por lo que se cumple con el área mínima requerida.

12.2. Límites en dimensiones

- $\frac{L}{B} = 3,245 \rightarrow$ Cumple: $2,85 \leq \frac{L}{B} \leq 6,77$
- $D = 6,43 \rightarrow$ Cumple: $3,65 \leq D \leq 6,45$

12.3. Cálculo de parámetros

- XG: dado que la eslora no varía, se considera que XG es igual al valor del XG del buque base, es decir, XG = -1,164 m.
- KG: varía con el puntal. Mantendremos constante la relación $\frac{KG}{D} = 0,98$. KG = 6,3 m.
- Lpp: como la eslora se sigue manteniendo constante, Lpp no varía. Lpp = 48,46 m.
- Δ :

$$\Delta = \text{Peso Rosca} + \text{Peso Muerto}$$

$$PR = \text{Peso aceros} + \text{Peso equipos}$$

$$\text{Peso aceros} = Lpp^{1,5} \cdot B \cdot D^{0,5} \cdot K = 48,46^{1,5} \cdot 18,8 \cdot 6,43^{0,5} \cdot 0,037 = 595,03 \text{ t}$$

$$\text{Peso equipos} = K \cdot Lpp^{1,3} \cdot B^{0,8} \cdot D^{0,3} = 0,045 \cdot 48,46^{1,5} \cdot 18,8 \cdot 6,43^{0,5} = 723,07 \text{ t}$$

Además, sabemos que cada generador pesa 9,4 t y que el peso de cada propulsor es igual a 7,5 t. Teniendo en cuenta que el buque dispone de 3 generador y 4 propulsores:

$$\begin{aligned} \text{Peso propulsores} &= 7,5 \cdot 4 = 30 \text{ t} \\ \text{Peso generadores} &= 9,4 \cdot 3 = 28,2 \text{ t} \end{aligned}$$

Por otra parte, también tenemos que considerar el peso de la habitación (butacas, zona del puente, etc) que se aproxima como un 10% del peso de aceros, las rampas de proa/ popa, de 29,1 t las dos y las trincas, de 2 t.

$$PR = 595,03 + 723,07 + 30 + 28,2 + 71,23 + 29,1 + 2 = 1478,63 \text{ t}$$

El peso muerto se mantiene constante aunque se modifiquen las dimensiones.

$$PM = 280,206 \text{ t}$$

Por tanto el desplazamiento ahora tiene el siguiente valor:

$$\Delta = 1478,63 + 280,206 = 1758,84 \text{ t}$$

A continuación estimaremos la potencia necesaria para ver si la potencia instalada es suficiente.

La potencia se estima mediante la fórmula de Watson:

$$PB = \frac{0,889 \cdot \text{Desplazamiento}^{\frac{2}{3}} \cdot \left(40 - \frac{Lpp}{61} + 400 \cdot (K - 1)^2 - 12 \cdot Cb\right)}{15000 - 1,81 \cdot N \cdot Lpp^{\frac{1}{2}}}$$

N son las revoluciones y K (constante de Alexander) como 1,05.

$$PB = \frac{0,889 \cdot 1758,84^{\frac{2}{3}} \cdot \left(40 - \frac{48,46}{61} + 400 \cdot (1,05 - 1)^2 - 12 \cdot 0,56\right)}{15000 - 1,81 \cdot 339 \cdot 48,46^{\frac{1}{2}}} = 898,23 \text{ kW}$$

Dado que los motores trabajarán al 85%, se requiere una potencia de 1056,7 kW.

El buque dispone de 2 motores eléctricos de 660 kW a proa y otros 2 a popa, es decir 1320 kW y como podemos comprobar se satisface la demanda necesaria.

12.4. Comportamiento en la mar

A continuación evaluaremos el comportamiento del buque en la mar basándonos en el estudio del índice MSI en los puntos más desfavorables de la cubierta de pasaje, tripulación y puente. Los heading considerados serán 180º y 135º (olas de proa), 0º y 45º (olas de popa) y 90º (olas de costado).

Se definen 30 secciones equidistantes utilizando 12 términos y las inercias del pitch y del yaw se consideran como un 25% de la eslora total, mientras que la del roll se considera un 40% de la manga del buque, tal y como aparece por defecto en Maxsurf.

X

Vessel

Roll gyradius	7,52 m	% Boa	40
Pitch gyradius	15,25 m	% Loa	25
Yaw gyradius	15,25 m	% Loa	25
VCG	3,42 m	Mass	1549 t

La ola considerada tiene una altura de 1,5 m y un período de ola de 7,5 s.

El resumen de resultados obtenidos para los diferentes headings, es el siguiente:

Resumen de resultados			
Heading	Cubierta	RMS	Unidades
0º	Cubierta pasaje	0,048	%
	Cubierta tripulación	0,017	%
	Cubierta puente	0,012	%
45º	Cubierta pasaje	2,628	%
	Cubierta tripulación	1,211	%
	Cubierta puente	0,505	%
90º	Cubierta pasaje	23,174	%
	Cubierta tripulación	15,12	%
	Cubierta puente	9,234	%
135º	Cubierta pasaje	19,839	%
	Cubierta tripulación	13,648	%
	Cubierta puente	9,966	%
180º	Cubierta pasaje	10,032	%
	Cubierta tripulación	6,956	%
	Cubierta puente	6,078	%

Existe una pequeña mejoría en cuanto al buque base para olas de de popa y de costado, la cual va disminuyendo a medida que el heading se aproxima a 0º, al cual ya no hay una mejoría sino que el comportamiento del buque empeora.

Hay que destacar que también se aprecia un empeoramiento cuando las olas son totalmente de proa (180º), por tanto, se puede concluir que para 0º y 180º (olas totalmente de popa o totalmente de proa) esta alternativa presenta un índice MSI más alto que el buque base, mientras que para el resto de headings, los cambios en las dimensiones son beneficiosos.

12.5. Estabilidad en averías

En este apartado se realiza el análisis probabilístico de la estabilidad en averías.

12.5.1. Descripción de compartimentado y dimensiones reglamentarias

Para poder realizar el análisis de la estabilidad en averías es necesario definir el compartimentado y la situación de tanques, para ello se calculan los mamparos longitudinales

y transversales y la situación de estos. También se definen las dimensiones reglamentarias, necesarias para el cálculo de las condiciones s, l y p utilizadas en este análisis.

12.5.1.1. Generalidades del compartimentado

12.5.1.1.1. Extensión longitudinal de la avería

Considerando el calado en la condición de máxima carga, tenemos la siguiente eslora (47,59 m).

1	Draft Amidships m	3,703
2	Displacement t	1777
3	Heel deg	0,0
4	Draft at FP m	3,297
5	Draft at AP m	4,109
6	Draft at LCF m	3,734
7	Trim (+ve by stern) m	0,812
8	WL Length m	47,587
9	Beam max extents on	17,913

Según SOLAS Capítulo 2-1, Regla 8 (estabilidad de los buques de pasaje después de avería):

$$L_{\text{avería}} = 3 + 0,03 \cdot L$$

La eslora de avería sería la mínima a la cual se debería espaciar los mamparos transversales para evitar que una única avería inundase más de un compartimento.

Para esta alternativa:

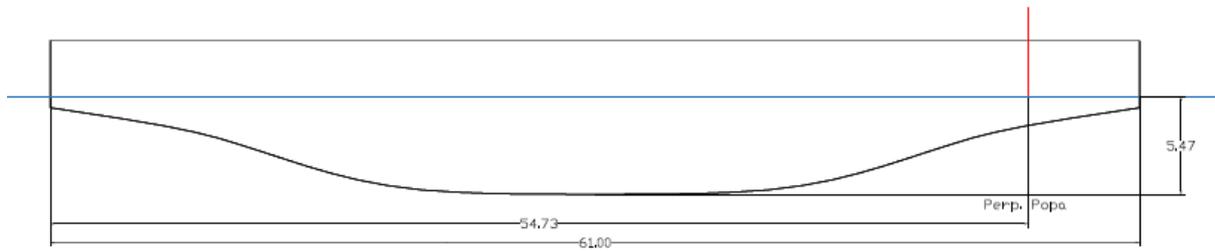
$$L_{\text{avería}} = 3 + 0,03 \times 47,59 = 4,43 \text{ m}$$

Si además atendemos a la MSC (216)82, en la Part B-2, Regulation 9:

El 85% del puntal mínimo de trazado son 5,47 metros. Si calculamos con Maxsurf la eslora en la flotación para este calado nos da un valor de 61 metros, por lo que el 96% de esta eslora son 58,56 metros.

	Draft Amidships m	5,470
1	Displacement t	3543
2	Heel deg	0,0
3	Draft at FP m	5,470
4	Draft at AP m	5,470
5	Draft at LCF m	5,470
6	Trim (+ve by stern) m	0,000
7	WL Length m	61,000

Por otra parte, tenemos que calcular la eslora desde la cara de proa de la roda hasta el eje de la mecha del timón para esta misma flotación y mirar si este valor es superior al anterior. Dado que este valor es inferior al anteriormente calculado, lo descartamos.



La eslora a tener en cuenta será la de 58,56 metros y por tanto, según la MSC (216)82:

$$\text{Extensión longitudinal avería} = \frac{1}{3} \cdot 58,56^{\frac{2}{3}} = 4,95 \text{ m}$$

El espaciado entre mamparos transversales será de 5 metros para que coincida con las cuadernas.

12.5.1.1.2. Extensión transversal de la avería

Por otra parte, debemos calcular la extensión transversal de la avería. Para ello seguimos utilizando la Regla 8 del capítulo 2-1 de SOLAS.

$$\text{Extensión transversal avería} = \frac{B}{5} = \frac{17,91}{5} = 3,58 \text{ m}$$

Por otra parte la MSC (216)82 indica:

$$\text{Extensión transversal avería} = \frac{B}{6} = \frac{17,91}{6} = 2,99 \text{ m}$$

Dado que SOLAS es más restrictivo será el que tendremos en cuenta.

12.5.1.2. Compartimentado longitudinal

Para realizar la subdivisión del buque necesaria para que este sea seguro tras una averías, se calculan los mamparos estancos que debe tener el buque que según la Sociedad de Clasificación DNV-GL son: mamparo de colisión, mamparo de pique de popa y mamparos de cámara de máquinas.

12.5.1.2.1. Mamparo de colisión

Calculamos el mamparo de colisión atendiendo a la Sociedad de Clasificación DNV-GL (parte 3, capítulo 1, sección 2), el cual hace referencia al capítulo 2-1, regla 10 del SOLAS.

$$L_{pp} = 48,46 \text{ m}$$

$$x_c \text{ mínimo} = 0,05 \cdot L_{pp} = 0,05 \cdot 48,46 = 2,423 \text{ m}$$

$$x_c \text{ máximo} = 0,05 \cdot L_{pp} + 3 = 2,423 + 3 = 5,453 \text{ m}$$

La distancia a la que se ha decidido colocar el mamparo de colisión, tanto en proa como en popa (por ser un buque simétrico), ha sido a 2,5 m de la correspondiente perpendicular para que de esta forma coincida con una de las cuadernas.

En este caso, los mamparos de colisión se colocarán en las cuadernas -54 y 54.

12.5.1.2.2. Mamparos de cámara de máquinas

El DNV-GL obliga a llevar un mamparo estanco en cada extremo del espacio de la cámara de máquinas. Se situaría un mamparo a proa y otro a popa de la cámara de máquinas, en las cuadernas -24 y 0.

12.5.1.3. Compartimentado transversal

12.5.1.3.1. Mamparos longitudinales

Anteriormente se calculaba la extensión transversal de la avería y obteníamos un valor de 3,58 m, por tanto, será necesario que el buque lleve algún mamparo longitudinal como doble casco a cada banda del buque y a 3,58 m del costado para hacer frente a la estabilidad en averías.

12.5.1.4. Compartimentado vertical

12.5.1.4.1. Doble fondo

El doble fondo mínimo deberá ser de:

$$dDB = 32 \cdot B \cdot 10^{-3} + c \cdot \sqrt{d}$$
$$dDB = 32 \times 18,8 \cdot 10^{-3} + 0,19 \cdot \sqrt{3,42} = 0,95 \text{ metros}$$

dDB = puntal del doble fondo en metros

c = 0,19

d = calado de escantillonado, en metros.

B= manga del buque, en metros.

Por otra parte la MSC (216)82, indica en la Part B-2, Regulation 9, que la altura del doble fondo se puede calcular como:

$$h = \frac{B}{20} = \frac{18,8}{20} = 0,94 \text{ m}$$

Y que nunca debe tomarse inferior de 760 mm ni superior a 2m.

Dado que el doble fondo en este tipo de buques adquiere un valor superior, aumentaremos la altura del doble fondo hasta 1,3 metros.

12.5.1.4.2. Cubiertas estancas

La única cubierta estanca será la principal, situada a 6,43 metros de la línea base.

12.5.1.5. Listado de tanques y compartimentos

Name	Type	Intact Perm. %	Damaged Perm. %	Specific gravit	Fluid type	Boundary Surfaces	Aft (m)	Fore (m)	F. Port (m)	F. Stbd (m)	F. Top (m)	F. Bottom (m)
Local LNG	Compartment	85	85			none	0	12	-5,8	5,8	6,433	1,3
LNG	Tank	98	98	0,45			3,501	8,999	-1,5	1,5	4,3	1,3
Cámara de máquinas	Compartment	85	85			none	-12	0	-5,8	5,8	6,433	1,3
Espacio vacío PP 1	Compartment	95	95			none	-22	-17	-5,8	5,8	6,433	1,3
Espacio vacío PP 2	Compartment	95	95			none	-17	-12	-5,8	5,8	6,433	1,3
Local propulsor PP	Compartment	85	85			none	-27	-22	-9,4	9,4	6,433	1,3
Espacio vacío PR 1	Compartment	95	95			none	12	17	-5,8	5,8	6,433	1,3
Espacio vacío PR 2	Compartment	95	95			none	17	22	-5,8	5,8	6,433	1,3
Local propulsor PR	Compartment	85	85			none	22	27	-9,4	9,4	6,433	1,3
Espacio vacío BR 1	Compartment	95	95			none	-22	-17	-9,4	-5,8	6,433	1,3
Espacio vacío BR 2	Compartment	95	95			none	-17	-12	-9,4	-5,8	6,433	1,3
Espacio vacío BR 3	Compartment	95	95			none	-12	0	-9,4	-5,8	6,433	1,3
Espacio vacío BR 4	Compartment	95	95			none	0	12	-9,4	-5,8	6,433	1,3
Espacio vacío BR 5	Compartment	95	95			none	12	17	-9,4	-5,8	6,433	1,3
Espacio vacío BR 6	Compartment	95	95			none	17	22	-9,4	-5,8	6,433	1,3
Espacio vacío ER 1	Compartment	95	95			none	-22	-17	5,8	9,4	6,433	1,3
Espacio vacío ER 2	Compartment	95	95			none	-17	-12	5,8	9,4	6,433	1,3
Espacio vacío ER 3	Compartment	95	95			none	-12	0	5,8	9,4	6,433	1,3
Espacio vacío ER 4	Compartment	95	95			none	0	12	5,8	9,4	6,433	1,3
Espacio vacío ER 5	Compartment	95	95			none	12	17	5,8	9,4	6,433	1,3
Espacio vacío ER 6	Compartment	95	95			none	17	22	5,8	9,4	6,433	1,3
MDO almacén	Tank	98	98	0,84		none	-0,5	0	-1	2	3,3	1,3
Sedimentación	Tank	98	98	0,84		none	-0,5	0	-2	-1	2,2	1,3
MDO 12 h BR	Tank	98	98	0,84		none	-0,5	0	-3	-2,5	2,2	1,3
MDO 12 h ER	Tank	98	98	0,84		none	-0,5	0	-2,5	-2	2,2	1,3
Aceite	Tank	98	98	0,92	Lube Oil	none	-0,5	0	-3,2	-3	1,5	1,3
Lodos	Tank	98	98	0,92		none	-0,5	0	-9,4	-6,6	1,3	0
Aguas negras y grises BR	Tank	98	98	1		none	0	6	-9,4	-4,4	1,3	0
Aguas negras y grises ER	Tank	98	98	1		none	0	6	4,4	9,4	1,3	0
Agua dulce BR	Tank	98	98	1	Fresh Water	none	-17	-16	-5,8	-3,5	6,433	1,3
Agua dulce ER	Tank	98	98	1	Fresh Water	none	-17	-16	3,5	5,8	6,433	1,3
Espacio vacío bajo DF 1	Compartment	95	95			none	-16	-12	-9,4	9,4	1,3	0
Espacio vacío bajo DF 2	Compartment	95	95			none	-12	-6	-9,4	9,4	1,3	0
Espacio vacío bajo DF 3	Compartment	95	95			none	-6	0	-9,4	9,4	1,3	0
Espacio vacío bajo DF 4	Compartment	95	95			none	0	6	-4,2	4,2	1,3	0
Espacio vacío bajo DF 5	Compartment	95	95			none	6	12	-9,4	9,4	1,3	0
Espacio vacío bajo DF 6	Compartment	95	95			none	12	16	-9,4	9,4	1,3	0
Pique de proa	Compartment	85	85			none	27	30,499	-9,4	9,4	6,433	0
Pique de popa	Compartment	85	85			none	-30,499	-27	-9,4	9,4	6,433	0
Caseta BR	Compartment	85	85			none	-23	23	-9,4	-6,9	9,133	6,433
Caseta ER	Compartment	85	85			none	-23	23	6,9	9,4	9,133	6,433
Non Buoyant Garaje Central	Non-Buoyant Vol.	100	100			none	-23	23	-6,9	6,9	9,133	6,433
Non Buoyant Garaje Popa	Non-Buoyant Vol.	100	100			none	-30,499	-23	-9,4	-9,4	9,133	6,433
Non Buoyant Garaje Proa	Non-Buoyant Vol.	100	100			none	23	30,499	-9,4	9,4	9,133	6,433
Cámara de máquinas (MDO almacén)	Linked Neg. Compart.	85	85			none	-0,5	0	-1	2	3,3	1,3
Cámara de máquinas (Sedimentación)	Linked Neg. Compart.	85	85			none	-0,5	0	-2	-1	2,2	1,3
Cámara de máquinas (MDO 12 h BR)	Linked Neg. Compart.	85	85			none	-0,5	0	-3	-2,5	2,2	1,3
Cámara de máquinas (MDO 12 h ER)	Linked Neg. Compart.	85	85			none	-0,5	0	-2,5	-2	2,2	1,3
Cámara de máquinas (Aceite)	Linked Neg. Compart.	85	85			none	-0,5	0	-3,2	-3	1,5	1,3
Espacio vacío bajo DF 3 (Lodos)	Linked Neg. Compart.	95	95			none	-0,5	0	-9,4	-6,6	1,3	0
Local LNG (LNG)	Linked Neg. Compart.	85	85				3,501	8,999	-1,5	1,5	4,3	1,3
Espacio vacío PP 2 (Agua dulce BR)	Linked Neg. Compart.	95	95			none	-17	-16	-5,8	-3,5	6,433	1,3
Espacio vacío PP 2 (Agua dulce ER)	Linked Neg. Compart.	95	95			none	-17	-16	3,5	5,8	6,433	1,3

12.5.1.6. Dimensiones reglamentarias

- Subdivisión length (L_s): 61 m.
- Mid-length: 0 m.
- Aft terminal: -30,5 m.
- Forward terminal: 30,5 m.
- Manga (B): 17,91 m.
- Depest subdivisión draught (d_s): 3,7 m.
- Light service draught (d_l): 3,4 m.
- Partial subdivisión draught (d_p): se corresponde con la siguiente fórmula:

$$dp = dl + 0,6 \cdot (ds - dl) = 3,58 m$$

	Item	Value	Units	Selected
1	<i>Probabilistic damage</i>			<input type="checkbox"/>
2	Resolution -- MSC.216(82) or MSC.19(58)	MSC.216(82)		<input type="checkbox"/>
3	Do automatic combinations of vertical damage ?	Yes		<input type="checkbox"/>
4				<input type="checkbox"/>
5	<i>Loadcases</i>			<input type="checkbox"/>
6	Deepest subdivision draft (summer loadline) Loadcase	Condición de c	draft: 3,71	<input checked="" type="checkbox"/>
7	Partial subdivision draft Loadcase	Condición de c	draft: 3,57	<input checked="" type="checkbox"/>
8	Light service draft Loadcase	Condición de c	draft: 3,39	<input checked="" type="checkbox"/>
9				<input type="checkbox"/>
10	<i>Vessel parameters</i>			<input type="checkbox"/>
11	Type -- Cargo or Passenger	Passenger		<input type="checkbox"/>
12	Lifeboat capacity N_1	24		<input type="checkbox"/>
13	Permitted max. num. of persons in excess of N_1: N_2	395		<input type="checkbox"/>
14	Subdivision length L_s	61,000	m	<input type="checkbox"/>
15	Aft terminal of L_s	-30,500	m	<input type="checkbox"/>
16	Fwd terminal of L_s	30,500	m	<input type="checkbox"/>
17	Mid L_s	0,000	m	<input type="checkbox"/>
18	Intact displacement at subdivision draft (Condición de carga p)	1669,957	t	<input type="checkbox"/>
19	max. moulded breadth at or below deepest subdivision draft: B	17,834	m	<input type="checkbox"/>
20	max. number of adjacent zones to consider	2		<input type="checkbox"/>
21	min. probability (p.r.v) of damage to consider	0,000100		<input type="checkbox"/>
22	max. trim angle to consider	40,0	deg	<input type="checkbox"/>
23	Limit longitudinal extent of damage? (L_max=60,000; J_max=0,30303)	Limit		<input type="checkbox"/>
24	Limit vertical extent of damage?	Limit		<input type="checkbox"/>
25	max. vertical extent of damage	16,218	m	<input type="checkbox"/>
26	Damaged side -- Starboard or Port	Starboard		<input type="checkbox"/>
27	Zone 1 located at bow or stern?	Stern		<input type="checkbox"/>

12.5.2. Definición y cálculo de las condiciones de carga

12.5.2.1. Condición de máxima y mínima carga

SALIDA DE PUERTO A PLENA CARGA (CONDICIÓN DE MÁXIMA CARGA)										
Item Name	Quantity	Unit Mass (tonne)	Total Mass (tonne)	Unit Volumen (m^3)	Total Volume (m^3)	Long. Arm (m)	Trans. Arm (m)	Vert. Arm (m)	Total FSM (tonne.m)	FSM type
Lightship	1	1478,63	1478,63			-1,164	0	6,3	0	User Specified
Subtotal rosca			1478,63			-1,164	0	6,3	0	
Pasaje	399	0,1	39,9			0	0	12,13	0	User Specified
Tripulación	20	0,1	2			0	0	15,03	0	User Specified
Coches	24	2,5	60			0	0	7,43	0	User Specified
Camiones	6	26	156			0	0	8,43	0	User Specified
Subtotal carga			257,9			0	0	8,821	0	
LNG	100%	17,108	17,108	38,017	38,017	6,25	0	2,8	0	User Specified
MDO almacén	100%	2,47	2,47	2,94	2,94	-0,25	0,5	2,3	0	User Specified
Sedimentación	100%	0,37	0,37	0,441	0,441	-0,25	-1,5	1,75	0	User Specified
MDO 12 h BR	100%	0,185	0,185	0,221	0,221	-0,25	-2,75	1,75	0	User Specified
MDO 12 h ER	100%	0,185	0,185	0,221	0,221	-0,25	-2,25	1,75	0	User Specified
Aceite	100%	0,018	0,018	0,02	0,02	-0,25	-3,1	1,4	0	User Specified
Lodos	0%	0,025	0	0,027	0	-0,159	-6,6	1,018	0	Maximum
Aguas negras y grises BR	0,1%	10,152	0,01	10,152	0,01	2,16	-4,451	0,244	0	IMO A.749(18)
Aguas negras y grises ER	0,1%	10,152	0,01	10,152	0,01	2,16	4,451	0,244	0	IMO A.749(18)
Agua dulce BR	100%	10,178	10,178	10,178	10,178	-16,494	-4,637	4,173	0	User Specified
Agua dulce ER	100%	10,178	10,178	10,178	10,178	-16,494	4,637	4,173	0	User Specified
Total Loadcase			1777,242	82,545	62,234	-1,098	0	6,6	0	
FS correction								0		
VCG fluid								6,6		

LLEGADA A PUERTO SIN CARGA (CONDICIÓN DE MÍNIMA CARGA)										
Item Name	Quantity	Unit Mass (tonne)	Total Mass (tonne)	Unit Volumen (m^3)	Total Volume (m^3)	Long. Arm (m)	Trans. Arm (m)	Vert. Arm (m)	Total FSM (tonne.m)	FSM type
Lightship	1	1478,63	1478,63			-1,164	0	6,3	0	User Specified
Subtotal rosca			1478,63			-1,164	0	6,3	0	
Pasaje	399	0,1	39,9			0	0	12,13	0	User Specified
Tripulación	20	0,1	2			0	0	15,03	0	User Specified
Coches	0	2,5	0			0	0	7,43	0	User Specified
Camiones	0	26	0			0	0	8,43	0	User Specified
Subtotal carga			41,9			0	0	12,268	0	
LNG	10%	17,108	1,711	38,017	3,802	6,25	0	1,579	0	User Specified
MDO almacén	0%	2,47	0	2,94	0	-0,25	0,5	1,3	0	User Specified
Sedimentación	0%	0,37	0	0,441	0	-0,25	-1,5	1,3	0	User Specified
MDO 12 h BR	10%	0,185	0,019	0,221	0,022	-0,25	-2,75	1,345	0	User Specified
MDO 12 h ER	10%	0,185	0,019	0,221	0,022	-0,25	-2,25	1,345	0	User Specified
Aceite	10%	0,018	0,002	0,02	0,002	-0,25	-3,1	1,31	0	User Specified
Lodos	90%	0,025	0,023	0,027	0,024	-0,25	-6,724	1,196	0	User Specified
Aguas negras y grises BR	90%	10,152	9,137	10,152	9,137	2,978	-5,323	0,855	4,088	IMO A.749(18)
Aguas negras y grises ER	90%	10,152	9,137	10,152	9,137	2,978	5,323	0,855	4,088	IMO A.749(18)
Agua dulce BR	10%	10,178	1,018	10,178	1,018	-16,435	-4,524	2,124	0	User Specified
Agua dulce ER	10%	10,178	1,018	10,178	1,018	-16,435	4,524	2,124	0	User Specified
Total Loadcase			1542,612	82,545	24,182	-1,095	0	6,387	8,175	
FS correction								0,005		
VCG fluid								6,392		

12.5.2.2. Condición de carga s

$$\Delta_s = 1777,242 \text{ t}$$

$$\text{trim} = 0 \text{ m}$$

$$d_s = 3,7 \text{ m}$$

Añadimos en Maxsurf esta condición de carga teniendo en cuenta:

$$X_G = 0$$

$$X_G = X_B$$

Mediante Maxsurf obtenemos el siguiente K_G :

$$K_{G\text{máx}} = 9,813 \text{ m}$$

CONDICIÓN DE CARGA S

Item Name	Quantity	Unit Mass (tonne)	Total Mass (tonne)	Unit Volumen (m ³)	Total Volume (m ³)	Long. Arm (m)	Trans. Arm (m)	Vert. Arm (m)	Total FSM (tonne.m)	FSM type
Lightship	1	1777,242	1777,242			0	0	9,813	0	User Specified
Total Loadgroup			1777,242	0	0	0	0	9,813	0	
FS correction								0		
VCG fluid								9,813		

12.5.2.3. Condición de carga I

La condición con un desplazamiento menor es la de “Llegada a puerto sin carga”:

$$\Delta_l = 1542,612 \text{ t}$$

$$\text{trim} = \text{valor real} = 0,86 \text{ m}$$

$$d_l = 3,4 \text{ m}$$

En esta condición de carga se cumple:

$$Y_G = 0$$

$$X_G = X_{Greal} = -1,095 \text{ m}$$

El K_G máximo en intacta a tener en cuenta será para Δ_l y trimado = trimado real.

Obtenemos el siguiente valor:

$$K_{Gm\acute{a}x} = 9,575 \text{ m}$$

CONDICIÓN DE CARGA L

Item Name	Quantity	Unit Mass (tonne)	Total Mass (tonne)	Unit Volumen (m ³)	Total Volume (m ³)	Long. Arm (m)	Trans. Arm (m)	Vert. Arm (m)	Total FSM (tonne.m)	FSM type
Lightship	1	1542,612	1542,612			-1,095	0	9,575	0	User Specified
Total Loadgroup			1542,612	0	0	-1,095	0	9,575	0	
FS correction								0		
VCG fluid								9,575		

12.5.2.4. Condición de carga p

$$d_p = d_l + 0,6 \times (d_s - d_l)$$

$$d_p = 3,4 + 0,6 \times (3,7 - 3,4) = 3,58 \text{ m}$$

En esta condición:

$$\text{trim} = 0$$

Mediante Maxsurf calculamos el desplazamiento correspondiente a un calado de 3,58 m y obtenemos un valor de 1670 t.

El K_G obtenido es el siguiente:

$$K_{G\text{máx}} = 9,696 \text{ m}$$

En caso de que no se cumpliesen los criterios en avería para alguna de las condiciones de carga calculadas anteriormente, habría que reducir el K_G hasta que cumpliera.

CONDICIÓN DE CARGA P

Item Name	Quantity	Unit Mass (tonne)	Total Mass (tonne)	Unit Volumen (m ³)	Total Volume (m ³)	Long. Arm (m)	Trans. Arm (m)	Vert. Arm (m)	Total FSM (tonne.m)	FSM type
Lightship	1	1670	1670			0	0	9,696	0	User Specified
Total Loadgroup			1670	0	0	0	0	9,696	0	
FS correction								0		
VCG fluid								9,696		

12.5.3. Definición de la subdivisión en zonas longitudinales, transversales y verticales del buque

12.5.3.1. Zonas transversales

Definimos la subdivisión en zonas en las que se va a dividir el buque. Hay que tener en cuenta que las zonas no tienen que coincidir necesariamente con el compartimentado.

Se definen las siguientes zonas transversales:

- Zona 1: se extiende desde la cuaderna -57 hasta la cuaderna -52.
- Zona 2: se extiende desde la cuaderna -52 hasta la -40.
- Zona 3: se extiende desde la cuaderna -40 hasta la -32.
- Zona 4: se extiende desde la cuaderna -32 hasta la -24.
- Zona 5: se extiende desde la cuaderna -24 hasta la -0.
- Zona 6: se extiende desde la cuaderna -0 hasta la 24.
- Zona 7: se extiende desde la cuaderna 24 hasta la 32.
- Zona 8: se extiende desde la cuaderna 32 hasta la 40.
- Zona 9: se extiende desde la cuaderna 40 hasta la 52.
- Zona 10: se extiende desde la cuaderna 52 hasta la 57.

Introducimos en Maxsurf las zonas descritas anteriormente:

	Name	Aft m	Fwd m	Length m	Centre m
1	Zone 1	-30,500	-28,500	2,000	-29,500
2	Zone 2	-28,500	-23,000	5,500	-25,750
3	Zone 3	-23,000	-17,500	5,500	-20,250
4	Zone 4	-17,500	-12,000	5,500	-14,750
5	Zone 5	-12,000	0,000	12,000	-6,000
6	Zone 6	0,000	12,000	12,000	6,000
7	Zone 7	12,000	17,500	5,500	14,750
8	Zone 8	17,500	23,000	5,500	20,250
9	Zone 9	23,000	28,500	5,500	25,750
10	Zone 10	28,500	30,500	2,000	29,500

12.5.3.2. Zonas longitudinales

	Zones	Shell half-beam m	Num. L.Bh	b 1 m
1	1 adjacent			
2	Zone 1, 1	0,000	0	n/a
3	Zone 2, 1	0,000	0	n/a
4	Zone 3, 1	7,190	1	1,390
5	Zone 4, 1	8,770	1	2,970
6	Zone 5, 1	8,900	1	3,100
7	Zone 6, 1	8,900	1	3,100
8	Zone 7, 1	8,770	1	2,970
9	Zone 8, 1	7,190	1	1,390
10	Zone 9, 1	0,000	0	n/a
11	Zone 10, 1	0,000	0	n/a

12.5.3.3. Zonas verticales

Dado que se consideran únicamente las cubiertas estancas, sólo se tendrá en cuenta la cubierta principal.

	Zones	Num. Dec	H 1 m
1	1 adjacent		
2	Zone 1, 1	1	6,433
3	Zone 2, 1	1	6,433
4	Zone 3, 1	1	6,433
5	Zone 4, 1	1	6,433
6	Zone 5, 1	1	6,433
7	Zone 6, 1	1	6,433
8	Zone 7, 1	1	6,433
9	Zone 8, 1	1	6,433
10	Zone 9, 1	1	6,433
11	Zone 10, 1	1	6,433

12.5.3.4. Permeabilidades

Las permeabilidades se calculan de la misma manera y son las mismas que en el buque inicial.

12.5.4. Evaluación de los criterios de estabilidad tras avería

El factor de R es 0,9 dado que se trata de un buque de pasaje:

29	MSC.216(82) – Required subdivision index			<input type="checkbox"/>
30	Pax ships: $R = 1 - 5000 / (L_S + 2.5 N + 15225)$	0,71133		<input type="checkbox"/>
31	Reduction factor for R	1,000		<input type="checkbox"/>
32	Required subdivision index (appying reduction factor)	0,71133		<input type="checkbox"/>
33	Factor of R for required subdivision index for each loadcase	0,900		<input type="checkbox"/>
34	Required subdivision index for each loadcase	0,64020		<input type="checkbox"/>

12.5.4.1. Salidas Maxsurf

La alternativa cumple con $A \geq R$ en cada una de las condiciones de carga definidas y por tanto, no es necesario bajar el K_G en ninguna de las condiciones s, l y p.

Las averías las genera directamente el Maxsurf con la pestaña “Extent of Damage” y se ha considerado un número máximo de 2 zonas adyantes.

RESUMEN DE RESULTADOS		
Condición de carga	A	R
s	0,848	0,64
p	0,866	0,64
l	0,891	0,64
Total	0,864	0,711

La estabilidad en averías mejora ligeramente. El índice A obtenido es prácticamente igual al obtenido en el buque base.

13. 8ª MODIFICACIÓN

A continuación se realizarán los análisis de comportamiento en la mar y estabilidad en averías para para la octava alternativa, la cual tiene las siguientes dimensiones principales:

DIMENSIONES PRINCIPALES	
L	76 m
Lpp	64,36 m
B	16 m
D	6,43 m
T	3,42 m
Cb	0,57
Cp	0,708
Cm	0,806
Desplazamiento	1645 t
Velocidad	13 kn
Pasajeros	399
Tripulación	20

En esta alternativa se incrementa la eslora hasta los 76 metros y se disminuye la manga hasta los 16 metros al igual que en la primera alternativa, pero en este caso también se incrementa el puntal en un metro.

13.1. Área requerida

Para una eslora y una manga de 76 m y 16 m se tiene una cubierta principal con un área igual a 1216 m² y por tanto se cumple con el área mínima requerida (943 m²).

13.2. Límites en dimensiones

- $\frac{L}{B} = 4,75 \rightarrow$ Cumple: $2,85 \leq \frac{L}{B} \leq 6,77$
- $D = 6,43 \rightarrow$ Cumple: $3,65 \leq D \leq 6,45$

13.3. Cálculo de parámetros

- XG: manteniendo la relación $\frac{XG}{L} = -0,019$, tenemos un nuevo XG = -1,444 m.
- KG: varía con el puntal. Manteniendo una relación de $\frac{KG}{D}$ constante (0,98), obtenemos un nuevo KG = 6,3 m.
- Lpp: manteniendo la relación $\frac{Lpp}{L} = 0,79$, se obtiene Lpp = 64,36 m.
- Δ :

$$\Delta = \text{Peso Rosca} + \text{Peso Muerto}$$

$$PR = \text{Peso aceros} + \text{Peso equipos}$$

$$\text{Peso aceros} = Lpp^{1,5} \cdot B \cdot D^{0,5} \cdot K = 64,36^{1,5} \cdot 16 \cdot 6,43^{0,5} \cdot 0,037 = 775,09 \text{ t}$$

Donde K es la constante de Watson que tendrá diferente valor dependiendo del tipo de buque. Para los RoRo-Ferry, K vale 0,037.

$$Peso\ equipos = K \cdot Lpp^{1,3} \cdot B^{0,8} \cdot D^{0,3} = 0,045 \cdot 64,36^{1,5} \cdot 16 \cdot 6,43^{0,5} = 942,68\ t$$

Además, sabemos que cada generador pesa 9,4 t y que el peso de cada propulsor es igual a 7,5 t. Teniendo en cuenta que el buque dispone de 3 generador y 4 propulsores:

$$Peso\ propulsores = 7,5 \cdot 4 = 30\ t$$

$$Peso\ generadores = 9,4 \cdot 3 = 28,2\ t$$

Por otra parte, también tenemos que considerar el peso de la habilitación (butacas, zona del puente, etc) que se aproxima como un 10% del peso de aceros, las rampas de proa/popa, de 29,1 t las dos y las trincas, de 2 t.

$$PR = 775,09 + 942,68 + 30 + 28,2 + 71,23 + 29,1 + 2 = 1878,3\ t$$

El peso muerto se compone por la carga útil y los consumos y estos se mantienen constante aunque se modifiquen las dimensiones.

$$PM = 280,206\ t$$

Por tanto el desplazamiento ahora tiene el siguiente valor:

$$\Delta = 1878,3 + 280,206 = 2158,51\ t$$

A continuación estimaremos la potencia necesaria para ver si la potencia instalada es suficiente.

La potencia se estima mediante la fórmula de Watson:

$$PB = \frac{0,889 \cdot Desplazamiento^{\frac{2}{3}} \cdot \left(40 - \frac{Lpp}{61} + 400 \cdot (K - 1)^2 - 12 \cdot Cb\right)}{15000 - 1,81 \cdot N \cdot Lpp^{\frac{1}{2}}}$$

N son las revoluciones y K (constante de Alexander) como 1,05.

Las revoluciones se obtienen de los resultados de NavCad, dando un valor de 339 rpm.

$$PB = \frac{0,889 \cdot 2158,51^{\frac{2}{3}} \cdot \left(40 - \frac{64,36}{61} + 400 \cdot (1,05 - 1)^2 - 12 \cdot 0,57\right)}{15000 - 1,81 \cdot 339 \cdot 64,36^{\frac{1}{2}}} = 1026,02\ kW$$

Dado que los motores trabajarán al 85%, se requiere una potencia de 1207,08 kW.

El buque dispone de 2 motores eléctricos de 660 kW a proa y otros 2 a popa, es decir 1320 kW y como podemos comprobar se satisface la demanda necesaria.

13.4. Comportamiento en la mar

A continuación evaluaremos el comportamiento del buque en la mar basándonos en el estudio del índice MSI en los puntos más desfavorables de las cubiertas de pasaje, tripulación y puente. El análisis se realizará considerando olas de proa (180° y 135°), de popa (0° y 45°) y de costado (90°).

Se definen 30 secciones equidistantes utilizando 12 términos. Las inercias del pitch y del yaw se consideran como un 25% de la eslora total del buque y la del roll como un 40% de la manga tal y como aparece en Maxsurf por defecto:

Mass Distribution X

Vessel			
Roll gyradius	<input type="text" value="6,4 m"/>	% Boa	<input type="text" value="40"/>
Pitch gyradius	<input type="text" value="19 m"/>	% Loa	<input type="text" value="25"/>
Yaw gyradius	<input type="text" value="19 m"/>	% Loa	<input type="text" value="25"/>
VCG	<input type="text" value="3,42 m"/>	Mass	<input type="text" value="1642 t"/>

La ola que se considera tiene una altura de 1,5 m y un período de 7,5 s.

El resumen de resultados obtenidos para los diferentes headings, es el siguiente:

Resumen de resultados			
Heading	Cubierta	RMS	Unidades
0º	Cubierta pasaje	0,009	%
	Cubierta tripulación	0,003	%
	Cubierta puente	0,002	%
45º	Cubierta pasaje	2,311	%
	Cubierta tripulación	1,071	%
	Cubierta puente	0,446	%
90º	Cubierta pasaje	22,382	%
	Cubierta tripulación	15,031	%
	Cubierta puente	9,62	%
135º	Cubierta pasaje	19,059	%
	Cubierta tripulación	13,136	%
	Cubierta puente	9,628	%
180º	Cubierta pasaje	8,721	%
	Cubierta tripulación	5,92	%
	Cubierta puente	5,098	%

Existe una leve mejoría para todos los ángulos, excepto para 0º que puede observarse que el comportamiento en la mar empeora, pero de forma casi imperceptible.

Por otra parte, aunque para 180º puede observarse una mejoría en las cubiertas de tripulación y puente, el índice MSI en la cubierta de pasaje es algo superior al del buque base y por tanto variar las dimensiones produce un efecto contrario al que se produce en las otras dos cubiertas. Hay que tener en cuenta que esta variación del índice MSI es prácticamente nula a 180º y podría despreciarse.

13.5. Estabilidad en averías

A continuación se realiza el cálculo de estabilidad en averías mediante análisis probabilístico.

13.5.1. Descripción de compartimentado y dimensiones reglamentarias

Antes de realizar el análisis es necesario definir el compartimentado y la disposición de tanques en el buque, por ello primero se calculan los mamparos longitudinales y transversales. Además, se calcularán también en este apartado las dimensiones reglamentarias necesarias para realizar el análisis.

13.5.1.1. Generalidades del compartimentado

13.5.1.1.1. Extensión longitudinal de la avería

Considerando el calado en la condición de máxima carga, tenemos la siguiente eslora (63,54 m).

1	Draft Amidships m	4,038
2	Displacement t	2178
3	Heel deg	0,0
4	Draft at FP m	3,663
5	Draft at AP m	4,412
6	Draft at LCF m	4,070
7	Trim (+ve by stern) m	0,749
8	WL Length m	63,651
9	Beam max extents on	15,446

Según SOLAS Capítulo 2-1, Regla 8 (estabilidad de los buques de pasaje después de avería):

$$L_{\text{avería}} = 3 + 0,03 \cdot L$$

La eslora de avería sería la mínima a la cual se debería espaciar los mamparos transversales para evitar que una única avería inundase más de un compartimento.

Para esta alternativa:

$$L_{\text{avería}} = 3 + 0,03 \times 63,54 = 4,9 \text{ m}$$

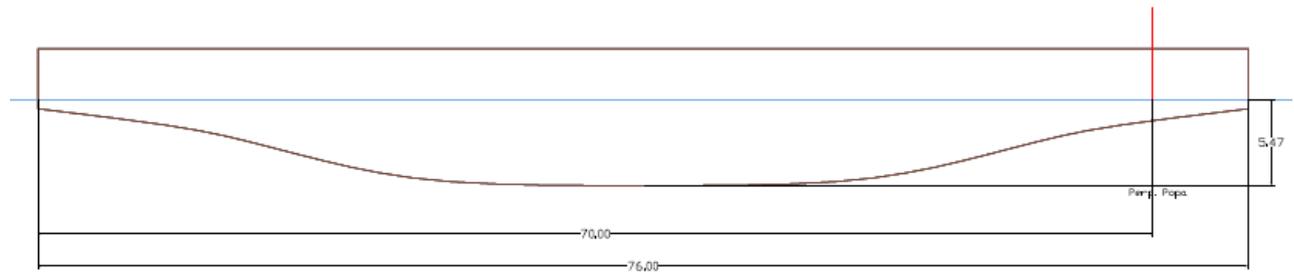
Si además atendemos a la MSC (216)82, en la Part B-2, Regulation 9:

El 85% del puntal mínimo de trazado son 5,47 metros. Si calculamos con Maxsurf la eslora en la flotación para este calado nos da un valor de 76 metros, por lo que el 96% de esta eslora son 72,96 metros.

	Draft Amidships m	5,470
1	Displacement t	3757
2	Heel deg	0,0
3	Draft at FP m	5,470
4	Draft at AP m	5,470
5	Draft at LCF m	5,470
6	Trim (+ve by stern) m	0,000
7	WL Length m	76,000

Por otra parte, tenemos que calcular la eslora desde la cara de proa de la roda hasta el eje de

la mecha del timón para esta misma flotación y mirar si este valor es superior al anterior. Dado que esta eslora es de 70 m, consideraremos la calculada anteriormente.



La eslora a tener en cuenta será la de 72,96 metros y por tanto, según la MSC (216)82:

$$\text{Extensión longitudinal avería} = \frac{1}{3} \cdot 72,96^{\frac{2}{3}} = 5,82 \text{ m}$$

El espaciado entre mamparos transversales será de 6 metros para que coincida con las cuadernas.

13.5.1.1.2. Extensión transversal de la avería

Por otra parte, debemos calcular la extensión transversal de la avería. Para ello seguimos utilizando la Regla 8 del capítulo 2-1 de SOLAS.

$$\text{Extensión transversal avería} = \frac{B}{5} = \frac{15,47}{5} = 3,1 \text{ m}$$

Por otra parte la MSC (216)82 indica:

$$\text{Extensión transversal avería} = \frac{B}{6} = \frac{15,47}{6} = 2,58 \text{ m}$$

Dado que SOLAS es más restrictivo será el que tendremos en cuenta.

13.5.1.2. Compartimentado longitudinal

Los mamparos que tienen que ser estancos vienen definidos por DNV-GL y son el mamparo de colisión, el mamparo de pique de popa y los mamparos de cámara de máquinas.

13.5.1.2.1. Mamparo de colisión

Calculamos el mamparo de colisión atendiendo a la Sociedad de Clasificación DNV-GL (parte 3, capítulo 1, sección 2), el cual hace referencia al capítulo 2-1, regla 10 del SOLAS.

$$L_{pp} = 64,36 \text{ m}$$

$$x_c \text{ mínimo} = 0,05 \cdot L_{pp} = 0,05 \cdot 64,36 = 3,22 \text{ m}$$

$$x_c \text{ máximo} = 0,05 \cdot L_{pp} + 3 = 3,22 + 3 = 6,22 \text{ m}$$

La distancia a la que se ha decidido colocar el mamparo de colisión, tanto en proa como en popa (por ser un buque simétrico), ha sido a 4 m de la correspondiente perpendicular para que de esta forma coincida con una de las cuadernas.

En este caso, los mamparos de colisión se colocarán en las cuadernas -72 y 72.

13.5.1.2.2. Mamparos de cámara de máquinas

El DNV-GL obliga a llevar un mamparo estanco en cada extremo del espacio de la cámara de máquinas. Se situaría un mamparo a proa y otro a popa de la cámara de máquinas, en las cuadernas -24 y 0.

13.5.1.3. Compartimentado transversal

13.5.1.3.1. Espacios vacíos

Se les llama a aquellos espacios del buque que se encuentran vacíos. Sirven para aumentar la reserva de flotabilidad.

13.5.1.3.2. Mamparos longitudinales

Anteriormente se calculaba la extensión transversal de la avería y obteníamos un valor de 3,12 m, por tanto, será necesario que el buque lleve algún mamparo longitudinal como doble casco a cada banda del buque y a 3,12 m, como mínimo, del costado para hacer frente a la estabilidad en averías. Se proveerá un doble casco en cámara de máquinas y en los espacios vacíos con una separación de 3,5 m del costado.

13.5.1.4. Compartimentado vertical

13.5.1.4.1. Doble fondo

El doble fondo mínimo deberá ser de:

$$dDB = 32 \cdot B \cdot 10^{-3} + c \cdot \sqrt{d}$$
$$dDB = 32 \times 16 \cdot 10^{-3} + 0,19 \cdot \sqrt{3,42} = 0,86 \text{ metros}$$

dDB = puntal del doble fondo en metros

c = 0,19

d = calado de escantillonado, en metros.

B= manga del buque, en metros.

Por otra parte la MSC (216)82, indica en la Part B-2, Regulation 9, que la altura del doble fondo se puede calcular como:

$$h = \frac{B}{20} = \frac{16}{20} = 0,8 \text{ m}$$

Y que nunca debe tomarse inferior de 760 mm ni superior a 2m.

Como se decía anteriormente, el valor del doble fondo en buques de este estilo es mayor, por lo que se va a aumentar. El valor del doble fondo será de 1,3 metros.

13.5.1.4.2. Cubiertas estancas

La única cubierta estanca será la principal, situada a 6,43 metros de la línea base.

13.5.1.5. Listado de tanques y compartimentos

Name	Type	Intact Perm. %	Damaged Perm. %	Specific gravit	Fluid type	Boundary Surfaces	Aft (m)	Fore (m)	F. Port (m)	F. Stbd (m)	F. Top (m)
Local LNG	Compartment	85	85			none	0	12	-4,4	4,4	6,433
LNG	Tank	98	98	0,45			3,501	8,999	-1,5	1,5	4,3
Cámara de máquinas	Compartment	85	85			none	-12	0	-4,4	4,4	6,433
Espacio vacío PP 1	Compartment	85	85			none	-30	-24	-4,4	4,4	6,433
Espacio vacío PP 2	Compartment	85	85			none	-24	-18	-4,4	4,4	6,433
Espacio vacío PP 3	Compartment	85	85			none	-18	-12	-4,4	4,4	6,433
Local propulsor PP	Compartment	85	85			none	-36	-30	-9,8	9,8	6,433
Espacio vacío PR 1	Compartment	85	85			none	12	18	-4,4	4,4	6,433
Espacio vacío PR 2	Compartment	85	85			none	18	24	-4,4	4,4	6,433
Espacio vacío PR 3	Compartment	85	85			none	24	30	-4,4	4,4	6,433
Local propulsor PR	Compartment	85	85			none	30	36	-9,8	9,8	6,433
Espacio vacío BR 1	Compartment	85	85			none	-30	-24	-8	-4,4	6,433
Espacio vacío BR 2	Compartment	85	85			none	-24	-18	-8	-4,5	6,433
Espacio vacío BR 3	Compartment	85	85			none	-18	-12	-8	-4,5	6,433
Espacio vacío BR 4	Compartment	85	85			none	-12	0	-8	-4,5	6,433
Espacio vacío BR 5	Compartment	85	85			none	0	12	-8	-4,5	6,433
Espacio vacío BR 6	Compartment	85	85			none	12	18	-8	-4,5	6,433
Espacio vacío BR 7	Compartment	85	85			none	18	24	-8	-4,5	6,433
Espacio vacío BR 8	Compartment	85	85			none	24	30	-8	-4,5	6,433
Espacio vacío ER 1	Compartment	85	85			none	-30	-24	4,5	8	6,433
Espacio vacío ER 2	Compartment	85	85			none	-24	-18	4,5	8	6,433
Espacio vacío ER 3	Compartment	85	85			none	-18	-12	4,5	8	6,433
Espacio vacío ER 4	Compartment	85	85			none	-12	0	4,5	8	6,433
Espacio vacío ER 5	Compartment	85	85			none	0	12	4,5	8	6,433
Espacio vacío ER 6	Compartment	85	85			none	12	18	4,5	8	6,433
Espacio vacío ER 7	Compartment	85	85			none	18	24	4,5	8	6,433
Espacio vacío ER 8	Compartment	85	85			none	24	30	4,5	8	6,433
MDO almacén	Tank	98	98	0,84		none	-0,5	0	-1	2	3,3
Sedimentación	Tank	98	98	0,84		none	-0,5	0	-2	-1	2,2
MDO 12 h BR	Tank	98	98	0,84		none	-0,5	0	-3	-2,5	2,2
MDO 12 h ER	Tank	98	98	0,84		none	-0,5	0	-2,5	-2	2,2
Aceite	Tank	98	98	0,92	Lube Oil	none	-0,5	0	-3,2	-3	1,5
Lodos	Tank	98	98	0,92		none	-0,1	0,1	-0,5	0	0,2
Aguas negras y grises BR	Tank	98	98	1		none	0	9	-8	-4	1,3
Aguas negras y grises ER	Tank	98	98	1		none	0	9	4	8	1,3
Agua dulce BR	Tank	98	98	1	Fresh Water	none	-18	-17	-4,5	-1	4,5
Agua dulce ER	Tank	98	98	1	Fresh Water	none	-18	-17	1	4,5	4,5
Espacio vacío bajo DF 1	Compartment	85	85			none	-18	-12	-8	8	1,3
Espacio vacío bajo DF 2	Compartment	85	85			none	-12	-6	-8	8	1,3
Espacio vacío bajo DF 3	Compartment	85	85			none	-6	0	-8	8	1,3
Espacio vacío bajo DF 4	Compartment	85	85			none	0	6	-4,2	4,2	1,3
Espacio vacío bajo DF 5	Compartment	85	85			none	6	12	-8	8	1,3
Espacio vacío bajo DF 6	Compartment	85	85			none	12	18	-8	8	1,3
Pique de proa	Compartment	85	85			none	36	37,999	-8	8	6,433
Pique de popa	Compartment	85	85			none	-37,999	-36	-8	8	6,433
Caseta BR	Compartment	85	85			none	-23	23	-8	-6,9	9,133
Caseta ER	Compartment	85	85			none	-23	23	6,9	8	9,133
Non Buoyant Garaje Central	Non-Buoyant Vol.	100	100			none	-23	23	-6,9	6,9	9,133
Non Buoyant Garaje Popa	Non-Buoyant Vol.	100	100			none	-37,999	-23	-8	8	9,133
Non Buoyant Garaje Proa	Non-Buoyant Vol.	100	100			none	23	37,999	-8	8	9,133
Cámara de máquinas (MDO almacén)	Linked Neg. Compart.	85	85			none	-0,5	0	-1	2	3,3
Cámara de máquinas (Sedimentación)	Linked Neg. Compart.	85	85			none	-0,5	0	-2	-1	2,2
Cámara de máquinas (MDO 12 h BR)	Linked Neg. Compart.	85	85			none	-0,5	0	-3	-2,5	2,2
Cámara de máquinas (MDO 12 h ER)	Linked Neg. Compart.	85	85			none	-0,5	0	-2,5	-2	2,2
Cámara de máquinas (Aceite)	Linked Neg. Compart.	85	85			none	-0,5	0	-3,2	-3	1,5
Espacio vacío bajo DF 3 (Lodos)	Linked Neg. Compart.	85	85			none	-0,1	0	-0,5	0	0,2
Espacio vacío bajo DF 4 (Lodos)	Linked Neg. Compart.	85	85			none	0	0,1	-0,5	0	0,2
Local LNG (LNG)	Linked Neg. Compart.	85	85				3,501	8,999	-1,5	1,5	4,3
Espacio vacío bajo DF 4 (Aguas negras y grises BR)	Linked Neg. Compart.	85	85			none	0	6	-8	-4	1,3
Espacio vacío bajo DF 5 (Aguas negras y grises BR)	Linked Neg. Compart.	85	85			none	6	9	-8	-4	1,3
Espacio vacío bajo DF 4 (Aguas negras y grises ER)	Linked Neg. Compart.	85	85			none	0	6	4	8	1,3
Espacio vacío bajo DF 5 (Aguas negras y grises ER)	Linked Neg. Compart.	85	85			none	6	9	4	8	1,3
Espacio vacío PP 3 (Agua dulce BR)	Linked Neg. Compart.	85	85			none	-18	-17	-4,5	-1	4,5
Espacio vacío PP 3 (Agua dulce ER)	Linked Neg. Compart.	85	85			none	-18	-17	1	4,5	4,5

13.5.1.6. Dimensiones reglamentarias

- Subdivisión length (L_s): 76 m.
- Mid-length: 0 m.
- Aft terminal: -38 m.
- Forward terminal: 38 m.
- Manga (B): 15,47 m.
- Depest subdivisión draught (d_s): 4,04 m.
- Light service draught (d_l): 3,77 m.
- Partial subdivisión draught (d_p): se corresponde con la siguiente fórmula:

$$dp = dl + 0,6 \cdot (ds - dl) = 3,93 \text{ m}$$

	Item	Value	Units	Selected
1	<i>Probabilistic damage</i>			<input type="checkbox"/>
2	Resolution -- MSC.216(82) or MSC.19(58)	MSC.216(82)		<input type="checkbox"/>
3	Do automatic combinations of vertical damage ?	Yes		<input type="checkbox"/>
4				<input type="checkbox"/>
5	<i>Loadcases</i>			<input type="checkbox"/>
6	Deepest subdivision draft (summer loadline) Loadcase	Condición de c	draft: 4,05	<input checked="" type="checkbox"/>
7	Partial subdivision draft Loadcase	Condición de c	draft: 3,93	<input checked="" type="checkbox"/>
8	Light service draft Loadcase	Condición de c	draft: 3,77	<input checked="" type="checkbox"/>
9				<input type="checkbox"/>
10	<i>Vessel parameters</i>			<input type="checkbox"/>
11	Type -- Cargo or Passenger	Passenger		<input type="checkbox"/>
12	Lifeboat capacity N_1	24		<input type="checkbox"/>
13	Permitted max. num. of persons in excess of N_1: N_2	395		<input type="checkbox"/>
14	Subdivision length L_s	76,000	m	<input type="checkbox"/>
15	Aft terminal of L_s	-38,000	m	<input type="checkbox"/>
16	Fwd terminal of L_s	38,000	m	<input type="checkbox"/>
17	Mid L_s	0,000	m	<input type="checkbox"/>
18	Intact displacement at subdivision draft (Condición de carga I)	1943,192	t	<input type="checkbox"/>
19	max. moulded breadth at or below deepest subdivision draft: B	15,414	m	<input type="checkbox"/>
20	max. number of adjacent zones to consider	2		<input type="checkbox"/>
21	min. probability (p.r.v) of damage to consider	0,000100		<input type="checkbox"/>
22	max. trim angle to consider	40,0	deg	<input type="checkbox"/>
23	Limit longitudinal extent of damage? (L_max=60,000; J_max=0,30303)	Limit		<input type="checkbox"/>
24	Limit vertical extent of damage?	Limit		<input type="checkbox"/>
25	max. vertical extent of damage	16,554	m	<input type="checkbox"/>
26	Damaged side -- Starboard or Port	Starboard		<input type="checkbox"/>
27	Zone 1 located at bow or stern?	Stern		<input type="checkbox"/>

13.5.2. Definición y cálculo de las condiciones de carga

13.5.2.1. Condición de máxima y mínima carga

SALIDA DE PUERTO A PLENA CARGA (CONDICIÓN DE MÁXIMA CARGA)										
Item Name	Quantity	Unit Mass (tonne)	Total Mass (tonne)	Unit Volumen (m^3)	Total Volume (m^3)	Long. Arm (m)	Trans. Arm (m)	Vert. Arm (m)	Total FSM (tonne.m)	FSM type
Lightship	1	1878,3	1878,3			0	0	6,3	0	User Specified
Subtotal rosca			1878,3			0	0	6,3	0	
Pasaje	399	0,1	39,9			0	0	12,13	0	User Specified
Tripulación	20	0,1	2			0	0	15,03	0	User Specified
Coches	24	2,5	60			0	0	7,43	0	User Specified
Camiones	6	26	156			0	0	8,43	0	User Specified
Subtotal carga			257,9			0	0	8,821	0	
LNG	100%	17,015	17,015	37,812	37,812	6,25	0	2,8	0	User Specified
MDO almacén	100%	2,47	2,47	2,94	2,94	-0,25	0,5	2,3	0	User Specified
Sedimentación	100%	0,37	0,37	0,441	0,441	-0,25	-1,5	1,75	0	User Specified
MDO 12 h BR	100%	0,185	0,185	0,221	0,221	-0,25	-2,75	1,75	0	User Specified
MDO 12 h ER	100%	0,185	0,185	0,221	0,221	-0,25	-2,25	1,75	0	User Specified
Aceite	100%	0,018	0,018	0,02	0,02	-0,25	-3,1	1,4	0	User Specified
Lodos	0%	0,018	0	0,019	0	0	-0,003	0	0	User Specified
Aguas negras y grises BR	0,1%	10,492	0,01	10,492	0,01	2,698	-4,041	0,301	0	IMO A.749(18)
Aguas negras y grises ER	0,1%	10,492	0,01	10,492	0,01	2,698	4,041	0,301	0	IMO A.749(18)
Agua dulce BR	100%	10,974	10,974	10,974	10,974	-17,5	-2,75	2,9	0	User Specified
Agua dulce ER	100%	10,974	10,974	10,974	10,974	-17,5	2,75	2,9	0	User Specified
Total Loadcase			2178,413	84,606	63,623	-0,128	0	6,531	0	
FS correction								0		
VCG fluid								6,531		

LLEGADA A PUERTO SIN CARGA (CONDICIÓN DE MÍNIMA CARGA)										
Item Name	Quantity	Unit Mass (tonne)	Total Mass (tonne)	Unit Volumen (m^3)	Total Volume (m^3)	Long. Arm (m)	Trans. Arm (m)	Vert. Arm (m)	Total FSM (tonne.m)	FSM type
Lightship	1	1878,3	1878,3			-1,444	0	6,3	0	User Specified
Subtotal rosca			1878,3			-1,444	0	6,3	0	
Pasaje	399	0,1	39,9			0	0	12,13	0	User Specified
Tripulación	20	0,1	2			0	0	15,03	0	User Specified
Coches	0	2,5	0			0	0	7,43	0	User Specified
Camiones	0	26	0			0	0	8,43	0	User Specified
Subtotal carga			41,9			0	0	12,268	0	
LNG	10%	17,015	1,702	37,812	3,781	6,25	0	1,581	5,429	User Specified
MDO almacén	0%	2,47	0	2,94	0	-0,25	0,5	1,3	0	User Specified
Sedimentación	0%	0,37	0	0,441	0	-0,25	-1,5	1,3	0	User Specified
MDO 12 h BR	10%	0,185	0,019	0,221	0,022	-0,25	-2,75	1,345	0,004	User Specified
MDO 12 h ER	10%	0,185	0,019	0,221	0,022	-0,25	-2,25	1,345	0,004	User Specified
Aceite	10%	0,018	0,002	0,02	0,002	-0,25	-3,1	1,31	0	User Specified
Lodos	90%	0,018	0,016	0,019	0,017	0	-0,249	0,091	0,002	User Specified
Aguas negras y grises BR	90%	10,492	9,443	10,492	9,443	4,428	-4,683	0,887	2,478	IMO A.749(18)
Aguas negras y grises ER	90%	10,492	9,443	10,492	9,443	4,428	4,683	0,887	2,478	IMO A.749(18)
Agua dulce BR	10%	10,974	1,097	10,974	1,097	-17,499	-2,747	1,46	3,573	User Specified
Agua dulce ER	10%	10,974	1,097	10,974	1,097	-17,499	2,747	1,46	3,573	User Specified
Total Loadcase			1943,037	84,606	24,925	-1,367	0	6,366	17,543	
FS correction								0,009		
VCG fluid								6,375		

13.5.2.2. Condición de carga s

$$\Delta_s = 2178,413 \text{ t}$$

$$\text{trim} = 0 \text{ m}$$

$$d_s = 4,04 \text{ m}$$

Añadimos en Maxsurf esta condición de carga teniendo en cuenta:

$$X_G = 0$$

$$X_G = X_B$$

A continuación se calcula el K_G máximo, dando el siguiente valor:

$$K_{G\text{máx}} = 7,986 \text{ m}$$

CONDICIÓN DE CARGA S

Item Name	Quantity	Unit Mass (tonne)	Total Mass (tonne)	Unit Volumen (m ³)	Total Volume (m ³)	Long. Arm (m)	Trans. Arm (m)	Vert. Arm (m)	Total FSM (tonne.m)	FSM type
Lightship	1	2178,413	2178,413			0	0	7,986	0	User Specified
Total Loadgroup			2178,413	0	0	0	0	7,986	0	
FS correction								0		
VCG fluid								7,986		

13.5.2.3. Condición de carga I

La condición con un desplazamiento menor es la de "Llegada a puerto sin carga":

$$\Delta_l = 1943,037 \text{ t}$$

$$\text{trim} = \text{valor real} = 0,815 \text{ m}$$

$$d_l = 3,77 \text{ m}$$

En esta condición de carga se cumple:

$$Y_G = 0$$

$$X_G = X_{Greal} = -1,369$$

El K_G máximo se calcula dando el siguiente valor:

$$K_{Gm\acute{a}x} = 8,121 \text{ m}$$

CONDICIÓN DE CARGA L

Item Name	Quantity	Unit Mass (tonne)	Total Mass (tonne)	Unit Volumen (m ³)	Total Volume (m ³)	Long. Arm (m)	Trans. Arm (m)	Vert. Arm (m)	Total FSM (tonne.m)	FSM type
Lightship	1	1943,037	1943,037			-1,367	0	8,117	0	User Specified
Total Loadgroup			1943,037	0	0	-1,367	0	8,117	0	
FS correction								0		
VCG fluid								8,117		

13.5.2.4. Condición de carga p

$$d_p = d_l + 0,6 \times (d_s - d_l)$$
$$d_p = 3,77 + 0,6 \times (4,04 - 3,77) = 3,93 \text{ m}$$

En esta condición:

$$\text{trim} = 0$$

Mediante Maxsurf calculamos el desplazamiento correspondiente a un calado de 3,93 m y obtenemos un valor de 2067 t.

Estos se introducen en Maxsurf y se obtiene una nueva condición de carga p.

$$K_{G\text{máx}} = 8,174 \text{ m}$$

En caso de que no se cumpliesen los criterios en avería para alguna de las condiciones de carga calculadas anteriormente, habría que reducir el K_G hasta que cumpliera.

CONDICIÓN DE CARGA P

Item Name	Quantity	Unit Mass (tonne)	Total Mass (tonne)	Unit Volumen (m ³)	Total Volume (m ³)	Long. Arm (m)	Trans. Arm (m)	Vert. Arm (m)	Total FSM (tonne.m)	FSM type
Lightship	1	2067	2067			0	0	8,174	0	User Specified
Total Loadgroup			2067	0	0	0	0	8,174	0	
FS correction								0		
VCG fluid								8,174		

13.5.3. Definición de la subdivisión en zonas longitudinales, transversales y verticales del buque

13.5.3.1. Zonas transversales

Definimos la subdivisión en zonas en las que se va a dividir el buque. Hay que tener en cuenta que las zonas no tienen que coincidir necesariamente con el compartimentado.

Se definen las siguientes zonas transversales:

- Zona 1: se extiende desde la cuaderna -76 hasta la cuaderna -72.
- Zona 2: se extiende desde la cuaderna -72 hasta la -60.
- Zona 3: se extiende desde la cuaderna -60 hasta la -48.
- Zona 4: se extiende desde la cuaderna -48 hasta la -36.
- Zona 5: se extiende desde la cuaderna -36 hasta la -24.
- Zona 6: se extiende desde la cuaderna -24 hasta la 0.
- Zona 7: se extiende desde la cuaderna 0 hasta la 24.
- Zona 8: se extiende desde la cuaderna 24 hasta la 36.
- Zona 9: se extiende desde la cuaderna 36 hasta la 48.
- Zona 10: se extiende desde la cuaderna 48 hasta la 60.
- Zona 11: se extiende desde la cuaderna 60 hasta la 72.
- Zona 12: se extiende desde la cuaderna 72 hasta la 76.

Introducimos en Maxsurf las zonas descritas anteriormente:

	Name	Aft m	Fwd m	Length m	Centre m
1	Zone 1	-38,000	-36,000	2,000	-37,000
2	Zone 2	-36,000	-30,000	6,000	-33,000
3	Zone 3	-30,000	-24,000	6,000	-27,000
4	Zone 4	-24,000	-18,000	6,000	-21,000
5	Zone 5	-18,000	-12,000	6,000	-15,000
6	Zone 6	-12,000	0,000	12,000	-6,000
7	Zone 7	0,000	12,000	12,000	6,000
8	Zone 8	12,000	18,000	6,000	15,000
9	Zone 9	18,000	24,000	6,000	21,000
10	Zone 10	24,000	30,000	6,000	27,000
11	Zone 11	30,000	36,000	6,000	33,000
12	Zone 12	36,000	38,000	2,000	37,000

13.5.3.2. Zonas longitudinales

	Zones	Shell half-beam m	Num. L.Bh	b 1 m
1	1 adjacent			
2	Zone 1, 1	0,000	0	n/a
3	Zone 2, 1	0,000	0	n/a
4	Zone 3, 1	6,350	1	1,850
5	Zone 4, 1	7,510	1	3,010
6	Zone 5, 1	7,680	1	3,180
7	Zone 6, 1	7,700	1	3,200
8	Zone 7, 1	7,700	1	3,200
9	Zone 8, 1	7,680	1	3,180
10	Zone 9, 1	7,510	1	3,010
11	Zone 10, 1	6,350	1	1,850
12	Zone 11, 1	0,000	0	n/a
13	Zone 12, 1	0,000	0	n/a

13.5.3.3. Zonas verticales

Sólo se dispone de una única cubierta estanca que sería la cubierta de carga rodada y por tanto, solo se tiene esta en cuenta.

	Zones	Num. Dec	H 1 m
1	1 adjacent		
2	Zone 1, 1	1	6,433
3	Zone 2, 1	1	6,433
4	Zone 3, 1	1	6,433
5	Zone 4, 1	1	6,433
6	Zone 5, 1	1	6,433
7	Zone 6, 1	1	6,433
8	Zone 7, 1	1	6,433
9	Zone 8, 1	1	6,433
10	Zone 9, 1	1	6,433
11	Zone 10, 1	1	6,433
12	Zone 11, 1	1	6,433
13	Zone 12, 1	1	6,433

13.5.3.4. Permeabilidades

Las permeabilidades se calculan de la misma manera y son las mismas que en el buque inicial.

13.5.4. Evaluación de los criterios de estabilidad tras avería

El factor de R es 0,9 dado que se trata de un buque de pasaje:

29	MSC.216(82) – Required subdivision index			
30	Pax ships: $R = 1 - 5000 / (L_S + 2.5 N + 15225)$	0,71158		
31	Reduction factor for R	1,000		
32	Required subdivision index (applying reduction factor)	0,71158		
33	Factor of R for required subdivision index for each loadcase	0,900		
34	Required subdivision index for each loadcase	0,64042		

13.5.4.1. Salidas Maxsurf

La alternativa cumple con $A \geq R$ en cada una de las condiciones de carga definidas y por tanto, no es necesario bajar el K_G en ninguna de las condiciones s, l y p.

Las averías las genera directamente el Maxsurf con la pestaña "Extent of Damage" y se ha considerado un número máximo de 2 zonas adyantes.

RESUMEN DE RESULTADOS		
Condición de carga	A	R
s	0,841	0,64
p	0,836	0,64
l	0,85	0,64
Total	0,841	0,711

Se observa una ligera mejora, respecto al buque base, en la estabilidad en averías.

14. 9ª MODIFICACIÓN

A continuación se realizarán los análisis de comportamiento del buque en la mar y de la estabilidad en averías. Las dimensiones principales de esta alternativa son:

DIMENSIONES PRINCIPALES	
L	63 m
Lpp	50,05 m
B	18,8 m
D	5,43 m
T	3,42 m
Cb	0,55
Cp	0,679
Cm	0,81
Desplazamiento	1733 t
Velocidad	13 kn
Pasajeros	399
Tripulación	20

En este caso aumentaremos la eslora 2 metros y la manga 1 metro, respecto al buque inicial. El puntal se mantendrá constante.

14.1. Área requerida

Dado que se incrementa tanto la eslora como la manga, el área de la cubierta rodada es mayor ahora que la del buque base, por lo que se cumple con el requisito de área mínima requerida.

14.2. Límites en dimensiones

- $\frac{L}{B} = 3,35 \rightarrow$ Cumple: $2,85 \leq \frac{L}{B} \leq 6,77$
- $D = 5,43 \rightarrow$ Cumple: $3,65 \leq D \leq 6,45$

14.3. Cálculo de parámetros

- XG: manteniendo la relación $\frac{XG}{L} = -0,019$, tenemos un nuevo XG = -1,197 m.
- KG: no se ha variado el puntal, KG queda igual. KG = 5,345 m.
- Lpp: manteniendo la relación $\frac{Lpp}{L} = 0,79$, se obtiene Lpp = 50,05 m.
- En cuanto al desplazamiento, calculamos su valor de la siguiente manera:

$$\Delta = \text{Peso Rosca} + \text{Peso Muerto}$$

$$PR = \text{Peso aceros} + \text{Peso equipos}$$

$$\text{Peso aceros} = Lpp^{1,5} \cdot B \cdot D^{0,5} \cdot K = 50,05^{1,5} \cdot 18,8 \cdot 5,43^{0,5} \cdot 0,037 = 573,94 \text{ t}$$

$$\text{Peso equipos} = K \cdot Lpp^{1,3} \cdot B^{0,8} \cdot D^{0,3} = 0,045 \cdot 50,05^{1,3} \cdot 18,8 \cdot 5,43^{0,3} = 698,03 \text{ t}$$

Además, sabemos que cada generador pesa 9,4 t y que el peso de cada propulsor es igual a 7,5 t. Teniendo en cuenta que el buque dispone de 3 generador y 4 propulsores:

$$\text{Peso propulsores} = 7,5 \cdot 4 = 30 \text{ t}$$

$$\text{Peso generadores} = 9,4 \cdot 3 = 28,2 \text{ t}$$

Por otra parte, también tenemos que considerar el peso de la habilitación (butacas, zona del puente, etc) que se aproxima como un 10% del peso de aceros, las rampas de proa/ popa, de 29,1 t las dos y las trincas, de 2 t.

$$PR = 573,94 + 698,03 + 30 + 28,2 + 71,23 + 29,1 + 2 = 1432,5 \text{ t}$$

El peso muerto se mantiene constante aunque se modifiquen las dimensiones.

$$PM = 280,206 \text{ t}$$

Por tanto el desplazamiento ahora tiene el siguiente valor:

$$\Delta = 1432,5 + 280,206 = 1712,71 \text{ t}$$

A continuación estimaremos la potencia necesaria para ver si la potencia instalada es suficiente.

La potencia se estima mediante la fórmula de Watson:

$$PB = \frac{0,889 \cdot \text{Desplazamiento}^{\frac{2}{3}} \cdot \left(40 - \frac{Lpp}{61} + 400 \cdot (K - 1)^2 - 12 \cdot Cb\right)}{15000 - 1,81 \cdot N \cdot Lpp^{\frac{1}{2}}}$$

N son las revoluciones y K (constante de Alexander) como 1,05.

$$PB = \frac{0,889 \cdot 1712,71^{\frac{2}{3}} \cdot (40 - \frac{50,05}{61} + 400 \cdot (1,05 - 1)^2 - 12 \cdot 0,55)}{15000 - 1,81 \cdot 339 \cdot 50,05^{\frac{1}{2}}} = 890,7 \text{ kW}$$

Dado que los motores trabajarán al 85%, se requiere una potencia de 1047,88 kW.

El buque dispone de 2 motores eléctricos de 660 kW a proa y otros 2 a popa, es decir 1320 kW y como podemos comprobar se satisface la demanda necesaria, por lo que no sería necesario hacer cambios en los motores propulsores.

14.4. Comportamiento en la mar

A continuación evaluaremos el comportamiento del buque en la mar basándonos en el estudio del índice MSI en los puntos más desfavorables de la cubierta de pasaje, tripulación y puente. El análisis se hará considerando olas de proa (180° y 135°), olas de popa (0° y 45°) y olas de costado (90°).

Se definen 30 secciones equidistantes utilizando 12 términos y las inercias del pitch y yaw se consideran un 25% de la eslora total del buque, mientras que la inercia del roll se considera un 40% de la manga, tal y como aparece en Maxsurf por defecto.

Mass Distribution ×

Vessel			
Roll gyradius	7,52 m	% Boa	40
Pitch gyradius	15,75 m	% Loa	25
Yaw gyradius	15,75 m	% Loa	25
VCG	3,42 m	Mass	1731 t

La ola que se considera tiene una altura de 1,5 m y un período de ola de 7,5 s.

El resumen de resultados obtenidos para los diferentes headings, es el siguiente:

Resumen de resultados			
Heading	Cubierta	RMS	Unidades
0°	Cubierta pasaje	0	%
	Cubierta tripulación	0	%
	Cubierta puente	0	%
45°	Cubierta pasaje	3,241	%
	Cubierta tripulación	1,543	%
	Cubierta puente	0,676	%
90°	Cubierta pasaje	25,109	%
	Cubierta tripulación	16,127	%
	Cubierta puente	9,624	%
135°	Cubierta pasaje	19,511	%
	Cubierta tripulación	13,07	%
	Cubierta puente	9,23	%
180°	Cubierta pasaje	7,984	%
	Cubierta tripulación	5,484	%
	Cubierta puente	4,794	%

Se aprecia una ligera mejora en todos los headings y para todas las cubiertas, excepto para mar de costado que existe un empeoramiento en cuanto a la cubierta de pasaje.

14.5. Estabilidad en averías

En este apartado se realizarán una serie de cálculos para poder efectuar el cálculo probabilístico de la estabilidad en averías.

14.5.1. Descripción de compartimentado y dimensiones reglamentarias

En este apartado se calcularán los mamparos longitudinales y transversales necesarios y su situación, con la idea de obtener el compartimentado y la distribución de tanques. También se obtendrán las condiciones de carga s , l y p necesarias para el análisis para lo que habrá que definir las dimensiones reglamentarias.

14.5.1.1. Generalidades del compartimentado

14.5.1.1.1. Extensión longitudinal de la avería

Considerando el calado en la condición de máxima carga, tenemos la siguiente eslora (50,58 m).

1	Draft Amidships m	3,405
2	Displacement t	1732
3	Heel deg	0,0
4	Draft at FP m	3,075
5	Draft at AP m	3,736
6	Draft at LCF m	3,433
7	Trim (+ve by stern) m	0,661
8	WL Length m	50,583

Según SOLAS Capítulo 2-1, Regla 8 (estabilidad de los buques de pasaje después de avería):

$$L_{\text{avería}} = 3 + 0,03 \cdot L$$

La eslora de avería sería la mínima a la cual se debería espaciar los mamparos transversales para evitar que una única avería inundase más de un compartimento.

Para el buque proyecto se tiene:

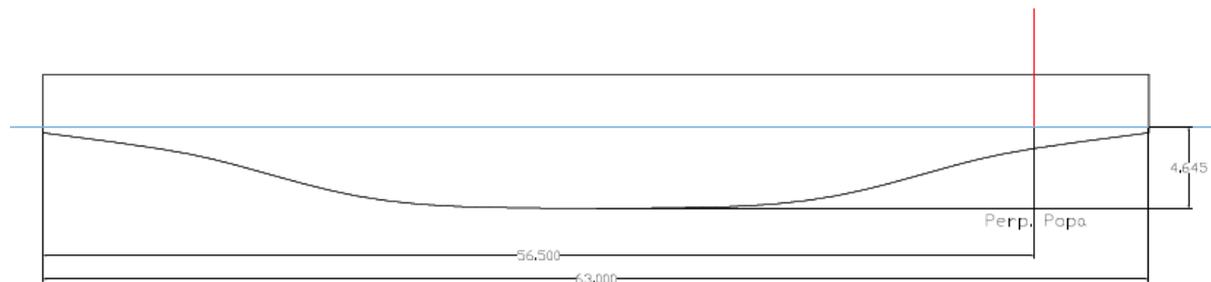
$$L_{\text{avería}} = 3 + 0,03 \times 50,58 = 4,51 \text{ m}$$

Si además atendemos a la MSC (216)82, en la Part B-2, Regulation 9:

El 85% del puntal mínimo de trazado son 4,616 metros. Si calculamos con Maxsurf la eslora en la flotación para este calado nos da un valor de 63 metros, por lo que el 96% de esta eslora son 60,48 metros.

	Draft Amidships m	4,616
1	Displacement t	2971
2	Heel deg	0,0
3	Draft at FP m	4,616
4	Draft at AP m	4,616
5	Draft at LCF m	4,616
6	Trim (+ve by stern) m	0,000
7	WL Length m	63,000

Por otra parte, tenemos que calcular la eslora desde la cara de proa de la roda hasta el eje de la mecha del timón para esta misma flotación y mirar si este valor es superior al anterior.



La eslora a tener en cuenta será la de 60,48 metros por ser mayor y por tanto, según la MSC (216)82:

$$\text{Extensión longitudinal avería} = \frac{1}{3} \cdot 60,48^{\frac{2}{3}} = 5,14 \text{ m}$$

El espaciado entre mamparos transversales será de 5,5 metros para que coincida con las cuadernas.

14.5.1.1.2. Extensión transversal de la avería

Por otra parte, debemos calcular la extensión transversal de la avería. Para ello seguimos utilizando la Regla 8 del capítulo 2-1 de SOLAS.

$$\text{Extensión transversal avería} = \frac{B}{5} = \frac{18,02}{5} = 3,6 \text{ m}$$

Por otra parte la MSC (216)82 indica:

$$\text{Extensión transversal avería} = \frac{B}{6} = \frac{18,02}{6} = 3 \text{ m}$$

Dado que SOLAS es más restrictivo será el que tendremos en cuenta.

14.5.1.2. Compartimentado longitudinal

A continuación se calculan los mamparos estancos que deberá llevar el buque. Según DNV-GL, los mamparos estancos obligatorios, son: mamparo de colisión, mamparo de pique de popa y los mamparos de cámara de máquinas.

14.5.1.2.1. Mamparo de colisión

Calculamos el mamparo de colisión atendiendo a la Sociedad de Clasificación DNV-GL (parte 3, capítulo 1, sección 2), el cual hace referencia al capítulo 2-1, regla 10 del SOLAS.

$$L_{pp} = 50,05 \text{ m}$$

$$x_c \text{ mínimo} = 0,05 \cdot L_{pp} = 0,05 \cdot 50,05 = 2,5 \text{ m}$$

$$x_c \text{ máximo} = 0,05 \cdot L_{pp} + 3 = 2,5 + 3 = 5,5 \text{ m}$$

La distancia a la que se ha decidido colocar el mamparo de colisión, tanto en proa como en popa (por ser un buque simétrico), ha sido a 3,5 m de la correspondiente perpendicular para que de esta forma coincida con una de las cuadernas.

En este caso, los mamparos de colisión se colocarán en las cuadernas -57 y 57.

14.5.1.2.2. Mamparos de cámara de máquinas

El DNV-GL obliga a llevar un mamparo estanco en cada extremo del espacio de la cámara de máquinas. Se situaría un mamparo a proa y otro a popa de la cámara de máquinas, en las cuadernas -24 y 0.

14.5.1.3. Compartimentado transversal

14.5.1.3.1. Mamparos longitudinales

Anteriormente se calculaba la extensión transversal de la avería y obteníamos un valor de 3,6 m, por tanto, será necesario que el buque lleve algún mamparo longitudinal como doble casco a cada banda del buque y a 3,6 m del costado.

14.5.1.4. Compartimentado vertical

14.5.1.4.1. Doble fondo

El doble fondo mínimo deberá ser de:

$$dDB = 32 \cdot B \cdot 10^{-3} + c \cdot \sqrt{d}$$

$$dDB = 32 \times 17,8 \cdot 10^{-3} + 0,19 \cdot \sqrt{3,42} = 0,92 \text{ metros}$$

dDB = puntal del doble fondo en metros

c = 0,19

d = calado de escantillonado, en metros.

B= manga del buque, en metros.

Por otra parte la MSC (216)82, indica en la Part B-2, Regulation 9, que la altura del doble fondo se puede calcular como:

$$h = \frac{B}{20} = \frac{17,8}{20} = 0,89 \text{ m}$$

Y que nunca debe tomarse inferior de 760 mm ni superior a 2m.

Dado que el doble fondo en este tipo de buques adquiere un valor superior, aumentaremos la altura del doble fondo hasta 1,3 metros.

14.5.1.4.2. Cubiertas estancas

La única cubierta estanca será la principal, situada a 5,43 metros de la línea base.

14.5.1.5. Listado de tanques y compartimentos

Name	Type	Intact Perm. %	Damaged Perm. %	Specific gravity	Fluid type	Boundary Surfaces	Aft (m)	Fore (m)	F. Port (m)	F. Stbd (m)	F. Top (m)	F. Bottom (m)
Local LNG	Compartment	85	85			none	3,501	8,999	-5,8	5,8	5,433	1,3
LNG	Tank	98	98	0,45			3,501	8,999	-1,5	1,5	4,3	1,3
Cámara de máquinas	Compartment	85	85			none	-12	0	-5,8	5,8	5,433	1,3
Espacio vacío PP 1	Compartment	95	95			none	-23	-17,5	-5,8	5,8	5,433	1,3
Espacio vacío PP 2	Compartment	95	95			none	-17,5	-12	-5,8	5,8	5,433	1,3
Local propulsor PP	Compartment	85	85			none	-28,5	-23	-9,4	9,4	5,433	1,3
Espacio vacío PR 1	Compartment	95	95			none	12	17,5	-5,8	5,8	5,433	1,3
Espacio vacío PR 2	Compartment	95	95			none	17,5	23	-5,8	5,8	5,433	1,3
Local propulsor PR	Compartment	85	85			none	23	28,5	-9,4	9,4	5,433	1,3
Espacio vacío BR 1	Compartment	95	95			none	-23	-17,5	-9,4	-5,8	5,433	1,3
Espacio vacío BR 2	Compartment	95	95			none	-17,5	-12	-9,4	-5,8	5,433	1,3
Espacio vacío BR 3	Compartment	95	95			none	-12	0	-9,4	-5,8	5,433	1,3
Espacio vacío BR 4	Compartment	95	95			none	0	12	-9,4	-5,8	5,433	1,3
Espacio vacío BR 5	Compartment	95	95			none	12	17,5	-9,4	-5,8	5,433	1,3
Espacio vacío BR 6	Compartment	95	95			none	17,5	23	-9,4	-5,8	5,433	1,3
Espacio vacío ER 1	Compartment	95	95			none	-23	-17,5	5,8	9,4	5,433	1,3
Espacio vacío ER 2	Compartment	95	95			none	-17,5	-12	5,8	9,4	5,433	1,3
Espacio vacío ER 3	Compartment	95	95			none	-12	0	5,8	9,4	5,433	1,3
Espacio vacío ER 4	Compartment	95	95			none	0	12	5,8	9,4	5,433	1,3
Espacio vacío ER 5	Compartment	95	95			none	12	17,5	5,8	9,4	5,433	1,3
Espacio vacío ER 6	Compartment	95	95			none	17,5	23	5,8	9,4	5,433	1,3
MDO almacén	Tank	98	98	0,84		none	-0,5	0	-1	2	3,3	1,3
Sedimentación	Tank	98	98	0,84		none	-0,5	0	-2	-1	2,2	1,3
MDO 12 h BR	Tank	98	98	0,84		none	-0,5	0	-3	-2,5	2,2	1,3
MDO 12 h ER	Tank	98	98	0,84		none	-0,5	0	-2,5	-2	2,2	1,3
Aceite	Tank	98	98	0,92	Lube Oil	none	-0,5	0	-3,1	-3	1,5	1,3
Lodos	Tank	98	98	0,92		none	-0,5	0	-9,4	-6,9	1,3	0
Aguas negras y grises BR	Tank	98	98	1		none	0	6	-9,4	-4,6	1,3	0
Aguas negras y grises ER	Tank	98	98	1		none	0	6	4,6	9,4	1,3	0
Agua dulce BR	Tank	98	98	1	Fresh Water	none	-17	-15,5	-5,8	-4	5,433	1,3
Agua dulce ER	Tank	98	98	1	Fresh Water	none	-17	-15,5	4	5,8	5,433	1,3
Espacio vacío bajo DF 1	Compartment	95	95			none	-16	-12	-9,4	9,4	1,3	0
Espacio vacío bajo DF 2	Compartment	95	95			none	-12	-6	-9,4	9,4	1,3	0
Espacio vacío bajo DF 3	Compartment	95	95			none	-6	0	-9,4	9,4	1,3	0
Espacio vacío bajo DF 4	Compartment	95	95			none	0	6	-4,2	4,2	1,3	0
Espacio vacío bajo DF 5	Compartment	95	95			none	6	12	-9,4	9,4	1,3	0
Espacio vacío bajo DF 6	Compartment	95	95			none	12	16	-9,4	9,4	1,3	0
Pique de proa	Compartment	85	85			none	28,5	31,499	-9,4	9,4	5,433	0
Pique de popa	Compartment	85	85			none	-31,499	-28,5	-9,4	9,4	5,433	0
Caseta BR	Compartment	85	85			none	-23	23	-9,4	-6,9	8,133	5,433
Caseta ER	Compartment	85	85			none	-23	23	6,9	8,9	8,133	5,433
Non Buoyant Garaje Central	Non-Buoyant Vol.	100	100			none	-23	23	-6,9	6,9	8,133	5,433
Non Buoyant Garaje Popa	Non-Buoyant Vol.	100	100			none	-31,499	-23	-9,4	9,4	8,133	5,433
Non Buoyant Garaje Proa	Non-Buoyant Vol.	100	100			none	23	31,499	-9,4	9,4	8,133	5,433
Cámara de máquinas (MDO almacén)	Linked Neg. Compart.	85	85			none	-0,5	0	-1	2	3,3	1,3
Cámara de máquinas (Sedimentación)	Linked Neg. Compart.	85	85			none	-0,5	0	-2	-1	2,2	1,3
Cámara de máquinas (MDO 12 h BR)	Linked Neg. Compart.	85	85			none	-0,5	0	-3	-2,5	2,2	1,3
Cámara de máquinas (MDO 12 h ER)	Linked Neg. Compart.	85	85			none	-0,5	0	-2,5	-2	2,2	1,3
Local LNG (LNG)	Linked Neg. Compart.	85	85				3,501	8,999	-1,5	1,5	4,3	1,3
Espacio vacío PP 2 (Agua dulce BR)	Linked Neg. Compart.	95	95			none	-17	-15,5	-5,8	-4	5,433	1,3
Espacio vacío PP 2 (Agua dulce ER)	Linked Neg. Compart.	95	95			none	-17	-15,5	4	5,8	5,433	1,3
Espacio vacío bajo DF 3 (Lodos)	Linked Neg. Compart.	95	95			none	-0,5	0	-9,4	-6,9	1,3	0
Cámara de máquinas (Aceite)	Linked Neg. Compart.	85	85			none	-0,5	0	-3,1	-3	1,5	1,3

14.5.1.6. Dimensiones reglamentarias

- Subdivisión length (L_s): 63 m.
- Mid-length: 0 m.
- Aft terminal: -31,5 m.
- Forward terminal: 31,5 m.
- Manga (B): 18,02 m.
- Depest subdivisión draught (d_s): 3,4 m.
- Light service draught (d_l): 3,12 m.
- Partial subdivisión draught (d_p): se corresponde con la siguiente fórmula:

$$dp = dl + 0,6 \cdot (ds - dl) = 3,29 m$$

	Item	Value	Units	Selected
1	<i>Probabilistic damage</i>			<input type="checkbox"/>
2	Resolution -- MSC.216(82) or MSC.19(58)	MSC.216(82)		<input type="checkbox"/>
3	Do automatic combinations of vertical damage ?	Yes		<input type="checkbox"/>
4				<input type="checkbox"/>
5	<i>Loadcases</i>			<input type="checkbox"/>
6	Deepest subdivision draft (summer loadline) Loadcase	Condición de c	draft: 3,41	<input checked="" type="checkbox"/>
7	Partial subdivision draft Loadcase	Condición de c	draft: 3,29	<input checked="" type="checkbox"/>
8	Light service draft Loadcase	Condición de c	draft: 3,11	<input checked="" type="checkbox"/>
9				<input type="checkbox"/>
10	<i>Vessel parameters</i>			<input type="checkbox"/>
11	Type -- Cargo or Passenger	Passenger		<input type="checkbox"/>
12	Lifeboat capacity N_1	24		<input type="checkbox"/>
13	Permitted max. num. of persons in excess of N_1: N_2	395		<input type="checkbox"/>
14	Subdivision length L_s	63,000	m	<input type="checkbox"/>
15	Aft terminal of L_s	-31,500	m	<input type="checkbox"/>
16	Fwd terminal of L_s	31,500	m	<input type="checkbox"/>
17	Mid L_s	0,000	m	<input type="checkbox"/>
18	Intact displacement at subdivision draft (Condición de carga s)	1731,562	t	<input type="checkbox"/>
19	max. moulded breadth at or below deepest subdivision draft: B	17,966	m	<input type="checkbox"/>
20	max. number of adjacent zones to consider	2		<input type="checkbox"/>
21	min. probability (p.r.v) of damage to consider	0,000100		<input type="checkbox"/>
22	max. trim angle to consider	40,0	deg	<input type="checkbox"/>
23	Limit longitudinal extent of damage? (L_max=60,000; J_max=0,30303)	Limit		<input type="checkbox"/>
24	Limit vertical extent of damage?	Limit		<input type="checkbox"/>
25	max. vertical extent of damage	15,919	m	<input type="checkbox"/>
26	Damaged side -- Starboard or Port	Starboard		<input type="checkbox"/>
27	Zone 1 located at bow or stern?	Stern		<input type="checkbox"/>

14.5.2. Definición y cálculo de las condiciones de carga

14.5.2.1. Condición de máxima y mínima carga

SALIDA DE PUERTO A PLENA CARGA (CONDICIÓN DE MÁXIMA CARGA)										
Item Name	Quantity	Unit Mass (tonne)	Total Mass (tonne)	Unit Volumen (m^3)	Total Volume (m^3)	Long. Arm (m)	Trans. Arm (m)	Vert. Arm (m)	Total FSM (tonne.m)	FSM type
Lightship	1	1432,5	1432,5			-1,197	0	5,345	0	User Specified
Subtotal rosca			1432,5			-1,197	0	5,345	0	
Pasaje	399	0,1	39,9			0	0	11,13	0	User Specified
Tripulación	20	0,1	2			0	0	14,03	0	User Specified
Coches	24	2,5	60			0	0	6,43	0	User Specified
Camiones	6	26	156			0	0	7,43	0	User Specified
Subtotal carga			257,9			0	0	7,821	0	
LNG	100%	17,108	17,108	38,017	38,017	6,25	0	2,8	0	User Specified
MDO almacén	100%	2,47	2,47	2,94	2,94	-0,25	0,5	2,3	0	User Specified
Sedimentación	100%	0,37	0,37	0,441	0,441	-0,25	-1,5	1,75	0	User Specified
MDO 12 h BR	100%	0,185	0,185	0,221	0,221	-0,25	-2,75	1,75	0	User Specified
MDO 12 h ER	100%	0,185	0,185	0,221	0,221	-0,25	-2,25	1,75	0	User Specified
Aceite	100%	0,009	0,009	0,01	0,01	-0,25	-3,15	1,4	0	User Specified
Lodos	0%	0,014	0	0,015	0	-0,212	-6,9	1,091	0	User Specified
Aguas negras y grises BR	0,1%	10,085	0,01	10,085	0,01	2,301	-4,65	0,25	0	IMO A.749(18)
Aguas negras y grises ER	0,1%	10,085	0,01	10,085	0,01	2,301	4,65	0,25	0	IMO A.749(18)
Agua dulce BR	100%	10,406	10,406	10,406	10,406	-16,238	-4,892	3,465	0	User Specified
Agua dulce ER	100%	10,406	10,406	10,406	10,406	-16,238	4,892	3,465	0	User Specified
Total Loadcase			1731,559	82,846	62,681	-1,124	0	5,66	0	
FS correction								0		
VCG fluid								5,66		

LLEGADA A PUERTO SIN CARGA (CONDICIÓN DE MÍNIMA CARGA)										
Item Name	Quantity	Unit Mass (tonne)	Total Mass (tonne)	Unit Volumen (m^3)	Total Volume (m^3)	Long. Arm (m)	Trans. Arm (m)	Vert. Arm (m)	Total FSM (tonne.m)	FSM type
Lightship	1	1432,5	1432,5			-1,197	0	5,345	0	User Specified
Subtotal rosca			1432,5			-1,197	0	5,345	0	
Pasaje	399	0,1	39,9			0	0	11,13	0	User Specified
Tripulación	20	0,1	2			0	0	14,03	0	User Specified
Coches	0	2,5	0			0	0	6,43	0	User Specified
Camiones	0	26	0			0	0	7,43	0	User Specified
Subtotal carga			41,9			0	0	11,268	0	
LNG	10%	17,108	1,711	38,017	3,802	6,25	0	1,579	5,497	User Specified
MDO almacén	0%	2,47	0	2,94	0	-0,25	0,5	1,3	0	User Specified
Sedimentación	0%	0,37	0	0,441	0	-0,25	-1,5	1,3	0	User Specified
MDO 12 h BR	10%	0,185	0,019	0,221	0,022	-0,25	-2,75	1,345	0,004	User Specified
MDO 12 h ER	10%	0,185	0,019	0,221	0,022	-0,25	-2,25	1,345	0,004	User Specified
Aceite	10%	0,009	0,001	0,01	0,001	-0,25	-3,15	1,31	0	User Specified
Lodos	90%	0,014	0,012	0,015	0,014	-0,25	-6,992	1,222	0,001	User Specified
Aguas negras y grises BR	90%	10,085	9,077	10,085	9,077	2,983	-5,521	0,857	4,089	IMO A.749(18)
Aguas negras y grises ER	90%	10,085	9,077	10,085	9,077	2,983	5,521	0,857	4,089	IMO A.749(18)
Agua dulce BR	10%	10,406	1,041	10,406	1,041	-16,126	-4,816	1,675	0,729	User Specified
Agua dulce ER	10%	10,406	1,041	10,406	1,041	-16,126	4,816	1,675	0,729	User Specified
Total Loadcase			1496,396	82,846	24,095	-1,125	0	5,447	15,144	
FS correction								0,01		
VCG fluid								5,457		

14.5.2.2. Condición de carga s

$$\Delta_s = 1731,559 \text{ t}$$

$$\text{trim} = 0 \text{ m}$$

$$d_s = 3,4 \text{ m}$$

Añadimos en Maxsurf esta condición de carga teniendo en cuenta:

$$X_G = 0$$

$$X_G = X_B$$

Mediante Maxsurf obtenemos el siguiente K_G :

$$K_{G\text{máx}} = 8,551 \text{ m}$$

CONDICIÓN DE CARGA S

Item Name	Quantity	Unit Mass (tonne)	Total Mass (tonne)	Unit Volumen (m ³)	Total Volume (m ³)	Long. Arm (m)	Trans. Arm (m)	Vert. Arm (m)	Total FSM (tonne.m)	FSM type
Lightship	1	1731,559	1731,559			0	0	8,551	0	User Specified
Total Loadgroup			1731,559	0	0	0	0	8,551	0	
FS correction								0		
VCG fluid								8,551		

14.5.2.3. Condición de carga I

La condición con un desplazamiento menor es la de “Llegada a puerto sin carga”:

$$\Delta_l = 1496,396 \text{ t}$$

$$\text{trim} = \text{valor real} = 0,72 \text{ m}$$

$$d_l = 3,12 \text{ m}$$

En esta condición de carga se cumple:

$$Y_G = 0$$

$$X_G = X_{Greal} = -1,125$$

El K_G máximo en intacta a tener en cuenta será para Δ_l y trimado = trimado real.

Obtenemos el siguiente valor:

$$K_{Gm\acute{a}x} = 8,682 \text{ m}$$

CONDICIÓN DE CARGA L

Item Name	Quantity	Unit Mass (tonne)	Total Mass (tonne)	Unit Volumen (m ³)	Total Volume (m ³)	Long. Arm (m)	Trans. Arm (m)	Vert. Arm (m)	Total FSM (tonne.m)	FSM type
Lightship	1	1496,396	1496,396			-1,125	0	8,682	0	User Specified
Total Loadgroup			1496,396	0	0	-1,125	0	8,682	0	
FS correction								0		
VCG fluid								8,682		

14.5.2.4. Condición de carga p

$$d_p = d_l + 0,6 \times (d_s - d_l)$$
$$d_p = 3,12 + 0,6 \times (3,4 - 3,12) = 3,29 \text{ m}$$

En esta condición:

$$\text{trim} = 0$$

Mediante Maxsurf calculamos el desplazamiento correspondiente a un calado de 3,29 m y obtenemos un valor de 1625 t.

El K_G obtenido es el siguiente:

$$K_{G\text{máx}} = 8,589 \text{ m}$$

En caso de que no se cumplieren los criterios en avería para alguna de las condiciones de carga calculadas anteriormente, habría que reducir el K_G hasta que cumpliera.

CONDICIÓN DE CARGA P

Item Name	Quantity	Unit Mass (tonne)	Total Mass (tonne)	Unit Volumen (m ³)	Total Volume (m ³)	Long. Arm (m)	Trans. Arm (m)	Vert. Arm (m)	Total FSM (tonne.m)	FSM type
Lightship	1	1625	1625			0	0	8,589	0	User Specified
Total Loadgroup			1625	0	0	0	0	8,589	0	
FS correction								0		
VCG fluid								8,589		

14.5.3. Definición de la subdivisión en zonas longitudinales, transversales y verticales del buque

14.5.3.1. Zonas transversales

Definimos la subdivisión en zonas en las que se va a dividir el buque. Hay que tener en cuenta que las zonas no tienen que coincidir necesariamente con el compartimentado.

Se definen las siguientes zonas transversales:

- Zona 1: se extiende desde la cuaderna -63 hasta la cuaderna -57.
- Zona 2: se extiende desde la cuaderna -57 hasta la -46.
- Zona 3: se extiende desde la cuaderna -46 hasta la -35.
- Zona 4: se extiende desde la cuaderna -35 hasta la -24.
- Zona 5: se extiende desde la cuaderna -24 hasta la -0.
- Zona 6: se extiende desde la cuaderna -0 hasta la 24.
- Zona 7: se extiende desde la cuaderna 24 hasta la 35.
- Zona 8: se extiende desde la cuaderna 35 hasta la 46.
- Zona 9: se extiende desde la cuaderna 46 hasta la 57.
- Zona 10: se extiende desde la cuaderna 57 hasta la 63.

Introducimos en Maxsurf las zonas descritas anteriormente:

	Name	Aft m	Fwd m	Length m	Centre m
1	Zone 1	-31,500	-28,500	3,000	-30,000
2	Zone 2	-28,500	-23,000	5,500	-25,750
3	Zone 3	-23,000	-17,500	5,500	-20,250
4	Zone 4	-17,500	-12,000	5,500	-14,750
5	Zone 5	-12,000	0,000	12,000	-6,000
6	Zone 6	0,000	12,000	12,000	6,000
7	Zone 7	12,000	17,500	5,500	14,750
8	Zone 8	17,500	23,000	5,500	20,250
9	Zone 9	23,000	28,500	5,500	25,750
10	Zone 10	28,500	31,500	3,000	30,000

14.5.3.2. Zonas longitudinales

	Zones	Shell half-beam m	Num. L.Bh	b 1 m
1	1 adjacent			
2	Zone 1, 1	0,000	0	n/a
3	Zone 2, 1	0,000	0	n/a
4	Zone 3, 1	7,920	1	2,160
5	Zone 4, 1	8,880	1	3,110
6	Zone 5, 1	8,970	1	3,210
7	Zone 6, 1	8,970	1	3,210
8	Zone 7, 1	8,880	1	3,110
9	Zone 8, 1	7,920	1	2,160
10	Zone 9, 1	0,000	0	n/a
11	Zone 10, 1	0,000	0	n/a

14.5.3.3. Zonas verticales

	Zones	Num. Dec	H 1 m
1	1 adjacent		
2	Zone 1, 1	1	5,430
3	Zone 2, 1	1	5,430
4	Zone 3, 1	1	5,430
5	Zone 4, 1	1	5,430
6	Zone 5, 1	1	5,430
7	Zone 6, 1	1	5,430
8	Zone 7, 1	1	5,430
9	Zone 8, 1	1	5,430
10	Zone 9, 1	1	5,430
11	Zone 10, 1	1	5,430

14.5.3.4. Permeabilidades

Las permeabilidades se calculan de la misma manera y son las mismas que en el buque inicial.

14.5.4. Evaluación de los criterios de estabilidad tras avería

El factor de R es 0,9 dado que se trata de un buque de pasaje:

29	MSC.216(82) – Required subdivision index			
30	Pax ships: $R = 1 - 5000 / (L_S + 2.5 N + 15225)$	0,71137		
31	Reduction factor for R	1,000		
32	Required subdivision index (appying reduction factor)	0,71137		
33	Factor of R for required subdivision index for each loadcase	0,900		
34	Required subdivision index for each loadcase	0,64023		

14.5.4.1. Salidas Maxsurf

La alternativa cumplía desde un principio con $A \geq R$, por lo que no es necesario disminuir el K_G en ninguna de las condiciones de carga definidas.

Las averías las genera directamente el Maxsurf con la opción “Extent of Damage” y se ha considerado un número máximo de 2 zonas adyantes.

RESUMEN DE RESULTADOS		
Condición de carga	A	R
s	0,924	0,64
p	0,924	0,64
l	0,924	0,64
Total	0,924	0,711

Esta alternativa presenta una mejora en la estabilidad en averías frente al buque base ya que el índice A se incrementa (A mayor de 0,9).

15. 10ª MODIFICACIÓN

A continuación se realizarán los cálculos de comportamiento en la mar y estabilidad en averías para esta alternativa, cuyas dimensiones principales son las siguientes:

DIMENSIONES PRINCIPALES	
L	63 m
Lpp	50,05 m
B	18,8 m
D	6,43 m
T	3,42 m
Cb	0,57
Cp	0,708
Cm	0,806
Desplazamiento	1602
Velocidad	13 kn
Pasajeros	399
Tripulación	20

En este caso aumentaremos la eslora 2 metros, la manga 1 metro y el puntal también 1 metro respecto al buque base.

15.1. Área requerida

Teniendo en cuenta que se incrementa la manga y la eslora del buque, ahora el área de la cubierta principal será mayor, por lo que se satisface el área requerida.

15.2. Límites en dimensiones

- $\frac{L}{B} = 3,35 \rightarrow$ Cumple: $2,85 \leq \frac{L}{B} \leq 6,77$
- $D = 6,43 \rightarrow$ Cumple: $3,65 \leq D \leq 6,45$

15.3. Cálculo de parámetros

- XG: manteniendo la relación $\frac{XG}{L} = -0,019$, tenemos un nuevo XG = -1,197 m.
- KG: manteniendo la relación $\frac{KG}{D}$ constante e igual a 0,98, obtenemos un nuevo KG = 6,3 m.
- Lpp: manteniendo la relación $\frac{Lpp}{L} = 0,79$, se obtiene Lpp = 50,05 m.
- En cuanto al desplazamiento, calculamos su valor de la siguiente manera:

$$\Delta = \text{Peso Rosca} + \text{Peso Muerto}$$

$$PR = \text{Peso aceros} + \text{Peso equipos}$$

$$\text{Peso aceros} = Lpp^{1,5} \cdot B \cdot D^{0,5} \cdot K = 50,05^{1,5} \cdot 18,8 \cdot 5,43^{0,5} \cdot 0,037 = 624,56 t$$

$$Peso\ equipos = K \cdot Lpp^{1,3} \cdot B^{0,8} \cdot D^{0,3} = 0,045 \cdot 50,05^{1,5} \cdot 18,8 \cdot 6,43^{0,5} = 759,59\ t$$

Además, sabemos que cada generador pesa 9,4 t y que el peso de cada propulsor es igual a 7,5 t. Teniendo en cuenta que el buque dispone de 3 generador y 4 propulsores:

$$Peso\ propulsores = 7,5 \cdot 4 = 30\ t$$

$$Peso\ generadores = 9,4 \cdot 3 = 28,2\ t$$

Por otra parte, también tenemos que considerar el peso de la habilitación (butacas, zona del puente, etc) que se aproxima como un 10% del peso de aceros, las rampas de proa/popa, de 29,1 t las dos y las trincas, de 2 t.

$$PR = 624,56 + 759,59 + 30 + 28,2 + 71,23 + 29,1 + 2 = 1544,68\ t$$

El peso muerto se mantiene constante aunque se modifiquen las dimensiones.

$$PM = 280,206\ t$$

Por tanto el desplazamiento ahora tiene el siguiente valor:

$$\Delta = 1544,68 + 280,206 = 1824,89\ t$$

A continuación estimaremos la potencia necesaria para ver si la potencia instalada es suficiente.

La potencia se estima mediante la fórmula de Watson:

$$PB = \frac{0,889 \cdot \text{Desplazamiento}^{\frac{2}{3}} \cdot \left(40 - \frac{Lpp}{61} + 400 \cdot (K - 1)^2 - 12 \cdot Cb\right)}{15000 - 1,81 \cdot N \cdot Lpp^{\frac{1}{2}}}$$

N son las revoluciones y K (constante de Alexander) como 1,05.

$$PB = \frac{0,889 \cdot 1824,89^{\frac{2}{3}} \cdot \left(40 - \frac{50,05}{61} + 400 \cdot (1,05 - 1)^2 - 12 \cdot 0,57\right)}{15000 - 1,81 \cdot 339 \cdot 50,05^{\frac{1}{2}}} = 881,254\ kW$$

Dado que los motores trabajarán al 85%, se requiere una potencia de 1036,77 kW.

El buque dispone de 2 motores eléctricos de 660 kW a proa y otros 2 a popa, es decir 1320 kW y como podemos comprobar se satisface la demanda necesaria, por lo que no sería necesario hacer cambios en los motores propulsores.

15.4. Comportamiento en la mar

A continuación evaluaremos el comportamiento del buque en la mar basándonos en el estudio del índice MSI para los puntos más desfavorables de las cubiertas de pasaje, tripulación y puente. El análisis se hará para olas de proa (180º y 135º), de popa (0º y 45º) y de costado (90º).

Se definen 30 secciones equidistantes utilizando 12 términos. Las inercias del pitch y del yaw se consideran como un 25% de la eslora total del buque tal y como aparece por defecto en Maxsurf:

Mass Distribution ×

Vessel			
Roll gyradius	7,52 m	% Boa	40
Pitch gyradius	15,75 m	% Loa	25
Yaw gyradius	15,75 m	% Loa	25
VCG	3,42 m	Mass	1600 t

La ola que se considera tiene una altura de 1,5 m y un período de ola de 7,5 s.

El resumen de resultados obtenidos para los diferentes headings, es el siguiente:

Resumen de resultados			
Heading	Cubierta	RMS	Unidades
0°	Cubierta pasaje	0	%
	Cubierta tripulación	0	%
	Cubierta puente	0	%
45°	Cubierta pasaje	2,634	%
	Cubierta tripulación	1,212	%
	Cubierta puente	0,506	%
90	Cubierta pasaje	23,197	%
	Cubierta tripulación	15,109	%
	Cubierta puente	9,22	%
135°	Cubierta pasaje	19,64	%
	Cubierta tripulación	13,472	%
	Cubierta puente	9,805	%
180°	Cubierta pasaje	9,66	%
	Cubierta tripulación	6,696	%
	Cubierta puente	5,847	%

Existe una mejora en todos los headings, excepto para olas de proa con un heading igual a 180°.

15.5. Estabilidad en averías

A continuación se realizará el análisis probabilístico de estabilidad en averías.

15.5.1. Descripción de compartimentado y dimensiones reglamentarias

Se calcularán los mamparos transversales y longitudinales necesarios en el buque para obtener el compartimentado de este, así como la posición de cada uno de los tanques. Además, se calcularán también las condiciones de carga necesarias para realizar el análisis y las dimensiones reglamentarias.

15.5.1.1. Generalidades del compartimentado

15.5.1.1.1. Extensión longitudinal de la avería

Considerando el calado en la condición de máxima carga, tenemos la siguiente eslora (49,32 m).

1	Draft Amidships m	3,717
2	Displacement t	1848
3	Heel deg	0,0
4	Draft at FP m	3,318
5	Draft at AP m	4,117
6	Draft at LCF m	3,750
7	Trim (+ve by stern) m	0,799
8	WL Length m	49,324

Según SOLAS Capítulo 2-1, Regla 8 (estabilidad de los buques de pasaje después de avería):

$$L_{\text{avería}} = 3 + 0,03 \cdot L$$

La eslora de avería sería la mínima a la cual se debería espaciar los mamparos transversales para evitar que una única avería inundase más de un compartimento.

Para esta alternativa se obtiene:

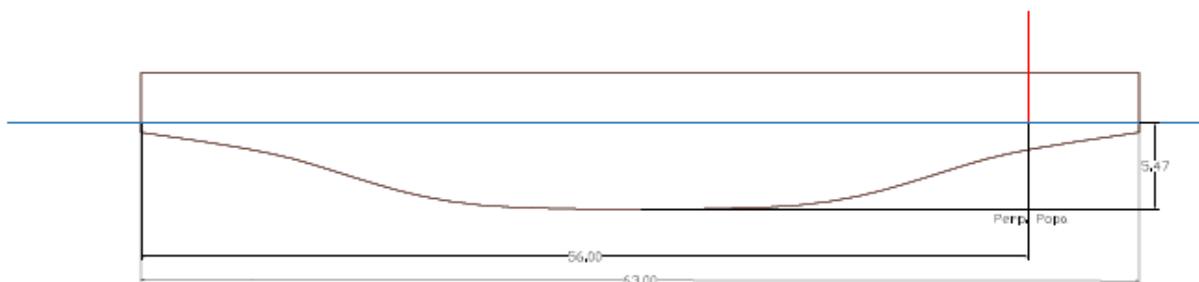
$$L_{\text{avería}} = 3 + 0,03 \times 49,32 = 4,48 \text{ m}$$

Si además atendemos a la MSC (216)82, en la Part B-2, Regulation 9:

El 85% del puntal mínimo de trazado son 5,47 metros. Si calculamos con Maxsurf la eslora en la flotación para este calado nos da un valor de 63 metros, por lo que el 96% de esta eslora son 60,48 metros.

	Draft Amidships m	5,470
1	Displacement t	3660
2	Heel deg	0,0
3	Draft at FP m	5,470
4	Draft at AP m	5,470
5	Draft at LCF m	5,470
6	Trim (+ve by stern) m	0,000
7	WL Length m	63,000

Por otra parte, tenemos que calcular la eslora desde la cara de proa de la roda hasta el eje de la mecha del timón para esta misma flotación y mirar si este valor es superior al anterior.



La eslora a tener en cuenta será la de 60,48 metros por ser mayor y por tanto, según la MSC (216)82:

$$\text{Extensión longitudinal avería} = \frac{1}{3} \cdot 60,48^{\frac{2}{3}} = 5,14 \text{ m}$$

El espaciado entre mamparos transversales será de 5,5 metros para que coincida con las cuadernas.

15.5.1.1.2. Extensión transversal de la avería

Por otra parte, debemos calcular la extensión transversal de la avería. Para ello seguimos utilizando la Regla 8 del capítulo 2-1 de SOLAS.

$$\text{Extensión transversal avería} = \frac{B}{5} = \frac{17,93}{5} = 3,59 \text{ m}$$

Por otra parte la MSC (216)82 indica:

$$\text{Extensión transversal avería} = \frac{B}{6} = \frac{17,93}{6} = 2,99 \text{ m}$$

Dado que SOLAS es más restrictivo será el que tendremos en cuenta.

15.5.1.2. Compartimentado longitudinal

El compartimentado longitudinal se define en función de los mamparos longitudinales. Los mamparos que deben ser estancos están definidos por DNV-GL y son los siguientes: mamparo de colisión, mamparo de pique de popa y los mamparos de cámara de máquinas.

15.5.1.2.1. Mamparo de colisión

Calculamos el mamparo de colisión atendiendo a la Sociedad de Clasificación DNV-GL (parte 3, capítulo 1, sección 2), el cual hace referencia al capítulo 2-1, regla 10 del SOLAS.

$$L_{pp} = 50,05 \text{ m}$$

$$x_c \text{ mínimo} = 0,05 \cdot L_{pp} = 0,05 \cdot 50,05 = 2,5 \text{ m}$$

$$x_c \text{ máximo} = 0,05 \cdot L_{pp} + 3 = 2,5 + 3 = 5,5 \text{ m}$$

La distancia a la que se ha decidido colocar el mamparo de colisión, tanto en proa como en popa (por ser un buque simétrico), ha sido a 3,5 m de la correspondiente perpendicular para que de esta forma coincida con una de las cuadernas.

En este caso, los mamparos de colisión se colocarán en las cuadernas -57 y 57.

15.5.1.2.2. Mamparos de cámara de máquinas

El DNV-GL obliga a llevar un mamparo estanco en cada extremo del espacio de la cámara de máquinas. Se situaría un mamparo a proa y otro a popa de la cámara de máquinas, en las cuadernas -24 y 0.

15.5.1.3. Compartimentado transversal

Se les llama a aquellos espacios del buque que se encuentran vacíos. Sirven para aumentar la reserva de flotabilidad.

15.5.1.3.1. Mamparos longitudinales

Anteriormente se calculaba la extensión transversal de la avería y obteníamos un valor de 3,6 m, por tanto, será necesario que el buque lleve algún mamparo longitudinal como doble casco a cada banda del buque y a 3,6 m del costado.

15.5.1.4. Compartimentado vertical

15.5.1.4.1. Doble fondo

El doble fondo mínimo deberá ser de:

$$dDB = 32 \cdot B \cdot 10^{-3} + c \cdot \sqrt{d}$$
$$dDB = 32 \times 18,8 \cdot 10^{-3} + 0,19 \cdot \sqrt{3,42} = 0,95 \text{ metros}$$

dDB = puntal del doble fondo en metros

c = 0,19

d = calado de escantillonado, en metros.

B= manga del buque, en metros.

Por otra parte la MSC (216)82, indica en la Part B-2, Regulation 9, que la altura del doble fondo se puede calcular como:

$$h = \frac{B}{20} = \frac{18,8}{20} = 0,94 \text{ m}$$

Y que nunca debe tomarse inferior de 760 mm ni superior a 2m.

Dado que el doble fondo en este tipo de buques adquiere un valor superior, aumentaremos la altura del doble fondo hasta 1,3 metros.

15.5.1.4.2. Cubiertas estancas

La única cubierta estanca será la principal, situada a 6,43 metros de la línea base.

15.5.1.5. Listado de tanques y compartimentos

Name	Type	Intact Perm. %	Damaged Perm. %	Specific gravit	Fluid type	Boundary Surfaces	Aft (m)	Fore (m)	F. Port (m)	F. Stbd (m)	F. Top (m)	F. Bottom (m)
Local LNG	Compartment	85	85			none	3,501	8,999	-5,8	5,8	6,433	1,3
LNG	Tank	98	98	0,45		3639	3,501	8,999	-1,5	1,5	4,3	1,3
Cámara de máquinas	Compartment	85	85			none	-12	0	-5,8	5,8	6,433	1,3
Espacio vacío PP 1	Compartment	95	95			none	-23	-17,5	-5,8	5,8	6,433	1,3
Espacio vacío PP 2	Compartment	95	95			none	-17,5	-12	-5,8	5,8	6,433	1,3
Local propulsor PP	Compartment	85	85			none	-28,5	-23	-9,4	9,4	6,433	1,3
Espacio vacío PR 1	Compartment	95	95			none	12	17,5	-5,8	5,8	6,433	1,3
Espacio vacío PR 2	Compartment	95	95			none	17,5	23	-5,8	5,8	6,433	1,3
Local propulsor PR	Compartment	85	85			none	23	28,5	-9,4	9,4	6,433	1,3
Espacio vacío BR 1	Compartment	95	95			none	-23	-17,5	-9,4	-5,8	6,433	1,3
Espacio vacío BR 2	Compartment	95	95			none	-17,5	-12	-9,4	-5,8	6,433	1,3
Espacio vacío BR 3	Compartment	95	95			none	-12	0	-9,4	-5,8	6,433	1,3
Espacio vacío BR 4	Compartment	95	95			none	0	12	-9,4	-5,8	6,433	1,3
Espacio vacío BR 5	Compartment	95	95			none	12	17,5	-9,4	-5,8	6,433	1,3
Espacio vacío BR 6	Compartment	95	95			none	17,5	23	-9,4	-5,8	6,433	1,3
Espacio vacío ER 1	Compartment	95	95			none	-23	-17,5	5,8	9,4	6,433	1,3
Espacio vacío ER 2	Compartment	95	95			none	-17,5	-12	5,8	9,4	6,433	1,3
Espacio vacío ER 3	Compartment	95	95			none	-12	0	5,8	9,4	6,433	1,3
Espacio vacío ER 4	Compartment	95	95			none	0	12	5,8	9,4	6,433	1,3
Espacio vacío ER 5	Compartment	95	95			none	12	17,5	5,8	9,4	6,433	1,3
Espacio vacío ER 6	Compartment	95	95			none	17,5	23	5,8	9,4	6,433	1,3
MDO almacén	Tank	98	98	0,84		none	-0,5	0	-1	2	3,3	1,3
Sedimentación	Tank	98	98	0,84		none	-0,5	0	-2	-1	2,2	1,3
MDO 12 h BR	Tank	98	98	0,84		none	-0,5	0	-3	-2,5	2,2	1,3
MDO 12 h ER	Tank	98	98	0,84		none	-0,5	0	-2,5	-2	2,2	1,3
Aceite	Tank	98	98	0,92	Lube Oil	none	-0,5	0	-3,2	-3,1	1,5	1,3
Lodos	Tank	98	98	0,92		none	-0,5	0	-9,4	-6,9	1,3	0
Aguas negras y grises BR	Tank	98	98	1		none	0	6	-9,4	-4,6	1,3	0
Aguas negras y grises ER	Tank	98	98	1		none	0	6	4,6	9,4	1,3	0
Agua dulce BR	Tank	98	98	1	Fresh Water	none	-17	-15,5	-5,8	-4	6,433	1,3
Agua dulce ER	Tank	98	98	1	Fresh Water	none	-17	-15,5	4	5,8	6,433	1,3
Espacio vacío bajo DF 1	Compartment	95	95			none	-16	-12	-9,4	9,4	1,3	0
Espacio vacío bajo DF 2	Compartment	95	95			none	-12	-6	-9,4	9,4	1,3	0
Espacio vacío bajo DF 3	Compartment	95	95			none	-6	0	-9,4	9,4	1,3	0
Espacio vacío bajo DF 4	Compartment	95	95			none	0	6	-4,2	4,2	1,3	0
Espacio vacío bajo DF 5	Compartment	95	95			none	6	12	-9,4	9,4	1,3	0
Espacio vacío bajo DF 6	Compartment	95	95			none	12	16	-9,4	9,4	1,3	0
Pique de proa	Compartment	85	85			none	28,5	31,499	-9,4	9,4	6,433	0
Pique de popa	Compartment	85	85			none	-31,499	-28,5	-9,4	9,4	6,433	0
Caseta BR	Compartment	85	85			none	-23	23	-9,4	-6,9	9,133	6,433
Caseta ER	Compartment	85	85			none	-23	23	6,9	8,9	9,133	6,433
Non Buoyant Garaje Central	Non-Buoyant Vol.	100	100			none	-23	23	-6,9	6,9	9,133	6,433
Non Buoyant Garaje Popa	Non-Buoyant Vol.	100	100			none	-31,499	-23	-9,4	9,4	9,133	6,433
Non Buoyant Garaje Proa	Non-Buoyant Vol.	100	100			none	23	31,499	-9,4	9,4	9,133	6,433
Cámara de máquinas (MDO almacén)	Linked Neg. Compart.	85	85			none	-0,5	0	-1	2	3,3	1,3
Cámara de máquinas (Sedimentación)	Linked Neg. Compart.	85	85			none	-0,5	0	-2	-1	2,2	1,3
Cámara de máquinas (MDO 12 h BR)	Linked Neg. Compart.	85	85			none	-0,5	0	-3	-2,5	2,2	1,3
Cámara de máquinas (MDO 12 h ER)	Linked Neg. Compart.	85	85			none	-0,5	0	-2,5	-2	2,2	1,3
Cámara de máquinas (Aceite)	Linked Neg. Compart.	85	85			none	-0,5	0	-3,2	-3,1	1,5	1,3
Espacio vacío PP 2 (Agua dulce BR)	Linked Neg. Compart.	95	95			none	-17	-15,5	-5,8	-4	6,433	1,3
Espacio vacío PP 2 (Agua dulce ER)	Linked Neg. Compart.	95	95			none	-17	-15,5	4	5,8	6,433	1,3
Espacio vacío bajo DF 3 (Lodos)	Linked Neg. Compart.	95	95			none	-0,5	0	-9,4	-6,9	1,3	0
Local LNG (LNG)	Linked Neg. Compart.	85	85			3639	3,501	8,999	-1,5	1,5	4,3	1,3

15.5.1.6. Dimensiones reglamentarias

- Subdivisión length (L_s): 63 m.
- Mid-length: 0 m.
- Aft terminal: -31,5 m.
- Forward terminal: 31,5 m.
- Manga (B): 17,93 m.
- Depest subdivisión draught (d_s): 3,72 m.
- Light service draught (d_l): 3,41 m.
- Partial subdivisión draught (d_p): se corresponde con la siguiente fórmula:

$$d_p = d_l + 0,6 \cdot (d_s - d_l) = 3,6 \text{ m}$$

	Item	Value	Units	Selected
1	<i>Probabilistic damage</i>			<input type="checkbox"/>
2	Resolution -- MSC.216(82) or MSC.19(58)	MSC.216(82)		<input type="checkbox"/>
3	Do automatic combinations of vertical damage ?	Yes		<input type="checkbox"/>
4				<input type="checkbox"/>
5	<i>Loadcases</i>			<input type="checkbox"/>
6	Deepest subdivision draft (summer loadline) Loadcase	Condición de c	draft: 3,73	<input checked="" type="checkbox"/>
7	Partial subdivision draft Loadcase	Condición de c	draft: 3,6	<input checked="" type="checkbox"/>
8	Light service draft Loadcase	Condición de c	draft: 3,41	<input checked="" type="checkbox"/>
9				<input type="checkbox"/>
10	<i>Vessel parameters</i>			<input type="checkbox"/>
11	Type -- Cargo or Passenger	Passenger		<input type="checkbox"/>
12	Lifeboat capacity N_1	24		<input type="checkbox"/>
13	Permitted max. num. of persons in excess of N_1: N_2	395		<input type="checkbox"/>
14	Subdivision length L_s	63,000	m	<input type="checkbox"/>
15	Aft terminal of L_s	-31,500	m	<input type="checkbox"/>
16	Fwd terminal of L_s	31,500	m	<input type="checkbox"/>
17	Mid L_s	0,000	m	<input type="checkbox"/>
18	Intact displacement at subdivision draft (Condición de carga p)	1740,936	t	<input type="checkbox"/>
19	max. moulded breadth at or below deepest subdivision draft: B	17,848	m	<input type="checkbox"/>
20	max. number of adjacent zones to consider	2		<input type="checkbox"/>
21	min. probability (p.r.v) of damage to consider	0,000100		<input type="checkbox"/>
22	max. trim angle to consider	40,0	deg	<input type="checkbox"/>
23	Limit longitudinal extent of damage? (L_max=60,000; J_max=0,30303)	Limit		<input type="checkbox"/>
24	Limit vertical extent of damage?	Limit		<input type="checkbox"/>
25	max. vertical extent of damage	16,233	m	<input type="checkbox"/>
26	Damaged side -- Starboard or Port	Starboard		<input type="checkbox"/>
27	Zone 1 located at bow or stern?	Stern		<input type="checkbox"/>

15.5.2. Definición y cálculo de las condiciones de carga

15.5.2.1. Condición de máxima y mínima carga

SALIDA DE PUERTO A PLENA CARGA (CONDICIÓN DE MÁXIMA CARGA)										
Item Name	Quantity	Unit Mass (tonne)	Total Mass (tonne)	Unit Volumen (m^3)	Total Volume (m^3)	Long. Arm (m)	Trans. Arm (m)	Vert. Arm (m)	Total FSM (tonne.m)	FSM type
Lightship	1	1544,68	1544,68			-1,197	0	6,3	0	User Specified
Subtotal rosca			1544,68			-1,197	0	6,3	0	
Pasaje	399	0,1	39,9			0	0	12,13	0	User Specified
Tripulación	20	0,1	2			0	0	15,03	0	User Specified
Coches	24	2,5	60			0	0	7,43	0	User Specified
Camiones	6	26	156			0	0	8,43	0	User Specified
Subtotal carga			257,9			0	0	8,821	0	
LNG	100%	17,015	17,015	37,812	37,812	6,25	0	2,8	0	User Specified
MDO almacén	100%	2,47	2,47	2,94	2,94	-0,25	0,5	2,3	0	User Specified
Sedimentación	100%	0,37	0,37	0,441	0,441	-0,25	-1,5	1,75	0	User Specified
MDO 12 h BR	100%	0,185	0,185	0,22	0,22	-0,25	-2,75	1,75	0	User Specified
MDO 12 h ER	100%	0,185	0,185	0,221	0,221	-0,25	-2,25	1,75	0	User Specified
Aceite	100%	0,009	0,009	0,01	0,01	-0,25	-3,15	1,4	0	User Specified
Lodos	0%	0,001	0	0,001	0	-0,206	-6,9	1,233	0	User Specified
Aguas negras y grises BR	0,1%	8,926	0,009	8,926	0,009	2,248	-4,641	0,28	0	IMO A.749(18)
Aguas negras y grises ER	0,1%	8,926	0,009	8,926	0,009	2,248	4,641	0,28	0	IMO A.749(18)
Agua dulce BR	100%	12,542	12,542	12,542	12,542	-16,238	-4,892	4,061	0	User Specified
Agua dulce ER	100%	12,542	12,542	12,542	12,542	-16,238	4,892	4,061	0	User Specified
Total Loadcase			1847,916	84,581	66,745	-1,164	0	6,582	0	
FS correction								0		
VCG fluid								6,582		

LLEGADA A PUERTO SIN CARGA (CONDICIÓN DE MÍNIMA CARGA)										
Item Name	Quantity	Unit Mass (tonne)	Total Mass (tonne)	Unit Volumen (m^3)	Total Volume (m^3)	Long. Arm (m)	Trans. Arm (m)	Vert. Arm (m)	Total FSM (tonne.m)	FSM type
Lightship	1	1544,68	1544,68			-1,197	0	6,3	0	User Specified
Subtotal rosca			1544,68			-1,197	0	6,3	0	
Pasaje	399	0,1	39,9			0	0	12,13	0	User Specified
Tripulación	20	0,1	2			0	0	15,03	0	User Specified
Coches	0	2,5	0			0	0	7,43	0	User Specified
Camiones	0	26	0			0	0	8,43	0	User Specified
Subtotal carga			41,9			0	0	12,268	0	
LNG	10%	17,015	1,702	37,812	3,781	6,25	0	1,581	5,429	User Specified
MDO almacén	0%	2,47	0	2,94	0	-0,25	0,5	1,3	0	User Specified
Sedimentación	0%	0,37	0	0,441	0	-0,25	-1,5	1,3	0	User Specified
MDO 12 h BR	10%	0,185	0,019	0,22	0,022	-0,25	-2,75	1,345	0,004	User Specified
MDO 12 h ER	10%	0,185	0,019	0,221	0,022	-0,25	-2,25	1,345	0,004	User Specified
Aceite	10%	0,009	0,001	0,01	0,001	-0,25	-3,15	1,31	0	User Specified
Lodos	90%	0,001	0,001	0,001	0,001	-0,25	-6,928	1,275	0	User Specified
Aguas negras y grises BR	90%	8,926	8,034	8,926	8,034	2,979	-5,444	0,873	3,141	IMO A.749(18)
Aguas negras y grises ER	90%	8,926	8,034	8,926	8,034	2,979	5,444	0,873	3,141	IMO A.749(18)
Agua dulce BR	10%	12,542	1,254	12,542	1,254	-16,13	-4,818	1,906	0,729	User Specified
Agua dulce ER	10%	12,542	1,254	12,542	1,254	-16,13	4,818	1,906	0,729	User Specified
Total Loadcase			1606,896	84,581	22,403	-1,139	0	6,389	13,178	
FS correction								0,008		
VCG fluid								6,398		

15.5.2.2. Condición de carga s

$$\Delta_s = 1847,916 \text{ t}$$

$$\text{trim} = 0 \text{ m}$$

$$d_s = 3,72 \text{ m}$$

Añadimos en Maxsurf esta condición de carga teniendo en cuenta:

$$X_G = 0$$

$$X_G = X_B$$

Mediante Maxsurf obtenemos el siguiente K_G :

$$K_{G\text{máx}} = 9,581 \text{ m}$$

CONDICIÓN DE CARGA S

Item Name	Quantity	Unit Mass (tonne)	Total Mass (tonne)	Unit Volumen (m ³)	Total Volume (m ³)	Long. Arm (m)	Trans. Arm (m)	Vert. Arm (m)	Total FSM (tonne.m)	FSM type
Lightship	1	1847,916	1847,916			0	0	9,581	0	User Specified
Total Loadgroup			1847,916	0	0	0	0	9,581	0	
FS correction								0		
VCG fluid								9,581		

15.5.2.3. Condición de carga I

La condición con un desplazamiento menor es la de “Llegada a puerto sin carga”:

$$\Delta_l = 1606,896 \text{ t}$$

$$\text{trim} = \text{valor real} = 0,833 \text{ m}$$

$$d_l = 3,41 \text{ m}$$

En esta condición de carga se cumple:

$$Y_G = 0$$

$$X_G = X_{Greal} = -1,14$$

El K_G máximo en intacta a tener en cuenta será para Δ_l y trimado = trimado real.

Obtenemos el siguiente valor:

$$K_{Gm\acute{a}x} = 9,426 \text{ m}$$

CONDICIÓN DE CARGA L

Item Name	Quantity	Unit Mass (tonne)	Total Mass (tonne)	Unit Volumen (m ³)	Total Volume (m ³)	Long. Arm (m)	Trans. Arm (m)	Vert. Arm (m)	Total FSM (tonne.m)	FSM type
Lightship	1	1606,896	1606,896			-1,14	0	9,426	0	User Specified
Total Loadgroup			1606,896	0	0	-1,14	0	9,426	0	
FS correction								0		
VCG fluid								9,426		

15.5.2.4. Condición de carga p

$$d_p = d_l + 0,6 \times (d_s - d_l)$$
$$d_p = 3,41 + 0,6 \times (3,72 - 3,41) = 3,6 \text{ m}$$

En esta condición:

$$\text{trim} = 0$$

Mediante Maxsurf calculamos el desplazamiento correspondiente a un calado de 3,6 m y obtenemos un valor de 1741 t.

El K_G obtenido es el siguiente:

$$K_{G\text{máx}} = 9,565 \text{ m}$$

En caso de que no se cumpliesen los criterios en avería para alguna de las condiciones de carga calculadas anteriormente, habría que reducir el K_G hasta que cumpliera.

CONDICIÓN DE CARGA P

Item Name	Quantity	Unit Mass (tonne)	Total Mass (tonne)	Unit Volumen (m ³)	Total Volume (m ³)	Long. Arm (m)	Trans. Arm (m)	Vert. Arm (m)	Total FSM (tonne.m)	FSM type
Lightship	1	1741	1741			0	0	9,565	0	User Specified
Total Loadgroup			1741	0	0	0	0	9,565	0	
FS correction								0		
VCG fluid								9,565		

15.5.3. Definición de la subdivisión en zonas longitudinales, transversales y verticales del buque

15.5.3.1. Zonas transversales

Se definen las siguientes zonas transversales:

- Zona 1: se extiende desde la cuaderna -61 hasta la cuaderna -57.
- Zona 2: se extiende desde la cuaderna -57 hasta la -46.
- Zona 3: se extiende desde la cuaderna -46 hasta la -35.
- Zona 4: se extiende desde la cuaderna -35 hasta la -24.
- Zona 5: se extiende desde la cuaderna -24 hasta la -0.
- Zona 6: se extiende desde la cuaderna 0 hasta la 24.
- Zona 7: se extiende desde la cuaderna 24 hasta la 35.
- Zona 8: se extiende desde la cuaderna 35 hasta la 46.
- Zona 9: se extiende desde la cuaderna 46 hasta la 57.
- Zona 10: se extiende desde la cuaderna 57 hasta la 61.

Introducimos en Maxsurf las zonas descritas anteriormente:

	Name	Aft m	Fwd m	Length m	Centre m
1	Zone 1	-31,500	-28,500	3,000	-30,000
2	Zone 2	-28,500	-23,000	5,500	-25,750
3	Zone 3	-23,000	-17,500	5,500	-20,250
4	Zone 4	-17,500	-12,000	5,500	-14,750
5	Zone 5	-12,000	0,000	12,000	-6,000
6	Zone 6	0,000	12,000	12,000	6,000
7	Zone 7	12,000	17,500	5,500	14,750
8	Zone 8	17,500	23,000	5,500	20,250
9	Zone 9	23,000	28,500	5,500	25,750
10	Zone 10	28,500	31,500	3,000	30,000

15.5.3.2. Zonas longitudinales

	Zones	Shell half-beam m	Num. L.Bh	b 1 m
1	1 adjacent			
2	Zone 1, 1	0,000	0	n/a
3	Zone 2, 1	0,000	0	n/a
4	Zone 3, 1	7,620	1	1,850
5	Zone 4, 1	8,810	1	3,010
6	Zone 5, 1	8,910	1	3,110
7	Zone 6, 1	8,910	1	3,110
8	Zone 7, 1	8,810	1	3,010
9	Zone 8, 1	7,620	1	1,850
10	Zone 9, 1	0,000	0	n/a
11	Zone 10, 1	0,000	0	n/a

15.5.3.3. Zonas verticales

Únicamente se tiene en cuenta la cubierta principal ya que es la única estanca.

	Zones	Num. Dec	H 1 m
1	1 adjacent		
2	Zone 1, 1	1	6,430
3	Zone 2, 1	1	6,430
4	Zone 3, 1	1	6,430
5	Zone 4, 1	1	6,430
6	Zone 5, 1	1	6,430
7	Zone 6, 1	1	6,430
8	Zone 7, 1	1	6,430
9	Zone 8, 1	1	6,430
10	Zone 9, 1	1	6,430
11	Zone 10, 1	1	6,430

15.5.3.4. Permeabilidades

Las permeabilidades se calculan de la misma manera y son las mismas que en el buque inicial.

15.5.4. Evaluación de los criterios de estabilidad tras avería

El factor de R es 0,9 dado que se trata de un buque de pasaje como se comentaba anteriormente y los resultados en este apartado son los siguientes:

29	MSC.216(82) – Required subdivision index			<input type="checkbox"/>
30	Pax ships: $R = 1 - 5000 / (L_S + 2.5 N + 15225)$	0,71137		<input type="checkbox"/>
31	Reduction factor for R	1,000		<input type="checkbox"/>
32	Required subdivision index (applying reduction factor)	0,71137		<input type="checkbox"/>
33	Factor of R for required subdivision index for each loadcase	0,900		<input type="checkbox"/>
34	Required subdivision index for each loadcase	0,64023		<input type="checkbox"/>

15.5.4.1. Salidas Maxsurf

Se puede observar que la primera alternativa cumple con $A \geq R$ en cada una de las condiciones de carga definidas y por tanto, no es necesario bajar el K_G en ninguna de las condiciones s, l y p.

Las averías las genera directamente el Maxsurf con la pestaña “Extent of Damage” y se ha considerado un número máximo de 2 zonas adyantes.

RESUMEN DE RESULTADOS		
Condición de carga	A	R
s	0,897	0,64
p	0,9	0,64
l	0,9	0,64
Total	0,9	0,711

Se aprecia una mejora respecto al buque base ya que el índice A obtenido se ha incrementado.

16. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se estudia como influyen las relaciones L/B , L/D y B/D en el comportamiento en la mar y en la estabilidad en averías del buque.

Además el índice A se comparará también sólo con la manga y el puntal ya que las gráficas obtenidas para el estudio de este índice no muestran un valor de regresión próximo a la unidad, por lo que podría ser que dependiese más de estas dos dimensiones que de las relaciones dimensionales.

La idea es comparar las alternativas en las que sólo varíe una relación, mientras que el resto de relaciones permanecen constante. Pero esto no es del todo posible ya que si por ejemplo varía B , dos relaciones (L/B y B/D) se verán afectadas y esto podría dar lugar a irregularidades en las gráficas, lo cual hay que tener en cuenta. Es por este motivo que se utilizarán rectas de regresión para observar mejor cómo varía el comportamiento en la mar y la estabilidad en averías en función de las dimensiones principales.

16.1. Comportamiento en la mar

16.1.1. Comportamiento en la mar con olas de popa

16.1.1.1. En función de L/B

En cuanto a la relación L/B , si comparamos aquellas alternativas en las que el puntal permanece constante y que el resto de relaciones varían lo menos posible, obtenemos los siguientes resultados en función del tipo de mar.

Para un L/B mayor, el comportamiento en la mar mejora en todas las cubiertas para olas de popa con un ángulo de 45° , mientras que para un heading igual a 0° no hay variación ya que MSI es igual a 0, tanto para el buque base como para las alternativas.

16.1.1.2. En función de L/D

Cuando el heading es igual a 0° , el MSI es prácticamente nulo o 0 en la mayoría de las alternativas y los cambios en las dimensiones nunca serán un problema en cuanto al comportamiento en la mar para olas totalmente de popa. Por esta razón, evaluaremos el comportamiento con olas de popa de 45° ya que los valores son más importantes.

Como se puede observar en los gráficos, en general y para todas las cubiertas un aumento de la relación L/D , aumenta el índice MSI y con ello empeora el comportamiento en la mar.

16.1.1.3. En función de B/D

Como decíamos anteriormente, no tiene mucho sentido comparar cómo influyen las dimensiones cuando el heading es igual a 0° .

Para olas de popa con un heading de 45° , se observa que un aumento de la relación B/D da lugar a un peor comportamiento en la mar en todas las cubiertas consideradas.

16.1.2. Comportamiento en la mar con olas de costado (90º)

16.1.2.1. En función de L/B

Con un heading de 90º, una relación de L/B alta empeora el índice MSI en todas las cubiertas. Sin embargo, hay que tener en cuenta que en los gráficos existen irregularidades que son debidos a las variaciones en las otras relaciones.

16.1.2.2. En función de L/D

Al igual que cuando las olas son de popa, un incremento de esta relación empeora el comportamiento en la mar del buque.

16.1.2.3. En función de B/D

De nuevo, un aumento de B/D da lugar a un índice MSI más alto, por lo que el comportamiento en la mar es menos favorable.

16.1.3. Comportamiento en la mar con olas de proa

16.1.3.1. En función de L/B

Cuando la relación L/B aumenta, el comportamiento en la mar empeora tanto cuando el heading es de 135º como cuando las olas son totalmente de proa (180º).

16.1.3.2. En función de L/D

Un incremento de L/D hace que mejore el comportamiento en la mar tanto para un heading de 135º como de 180º.

16.1.3.3. En función de B/D

Un aumento de la relación B/D reduce el índice MSI cuando el mar es de proa (135º o 180º).

16.2. Estabilidad en averías

16.2.1. En función de L/B

Un incremento de esta relación disminuye la estabilidad en averías ya que aunque R se mantiene constante, el índice A disminuye.

16.2.2. En función de L/D

Una disminución del puntal con un incremento de la eslora empeora la estabilidad en averías, haciendo más pequeño el índice A obtenido y aumentando el índice R.

16.2.3. En función de B/D

En general, un aumento de B/D disminuye el índice A e incrementa el índice R, empeorando así la estabilidad en averías del buque.

16.2.4. En función de B

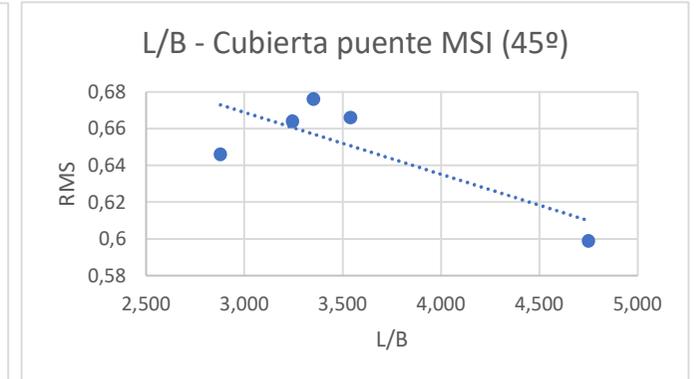
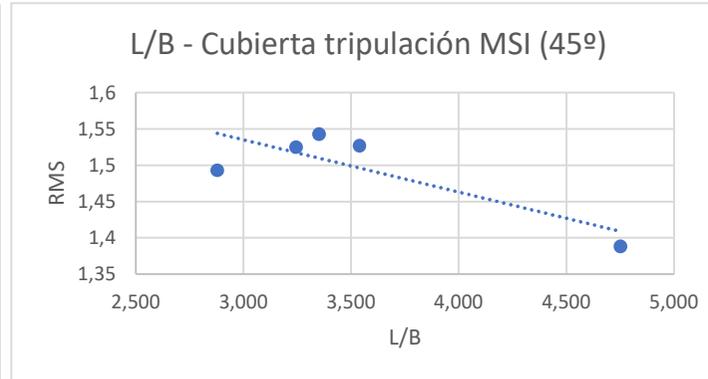
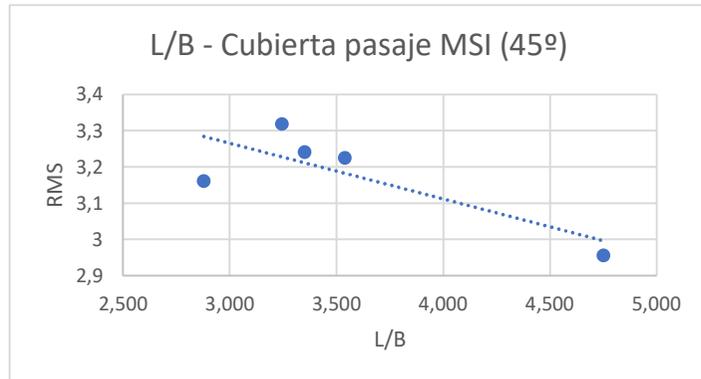
Tal y como se muestra en la gráfica, un incremento de la manga mejora la estabilidad en averías ya que se incrementa el valor del índice A respecto al buque inicial.

16.2.5. En función de D

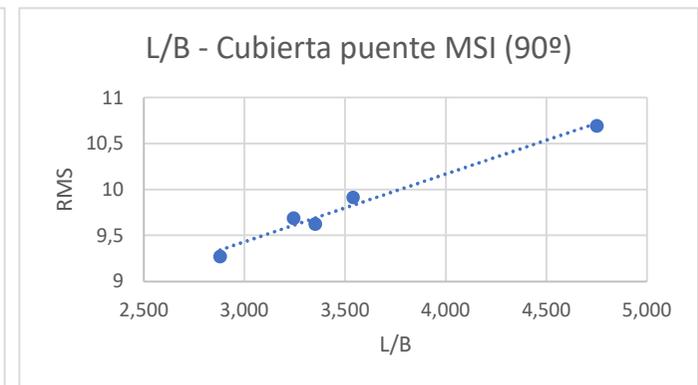
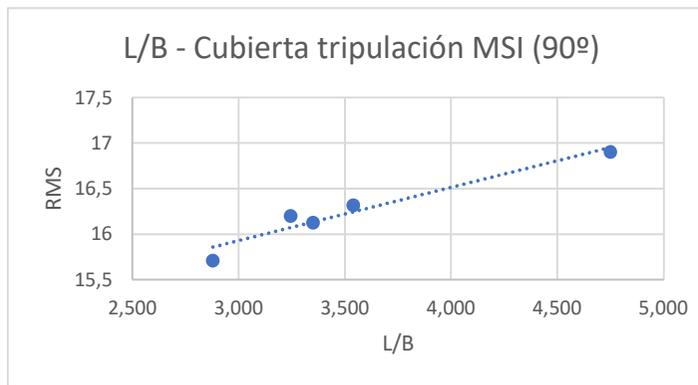
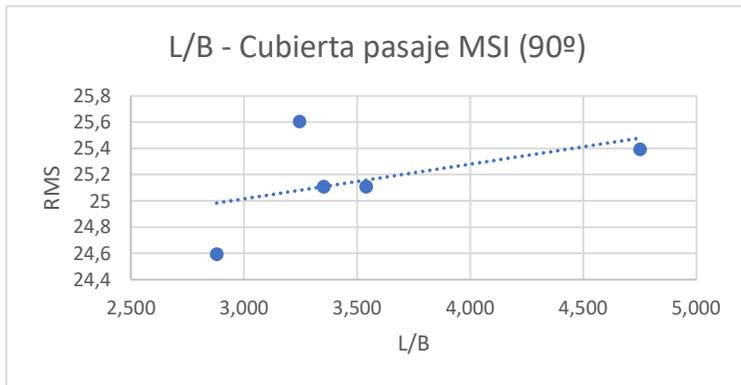
En cuanto al puntal, el incremento de esta dimensión principal tiende a incrementar el índice A obtenido, lo que se traduce en una mejora en cuanto a la estabilidad en averías lo que hace que el buque sea más seguro.

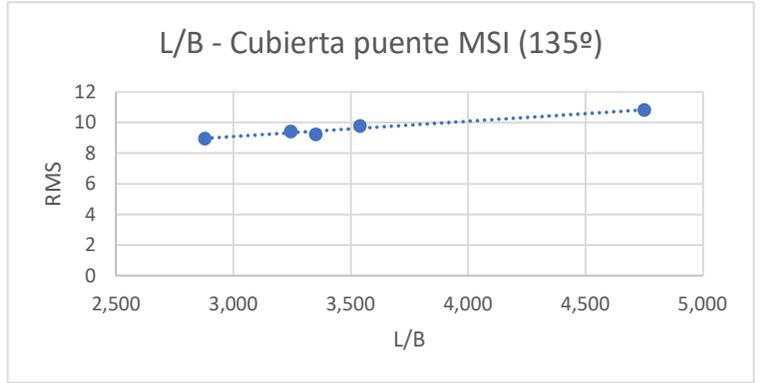
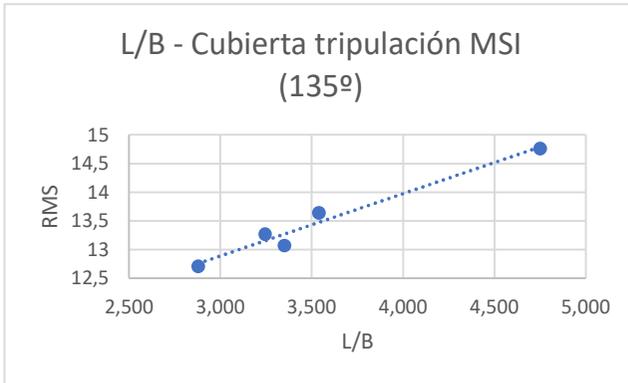
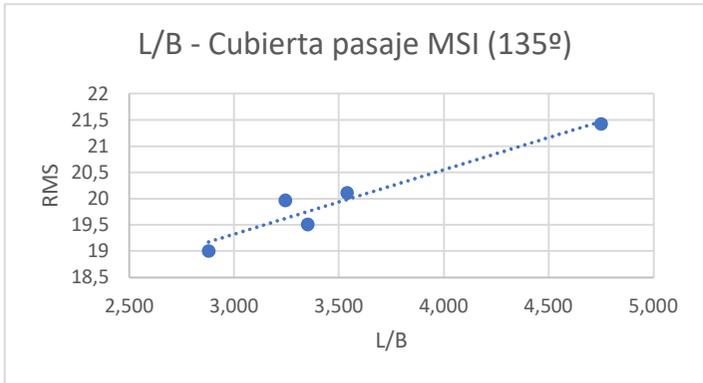
16.3. Rectas de regresión

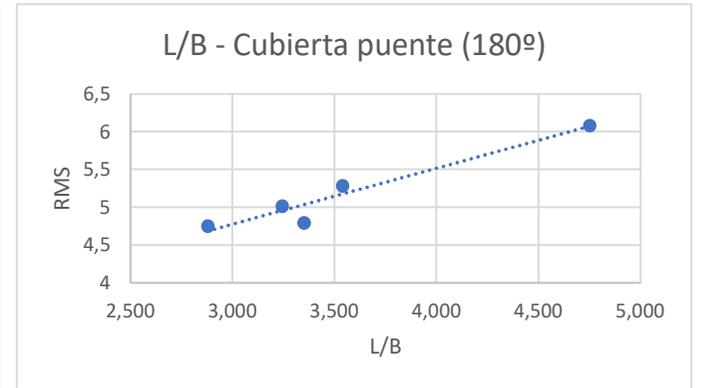
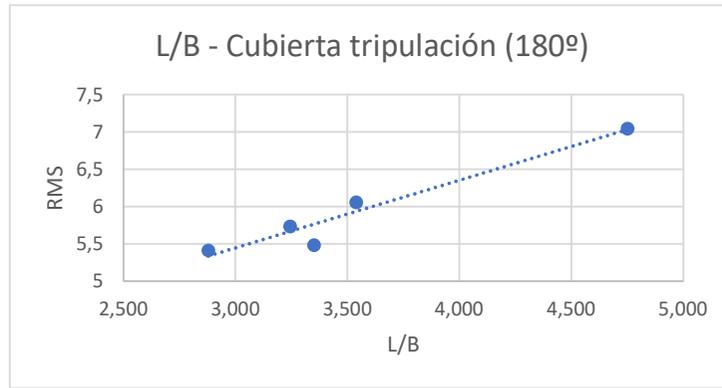
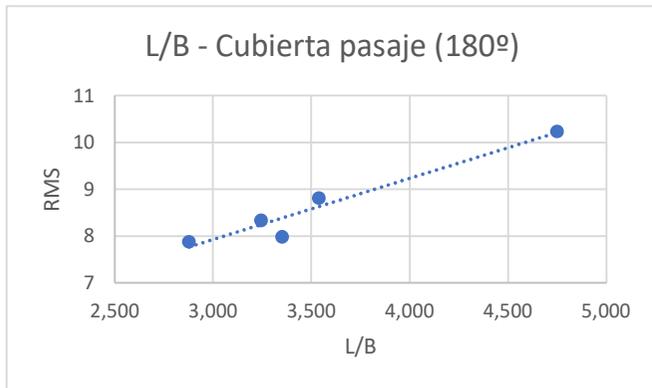
	L/B	B/T	L/D	B/D	MSI (0°)			MSI (45°)			MSI (90°)		
					Cub. Pasaje	Cub. Tripulación	Cub. Punte	Cub. Pasaje	Cub. Tripulación	Cub. Punte	Cub. Pasaje	Cub. Tripulación	Cub. Punte
Buque base	3,427	5,205	11,234	3,278	0	0	0	3,164	1,506	0,658	25,006	16,259	9,873
Alternativa 1	4,750	4,678	13,996	2,947	0	0	0	2,956	1,388	0,599	25,393	16,903	10,692
Alternativa 4	3,539	5,205	11,602	3,278	0	0	0	3,225	1,527	0,666	25,109	16,319	9,915
Alternativa 9	3,351	5,497	11,602	3,462	0	0	0	3,241	1,543	0,676	25,109	16,127	9,624
Alternativa 3	3,245	5,497	11,234	3,462	0	0	0	3,319	1,525	0,664	25,603	16,201	9,688
Alternativa 2	2,879	5,789	10,497	3,646	0	0	0	3,161	1,493	0,646	24,595	15,712	9,272

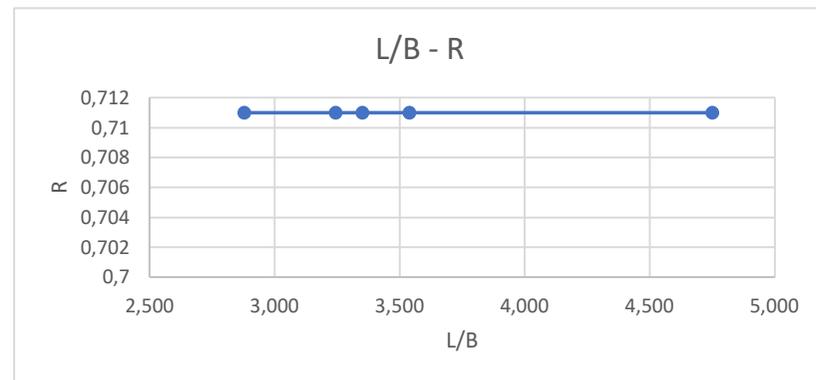
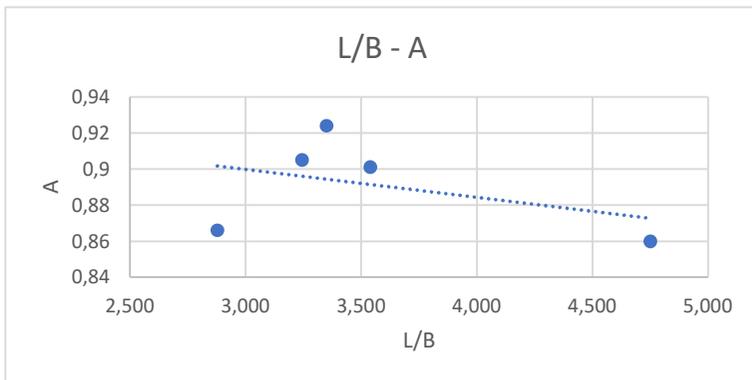


MSI (135º)			MSI (180º)			s		p		l		Total	
Cub. Pasaje	Cub. Tripulación	Cub. Puento	Cub. Pasaje	Cub. Tripulación	Cub. Puento	A	R	A	R	A	R	A	R
19,952	13,541	9,702	8,712	5,98	5,222	0,829	0,64	0,833	0,64	0,846	0,64	0,834	0,711
21,42	14,759	10,807	10,233	7,048	6,081	0,857	0,64	0,862	0,64	0,865	0,64	0,86	0,711
20,109	13,643	9,779	8,812	6,057	5,284	0,924	0,64	0,866	0,64	0,924	0,64	0,901	0,711
19,511	13,07	9,23	7,984	5,484	4,794	0,924	0,64	0,924	0,64	0,924	0,64	0,924	0,711
19,965	13,266	9,407	8,334	5,733	5,015	0,89	0,64	0,914	0,64	0,917	0,64	0,905	0,711
19	12,71	8,95	7,88	5,414	4,75	0,862	0,64	0,865	0,64	0,876	0,64	0,866	0,711

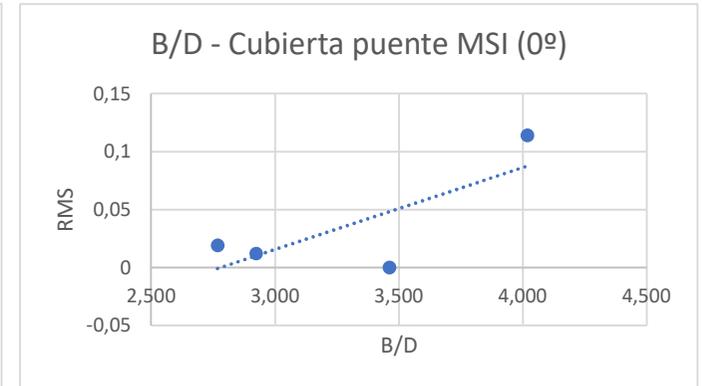
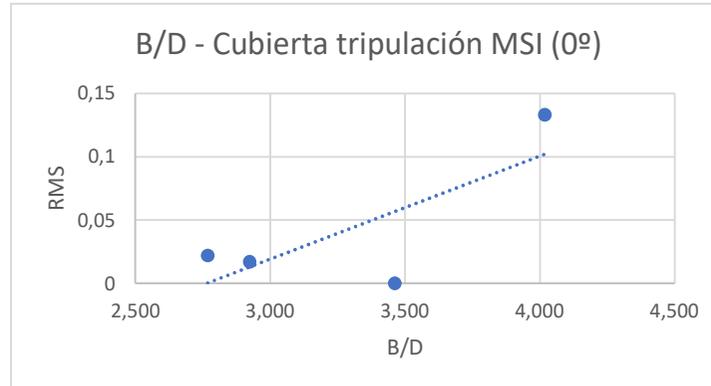
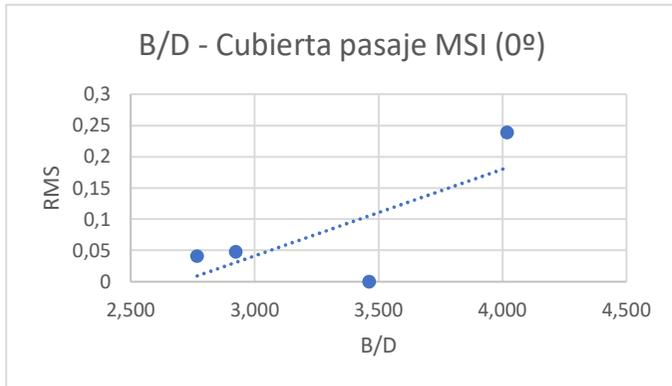




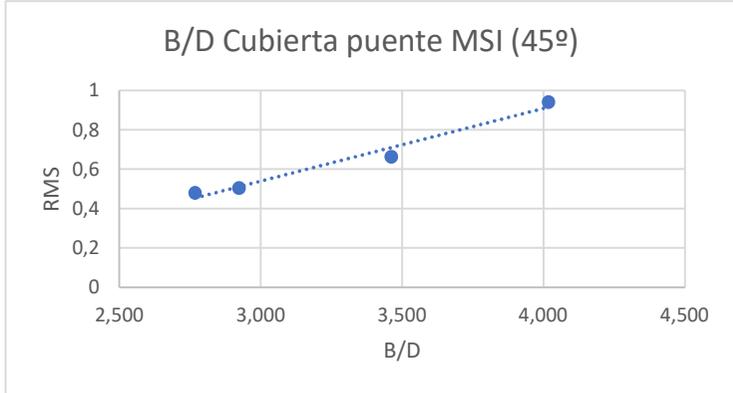
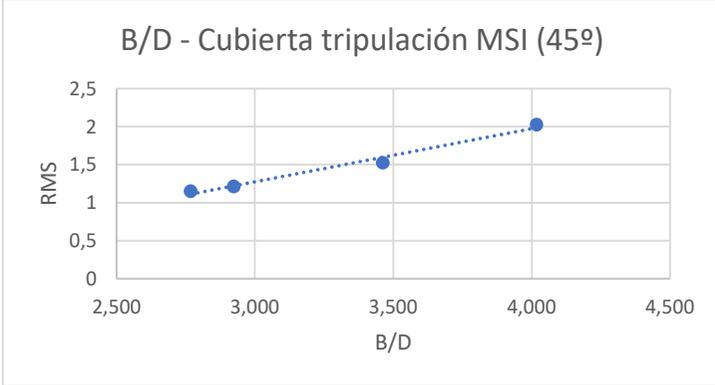
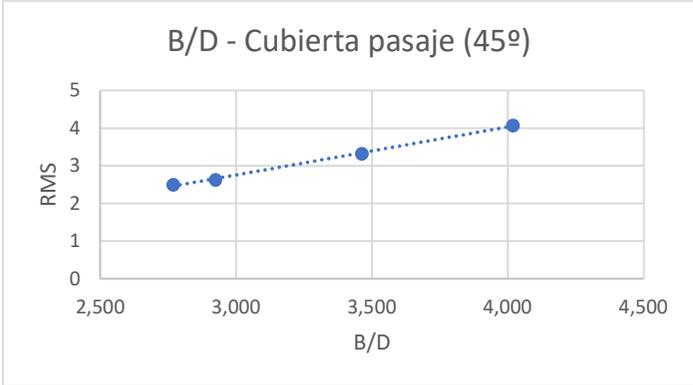




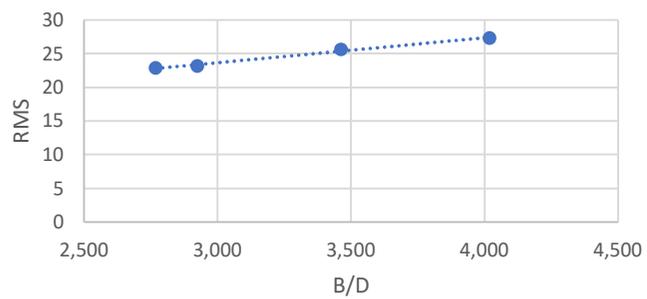
	L/B	B/T	L/D	B/D	MSI (0°)			MSI (45°)			MSI (90°)		
					Cub. Pasaje	Cub. Tripulación	Cub. Punte	Cub. Pasaje	Cub. Tripulación	Cub. Punte	Cub. Pasaje	Cub. Tripulación	Cub. Punte
Buque base	3,427	5,205	11,234	3,278	0	0	0	3,164	1,506	0,658	25,006	16,259	9,873
Alternativa 6	3,427	5,205	13,770	4,018	0,239	0,133	0,114	4,073	2,028	0,942	27,303	17,397	10,186
Alternativa 3	3,245	5,497	11,234	3,462	0	0	0	3,319	1,525	0,664	25,603	16,201	9,688
Alternativa 7	3,245	5,497	9,487	2,924	0,048	0,017	0,012	2,628	1,211	0,505	23,174	15,12	9,234
Alternativa 5	3,427	5,205	9,487	2,768	0,041	0,022	0,019	2,497	1,153	0,48	22,846	15,053	9,316



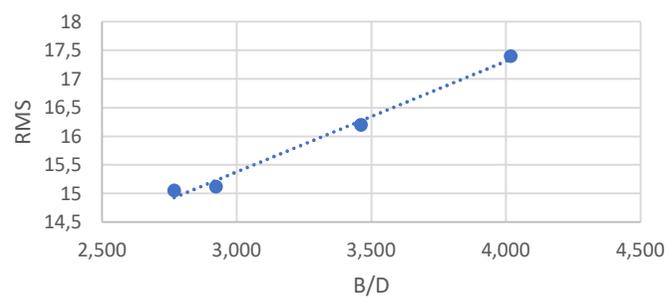
MSI (135º)			MSI (180º)			s		p		l		Total	
Cub. Pasaje	Cub. Tripulación	Cub. Punte	Cub. Pasaje	Cub. Tripulación	Cub. Punte	A	R	A	R	A	R	A	R
19,952	13,541	9,702	8,712	5,98	5,222	0,829	0,64	0,833	0,64	0,846	0,64	0,834	0,711
19,757	12,842	8,712	6,142	4,159	3,634	0,781	0,64	0,786	0,64	0,82	0,64	0,79	0,71
19,965	13,266	9,407	8,334	5,733	5,015	0,89	0,64	0,914	0,64	0,917	0,64	0,905	0,711
19,839	13,648	9,966	10,032	6,956	6,078	0,848	0,64	0,866	0,64	0,891	0,64	0,864	0,711
20,027	13,892	10,241	10,419	7,272	6,347	0,831	0,606	0,86	0,606	0,888	0,606	0,854	0,673



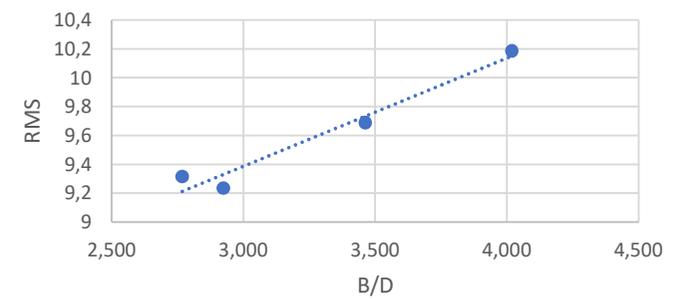
B/D - Cubierta pasaje MSI (90°)



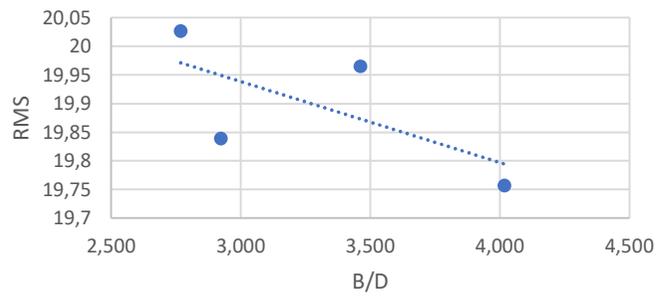
B/D - Cubierta tripulación MSI (90°)



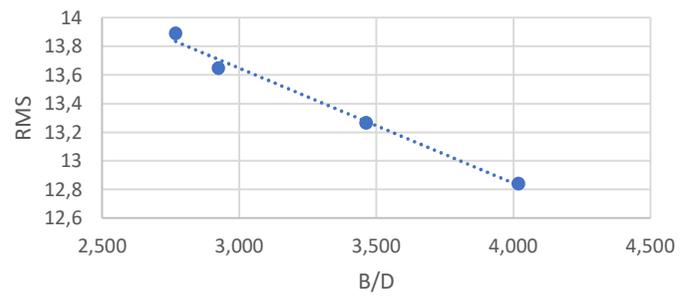
B/D - Cubierta puente MSI (90°)



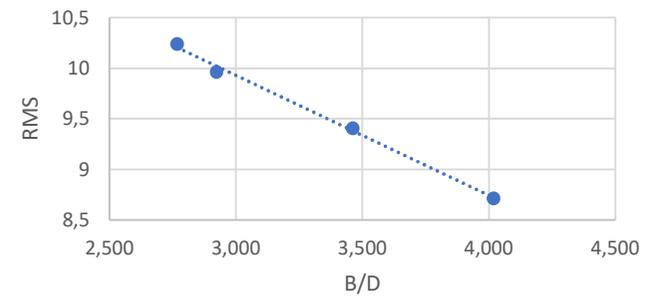
B/D - Cubierta pasaje MSI (135°)

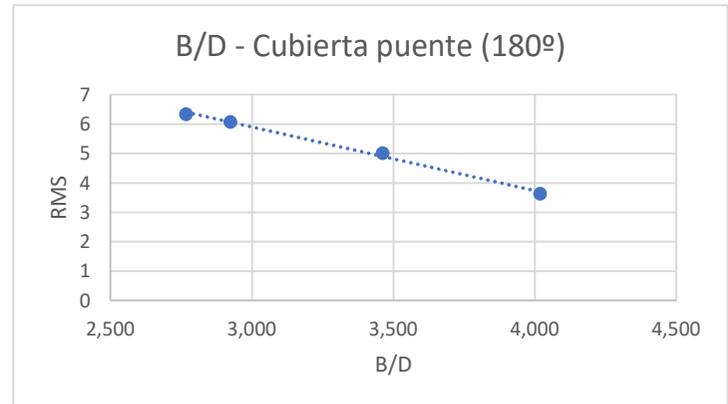
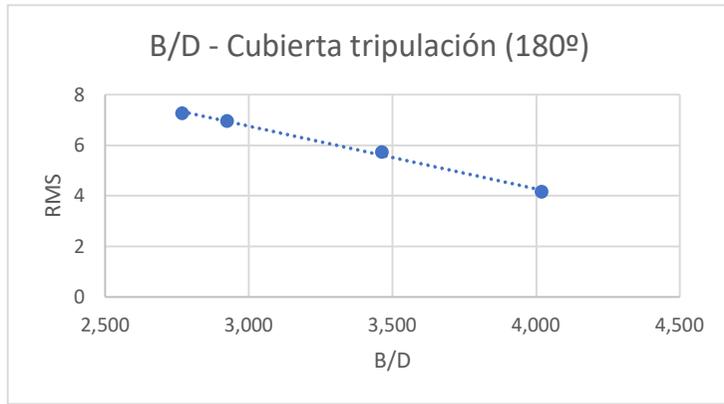
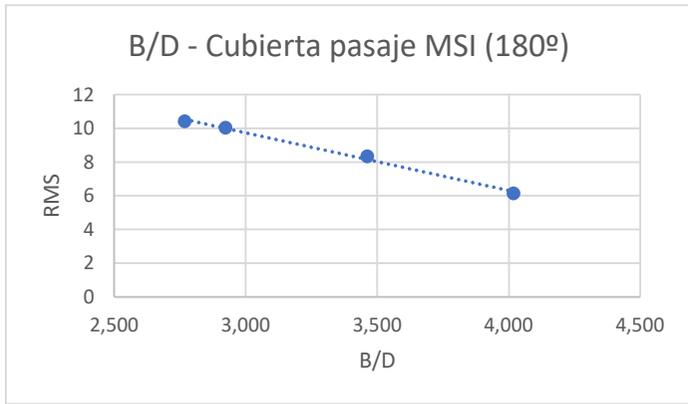


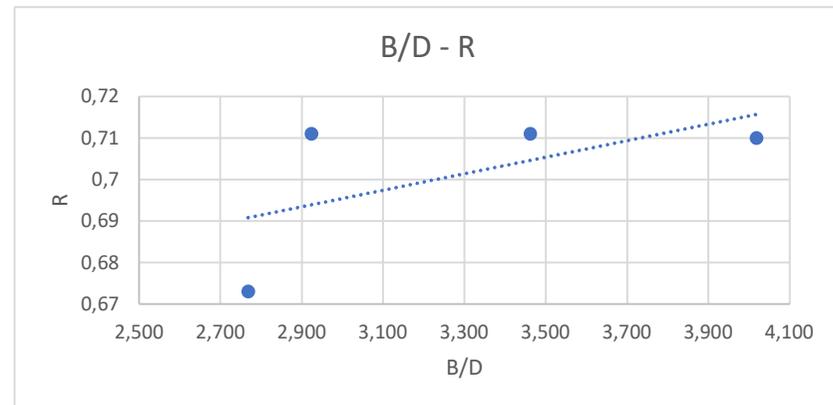
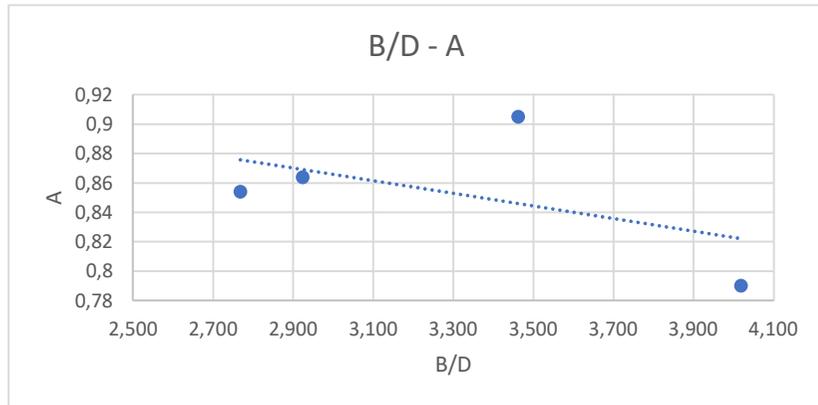
B/D - Cubierta tripulación MSI (135°)



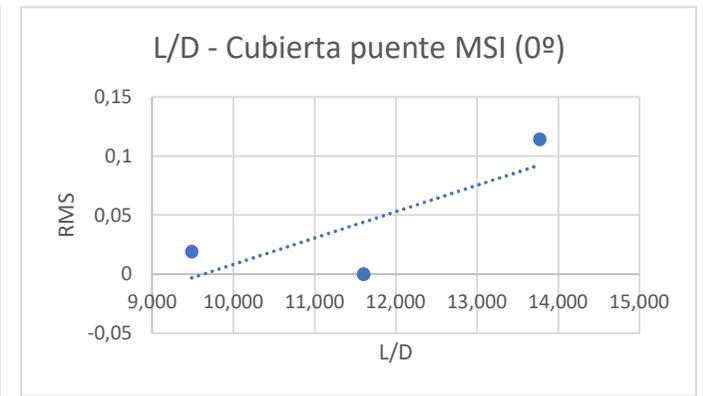
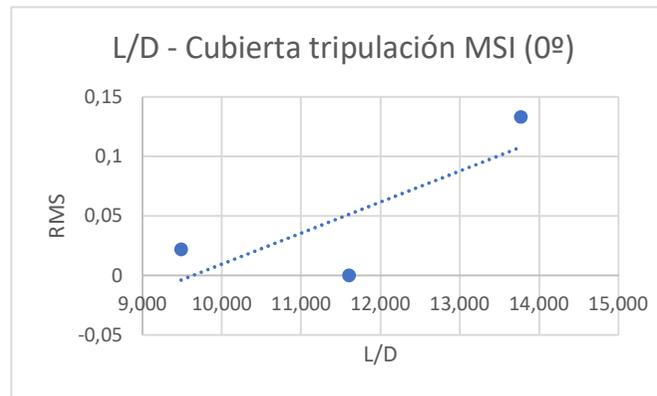
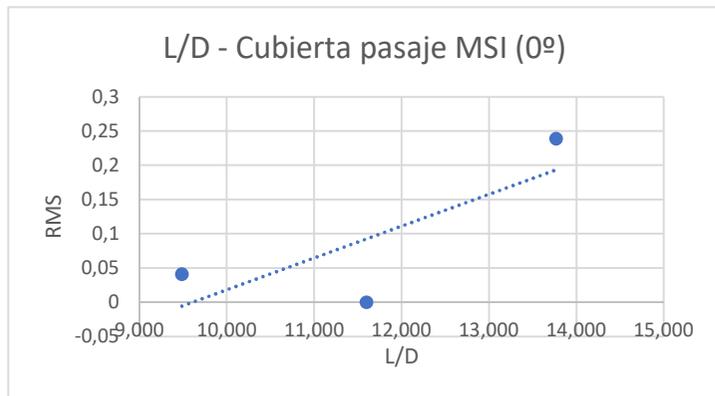
B/D - Cubierta puente MSI (135°)



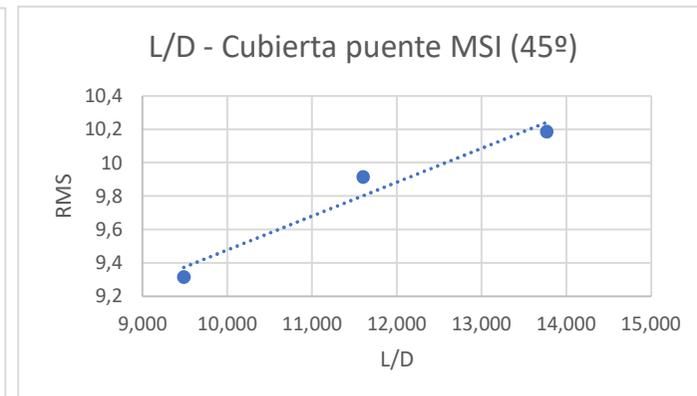
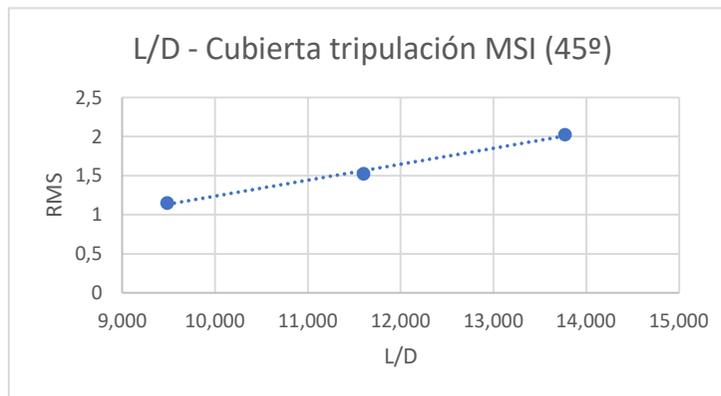
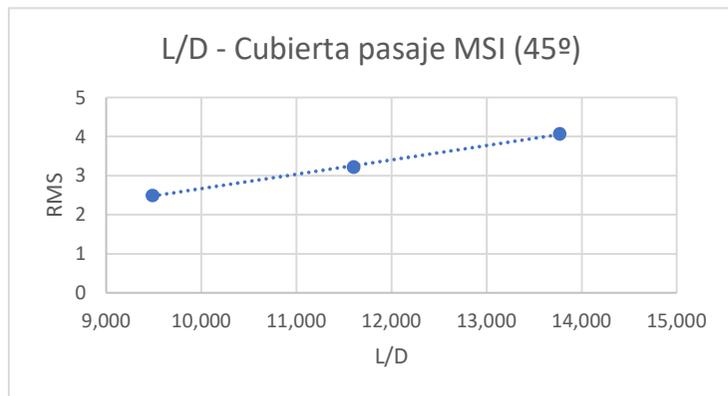




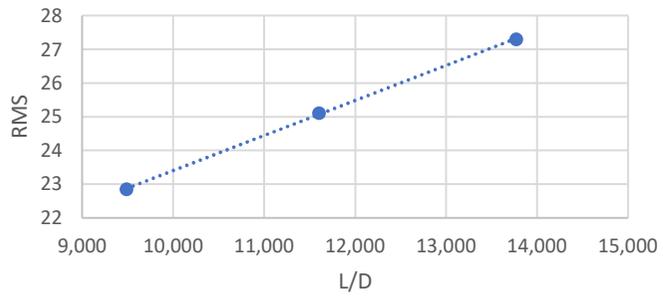
	L/B	B/T	L/D	B/D	MSI (0°)			MSI (45°)			MSI (90°)		
					Cub. Pasaje	Cub. Tripulación	Cub. Puente	Cub. Pasaje	Cub. Tripulación	Cub. Puente	Cub. Pasaje	Cub. Tripulación	Cub. Puente
Buque base	3,427	5,205	11,234	3,278	0	0	0	3,164	1,506	0,658	25,006	16,259	9,873
Alternativa 6	3,427	5,205	13,770	4,018	0,239	0,133	0,114	4,073	2,028	0,942	27,303	17,397	10,186
Alternativa 4	3,539	5,205	11,602	3,278	0	0	0	3,225	1,527	0,666	25,109	16,319	9,915
Alternativa 5	3,427	5,205	9,487	2,768	0,041	0,022	0,019	2,497	1,153	0,48	22,846	15,053	9,316



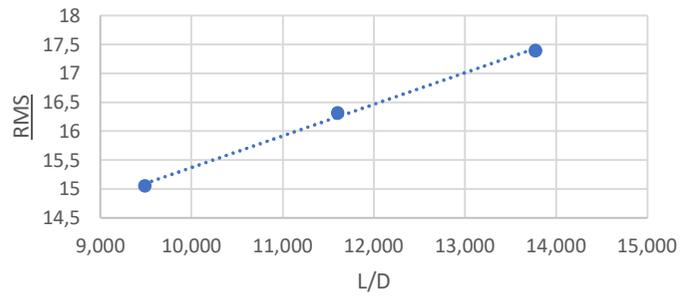
MSI (135°)			MSI (180°)			s		p		l		Total	
Cub. Pasaje	Cub. Tripulación	Cub. Puente	Cub. Pasaje	Cub. Tripulación	Cub. Puente	A	R	A	R	A	R	A	R
19,952	13,541	9,702	8,712	5,98	5,222	0,829	0,64	0,833	0,64	0,846	0,64	0,834	0,711
19,757	12,842	8,712	6,142	4,159	3,634	0,781	0,64	0,786	0,64	0,82	0,64	0,79	0,71
20,109	13,643	9,779	8,812	6,057	5,284	0,924	0,64	0,866	0,64	0,924	0,64	0,901	0,711
20,027	13,892	10,241	10,419	7,272	6,347	0,831	0,606	0,86	0,606	0,888	0,606	0,854	0,673



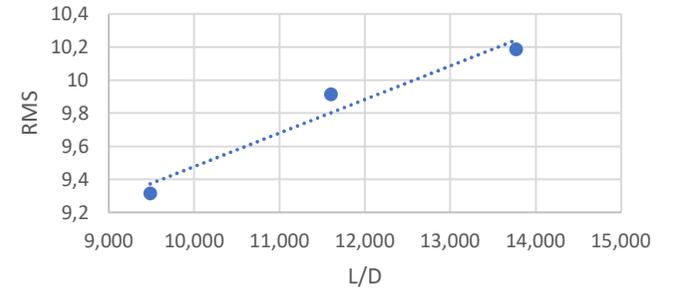
L/D - Cubierta pasaje MSI (90°)



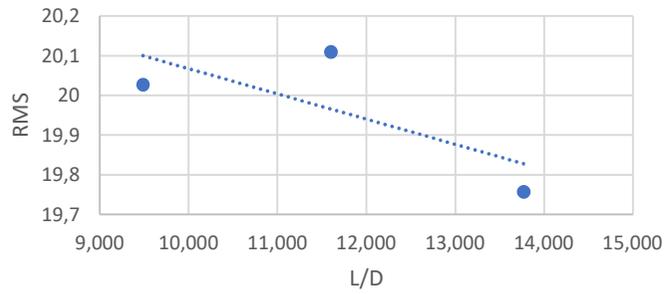
L/D - Cubierta tripulación MSI (90°)



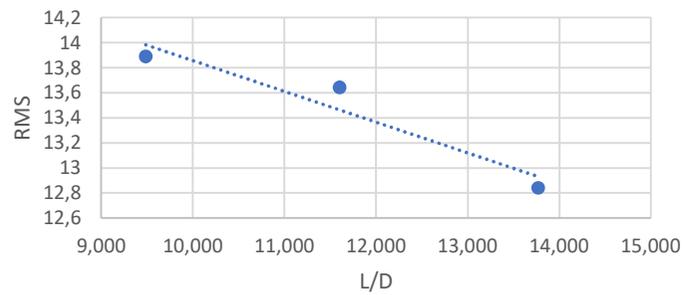
L/D - Cubierta puente MSI (90°)



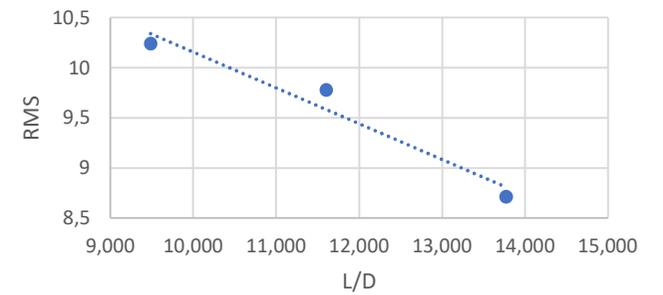
L/D - Cubierta pasaje MSI (135°)



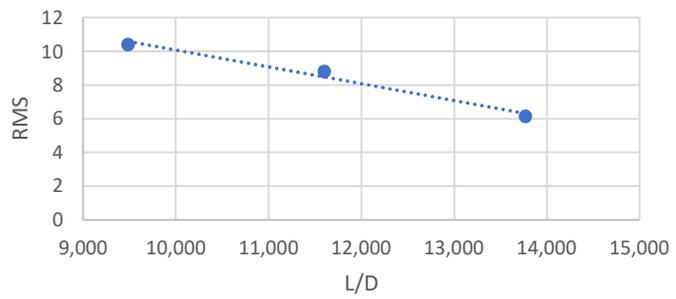
L/D - Cubierta tripulación MSI (135°)



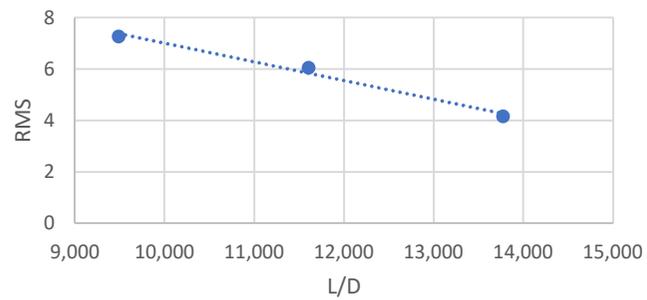
L/D - Cubierta puente MSI (135°)



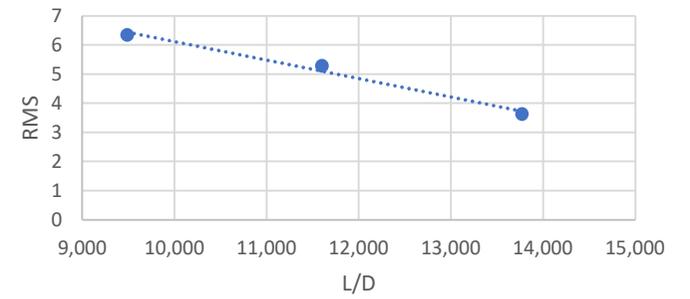
L/D - Cubierta pasaje MSI (180°)

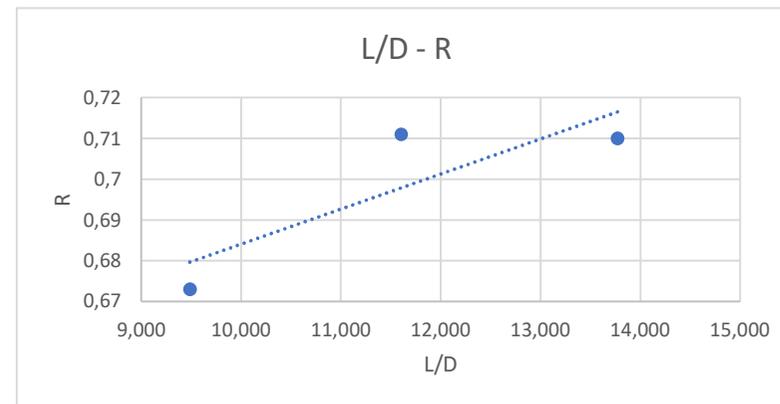
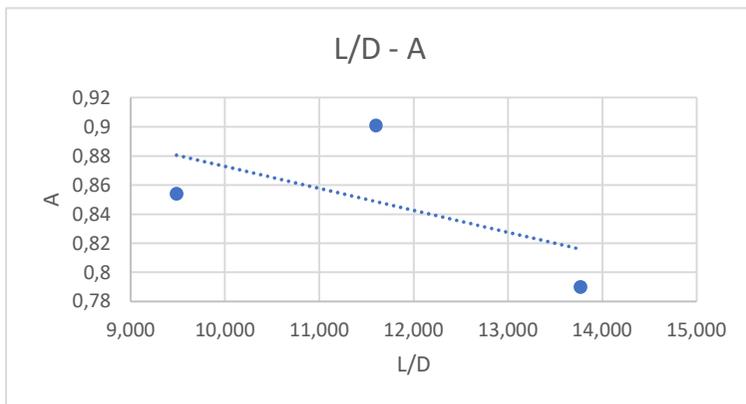


L/D - Cubierta tripulación (180°)

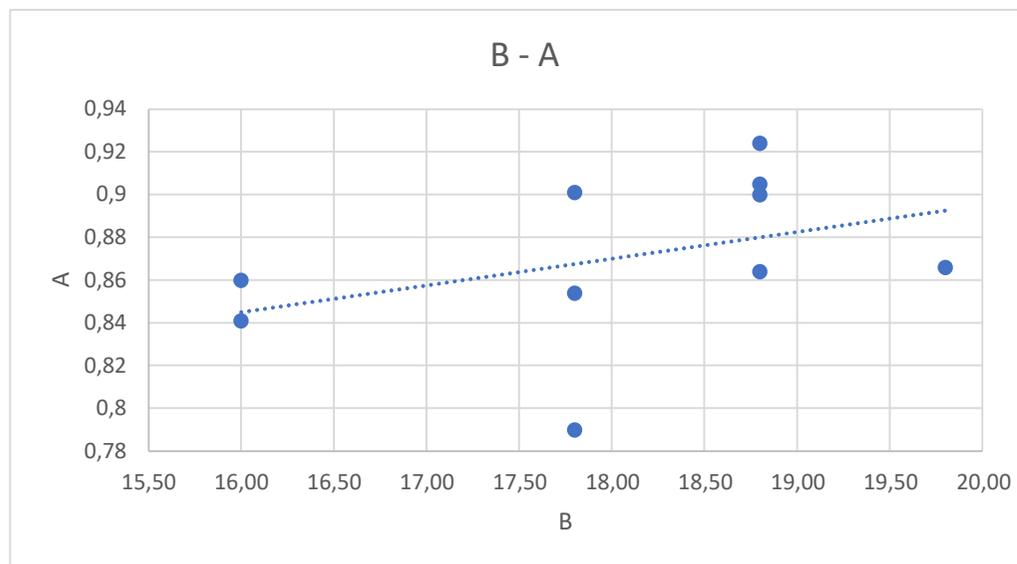


L/D - Cubierta puente (180°)

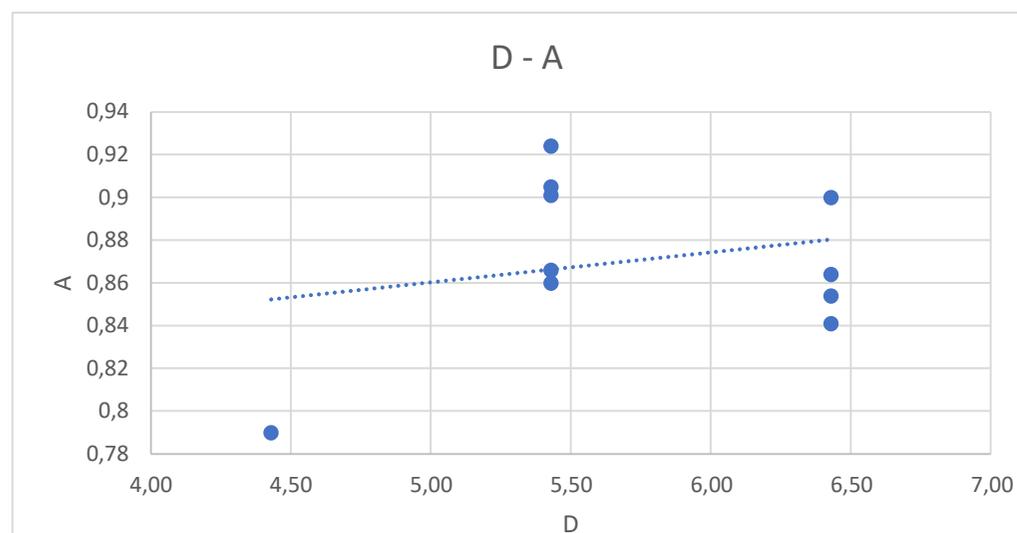




	B	A
Alternativa 8	16,00	0,841
Alternativa 1	16	0,86
Alternativa 5	17,80	0,854
Alternativa 6	17,80	0,79
Alternativa 4	17,80	0,901
Alternativa 7	18,80	0,864
Alternativa 10	18,80	0,9
Alternativa 3	18,80	0,905
Alternativa 9	18,80	0,924
Alternativa 2	19,80	0,866



	D	A
Alternativa 6	4,43	0,79
Alternativa 1	5,43	0,86
Alternativa 2	5,43	0,866
Alternativa 4	5,43	0,901
Alternativa 3	5,43	0,905
Alternativa 9	5,43	0,924
Alternativa 8	6,43	0,841
Alternativa 5	6,43	0,854
Alternativa 7	6,43	0,864
Alternativa 10	6,43	0,9



17. CONCLUSIONES

La idea del trabajo es la optimización del buque desde el punto de vista del comportamiento en la mar y estabilidad en averías. Para ello se han generado 10 alternativas en las que las relaciones dimensionales variaban respecto al buque inicial y se ha ido comparando cómo variaba la respuesta del buque al variar una relación (L/B, B/D o L/D), mientras el resto se mantenían lo más constante posible y así con cada una de ellas, utilizando rectas de regresión. Se ha evaluado de forma manual cómo cada uno de estos parámetros afectaban a la respuesta del buque y en un futuro se podría implementar este código de una manera automática.

Hay que destacar que no es del todo posible saber cómo influye en el comportamiento y estabilidad del buque cada una de estas relaciones ya que un cambio en una de ellas hace que las otras también cambien, pero se ha intentado que todas las relaciones, excepto la que se desea comparar en cada momento, permanezcan lo más constante posible.

En cuanto a la elección de la alternativa más favorable, hay que tener en cuenta que hay que llegar a un equilibrio entre el comportamiento en la mar, teniendo en cuenta los diferentes headings, y la estabilidad en averías. Por este motivo la mejor alternativa podría ser la segunda (disminución de L/B) ya que el comportamiento en la mar mejora para todos los headings y aunque para las olas de popa esta mejora es mínima, realmente cuando el mar es de popa no existe mucho problema en cuanto al MSI ya que este es muy pequeño, siendo de mayor interés mejorar la respuesta del buque cuando las olas son de proa o de costado.

En cuanto a la estabilidad en averías, en esta alternativa también se observa una mejora dado que el índice A obtenido es mayor que el del buque base y por tanto estaríamos ante un buque más seguro.

Por tanto, para obtener la optimización deseada, las dimensiones del buque deberían ser igual a los de la segunda alternativa, la cual presenta los siguientes cambios respecto al buque inicial:

2ª ALTERNATIVA	
L	57 m
Lpp	45,28 m
B	19,8 m
D	5,43 m
T	3,42 m
Cb	0,556
Cp	0,686
Cm	0,81
Desplazamiento	1754 t
Velocidad	13 kn
Pasajeros	399
Tripulación	20
L/B	2,88
B/D	3,65
L/D	10,5

BUQUE BASE	
L	61 m
Lpp	48,46 m
B	17,8 m
D	5,43 m
T	3,42 m
Cb	0,55
Cp	0,678
Cm	0,81
Desplazamiento	1587 t
Velocidad	13 kn
Pasajeros	399
Tripulación	20
L/B	3,43
B/D	3,28
L/D	11,23

18. BIBLIOGRAFÍA

1. Cui, H., Turan, O. & Sayer, P. Learning-based ship design optimization approach. *CAD Comput. Aided Des.* **44**, 186–195 (2012).
2. Diez, M. *et al.* Multidisciplinary Robust Optimization for Ship Design. *28th Symp. Nav. Hydrodyn.* 12–17 (2010).
3. Ray, T., Gokarn, R. P. & Sha, O. P. A global optimization model for ship design. *Comput. Ind.* **26**, 175–192 (1995).
4. Papanikolaou, Ap1. Papanikolaou, A. Holistic ship design optimization. *CAD Comput. Aided Des.* **42**, 1028–1044 (2010).ostolos. Holistic ship design optimization. *CAD Comput. Aided Des.* **42**, 1028–1044 (2010).
5. Lloyd, A. R. J. M. Lloyds-Ship Behaviour in Rough Weather.pdf. 395 (1998).
6. Estructura, C., Estabilidad, C. Y. & A-generalidades, P. SOLAS Capítulo 2-1 CONSTRUCCIÓN-ESTRUCTURA, COMPARTIMENTADO Y ESTABILIDAD, INSTALACIONES DE MÁQUINAS E INSTALACIONES ELÉCTRICAS PARTE A-GENERALIDADES Regla 1-Ámbito de aplicación Regla 2-Definiciones.
7. RESOLUTION MSC.216(82). **122**, 25–27 (2006).
8. RESOLUTION MSC.267(85). **267**, 101 (2008).