



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

**Escuela Técnica Superior
de Ingenieros Navales**

MADRID

TRABAJO DE FIN DE GRADO EN
ARQUITECTURA NAVAL

GAN - 369

DISEÑO DE UN YATE A MOTOR
DE 24 M DE ESLORA



Autor:

ANDREA PÉREZ FERNÁNDEZ

Tutor:

MANUEL RUIZ DE ELVIRA

Co-tutor:

JAVIER CALDERÓN SÁNCHEZ

MARZO 2024



A mi, a los que siempre creen y nunca se rinden.



*Por las estrellas que escuchan
y los sueños que son respondidos.*

- Sarah J. Maas



Especificaciones



CAMPUS
DE EXCELENCIA
INTERNACIONAL

PROPUESTA DE TRABAJO FIN DE GRADO ARQUITECTURA NAVAL

GAN-369



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS NAVALES
Avda. de la Memoria, 4, 28040 Madrid

D./D^a profesor/a adscrito/a
al departamento de la E.T.S.
de Ingenieros Navales de la U.P.M. propone el siguiente TRABAJO FIN DE GRADO para
alumnos/as del título de Graduado/a en Arquitectura Naval, para su evaluación por la C.O.A.
y posterior aprobación, si procede.

Cotutor/a D./D^a Empresa

Correo electrónico profesional Cotutor/a

Avalista D./D^a (en caso de ser necesario)

Título del trabajo propuesto:

Descripción del TRABAJO: (Indíquese seguidamente si esta información se encuentra en documento anexo claramente indentificado)

Objetivo:

Dentro del mercado de la náutica de recreo en Europa, el diseño de embarcaciones de lujo es un actor importante del panorama que ocupa a un gran número de arquitectos navales que participan en distintas fases del diseño y construcción de estas embarcaciones. Por ello, el objetivo de este trabajo fin de grado es el de realizar el diseño preliminar de un yate de estas características sujeto a las siguientes restricciones de diseño:

- Eslora del casco de 24 m, que es el valor límite para la aplicación de la normativa ISO.
- Límite de 12 pasajeros.
- Velocidad de crucero mínima de 26 nudos en condiciones de mar 2 y una autonomía de 600 mn.
- Categoría de diseño A.

Método y fases del trabajo:

1. Análisis de mercado y base de datos.
2. Dimensionamiento preliminar a partir de regresiones.
3. Diseño de formas
4. Cálculo de potencia
5. Disposición general
6. Estudio de pesos
7. Análisis de estabilidad de acuerdo a la normativa ISO-12217-1



**PROPUESTA DE TRABAJO FIN DE GRADO
ARQUITECTURA NAVAL**

Medios específicos necesarios:

Se utilizarán los medios disponibles en la ETSIN para el alumno, incluyendo software de modelado como Rhinoceros, Maxsurf o Autocad y hojas de cálculo donde sea necesario.

Estructura de capítulos, planos o documentos que constituyen el cuerpo del trabajo:

Un único documento de acuerdo a la normativa del TFG.

se solicita confidencialidad del TFG, cuya justificación es la siguiente:

Propuesta de Tribunal, si lo considera el Tutor/a:

Presidente:

Vocal:

Secretario:

Asignación propuesta (táchese lo que no proceda):

1. Para el/la alumno/a D/D^a

2. Libre

Firmado: Madrid, a de de

Tutor/a

Cotutor/a

Alumno/a

Avalista

Firmado por RUIZ DE ELVIRA FRANCOY MANUEL - ***7157** el día 14/11/2023 con un certificado emitido por AC FNMT Usuarios

Signed digitally by CALDERON SANCHEZ JAVIER - ***5402** date 14/11/2023 with a certificate issued

PEREZ FERNANDEZ ANDREA - 71471208L

Firmado digitalmente por PEREZ FERNANDEZ ANDREA - 71471208L Fecha: 2023.11.15 17:55:22 +01'00'



Resumen

En el presente proyecto, se realizará el diseño de un yate a motor de 24 metros de eslora, el cuál podrá navegar en régimen de planeo, donde primarán las formas amplias para obtener una buena habilitación (los detalles y especificaciones del proyecto se podrán encontrar en la sección 2.1 del presente documento). El principal inconveniente de esta embarcación reside en la complejidad de alcanzar un buen compromiso de ambos: velocidad y espacio de habilitación. Esto se debe a que unas formas llenas adecuadas para garantizar espacios interiores amplios, estarán en contraposición a las formas afiladas necesarias para alcanzar velocidades altas. Independientemente de esto, se diseñará un yate con unas características que le permitirán navegar por todos los mares y océanos en largas travesías.

Primero, se desarrollará el diseño conceptual, donde se explorarán diferentes opciones que cumplan con las especificaciones y gustos del cliente, de manera que a partir de dicho diseño se definirán las dimensiones principales de la embarcación. Esto se hará siguiendo unos criterios básicos y mediante regresiones obtenidas de una base de datos de yates similares realizada previamente (ver Capítulo 2). Ya establecidas las dimensiones principales, se modelará el buque en 3D con programas como Rhinoceros y Maxsurf Modeler (ver Capítulo 4) y se definirán los principales equipos y servicios con los que cuenta la embarcación (ver Capítulo 5).

Tras el modelado del casco, se hará un estudio de la resistencia al avance para poder determinar las necesidades para la propulsión del yate (ver Capítulo 6), del mismo modo, se hará un balance eléctrico con todos los consumidores para realizar el estudio de la planta eléctrica (ver Capítulo 7). Por otro lado, se realizará un diseño de la distribución interior a partir de las formas finales, de tal manera que se aproveche al máximo el espacio, creando así un ambiente cómodo y seguro para los pasajeros (ver Capítulo 8).

Una vez realizada la estimación de pesos y del centro de gravedad (ver Capítulo 9), se hará un estudio de la estabilidad de la embarcación para diferentes condiciones de carga siguiendo la normativa aplicada. De esta manera se podrá establecer la categoría de mercado CE de la embarcación, verificando que esta cumple con todos los requisitos necesarios establecidos por la norma ISO en términos de estabilidad (ver Capítulo 10). Finalmente, se hará un estudio del comportamiento en la mar de la embarcación con ayuda del programa Maxsurf Motions (ver Capítulo 11).



Abstract

In the present project, a 24 meters long motor yacht with a planning hull will be designed, where the shapes and the accommodation will prevail (further information will be shown in section 2.1 of the present document). The main drawback of this vessel lies in the complexity of achieving a good compromise between two aspects: speed and accommodation space. This is because full shapes suitable for ensuring wide interior spaces will be in contrast to the more streamlined shapes needed to achieve high speeds. Regardless of this, a yacht will be designed with characteristics that will enable it to sail all seas and oceans on long voyages.

First, the conceptual design will be developed, where different options that meet the client's specifications and preferences will be explored, in such a way that from this design the main dimensions of the boat will be defined. This will be done following some basic criteria and through regressions obtained from a database of similar yachts previously made (see Chapter 2). Once the preliminary main dimensions are established, the vessel will be modeled in 3D with programs such as Rhinoceros and Maxsurf Modeler (see Chapter 4) and the main naval systems and installations on board (see Chapter 5).

After modeling the hull, a study of the hydrodynamic resistance will be performed in order to determine the requirements for the propulsion of the yacht (see Chapter 6) as well as the definition of the yacht's electrical plant (see Chapter 7). On the other hand, the design of the interior layout will be made following the final hull lines, in order to maximize the use of space, creating a comfortable and a safe environment for passengers (see Chapter 8).

Once the estimation of weights and center of gravity has been made (see Chapter 9), a study of the yacht's stability for different load conditions will be carried out, following the applicable regulations. This way, it will be possible to establish the CE category of the boat, verifying that this one satisfies all the necessary requirements established by the ISO regulations regarding stability (see Chapter 10). Finally, a basic study of seakeeping will be made with the Maxsurf Motions' software (see Chapter 11).



Agradecimientos

En este trabajo quiero expresar mi agradecimiento a la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales (ETSIN) de la Universidad Politécnica de Madrid por haberme dado la oportunidad de formarme como ingeniera naval, además de haberme enseñado que nada se consigue sin trabajo duro y esfuerzo. A ser constante y a levantarme una y otra vez tras cada tropiezo para llegar a la meta.

Especial mención a mi tutor Manolo, porque ante mi vicio de pedir, has tenido la virtud de darme y a mi cotutor Javi por haber sido amigo y por haber sacado tiempo para ayudarme. Gracias a los dos por haberme guiado y por los conocimientos y consejos que me habéis dado hasta el último minuto.

Gracias a mis amigos, porque todos estos años en la escuela no habrían sido lo mismo sin vosotros y porque me habéis ayudado siempre en cada oportunidad que habéis tenido. Gracias Ceri, por haber sido mi mano a mano durante todo el camino. Gracias a mi compañera de piso y amiga Sara, por escucharme y por haber aguantado todos mis dramas y alegrías. A Anita, por haber sido la mejor amiga que podría haberme dado esta carrera. Y a Gio, por confiar siempre en mi y acompañarme en la recta final.

Por último, quiero agradecer a toda mi familia que siempre ha confiado en mi. A Tita, porque nunca has tenido dudas de todo lo que podía conseguir, a mis “abus”, a ti abuelito, que te fuiste sabiendo que lo había conseguido. A papá, por haber sido siempre ejemplo de superación; pero sobre todo, a ti mamá, porque has sido amiga, confidente, hombro y consejera, porque siempre me has apoyado en todo y has creído siempre en mi, hasta cuando yo he dudado. Gracias por ayudarme a conseguir mis sueños.

Esto solo es el principio.



Índice general

Resumen	III
Resumen	VI
Abstract	VII
Agradecimientos	VIII
1. Introducción	1
1.1. Yates a motor	1
1.2. Mercado de yates	2
1.2.1. Situación actual y perspectivas de mercado	2
1.2.2. Tendencias en la propulsión	4
1.2.3. Tendencias en la eslora	5
1.2.4. Mercado internacional	6
1.2.5. Líderes del mercado	6
2. Anteproyecto y diseño preliminar	8
2.1. Especificaciones del proyecto	8
2.2. Metodología de diseño	8
2.3. Base de datos	9
2.4. Regresiones	10
2.4.1. Eslora-Manga	11
2.4.2. Eslora-Puntal	11
2.4.3. Eslora-Calado	12
2.4.4. Eslora-Desplazamiento	12



2.4.5. Energía requerida-Potencia propulsora	13
2.4.6. Desplazamiento-Velocidad de servicio	13
2.4.7. Eslora-Centro de carena	14
2.4.8. Relación L/B	14
3. Normativa aplicable	15
3.1. Embarcación de recreo	15
3.2. Zona de navegación	16
3.3. Normativa Internacional	16
3.3.1. Normativa Internacional de obligado cumplimiento	17
3.4. Normativa Nacional	17
3.4.1. Normativa Nacional de obligado cumplimiento	17
3.5. Normas ISO	18
4. Diseño de las formas	19
4.1. Estudio de las formas	19
4.2. Presentación de las formas de la carena	22
5. Equipos y servicios	26
5.1. Orden FOM 1144/2003	26
5.1.1. Elementos de salvamento	26
5.1.2. Equipo de navegación	27
5.1.3. Fondeo y amarre	28
5.1.4. Medios contra incendios	29
5.1.5. Medios de achique	30
5.1.6. Prevención de vertidos	30
5.2. Sistemas de propulsión	31
5.3. Gobierno y Maniobra	31
5.4. Instalación eléctrica	31
5.5. HVAC	31
6. Sistema propulsivo	32
6.1. Consideraciones iniciales	32



6.2. Estimación de la resistencia al avance y la potencia requerida	33
6.3. Elección de los motores	36
6.4. Predicción de la velocidad	38
6.5. Autonomía	38
6.6. Definición de la cámara de máquinas	40
6.6.1. Disposición de los elementos	40
6.6.2. Posición del motor y la cola	40
6.6.3. Cámara de máquinas	42
7. Planta eléctrica	43
7.1. Definición de la planta eléctrica	43
7.1.1. Tensión y frecuencia	44
7.1.2. Planta de emergencia	44
7.2. Situaciones de carga eléctrica	45
7.2.1. Navegación	45
7.2.2. Maniobra	46
7.2.3. Fondeo	46
7.2.4. Puerto	46
7.2.5. Emergencia	46
7.3. Balance eléctrico	46
7.4. Características de la propulsión	47
7.5. Generadores	48
7.6. Baterías	48
7.6.1. Baterías de servicios	48
7.6.2. Baterías de arranque	49
8. Disposición general	50
8.1. Criterios de diseño	50
8.2. Cubierta interior	51
8.2.1. Camarote doble de proa	52
8.2.2. Camarote doble babor	52
8.2.3. Camarote doble estribor	52



8.2.4.	Cuartos de baño	52
8.2.5.	Suite Principal y baño	53
8.2.6.	Camarotes de la tripulación	53
8.2.7.	Lavandería	53
8.3.	Cubierta superior	54
8.3.1.	Solarium proa	54
8.3.2.	Terraza popa	54
8.3.3.	Salón-Comedor	54
8.3.4.	Cocina	55
8.3.5.	Puente de mando	55
8.4.	Flybridge	55
9.	Estimación de pesos y centros de gravedad	56
9.1.	Libro de pesos	56
9.2.	Tripulación y consumibles	57
9.3.	Peso en rosca	57
9.3.1.	Peso de la maquinaria, equipos y servicios	57
9.3.2.	Peso de la habilitación	58
9.3.3.	Peso de la estructura	58
10.	Estudio de la estabilidad	60
10.1.	Condiciones hidrostáticas	60
10.1.1.	Condición de Carga Máxima	61
10.1.2.	Condición de Llegada en Carga	61
10.1.3.	Condición Mínima Operativa	61
10.2.	Aberturas inundables	62
10.2.1.	Altura de inundación	63
10.2.2.	Ángulo de inundación (primer criterio)	64
10.3.	Ensayo compensación de pesos	64
10.3.1.	Ángulo de inundación (segundo criterio)	65
10.3.2.	Margen de francobordo	66
10.4.	Ensayo de resistencia a olas y viento	66



10.4.1. Ensayo de resistencia a olas	67
11. Comportamiento en la mar	68
11.1. Datos iniciales	69
11.1.1. Generación del mar modelo	69
11.1.2. Aceleraciones verticales	71
11.1.3. Velocidades de ensayo y ángulos de ola	72
11.1.4. Distribución de pesos	73
11.2. Análisis de resultados	73
11.3. Resumen de resultados	81
Conclusiones	82
Bibliografía	84
A. Base de datos	86
B. Balance eléctrico	88
C. Libro de pesos	90
D. Estabilidad	95
D.1. Ensayos de estabilidad	95
D.2. Condiciones de carga	96
D.3. Curvas GZ	98
D.4. Aberturas inundables	100
D.4.1. Altura de inundación	101
D.5. Ensayo compensación de pesos	101
D.6. Ensayo de resistencia a olas y viento	103
D.6.1. Resistencia olas	106
E. Planos	107



Lista de figuras

1.1. Yate a motor	2
1.2. Mercado global de yates [1]	3
1.3. Nacionalidad de los dueños de superyates a nivel mundial.	4
1.4. Venta de yates según su propulsión en el periodo 2013-2022	5
1.5. Tendencias del mercado global de yates según la eslora.	5
1.6. Mercado regional de yates.	6
2.1. Espiral de diseño.	9
2.2. Gráfico regresión Eslora-Manga.	11
2.3. Gráficos regresión Eslora-Puntal.	11
2.4. Gráfico regresión Eslora-Calado.	12
2.5. Gráfico regresión Eslora-Desplazamiento.	12
2.6. Gráfico regresión Energía requerida-Potencia propulsora.	13
2.7. Gráfico regresión Desplazamiento-Velocidad de servicio.	13
2.8. Gráfico regresión Eslora-Centro longitudinal de carena.	14
3.1. Categoría de diseño para embarcaciones de recreo con marcado CE según Directiva 2003/44/CE	16
4.1. Formas en V / Formas en U	20
4.2. Fuerzas que experimenta el casco durante el régimen de planeo.	21
4.3. Esquema de los spray rails en un casco de planeo.	21
4.4. Series 62 Parent	22
4.5. Cuadernas de la embarcación durante el proceso de diseño en Rhinoceros	23
4.6. Vista en perspectiva del modelo en Rhinoceros	23



4.7. Vista en perspectiva del modelo en Maxsurf	24
4.8. Curva de áreas de la carena	25
5.1. Cuadro-resumen elementos de salvamento según Orden FOM 1144	26
5.2. Cuadro-resumen señales de socorro según Orden FOM 1144	26
5.3. Equipo de fondeo según Orden FOM 1144	28
5.4. Cuadro-resumen del material náutico requerido para la embarcación por la Orden FOM 1144	29
5.5. Cuadro-resumen extintores portátiles según Orden FOM 1144	29
5.6. Cuadro-resumen baldes contra incendios según Orden FOM 1144	29
5.7. Cuadro-resumen zonas de descarga de aguas sucias según la Orden FOM 1144	30
5.8. Sistema de gobierno tipo IPS	31
6.1. Gráfica de Resistencia (kN) frente a Velocidad (kn)	34
6.2. Gráfica de Potencia (kW) frente a Velocidad (kn)	34
6.3. Gráfica de Trimado (°) frente a Velocidad (kn)	35
6.4. Especificaciones de los flaps	36
6.5. Motor Volvo Penta IPS	36
6.6. Instalación triple Volvo Penta IPS	37
6.7. Hélice tipo Q/QS para motores D-13	38
6.8. Ruta que seguirá el yate	39
6.9. Gráfico de la potencia del motor	39
6.10. Gráfico del consumo del motor	40
6.11. Distancias determinantes para la instalación de los motores IPS.	41
6.12. Requisitos de instalación de la bancada del motor	42
7.1. Batería Exide DUAL ER 600 - 120 Ah - 12V	49
8.1. Cubierta interior	52
8.2. Cubierta superior	54
8.3. Flybridge	55
10.1. Posición de los tanques en el centro de la embarcación	61
10.2. Potenciales puntos de inundación de la embarcación	62



10.3. Potenciales puntos de inundación de la embarcación	62
10.4. Altura de inundación mínima requerida por la ISO	64
10.5. Ángulo máximo de escora autorizado durante los ensayos de compensación de pesos, para diferentes esloras de casco según la norma ISO [2]	65
10.6. Requisitos del ángulo de inundación según la ISO [2]	65
10.7. Margen de francobordo mínimo requerido durante los ensayos de compensación de pesos según la ISO [2]	66
11.1. Movimientos en todos los grados de libertad de la embarcación	68
11.2. Boyas de toma de datos situadas en el litoral español	69
11.3. Histogramas de periodo pico (izquierda) y altura significativa (derecha) anuales en la zona de Barcelona	70
11.4. Series temporales de la media anual de altura significativa para el Mar Mediterráneo en la zona de Barcelona	70
11.5. Series temporales de la media anual del periodo medio para el Mar Mediterráneo en la zona de Barcelona	70
11.6. Rosa de oleaje para el periodo anual, donde predominan los mares del este, sureste y sur	71
11.7. Gráfico polar del movimiento de heave para el mar máximo, en función de la velocidad y el ángulo de encuentro	74
11.8. Gráfico polar del movimiento de pitch para el mar máximo, en función de la velocidad y el ángulo de encuentro	75
11.9. Gráfico polar del movimiento de roll para el mar máximo, en función de la velocidad y el ángulo de encuentro	75
11.10 MSI con mar de proa (180°) a 32 nudos de velocidad y en la condición de mar máximo	77
11.11 MSI con mar de través (90°) a 32 nudos de velocidad y en la condición de mar máximo	77
11.12 RAOs para 180° en navegación a 15 nudos	78
11.14 RAOs para 90° en navegación a 15 nudos	79
11.13 RAOs para 160° en navegación a 15 nudos	79
11.15 RAOs para 20° en navegación a 15 nudos	80
D.1. Ensayos a realizar según la norma ISO 12217-1	95
D.2. Curva GZ para la condición de Carga Máxima	98
D.3. Curva GZ para la condición de Mínima Carga	98



D.4. Curva Gz para la condición Mínima Operativa	99
D.5. Coordenadas puntos de inundación	100
D.6. Ensayo compensación de pesos en <i>Maxsurf Stability</i> para la condición LC1	101
D.7. Gráfico de la intersección de las curvas del momento adrizante y escorante para la condición LC1	101
D.8. Ensayo compensación de pesos en <i>Maxsurf Stability</i> para la condición LC2	102
D.9. Gráfico de la intersección de las curvas del momento adrizante y escorante para la condición LC2	102
D.10. Ensayo de resistencia a olas y viento con <i>Maxsurf Stability</i> para la condición M_{LDC}	103
D.11. Gráfico ensayo de resistencia a olas y viento para la condición M_{LDC}	103
D.12. Ensayo de resistencia a olas y viento con <i>Maxsurf Stability</i> para la condición M_{LA}	104
D.13. Gráfico ensayo de resistencia a olas y viento para la condición M_{LA}	104
D.14. Ensayo de resistencia a olas y viento con <i>Maxsurf Stability</i> para la condición M_{MO}	105
D.15. Gráfico ensayo de resistencia a olas y viento para la condición M_{MO}	105
D.16. Ensayo de resistencia a las olas con <i>Maxsurf Stability</i> para la condición M_{LDC}	106
D.17. Ensayo de resistencia a las olas con <i>Maxsurf Stability</i> para la condición M_{LA}	106
D.18. Ensayo de resistencia a las olas con <i>Maxsurf Stability</i> para la condición M_{MO}	106



Lista de tablas

4.1. Curvas hidrostáticas	25
9.1. Resumen pesos	59
10.1. Coordenadas de los puntos de inundación de la embarcación de acuerdo con la Fig. D.5	63
11.1. Tabla-resumen de información de los puntos SIMAR	70
11.2. Media de valores de las olas en un periodo anual del Mar Mediterráneo	71
11.3. Posición de los puntos de medida de la aceleración de la embarcación	72
11.4. Velocidades de ensayo en Maxsurf Motions	73
11.5. Ángulos de incidencia buque-ola para los ensayos de Maxsurf Motions	73
A.1. Base de datos	87
A.2. Base de datos	87
B.1. Balance eléctrico	89
D.1. Condición de Carga Máxima	96
D.2. Condición de Llegada en Carga o Condición de Mínima Carga	96
D.3. Condición Mínima Operativa	96
D.4. Condición LC1	97
D.5. Condición LC2	97
D.6. Criterios de estabilidad y alturas inundables en equilibrio para la condición M_{LDC}	101
D.7. Criterios de estabilidad y alturas inundables en equilibrio para la condición M_{LA}	101
D.8. Criterios de estabilidad y alturas inundables en equilibrio para la condición M_{MO}	101





Capítulo 1

Introducción

El objetivo de este trabajo de fin de grado se engloba dentro de la dinámica y en constante evolución industria de construcción de yates; un sector que combina lujo, ingeniería y una creciente preocupación por la sostenibilidad. Se realizará el anteproyecto de un yate a motor de categoría oceánica de 24 metros de eslora, donde se evaluará su diseño y funcionalidad de acuerdo con su adaptación a las demandas actuales de mercado.

1.1. Yates a motor

La industria naval actual de yates representa hoy día no solo un nicho de lujo, sino también un campo de innovación tecnológica y diseño.

En el diverso y dinámico mercado de yates, existe una amplia gama de tipos de embarcaciones que atienden a diferentes preferencias y necesidades. Los yates a motor, son conocidos por su potencia y velocidad, ofreciendo a los propietarios y huéspedes una experiencia de navegación lujosa y placentera. Son preferidos por aquellos que buscan una combinación de rendimiento y confort. Los avances tecnológicos han permitido la incorporación de sistemas y equipamientos más avanzados, mejorando la navegación y la vida a bordo.

Dentro de los yates a motor (ver Fig.1.4), podemos hacer una segunda clasificación según su diseño de casco y características. Estos son los yates de desplazamiento, semi-desplazamiento y de planeo. Se hará a continuación un análisis de los distintos tipos de yates a motor existentes.

- Yates de desplazamiento: tienen un casco diseñado para cortar el agua, desplazándola en lugar de navegar sobre ella. Este diseño proporciona una navegación suave y estable, ideal para largas travesías. Entre las principales ventajas está el hecho de que son más eficientes en términos de consumo de combustible a velocidades más bajas, ofrecen mayor estabilidad y disponen de mayor espacio habitable interior gracias a que sus formas son más llenas. En contraposición se tiene que su velocidad máxima es limitada debida a su casco de desplazamiento y que presentan una peor maniobrabilidad a bajas velocidades.



- Yates de semi-desplazamiento: combinan características de los yates de desplazamiento y de planeo. Tienen un casco que permite navegar a velocidades más altas pero también proporciona la estabilidad de un yate de desplazamiento. Destaca entre sus ventajas el equilibrio entre velocidad y estabilidad, su eficiencia de combustible a velocidades moderadas frente a los yates de planeo, a pesar de que no son tan rápidos como estos ni tan eficientes en combustible como los de desplazamiento. A mayores, proporcionan un gran confort debido a la mejor capacidad de manejo en diferentes condiciones marítimas.
- Yates de planeo: estos yates tienen un casco diseñado para levantarse sobre la superficie del agua a altas velocidades, gracias a las fuerzas verticales de origen dinámico generadas, reduciendo la resistencia y aumentando la velocidad. Esta característica, será la principal de sus ventajas, ya que podrá alcanzar velocidades mucho más altas en comparación a los otros tipos. Su diseño es más elegante y deportivo y proporcionan una experiencia de navegación más emocionante y dinámica. Sin embargo; este tipo de yates tienen un mayor consumo de combustible, especialmente a dichas velocidades máximas y son menos estables en aguas agitadas a bajas velocidades.



Figura 1.1: Yate a motor

1.2. Mercado de yates

1.2.1. Situación actual y perspectivas de mercado

La industria de los yates, ámbito que combina lujo, ingeniería avanzada y arte, está experimentando un crecimiento significativo y una evolución, impulsada por avances tecnológicos y cambios en las preferencias del mercado; mientras que a su vez se encuentra en una encrucijada de desafíos y oportunidades. A continuación, se realizará un análisis donde se pretende proporcionar una visión general del sector.



El tamaño del mercado mundial de yates se valoró en 10,3 mil millones de dólares en 2023 (ver Fig. 1.2) y se espera que se expanda a una tasa de crecimiento anual compuesto (CAGR) ¹ del 5,8 % en el periodo 2023-2032. La demanda de yates ha aumentado gradualmente en los últimos años, debido al aumento de la renta disponible de las personas y su inclinación hacia las actividades de ocio o recreativas. La creciente preferencia de los viajeros por el turismo de lujo, el servicio personalizado y los viajes exclusivos son los principales factores que impulsan las ventas de yates. [3]

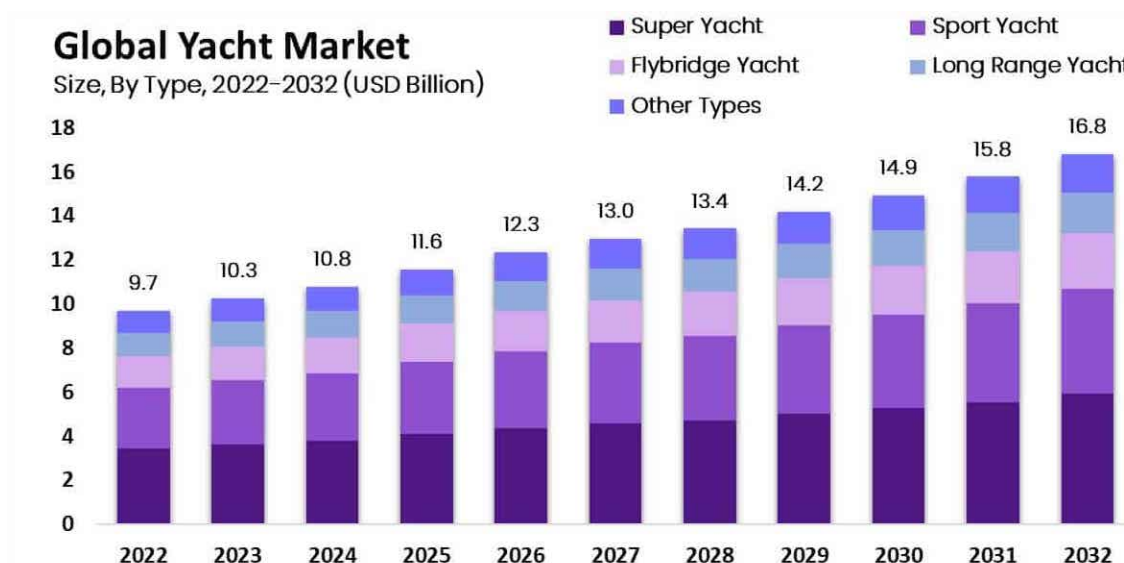


Figura 1.2: Mercado global de yates [1]

A pesar de que la pandemia tuvo un impacto negativo en el mercado mundial de yates, con una reducción en los ingresos netos y en la producción, se espera una recuperación gradual en los próximos años. Este optimismo se basa en el creciente número de personas con alto patrimonio neto, especialmente en países como China, India o Estados Unidos. En 2020, América del Norte albergaba el mayor número de individuos con mayor patrimonio neto, seguida de cerca por Europa. Con el aumento del PIB mundial y la creciente riqueza de los multimillonarios, se anticipa un incremento en la demanda de yates de lujo. Celebrities, altos cargos de empresas y magnates de los negocios como principales clientes de este mercado, continúan invirtiendo en yates para uso recreativo. Un ejemplo notable es la compra del yate Koru por Jeff Bezos en Mayo de 2023, por un valor de 500 millones de dólares.

En 2021, se registraron 2.668 multimillonarios en el mundo, un aumento significativo de la cifra registrada en 2018; lo que representa un crecimiento de aproximadamente el 20 %. Europa destaca en el mercado mundial de yates de lujo, impulsada por su alta proporción de multimillonarios y su atractivo turístico en las costas del mar Mediterráneo y el mar del Norte, proyectándose como líder del mercado en el período 2023-2028. Esto ligado a las iniciativas gubernamentales para impulsar el turismo, son factores que fomentan el crecimiento del mercado. [4]

¹Término específico para la ganancia anual lisa de una inversión sobre un periodo dado. La CAGR se utiliza frecuentemente para describir el crecimiento sobre un periodo de tiempo de algunos elementos del negocio.

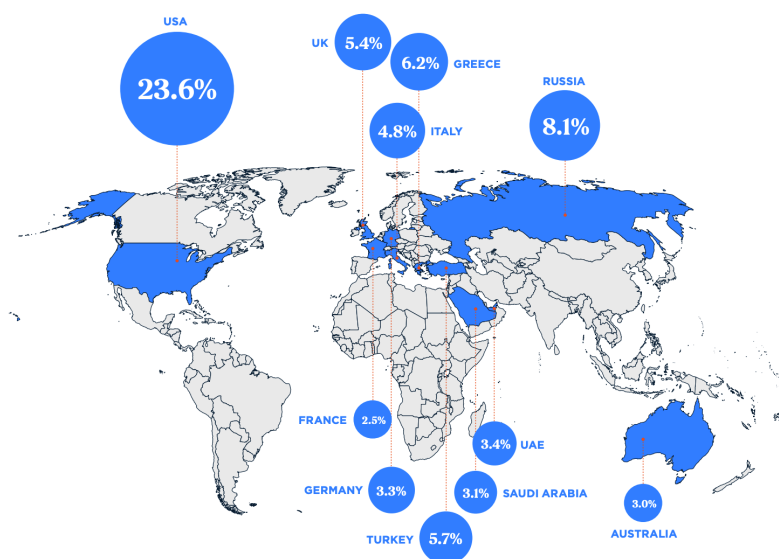


Figura 1.3: Nacionalidad de los dueños de superyates a nivel mundial.

1.2.2. Tendencias en la propulsión

Por un lado, la industria naval se enfrenta a desafíos ambientales significativos, especialmente con las directrices de la Organización Marítima Internacional (OMI), que exigen una reducción del 50 % en las emisiones de gases de efecto invernadero para 2050 respecto a las cifras registradas en 2008.

Los procesos de fabricación de yates también han sufrido cambios drásticos en los últimos años. Mientras que anteriormente los yates se fabricaban con madera y polímeros reforzados con fibras de vidrio, hoy en día se está incrementando el uso de materiales compuestos avanzados, ganando popularidad debido a ventajas como la resistencia a la corrosión, menores costes de mantenimiento y mejores características resistencia-peso.

La implementación en los motores de los yates de sistemas de inyección de combustible controlados de manera electrónica aporta ventajas significativas. Estos sistemas permiten que los motores operen en regímenes variables, optimizando su rendimiento. Esta tecnología no solo reduce el ruido y las vibraciones, sino que también disminuye las emisiones, especialmente en zonas portuarias y costeras, contribuyendo a una navegación más respetuosa con el medio ambiente. Además, estos sistemas mejoran la eficiencia del sistema de propulsión, lo que se traduce en un mejor rendimiento general del buque.

El segmento de yates a motor dominó el mercado mundial de yates en 2022 con una cuota superior al 95 % en 2022 frente a los yates a vela, como se puede ver en la Fig. 1.4. Estas cifras se pueden atribuir a las grandes ventajas que ofrecen este tipo de yates, entre las que destacan su alta velocidad, potencia y capacidad de cubrir grandes distancias. Además, la gente los prefiere por sus avanzados sistemas y equipos instalados, que junto con su moderno equipamiento, ha sido clave en las elevadas ventas a nivel mundial. Se espera un crecimiento significativo en este segmento



durante el periodo de estudio.



Figura 1.4: Venta de yates según su propulsión en el periodo 2013-2022

1.2.3. Tendencias en la eslora

El sector de yates con esloras comprendidas entre 20 y 50 metros dominó el mercado en 2022 superando el 57 % de la cuota de ingresos y se espera que siga siendo así y este segmento mantenga su liderazgo. Este crecimiento se atribuye a beneficios como el bajo costo de mantenimiento de la embarcación y su capacidad de navegar con un amplio rango de condiciones meteorológicas. Además, cuentan con otras ventajas como menores costos de amarre y capacidad para fondear en aguas poco profundas, convirtiéndolos en la opción favorita entre los usuarios.

Por otro lado, las esloras menores de 20 metros, son versátiles tanto para el uso recreativo como para el competitivo. En Norteamérica y Europa, la tendencia en el uso de energías renovables, como solar y eólica, está influyendo de manera positiva en la reducción del consumo de combustible y emisiones si se comparan con yates de mayores esloras. Estas embarcaciones son más compactas y ligeras, factor que aumenta el crecimiento del sector de esta eslora.

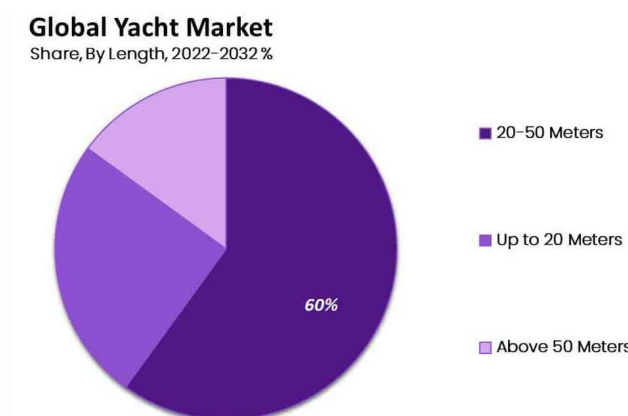


Figura 1.5: Tendencias del mercado global de yates según la eslora.



1.2.4. Mercado internacional

En 2022, Europa lideró el mercado mundial de yates con más del 35% de los ingresos, como ya se mencionó previamente (sección 1.2.1). Este liderazgo se debe al aumento en las ventas de yates en la región citada, impulsadas por el creciente número de personas con alto patrimonio neto y la popularidad de actividades como deportes acuáticos y pesca. Se anticipa un aumento en el turismo costero y marítimo en los próximos años.

Se espera que el incremento en inversiones del tipo recreativo como pueden ser la pesca, las aventuras de vela, rafting, kayak y submarinismo impulse las inversiones en zonas costeras. Además, el mercado europeo se ha fomentado gracias al crecimiento en el número de ferias comerciales y eventos de navegación de recreo.

Se anticipa que la región Asia-Pacífico sea la de mayor crecimiento en este mercado durante el periodo de estudio. Factores como el aumento de la renta disponible y la mejora del nivel de vida están cambiando las preferencias en lo referido a los viajes en yate. Además, iniciativas como el *Plan Swadesh Darshan* y la campaña *Increíble India*, en países como Singapur, India, Tailandia, China y Australia, contribuirán en el crecimiento de este mercado. Sin embargo, países con crisis económicas, inestabilidad política y restricciones gubernamentales influyen negativamente en el crecimiento.

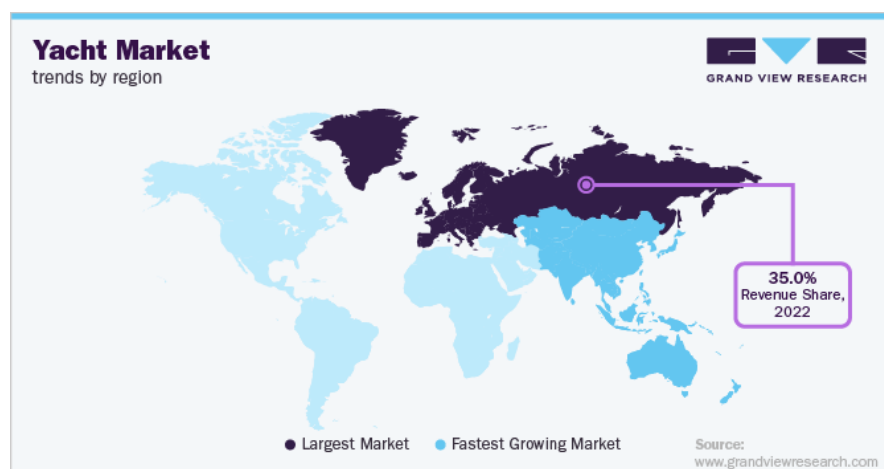


Figura 1.6: Mercado regional de yates.

1.2.5. Líderes del mercado

Para incrementar su cuota de mercado, los principales operadores del sector de yates están adoptando estrategias como puede ser asociarse, realizar nuevas inversiones, participar en fusiones y adquisiciones, hacer lanzamientos de nuevos productos y servicios, así como mantener precios competitivos. Estas acciones son fundamentales para fortalecer su presencia en el mercado. Entre los actores clave del mercado se encuentran varias empresas destacadas en la industria de yates, clasificándolas como líderes de mercado.



- Azimut Benetti: esta empresa italiana, ha destacado en el mercado de yates por su enfoque en la innovación y la calidad final del producto con opciones personalizables; convirtiéndola en uno de los mayores fabricantes de lujo del mundo.
- Fr. Lürssen Werft GmbH & Co.KG: es una reconocida empresa alemana especializada en la construcción de yates de lujo. Es famosa por producir algunos de los yates más grandes y sofisticados del mundo, especializada en la construcción de embarcaciones a medida.
- Fincantieri Yacht: destacada empresa italiana con una gran reputación gracias a su excelencia en diseño y calidad, siendo conocida por crear yates personalizados que reflejan la sofisticación y lujo italiano. La compañía combina tradición artesanal con la innovación tecnológica para ofrecer embarcaciones excepcionales.
- Feadship: prestigiosa empresa con sede en los Países Bajos, especializada en la creación de yates de lujo a medida. Conocida por su artesanía excepcional y atención al detalle, Feadship ha establecido una sólida reputación en el diseño y construcción de algunos de los yates más sofisticados y de alto rendimiento del mundo.
- Sunseeker International: es una compañía británica especializada en fabricación de yates de lujo. Con sede en Reino Unido, es reconocida por su innovación en diseño y tecnología, ofreciendo una gama de yates que destacan por su estilo, rendimiento y calidad.
- Ferretti Group: destacada empresa italiana especializada en el diseño, construcción y venta de embarcaciones que abarcan desde yates de placer hasta barcos de gran tamaño, caracterizados por su calidad. Cuenta con marcas como Riva, Ferretti, Pershing y Custom Line.



Capítulo 2

Anteproyecto y diseño preliminar

En el siguiente capítulo, se tomará una decisión acerca de la tipología de embarcación sobre la que se va a realizar el proyecto. Una vez determinada la misma, para poder hacer una estimación de las dimensiones, se procederá a crear una base de datos de las dimensiones principales de barcos los más semejantes posible al elegido; así como un buen estudio de mercado para saber qué es lo que un cliente busca cuando compra un barco de dichas características.

Esta búsqueda se llevará a cabo a partir de revistas como *Boat International*, catálogos online y páginas web de compra-venta de barcos [5] con las mismas especificaciones o muy similares a las del proyecto objetivo.

2.1. Especificaciones del proyecto

Este proyecto tiene como finalidad el diseño de un yate de 24 metros. El uso de la embarcación será para fines recreativos y de ocio y la habilitación estará diseñada para alojar a 8 pasajeros que podrán pasar la noche a bordo, además de 2 tripulantes. Este buque por lo tanto, estará enfocado a un cliente tipo de alto valor adquisitivo, requerido tanto para la compra de la embarcación como para su posterior mantenimiento.

Así pues, el propósito de este proyecto, será diseñar un yate de 24 metros de eslora que pueda navegar en régimen de planeo, alcanzando velocidades relativamente elevadas: en torno a los 30 nudos de velocidad máxima y a los 27 nudos en velocidad crucero. La embarcación estará fabricada en materiales compuestos (fibra de vidrio) y deberá poder navegar por todos los mares y océanos, atribuyéndosele una categoría oceánica de marcado CE; es decir, categoría de diseño A de acuerdo a ISO. El objetivo del proyecto es primar la habilitación de la embarcación, disponiendo de formas con suficiente volumen interior y con una relación eslora-manga moderadamente baja.

2.2. Metodología de diseño

Para el anteproyecto, se hará uso de la metodología de la espiral de diseño (Fig. 2.1), la cual consiste en tomar como punto de partida los valores y formas básicas definidas al comienzo del



proceso de diseño e ir acercándose cada vez más mediante iteraciones y comparaciones de sus diferentes aspectos a los valores y formas definitivos de la embarcación representados en el centro de la espiral. Así, las primeras vueltas corresponderán al anteproyecto, de modo que en cada paso, las características de diseño van convergiendo a las finales a medida que se van adquiriendo más datos concretos en las diferentes áreas.

En cada vuelta de la espiral de diseño se fijarán algunos de los parámetros, de tal modo que en la siguiente vuelta haya un menor rango de variación de cada uno de ellos; así, hasta alcanzar el proyecto final. Este proceso puede tener tantas vueltas como sean necesarias y existen momentos en que se tendrá que ampliar por algún cambio inesperado de algún parámetro al tener en cuenta las interacciones entre diferentes aspectos de diseño. [6]

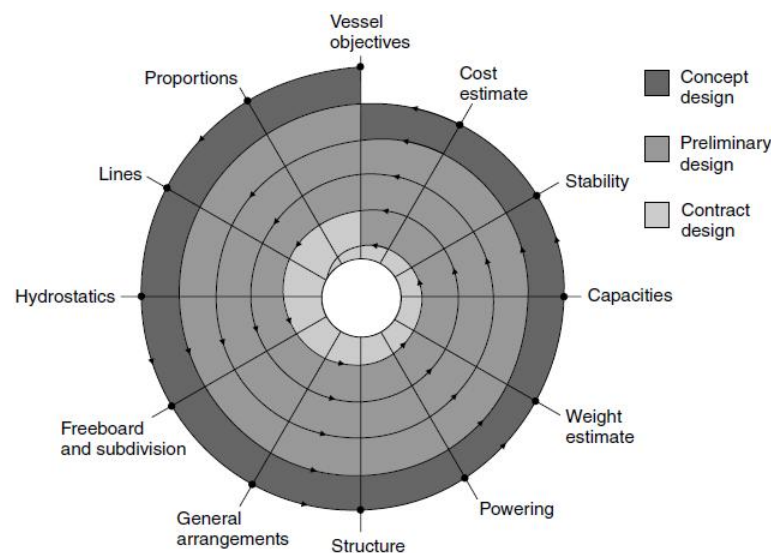


Figura 2.1: Espiral de diseño.

2.3. Base de datos

Se elaborará una base de datos de barcos ya existentes similares a la embarcación objetivo a partir de una exhaustiva búsqueda de los mismos. Generando una tabla (ver Tabs. A.1 - A.2) con las dimensiones y coeficientes más importantes y representativos de este tipo de embarcaciones: eslora, manga, puntal, calado, desplazamiento, potencia propulsora, velocidad de servicio, centro de carena y relación adimensional eslora-manga.

Es normal que a la hora de realizar una base de datos de otro tipo de buques, como son los de carga, se hagan regresiones de los distintos coeficientes, como son el de bloque, el prismático, el de la maestra o el de flotación, dada su relevancia para definir sus formas; sin embargo, para un casco de planeo con formas prismáticas, dichos coeficientes se consideran irrelevantes ya que no aportan información relevante acerca de las formas del casco. Por el contrario, un dato de gran relevancia para este tipo de embarcaciones es el ángulo de astilla muerta, debido a que altos valores implican



un aumento de la resistencia al avance al mismo tiempo que mejoran el comportamiento en olas de la embarcación. Si la embarcación tiene un valor bajo de astilla muerta estas características se revierten (esta característica se explica con más detalle en el Capítulo 4), buscándose una solución de compromiso entre confort y potencia a bordo para la embarcación de diseño, debido a que estará enfocada a navegar por el Mediterráneo. Sin embargo; el valor de la astilla muerta no se ha tenido en cuenta para la base de datos debido a la dificultad para conseguir la información sobre este parámetro.

Para la base de datos, se han dispuesto las dimensiones de 20 buques de construcción reciente y características similares al buque proyecto como ya se ha dicho. A partir de esta base de datos, se obtendrán las regresiones correspondientes. (La base de datos se podrá encontrar en el Anexo A)

2.4. Regresiones

Una vez creada la base de datos, se realizan en función de la eslora las regresiones correspondientes a cada dimensión. Esto permitirá obtener una referencia de las diversas magnitudes del proyecto a diseñar.

Todos los yates de la base de datos tienen una eslora comprendida entre los 20 y los 29 metros, pudiendo acotar bastante los valores para la eslora de proyecto, definida en 24 metros. Es importante que la base de datos se haya realizado con embarcaciones que estén fabricadas en el mismo material (materiales compuestos) que el yate que se pretende diseñar, ya que ciertas características, tales como el peso estructural, variarán dependiendo del material empleado en su construcción. También se ha buscado que sean embarcaciones de planeo o en su defecto semi-planeo, con un diseño moderno y actual y de categoría de diseño oceánica o de alta mar, de manera que se obtengan resultados lo más acotados posible en cuanto al tipo de yate objetivo.

El proceso utilizado para todas las regresiones será el mismo, siendo el procedimiento el siguiente: se hará un dimensionamiento previo de la embarcación en función de la eslora o cualquier parámetro que permita obtener un índice de correlación aceptable y a partir de la ecuación de la recta se obtendrá la correspondiente dimensión preliminar del prototipo.



2.4.1. Eslora-Manga

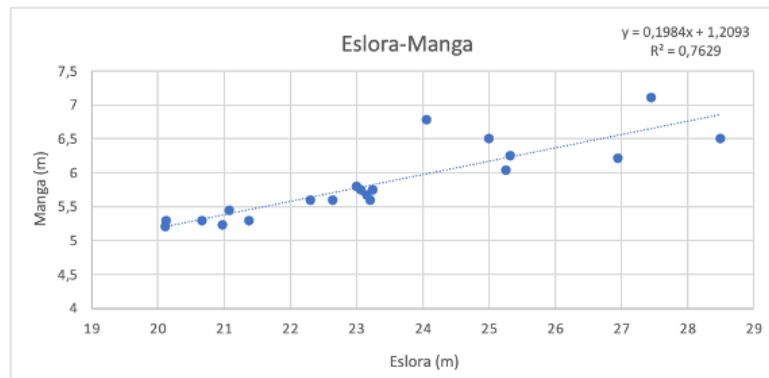


Figura 2.2: Gráfico regresión Eslora-Manga.

Se calcula 'y' (manga) para un valor de 'x' (eslora) de 24 m.

$$y = 0,1984 \cdot 24 + 1,2093 = 5,971[m] \tag{2.1}$$

Manga → 5,97m

2.4.2. Eslora-Puntal

Para el caso del puntal, tanto el correspondiente al “flybridge” como al de la “main deck”, se ha hecho uso de programas tipo CAD, escalando y tomando medidas.

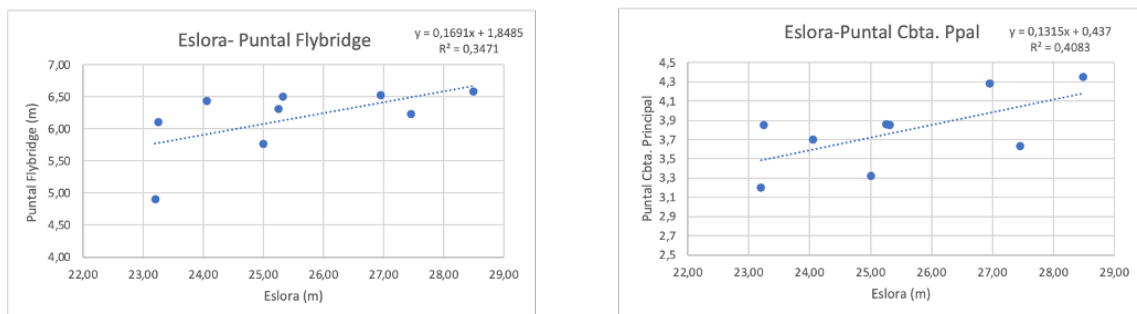


Figura 2.3: Gráficos regresión Eslora-Puntal.

Se calcula 'y' (puntal) para un valor de 'x' (eslora) de 24 m.

$$y = 0,1691 \cdot 24 + 1,8485 = 5,9069[m] \tag{2.2}$$

Puntal flybridge → 5,90m

$$y = 0,1315 \cdot 24 + 0,437 = 3,593[m] \tag{2.3}$$



Puntal cubierta principal → 3,60m

2.4.3. Eslora-Calado

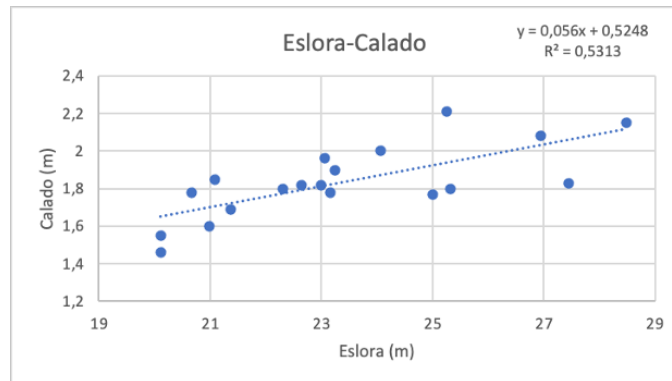


Figura 2.4: Gráfico regresión Eslora-Calado.

Se calcula 'y' (calado) para un valor de 'x' (eslora) de 24 m.

$$y = 0,056 \cdot 24 + 0,5284 = 1,8688[m] \quad (2.4)$$

Calado → 1,87m

2.4.4. Eslora-Desplazamiento

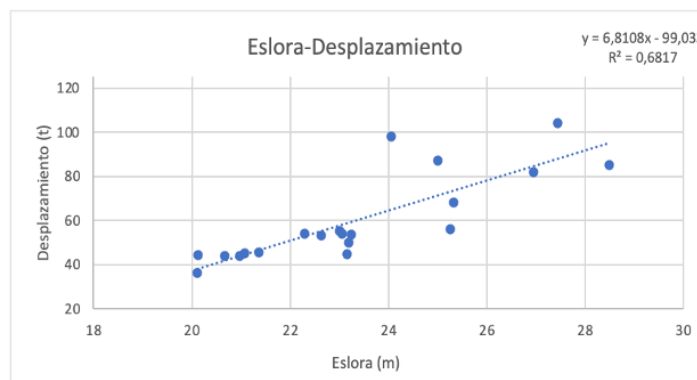


Figura 2.5: Gráfico regresión Eslora-Desplazamiento.

Se calcula 'y' (desplazamiento) para un valor de 'x' (eslora) de 24 m.

$$y = 6,8108 \cdot 24 - 99,033 = 64,4262[t] \quad (2.5)$$

Desplazamiento → 64,43t



2.4.5. Energía requerida-Potencia propulsora

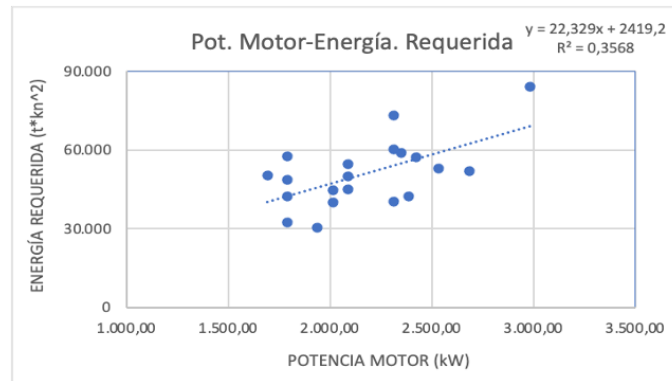


Figura 2.6: Gráfico regresión Energía requerida-Potencia propulsora.

Se calcula 'x' (potencia propulsora) para un valor de 'y' (energía requerida) de:

$$\Delta \cdot (V^2) = 22,329 \cdot x + 2419,2 \quad (2.6)$$

$$64,43 \cdot (29)^2 = 22,329 \cdot x + 2419,2$$

$$x = 2318,34$$

Potencia propulsora → 2.318,34kW

2.4.6. Desplazamiento-Velocidad de servicio

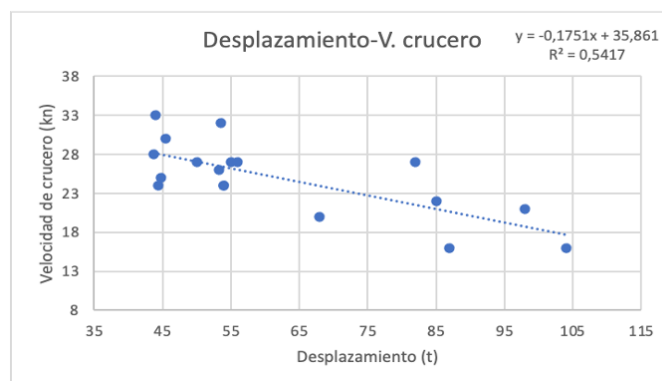


Figura 2.7: Gráfico regresión Desplazamiento-Velocidad de servicio.

Se calcula 'y' (V. de servicio) para un valor de 'x' (desplazamiento) de 64,43 t.

$$y = -0,1751 \cdot 64,43 + 35,861 = 24,5793[kn] \quad (2.7)$$

Velocidad de servicio → 24kn



2.4.7. Eslora-Centro de carena

Se sabe que el LCB irá situado a popa de la cuaderna maestra, obteniéndose a partir de la fórmula 2.8 [7] la distancia longitudinal medida desde de la proa de la embarcación.

$$LCB = -2,2189 + 12,3505 \cdot F_N - 5,4048 \cdot F_N^2 \quad (2.8)$$

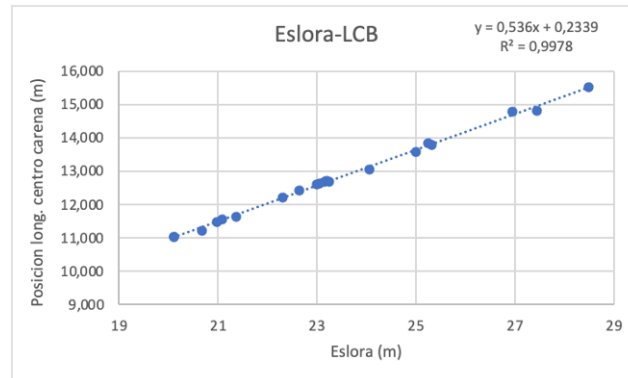


Figura 2.8: Gráfico regresión Eslora-Centro longitudinal de carena.

Se calcula 'y' (centro longitudinal de carena) para un valor de 'x' (eslora) de 24 m.

$$y = 0,536 \cdot 24 + 0,2339 = 13,098[m] \quad (2.9)$$

Centro longitudinal de carena → 13,098m

El centro de gravedad variará en función del propósito del diseñador, donde el centro de gravedad se dispondrá de manera intencionada en una posición determinada. De forma que la embarcación tome el asiento deseado para que a velocidad de crucero la resistencia al avance según la curva obtenida por el método seleccionado sea la menor posible. Dado que se estima una posición longitudinal del centro de carena asumiendo que el barco flota en equilibrio, el centro de gravedad se sitúa en la misma posición longitudinal.

En el caso de la posición transversal del mismo, se puede determinar que se encontrará aproximadamente en crujía, de manera que la embarcación no escore en reposo.

2.4.8. Relación L/B

Por último, se calculará la relación Eslora/Manga debido a su importancia en este tipo de embarcaciones. Según las características del proyecto definido esta relación tendrá que ser moderadamente baja. esto es así debido a que se prima el espacio de habilitación, de tal manera que la manga de la embarcación será bastante grande respecto a la eslora en relación a otro tipo de barcos.

$$\frac{L}{B} = \frac{24}{5,97} = 4,02 \quad (2.10)$$



Capítulo 3

Normativa aplicable

En este capítulo, se hablará de las normas que deberá cumplir la embarcación de recreo del proyecto para poder comercializarse dentro de la Unión Europea. Entre ellas, se encontrarán normas internacionales europeas tipo UNE-EN ISO aprobadas por el Comité Europeo de Normalización (CEN) que regulan los requisitos básicos de construcción, estabilidad y seguridad de este tipo de embarcaciones.

Además, las embarcaciones de recreo deben cumplir con los criterios establecidos en los Reales Decretos que transponen las Directivas europeas u Ordenes FOM, los cuales establecen el marco normativo por el cual se regulan las embarcaciones de recreo y sus componentes; así como los equipos de seguridad, salvamento, conrainscendios, navegación y prevención de vertidos de aguas sucias.

3.1. Embarcación de recreo

Para el desarrollo del proyecto, será indispensable definir las características de la embarcación a diseñar como se ha hecho anteriormente en la sección 2.1; sin embargo, se deberá también determinar si se trata de una *embarcación* o de un *buque* de recreo.

Para la correcta aplicación de la normativa, será de obligado requerimiento definir la eslora de casco (Lh), cuyo valor no podrá exceder los 24m. Por lo tanto, se podrá decir que se trata de una *embarcación de recreo*.

Se entiende como **embarcación de recreo** “*toda embarcación de cualquier tipo, con independencia de su medio de propulsión, con una eslora de casco (Lh) comprendida entre 2.5 y 24 metros, medida según los criterios establecidos en la norma UNE-EN ISO 8666, utilizadas para fines deportivos, de ocio y para entrenamiento o formación para la navegación de recreo, aún cuando se exploten con ánimo de lucro.*” [8]



3.2. Zona de navegación

Es importante también definir previamente las zonas por las que va a navegar la embarcación de recreo a diseñar; ya que ciertas normativas establecen requisitos de seguridad que deben de cumplir las embarcaciones en función de su zona de navegación y su categoría de diseño.

La embarcación de diseño realizará viajes de carácter internacional por todos los mares y océanos. A pesar de que no tendrá restricciones en la navegación, por indicaciones del cliente el barco estará atracado en el puerto de Arenys de Mar (Barcelona); es decir, en el Mar Mediterráneo, por donde navegará mayoritariamente, realizando rutas por la costa de la península italiana y la isla de Sicilia. Según el Anexo I de la Directiva 2003/44/CE del 16 de junio, la embarcación tendrá una categoría de diseño A: Oceánica.

CATEGORÍA DE DISEÑO		
Categoría de diseño	Fuerza del viento (Escala Beaufort)	Altura significativa de las olas (H 1/3) (metros)
A: Oceánicas (Viajes largos, autosuficientes en gran medida)	Más de 8	Más de 4
B: Alta Mar (Viajes en alta mar)	Hasta 8 incluido	Hasta 4 incluido
C: Aguas costeras (Viajes en aguas costeras, grandes bahías, grandes estuarios, lagos y ríos)	Hasta 6 incluido	Hasta 2 incluido
D: Aguas protegidas (Viajes en aguas costeras protegidas, pequeñas bahías, lagos, ríos y canales)	Hasta 4 incluido	Hasta 0,3 incluido

Figura 3.1: Categoría de diseño para embarcaciones de recreo con marcado CE según Directiva 2003/44/CE

3.3. Normativa Internacional

Se define como normativa internacional al conjunto de normas (las cuales abarcan aspectos como la seguridad marítima, la prevención de contaminación, formación de tripulantes, equipamiento, etc.), reglas, regulaciones y estándares adoptados por organismos internacionales, como la OMI (*Organización Marítima Internacional*) y otros organismos reguladores, que establecen los requisitos y prácticas recomendadas para la construcción, operación y mantenimiento de los buques.

La normativa internacional se aplica a todos los buques que naveguen por aguas internacionales, salvo excepciones y a buques registrados en países que son signatarios de los acuerdos internacionales que establecen estas normas.



3.3.1. Normativa Internacional de obligado cumplimiento

- **Convenio Internacional sobre Prevención de la Contaminación (MARPOL).** Se aplica:
 - Anexo I: Reglas para prevenir la contaminación por hidrocarburos.
 - Anexo IV: Reglas para prevenir la contaminación ocasionada por las aguas sucias de los buques.
 - Anexo V: Reglas para prevenir la contaminación ocasionada por las basuras de los buques.
 - Anexo VI: Reglas para prevenir la contaminación atmosférica ocasionada por los buques.
- **Convenio Internacional sobre Normas de Formación, Titulación y Guardia para la gente del Mar (STCW)**
- **Convenio Internacional de señales (CIS)**
- **Convenio Internacional para Prevenir Abordajes (COLREG)**
- **Directiva 2003/44/CE:** establece los requisitos de seguridad para el diseño, construcción y equipamiento de las embarcaciones de recreo que se comercialicen en la Unión Europea.
- **Directiva 2013/53/UE:** establece los requisitos esenciales de seguridad aplicables a los equipos marinos y sistemas a bordo de embarcaciones de recreo.
- **Directiva 2016/1629:** establece los requisitos para la homologación de los motores marinos que lleven las embarcaciones de recreo que tienen marcado CE.

3.4. Normativa Nacional

Se define como normativa nacional al conjunto de leyes, reglamentos y disposiciones adoptadas por el país en cuya bandera está registrado el buque o en cuyas aguas navega, que establecen los requisitos y las prácticas recomendadas para la construcción, operación y mantenimiento de los buques.

Esta normativa, se aplica a todos los buques que naveguen en las aguas territoriales del país en cuyo registro esté inscrito, o en cuyo territorio opera, y debe cumplir con los requisitos establecidos en la normativa nacional para poder obtener y mantener su certificación de clase y sus permisos de navegación.

3.4.1. Normativa Nacional de obligado cumplimiento

- **Real Decreto 98/2016:** se establecen los requisitos esenciales de diseño, fabricación y construcción de las embarcaciones de recreo.
- **Real Decreto 339/2021:** regula el equipo de seguridad y de prevención de la contaminación de embarcaciones de recreo.



- **Real Decreto 1185/2006:** regula las radiocomunicaciones marítimas a bordo de los buques civiles españoles.
- **Real Decreto 1434/1999:** establece los reconocimientos a los que estará sujeta la embarcación y determina las condiciones que deben reunir las entidades colaboradoras para poder ser autorizadas a realizar dichas inspecciones.
- **Real Decreto 1435/2010:** se establece el procedimiento para el abanderamiento, matriculación y registro marítimo en las listas sexta y séptima del Registro de matrícula de buques.
- **Orden FOM/1144/2003:** establece los requisitos de seguridad para la realización de actividades marítimas en aguas interiores.

3.5. Normas ISO

Las normas ISO son un conjunto de estándares internacionales desarrollados y publicados por la Organización Internacional de Normalización (ISO) que establecen requisitos, especificaciones, directrices o características con el objetivo de garantizar la calidad, seguridad y eficiencia de productos, servicios o sistemas. Las normas aplicadas a la embarcación de proyecto son:

- **ISO 8666:2016:** establece las definiciones concernientes a las dimensiones principales y los datos relacionados; así como las especificaciones de masas y condiciones de carga.
- **ISO 11812:2001:** especifica los requisitos para bañeras y nichos que deben designarse como “estancos” o de “vacío rápido”
- **ISO 12215-3:2002:** especifica los requisitos para los materiales previstos a emplear en la construcción del casco, superestructura y apéndices.
- **ISO 12215-5:2008/A1:2014:** determina las presiones y tensiones de diseño; así como el escantillonado, incluyendo los refuerzos de la estructura interior.
- **ISO 12215-6:2008:** establece los requisitos para conseguir una resistencia estructural que asegure la integridad de la embarcación tanto en su estanqueidad al agua como a la intemperie.
- **ISO 12215-8:2009:** establece los requisitos relativos al escantillonado de los timones.
- **ISO 12216:2002:** especifica los requisitos técnicos para ventanas, portillos, escotillas, tapas y puertas.
- **ISO 12217-1:2017:** especifica los métodos de evaluación de estabilidad y flotabilidad de embarcaciones a motor.
- **ISO 15083:2003:** especifica los requisitos para el bombeo u otros medios alternativos destinados a eliminar la acumulación normal del agua en las sentinas.
- **ISO 15084:2003:** especifica los requisitos relativos a los puntos de amarre para sujetar cadenas, cables y líneas de fondeo, amarre y remolque.



Capítulo 4

Diseño de las formas

Este capítulo se centrará en el diseño y generación de las formas del buque, además de su análisis. Las formas se pueden modelar en distintos programas de diseño como *Maxsurf Modeler* o *Rhinoceros*, donde se obtendrá el diseño de la carena del barco además el plano de formas de la embarcación, las curvas hidrostáticas o la curva de áreas. Para comenzar, se partirá del plano de formas de un buque base, de imágenes del mismo, del diseño base proporcionado por *Maxsurf* o cualquier otro criterio que se habrá determinado como óptimo por parte del arquitecto.

El proceso de diseño de la carena ha de realizarse con detenimiento por su gran importancia debido a la cantidad de parámetros y características de la embarcación que dependen de las formas. Entre ellos se encuentran:

- Cumplir con la normativa de estabilidad intacta y en averías.
- Minimizar la resistencia al avance.
- Contar con un buen comportamiento en la mar.
- Contribuir en una buena distribución uniforme del flujo que llega a los propulsores.
- Permitir una buena distribución de espacios, algo especialmente importante en este tipo de embarcaciones de lujo.

4.1. Estudio de las formas

Se ha definido la embarcación objeto de diseño como una embarcación rápida a motor, monocasco de 24 metros de eslora. Debido a que este tipo de buques están regidos por la normativa ISO, se deberá clasificar como una embarcación de planeo o desplazamiento según la ISO 12215-5:2020 [9]. Siguiendo el apartado 3.6 de la misma, una embarcación de planeo es aquella en la que la velocidad máxima en mar llana y en condiciones de m_{LDC} , cumple la siguiente condición:

$$\frac{V}{\sqrt{L_{WL}}} > 5 \quad (4.1)$$

A continuación, se comprueba si se cumple dicha condición:



$$24/\sqrt{21} = 5,237 > 5$$

Por lo que se confirma que la embarcación trabajará en régimen de planeo.

Debido a esta condición, se buscarán las formas óptimas para navegar bajo este régimen. Suelen distinguirse entre dos tipos de cuadernas, en U y en V, como se puede ver en la Fig.4.1. El comportamiento hidrodinámico de la embarcación depende del tipo de cuadernas estipulado.

Las formas del casco y secciones deberán ser en "forma de V". En el caso de las embarcaciones de planeo, este tipo de cuadernas son mejores de cara a generar las fuerzas dinámicas verticales necesarias (ver Fig. 4.2). Dicha V, se afinará hacia la proa para facilitar el paso de ola y minimizar los fenómenos de "slamming" a alta velocidad, mejorando el confort y reduciendo los esfuerzos sobre la estructura de proa.

Además, debido a las altas velocidades, si el fondo fuese plano, se producirían unas aceleraciones verticales debidas al oleaje que pondrían en riesgo la estructura y a los pasajeros; estas aceleraciones quedarán reducidas al tener una sección en V.

En cuanto a la zona de la popa, unas cuadernas en V consiguen que el flujo pase perpendicularmente a ellas; además, evitan un aumento de la resistencia de presión de origen viscoso que sí se daría con la forma de las cuadernas en U. Como contraparte, pueden causar un mal funcionamiento de la hélice, produciendo vibraciones y dando problemas en la configuración de la estela. [10]

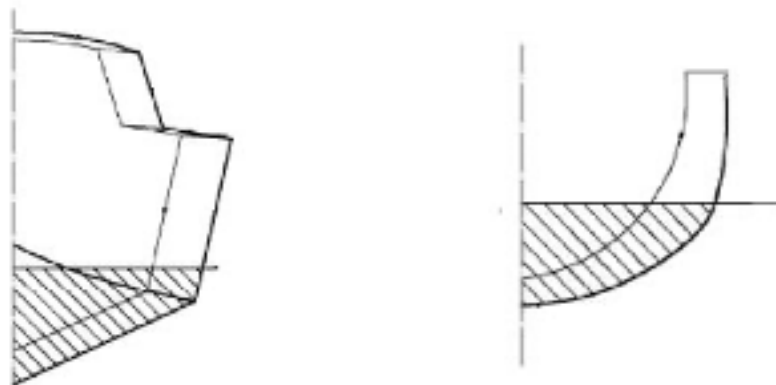


Figura 4.1: Formas en V / Formas en U

Con el uso de las cuadernas en V, aparece la astilla muerta. Con la aparición de la astilla muerta, surge una reducción de la fuerza de empuje vertical debido a que las partículas del agua son expulsadas hacia los lados. Esto se debe a que la presión hidrodinámica que empuja la embarcación es la reacción a la misma fuerza en sentido opuesto que generan las partículas del agua al entrar en contacto con el casco. Lo cual se traduce en una menor presión hidrodinámica que empuja a la embarcación, pero en un mejor comportamiento de la misma provocado por la disminución de los efectos dinámicos.



Para optimizar las formas disminuyendo la resistencia al avance y aumentando la velocidad sin necesidad de un aumento de potencia, se propone una popa de espejo, proporcionando una separación limpia del flujo que la mantiene fuera del agua en velocidades de planeo.

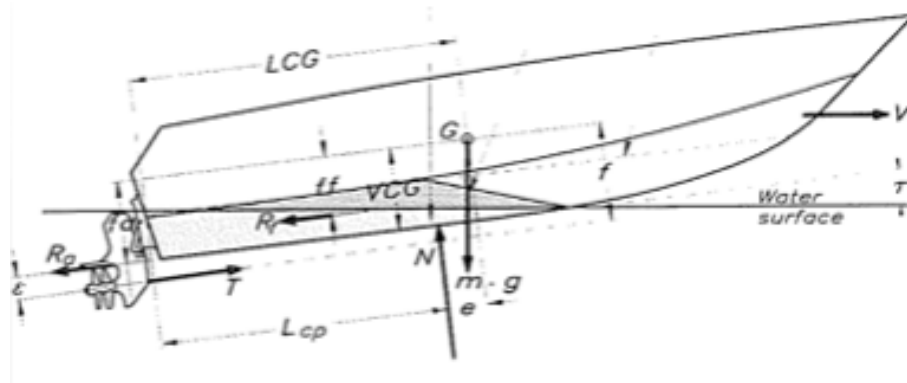


Figura 4.2: Fuerzas que experimenta el casco durante el régimen de planeo.

Para lograr alcanzar altas velocidades en este tipo de embarcaciones, así como su planeo, se añaden unos “apéndices” que ayudarán a redireccionar el flujo de agua, sumando empuje a la embarcación. Estos son los *spray rails* o redanes (ver Fig. 4.3). De igual forma, se añade un codillo a la embarcación que colaborará a aumentar la fuerza de empuje vertical y a mejorar la estabilidad dinámica transversal, al tiempo que favorecerá una separación limpia del agua que mantenga los costados secos, reduciendo la superficie mojada total. [11]

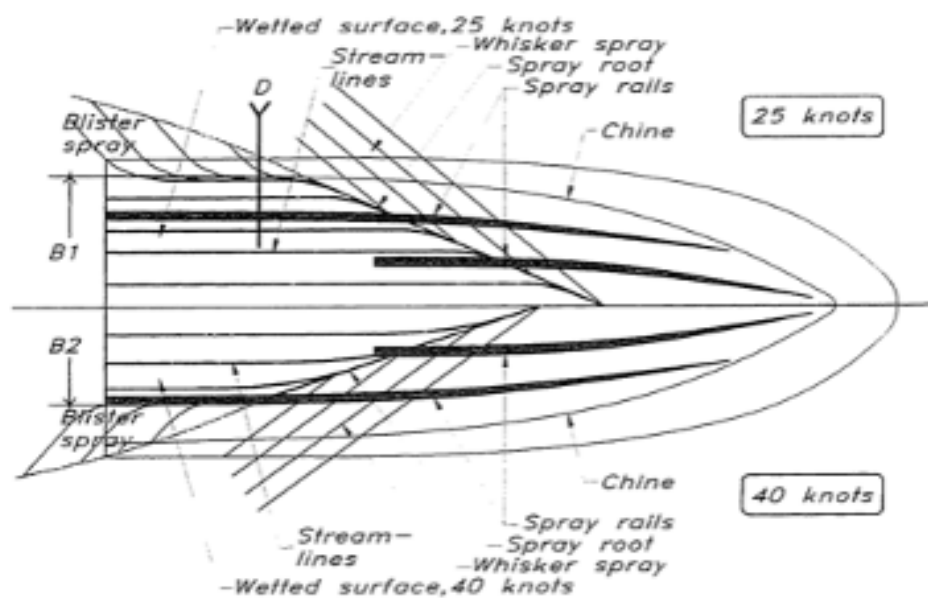


Figura 4.3: Esquema de los spray rails en un casco de planeo.

4.2. Presentación de las formas de la carena

Para el desarrollo de las formas se ha hecho uso del programa *Rhinoceros*. Debido a la falta de un plano de formas de las embarcaciones base seleccionadas, se ha partido del plano de cuadernas de una serie sistemática de formas para una embarcación de planeo.

Las series sistemáticas son estudios realizados por canales de ensayos o astilleros, donde los resultados de dichos estudios se expresan con parámetros básicos dimensionales. Se tomó como referencia el barco base de la *Serie 62*. [6]

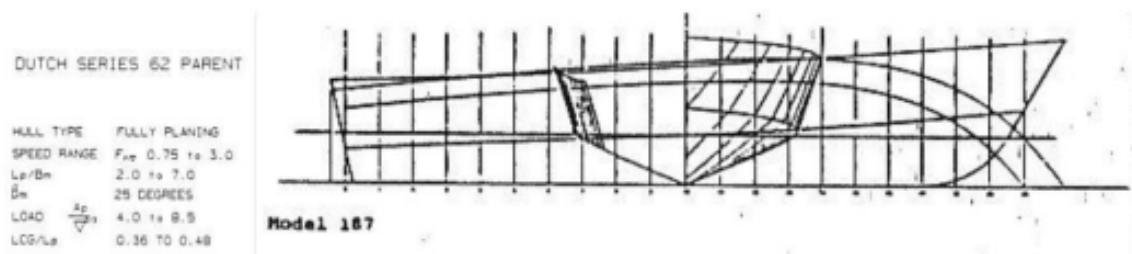


Figura 4.4: Series 62 Parent

Para empezar, se equiespacia las cuadernas a lo largo de la longitud de la eslora, teniendo en los 24 metros un total de 7 cuadernas. En la zona de proa, por ser más difícil de modelar, las cuadernas estarán más próximas, haciendo la cuaderna de la roda las veces de “longitudinal”.

Primero se empiezan diseñando con el comando *spline* y el mismo número de puntos de control (tanto para las cuadernas de proa como para las de popa) las cuadernas de la zona del fondo (hasta un posible codillo) en la vista lateral, siguiendo la serie sistemática que habrá sido escalada aproximadamente a las dimensiones del puntal y la manga. Una vez que se les ha terminado de dar forma siguiendo un buen criterio, se genera la superficie para cada una de las mitades de la embarcación con el comando *loft*, y se valora si es lo suficientemente lisa y sin “bollos”.

Para alcanzar un mejor acabado de las formas, se alisarán las curvas con ayuda de las otras vistas (*planta* y *frontal*) en las que se irán alineando los puntos siguiendo una tendencia. Y así, trabajando los puntos en las tres vistas de tal forma que sigan una línea de tendencia imaginaria, se alcanzará un grado de precisión suficiente donde las formas estarán carentes de desigualdades a lo largo de toda la superficie.

Para el diseño del costado, se modelarán las cuadernas de igual modo que para la parte del fondo, a partir de *splines* con el mismo número de puntos de control, siguiendo la serie sistemática. La línea terminará a la altura del punto en el que termine la cuaderna del fondo. Antes de terminar, se deben trabajar las curvas en las tres vistas como se ha explicado anteriormente, para que la superficie generada sea lo más lisa posible.

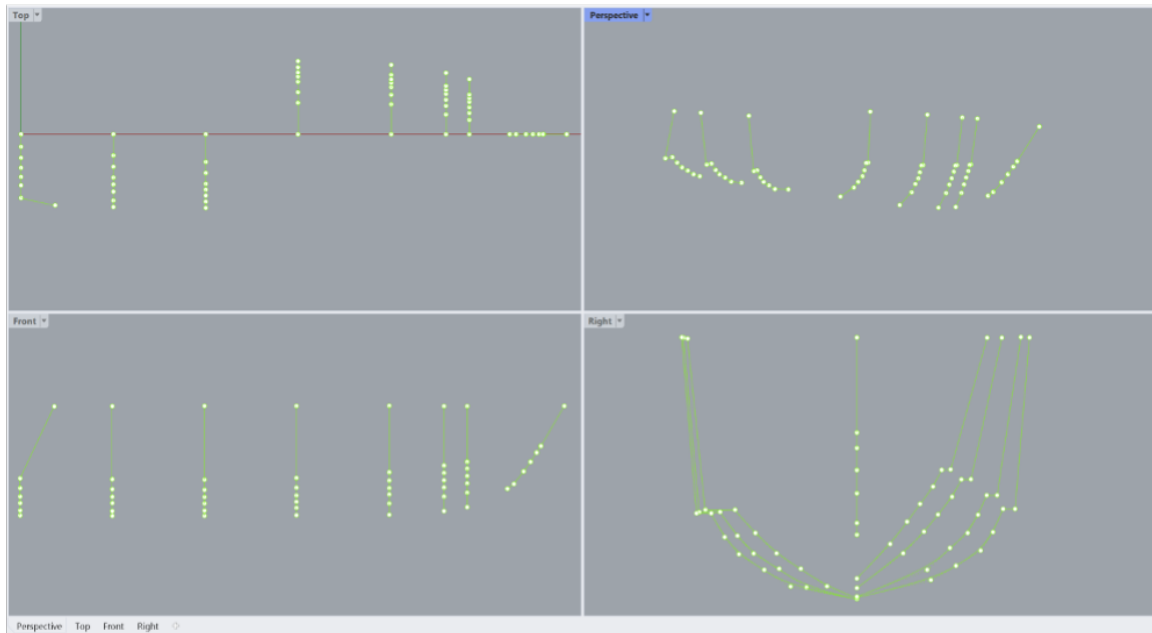


Figura 4.5: Cuadernas de la embarcación durante el proceso de diseño en Rhinoceros

Se irá atisbando una discontinuidad que representará el codillo. La línea de codillo se generará uniendo el final de la línea de fondo con la del costado, esta vez haciendo uso de una *polilínea*. Una vez estén las cuadernas completas, con el comando *join* se unirán de tal forma que se conviertan en una única cuaderna (fondo + codillo + costado). La superficie se creará con el comando *loft* como se ha mencionado anteriormente.

De esta forma, se sabe que la embarcación tiene la eslora deseada fijada como dato de partida y aproximadamente la manga y el puntal de diseño.

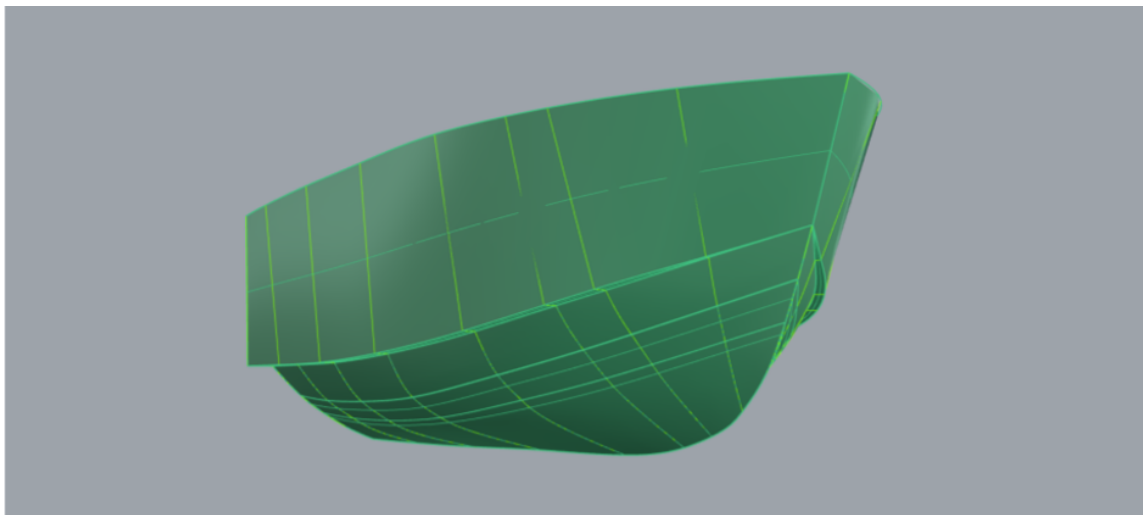


Figura 4.6: Vista en perspectiva del modelo en Rhinoceros



Para terminar las formas se exportan a *Maxsurf Modeler*, donde es más fácil modificarlas viendo simultáneamente las características hidrostáticas para conseguir el desplazamiento predeterminado, la posición aproximada del centro de carena, etc. Además, se reduce el número de puntos de control de la superficie, lo cual hará que sea más fácil modificarla sin perturbar la superficie, obteniendo formas lisas de manera más simple.

En *Maxsurf*, se ha dado una forma recta al fondo, se ha diseñado el espejo de popa y se han modelado los redanes a partir de una superficie creada por una línea de tres puntos que se ha intersecado con la superficie del fondo. También se ha reducido relativamente la astilla muerta que se había obtenido del modelado a partir de las series sistemáticas de cara a reducir la resistencia al avance.

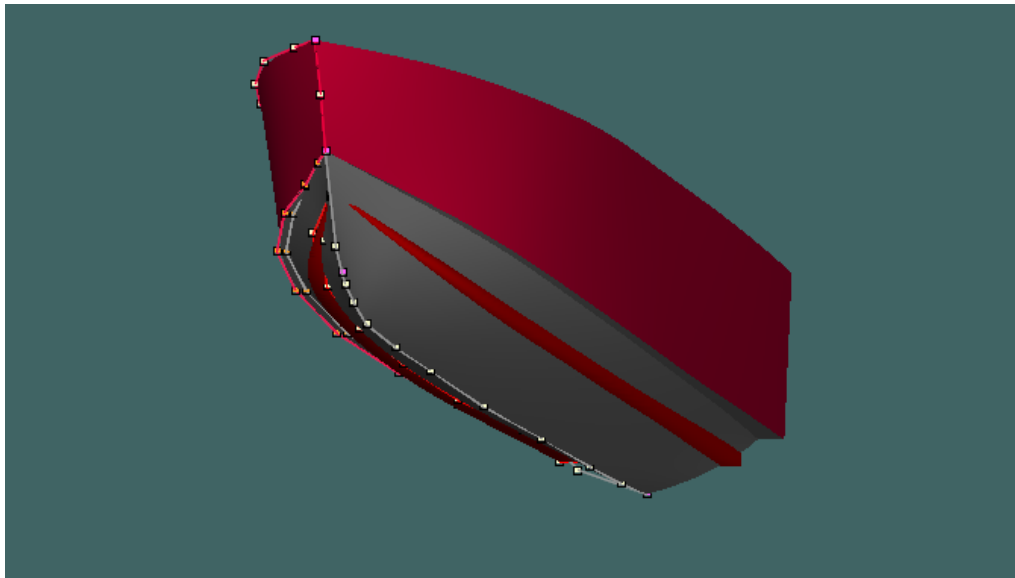


Figura 4.7: Vista en perspectiva del modelo en Maxsurf

El plano de formas se puede encontrar en el Anexo E.

Se puede ver en la curva de áreas (Fig.4.8) que la sección máxima se encuentra concentrada en su centro, en la zona de la cuaderna maestra. Por otro lado, el cuerpo de entrada es largo y fino, esto ayuda a perturbar lo menos posible la superficie del agua y así generar las menos olas posibles, disminuyendo la resistencia por formación de olas. Se puede ver también en la gráfica la popa de espejo en el cuerpo de salida. La curva de áreas presenta formas suaves sin puntos de inflexión que se traducirían como zonas incorrectas en el modelo.

En cuanto al resto de curvas hidrostáticas, se puede decir que los valores son bastante coherentes (ver Tab.4.2). Se obtiene un valor del coeficiente prismático (C_p) en torno al 0.7, muy acertado para embarcaciones con altos números de Froude. Al igual que el coeficiente prismático, un coeficiente de bloque (C_B) del 0.382 también es un valor razonable, ya que es difícil encontrar barcos actuales de alta velocidad con un C_B superior a 0.5, con el objetivo de que la resistencia al avance no aumente de forma desmedida.

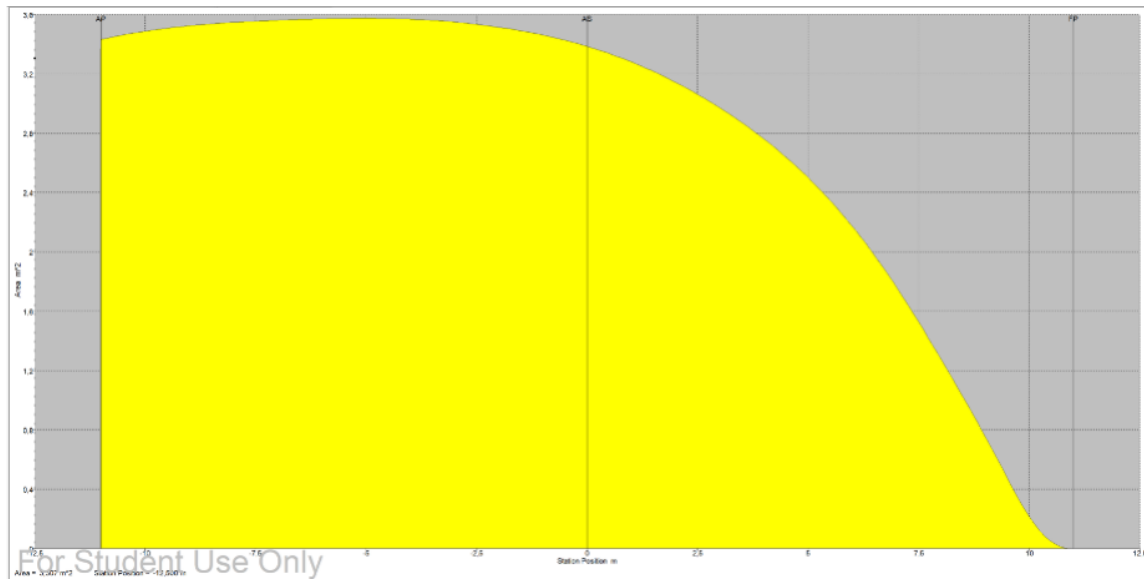


Figura 4.8: Curva de áreas de la carena

Measurement	Value	Units
Displacement	62,87	t
Volume (displacement)	61,338	m ³
Draft Amidships	1,265	m
Immersed depth	1,171	m
Immersed depth of station with max area	1,166	m
Immersed depth amidships	1,17	m
WL Length	21,911	m
Beam max extents on WL	6,253	m
Beam max on WL	6,253	m
Beam extents on WL of station with max area	6,252	m
Beam on WL of station with max area	6,252	m
Beam extents on WL amidships	5,598	m
Beam on WL amidships	5,598	m
Wetted Area	118,26	m ²
Max sect. area	3,576	m ²
Sect. area amidships	3,387	m ²
Waterpl. Area	105,782	m ²
Waterpl. lxx (trans.)	276,817	m ⁴
Waterpl. lyy (long.)	3164,521	m ⁴
Prismatic coeff. (Cp)	0,783	
Block coeff. (Cb)	0,382	
Max Sect. area coeff. (Cm)	0,49	
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,772	
LCB length	-2,069	from zero pt. (+ve fwd) m
LCF length	-2,123	from zero pt. (+ve fwd) m
LCB %	-9,442	from zero pt. (+ve fwd) % Lwl
LCF %	-9,690	from zero pt. (+ve fwd) % Lwl
VCB	0,873	m
VCF	1,265	m
KB	0,873	m
BMt	4,513	m
BML	51,591	m
KMt	5,386	m
KML	52,465	m

Tabla 4.1: Curvas hidrostáticas



Capítulo 5

Equipos y servicios

En este capítulo se definirán los equipos y servicios que deben ir a bordo de la embarcación para cumplir con la normativa nacional establecida: Orden FOM 1144 [12].

Se definirán los sistemas de seguridad, salvamento, contraincendios, navegación y prevención de vertidos a partir de la ya mencionada Orden FOM y la norma ISO 9094, así como los equipos de fondeo, amarre y remolque (ISO 15084), achique de sentinas con la norma ISO 15083 y la visibilidad (ISO 11591).

5.1. Orden FOM 1144/2003

Para comenzar con la definición de los equipos y servicios, será necesario que la categoría de la embarcación según ISO esté establecida. Esto se hizo previamente en la sección 3.2, donde se determinó que la categoría de la embarcación sería A: Oceánica, pudiendo navegar por todas las zonas (1-7). Se establecerán por lo tanto los requisitos de la Zona 1 por ser los más restrictivos.

5.1.1. Elementos de salvamento

ELEMENTO	ZONA DE NAVEGACIÓN 1	ZONA DE NAVEGACIÓN 2	ZONA DE NAVEGACIÓN 3	ZONA DE NAVEGACIÓN 4	ZONA DE NAVEGACIÓN 5, 6, 7
BALSAS SALVAVIDAS	100% Personas SOLAS	100% Personas SOLAS o ISO 9650	100% Personas SOLAS o ISO 9650	NO	NO
CHALECOS SALVAVIDAS	110% Personas SOLAS o CE (275 N) (1)	100% Personas SOLAS o CE (150 N) (2)	100% Personas SOLAS o CE (150 N) (2)	100% Personas SOLAS o CE (150 N) (2)	100% Personas SOLAS o CE (100 N) (3)
AROS SALVAVIDAS	2	1	1	1	NO

Figura 5.1: Cuadro-resumen elementos de salvamento según Orden FOM 1144

CLASE DE SEÑAL	ZONA DE NAVEGACIÓN 1	ZONA DE NAVEGACIÓN 2	ZONA DE NAVEGACIÓN 3, 4	ZONA DE NAVEGACIÓN 5, 6
Cohetes con luz roja y paracaídas.	6	6	6	-
Bengalas de mano.	6	6	6	3
Señales fumígenas flotantes.	2	2	1	-

Figura 5.2: Cuadro-resumen señales de socorro según Orden FOM 1144



Siguiendo las Fig. 5.1-5.2, se llevará a bordo:

- 1 **balsa salvavidas** con capacidad para 12 personas tipo SOLAS homologada por la Marina Mercante.
- 14 **chalecos salvavidas** de tipo SOLAS homologados por la Marina Mercante.
- 2 **aros salvavidas** tipo SOLAS, uno de los cuales llevará luz y rabiza.
- 6 **cohetes** con luz roja y paracaídas, 6 **bengalas de mano** y 2 **señales flumígenas** flotantes. Todos homologados.

5.1.2. Equipo de navegación

Luces y marcas de navegación, las cuales deberán ajustarse al Convenio sobre el Reglamento Internacional para prevenir los abordajes, donde se establece que para las embarcaciones de entre 12 y 50 metros de eslora:

- 2 **Luces de tope** blancas a proa y popa, 5 millas. Sin interrupción formando un arco de horizonte de 225° .
- 2 **Luces de costado**, una verde a estribor y una roja a babor, 2 millas. Sin interrupción en un arco de horizonte de 112.5° .
- 1 **Luz de alcance** blanca lo más cerca posible a la popa, 2 millas. Sin interrupción en todo un arco de horizonte de 135° .
- 1 **Luz de remolque** amarilla lo más cerca posible a la popa, 2 millas. Sin interrupción en todo un arco de horizonte de 135° .
- 2 **Luces de todo horizonte**, una de ellas será de luz blanca o roja según si navega sin gobierno (roja) o si está fondeado (blanca).

Para definir la visibilidad de la embarcación se ha recurrido a la norma ISO 11591 [13] por la que se establece el campo de visión.

Dicha norma establece los requisitos de visibilidad horizontal y vertical, de tal forma que se debe proveer de un campo de visión horizontal en la posición de gobierno de un arco de al menos 112.5° a babor y a estribor. En cuanto a la condición vertical, la distancia de visión vertical obstruida hasta la superficie del agua en el campo de visión horizontal a partir de la roda debe ser inferior a 50m.

Ambas condiciones se cumplen para los dos puestos de gobierno: el principal y el del *flybridge*. Sin embargo, hay que tener en cuenta que la embarcación que se está diseñando planeará con un ángulo de trimado de unos 4.5° . Donde haciendo un cálculo gráfico aproximado, se ve que para el mayor ángulo de trimado no se cumple la condición de visibilidad vertical para el puesto de gobierno principal.

Según la norma, esta información se debe incluir en el manual del propietario, estableciendo que la visión se puede obstruir por grandes ángulos de trimado de la embarcación. Además, se deberá colocar el siguiente rótulo en el puesto de gobierno que no cumpla con los requisitos:

“ADVERTENCIA-La visión desde este puesto de gobierno es limitada. Mantenga la vigilancia necesaria.”



5.1.3. Fondeo y amarre

Línea de fondeo de longitud no inferior a $5L_h$; es decir 120m y con un diámetro de estacha de 16mm según la Fig. 5.3. Además, serán de nylon con una carga de rotura mayor que la cadena.

Siguiendo la Fig. 5.3, se dispondrá también de un **ancla** principal de alto poder de agarre (tolerancia del 10 %) de 75kg, con un tramo de **cadena** de 24m de longitud mínima y 12mm de diámetro según la norma EN 24565. Las cadenas serán de acero galvanizado o equivalente.

ESLORA (m)	Peso del Ancla (kg)	Diámetro de cadena (mm)	Diámetro de estacha (mm)
L = 3	3,5	6	10
L = 5	6	6	10
L = 7	10	6	10
L = 9	14	8	12
L = 12	20	8	12
L = 15	33	10	14
L = 18	46	10	14
L = 21	58	12	16
L = 24	75	12	16

Figura 5.3: Equipo de fondeo según Orden FOM 1144

Siguiendo la ISO 15084 [14], se determinarán tanto los puntos de amarre, fondeo y remolque como las tensiones que deben soportar. La embarcación contará finalmente con un punto a proa para el fondeo y remolque; además por ser una embarcación de L_h superior a 6, 12 y 18 metros, contará con un punto de amarre a popa, por lo menos un punto de amarre adicional tanto a proa como a popa, a babor y a estribor.

El punto de fondeo y remolque deberá resistir una carga horizontal P_1 [kN] mínima, definida por la ecuación 5.1:

$$P_1 = f \cdot (3.5 \cdot L_c - 5.4) \tag{5.1}$$

donde f es 1 por ser de categoría de diseño A y L_c es igual a:

$$L_c = \frac{L_H + L_{WL}}{2} \tag{5.2}$$

Obteniendo finalmente:

$$P_1 = 1 \cdot (3.5 \cdot 22.5 - 5.4) = 73.35$$

Para los puntos de amarre, se deberá cumplir con la ecuación 5.3 para los puntos de proa y con la ecuación 5.4 para los puntos de popa. Siendo para ambas L_c el valor correspondiente a la ecuación 5.2

$$P_2 = (3.5 \cdot L_c - 4.3) = 74.45 \tag{5.3}$$

$$P_3 = (3.0 \cdot L_c - 3.8) = 63.70 \tag{5.4}$$



La embarcación contará con el **material náutico** de la Fig. 5.4, para la zona de navegación 1.

MATERIAL	Zona de Navegación					REQUISITOS
	1	2	3, 4	5, 6, 7		
Compás	1	1	1			a)
Corredera	1	1				b)
Sextante	1					c)
Cronómetro	1					
Compás de puntas	1	1				
Transportador	1	1				
Regla de 40 cm	1	1				
Prismáticos	1	1	1			
Cartas y libros náuticos.	1	1	1			d)
Bocina de niebla	1	1	1	1		e)
Barómetro	1	1				
Campana o similar	1	1	1			f)
Pabellón nacional	1	1	1	1		
Código de banderas	1	1				g)
Linterna estanca	2	2	1			h)
Diario de navegación	1					
Espejo de señales	1	1	1	1		
Reflector de radar	1	1	1			i)
Código de señales	1	1	1	1		j)

Figura 5.4: Cuadro-resumen del material náutico requerido para la embarcación por la Orden FOM 1144

5.1.4. Medios contraincendios

Los extintores portátiles que se deben utilizar, vienen determinados por la norma en función de la eslora y se pueden ver en la Fig. 5.5. En cuanto a los baldes contraincendios, se definirán según la Fig. 5.6

L	Número y tipo de extintores *
Si tiene cabina cerrada y L < 10 m	1, tipo 21 B
10 <= L < 15 m	1, tipo 21 B**
15 <= L < 20 m	2, tipo 21 B**
20 <= L < 24 m	3, tipo 21 B**

Figura 5.5: Cuadro-resumen extintores portátiles según Orden FOM 1144

Zona de Navegación	Número de baldes contraincendios con rabiza
3, 4	1
1, 2	2
1 y 2 (L > 20 m)	3

Figura 5.6: Cuadro-resumen baldes contraincendios según Orden FOM 1144



Se contará por lo tanto con:

- Mínimo 3 **extintores portátiles** tipo 21 B, uno de ellos adecuado para el fuego de origen eléctrico, instalados en puntos de fácil acceso. Homologados por la Marina Mercante.
- 3 **baldes contra incendios** ligeros y de fácil manejo con capacidad mínima de 7L cada balde.
- Sistema de **detección de incendios**.

Además se ha seguido la norma ISO 9094 [15] para diseñar un plano contra incendios, el cual se puede ver en el Anexo E.

5.1.5. Medios de achique

Siguiendo la Orden FOM, se obtiene que toda embarcación que navegue por la zona 1 deberá contar con al menos 2 **bombas**, donde por lo menos una será accionada por el motor principal u otra fuente de energía, y otra manual de capacidad igual o mayor a 30 L/min (a una presión de 10 kPa). Además, también se deberá contar con 2 **baldes**.

Si además se tiene en cuenta la ISO 15083 [16], la embarcación deberá contar con una bomba secundaria adicional, mecánica o eléctrica de la misma capacidad, por pertenecer a la categoría de diseño A y además presentar un puesto principal de gobierno protegido.

5.1.6. Prevención de vertidos

La embarcación estará construida de modo que se eviten vertidos accidentales de aguas sucias y contaminantes.

Se dispondrá de **depósitos de retención** o instalaciones que puedan contener depósitos destinados a retener aguas sucias. Estarán conectados con las descargas de los aseos de la embarcación con conexiones lo más cortas y directas posible, además estarán instalados en zonas accesibles. Dispondrán de **medios de ventilación** adecuados. Se dispondrá de medios que indiquen que el contenido almacenado supera los 3/4 de la capacidad. La capacidad será suficiente para retener las aguas sucias generadas por el máximo número de personas durante al menos dos días a razón de 4L/persona al día; es decir, 96 L.

La descarga de aguas sucias será del modo indicado en la Fig. 5.7.

ZONA	OPCIÓN DE DESCARGA
Aguas portuarias. Zonas protegidas. Rías, Bahías, etc.	No se permite ninguna descarga, ni siquiera con tratamiento.
Hasta 3 millas.	Se permite con tratamiento. Ni sólidos ni decoloración.
Desde 3 millas hasta 12 millas.	Se permite desmenuzada y desinfectada. Para descargar el tanque, la velocidad de la embarcación debe ser superior a 4 nudos.
Más de 12 millas.	Se permite en cualquier condición. Para descargar el tanque, la velocidad de la embarcación debe ser superior a 4 nudos.

Figura 5.7: Cuadro-resumen zonas de descarga de aguas sucias según la Orden FOM 1144

5.2. Sistemas de propulsión

El sistema propulsivo se desarrolla plenamente en el Capítulo 6.

5.3. Gobierno y Maniobra

En cuanto al sistema de gobierno principal, la embarcación cuenta con motores tipo IPS de hélices dobles contrarrotativas orientables mediante accionamiento hidráulico desde los puestos de mando, de manera que no es necesario el uso de timón (ver Fig. 5.8). Además el sistema IPS se combina con un *joystick* integrado, facilitando una respuesta inmediata incluso maniobrando a baja velocidad con un radio de giro reducido, proveyendo de igual manera ayuda al atraque y desatraque. [17]

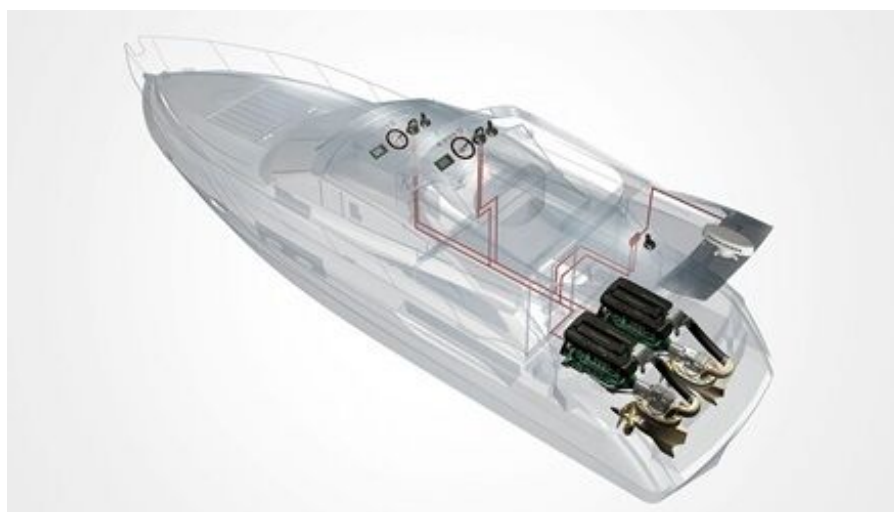


Figura 5.8: Sistema de gobierno tipo IPS

Para facilitar el atraque con espacio limitado, se añade una hélice de maniobra de proa modelo 300TT *Tunnel Thruster* de LEWMAR.

5.4. Instalación eléctrica

La instalación eléctrica queda definida en el Capítulo 7.

5.5. HVAC

En cuanto al sistema de calefacción, ventilación y aire acondicionado, se dispondrá un compresor en la cámara de máquinas y unos dispositivos de climatización o *fan coils* en las zonas de habitación que suministrarán aire acondicionado y calefacción. Dicho sistema está especificado en el desarrollo de la planta eléctrica (Capítulo 7).



Capítulo 6

Sistema propulsivo

En el siguiente capítulo se englobarán varios temas relativos a la resistencia al avance y propulsión de la embarcación, de tal forma que se estudiará la elección del motor y su consumo, la autonomía del yate, la velocidad que alcanza, etc.

Una vez modelada la carena de la embarcación, se definirá la propulsión principal; para ello, se debe hacer un estudio previo de la potencia necesaria para superar la resistencia al avance total que se ejerce sobre el barco. Estos cálculos se realizarán mediante el programa *Maxsurf Resistance*, el cual estima los parámetros de la carena en un rango preestablecido de velocidades.

6.1. Consideraciones iniciales

El tipo de propulsor para la embarcación se escoge en función de la resistencia al avance total de la carena. La resistencia al avance en este tipo de embarcaciones depende principalmente de los siguientes parámetros: manga, centro longitudinal de gravedad, astilla muerta o la velocidad de avance. Los componentes que engloba la resistencia total son la resistencia viscosa, la resistencia por formación de olas y en menor medida, la resistencia al viento de la estructura que está en contacto con el aire.

Es posible determinar la resistencia al avance a partir de varios métodos, entre los que se encuentran los métodos experimentales, los estadísticos, los analíticos y los numéricos.

Para el cálculo de predicción de la resistencia al avance, se utilizará el método de análisis de Savitsky, tanto para planeo como para pre-planeo. Este método tiene su base en el estudio sobre la resistencia hidrodinámica de cuerpos prismáticos del *Dr. Daniel Savitsky*, publicado en 1964 [18]; donde se estudiaron diversas placas planas dispuestas en forma de "V" debido a que guardan una gran semejanza con las formas de las embarcaciones con casco de planeo, siendo la interacción con el agua similar.

Debido a las formas en "V" estudiadas en este método, la presencia de la astilla muerta a lo largo de la eslora en la flotación tendrá relativa importancia, por ello, el rango de aplicación de Savitsky engloba a aquellas embarcaciones que tengan una astilla muerta en $0.4 \cdot L_{WL}$ igual o menor de 30°



(con un valor de 21° en el caso de estudio). [19]

Por otro lado, se justifica que esta embarcación es de planeo a partir del número de Froude (F_n), para el cual hay varias fuentes en las que se establecen los valores que definen a una embarcación de planeo.

Según la “*Dutch Series 62 Parent*”, serie que se ha tomado como referencia para el diseño de la carena (ver sección 4.2), el Froude volumétrico (ecuación 6.1) debe de estar en un rango comprendido entre 0.75 y 3, en este caso, para la velocidad máxima (31 kn) se tiene:

$$F_{n_v} = \frac{v}{\sqrt{g \cdot \nabla^{\frac{1}{2}}}} = \frac{16}{\sqrt{9,81 \cdot 62800^{\frac{1}{2}}}} = 1,2 \quad (6.1)$$

Según los estudios hidrodinámicos realizados en el *Canal del Pardo* [7], el número de Froude para embarcaciones de planeo es aquel que $F_n > 0.45$. Esto es así debido a que una carena genera dos olas, una en la proa y otra en la popa del casco. Es para velocidades cercanas a este valor de F_n , en las que la segunda cresta de la ola generada estará más atrás de la popa, quedando el buque únicamente soportado por la cresta de la primera ola.

Es en este momento, cuando la embarcación trimará excesivamente por popa, generándose una ola significativamente grande por proa, que hará que la resistencia al avance por formación de olas represente un límite efectivo de la máxima velocidad alcanzable.

A partir de dicho valor de Froude (> 0.45) la resistencia al avance empezará a ser cada vez más debida a la fricción y la ola generada en proa crecerá significativamente; mientras que la segunda cresta se alejará cada vez más de la popa, disminuyendo la interacción entre los trenes de olas generados en proa y popa, de esta forma la popa alcanza su máxima inmersión. Del mismo modo, a medida que vaya aumentando la velocidad y por tanto el número de Froude, la sustentación dinámica igualará al peso de la embarcación y esta, más que abrirse paso por el agua, se deslizará por ella, alcanzando la velocidad de planeo total.

Para las velocidades que se pretenden alcanzar, de crucero (27 kn) y máxima (31 kn), los números de Froude son respectivamente 0.97 y 1.15 según la ecuación 6.2.

$$F_n = \frac{v}{\sqrt{g \cdot L_{WL}}} \quad (6.2)$$

6.2. Estimación de la resistencia al avance y la potencia requerida

Para el estudio de resistencia al avance con *Maxsurf Resistance*, se usará el Método de Savitsky para planeo y para pre-planeo además del Método de Blount & Fox, el cual es una corrección del método de Savitsky para la condición de planeo. Se aplicará un margen de velocidades con un límite superior de 40 nudos, abarcando así la velocidad máxima y la de servicio.

Se importa el casco previamente diseñado con sus apéndices y se establece una eficiencia del motor. Esta eficiencia está compuesta por varios parámetros, aproximadamente un 4 % de pérdi-



das mecánicas del motor, un rendimiento del 70% de las hélices y un 15% de margen de mar. Es importante tener en cuenta también la resistencia generada por el viento sobre la superficie expuesta al mismo. Se aplicará finalmente para la eficiencia un valor estimado del 59%.

Una vez determinados los valores anteriores, se obtienen los resultados de resistencia al avance y potencia representados en las Fig. 6.1-6.2. Estos valores son una buena primera estimación para la definición y elección del propulsor contando con cierto margen de seguridad.

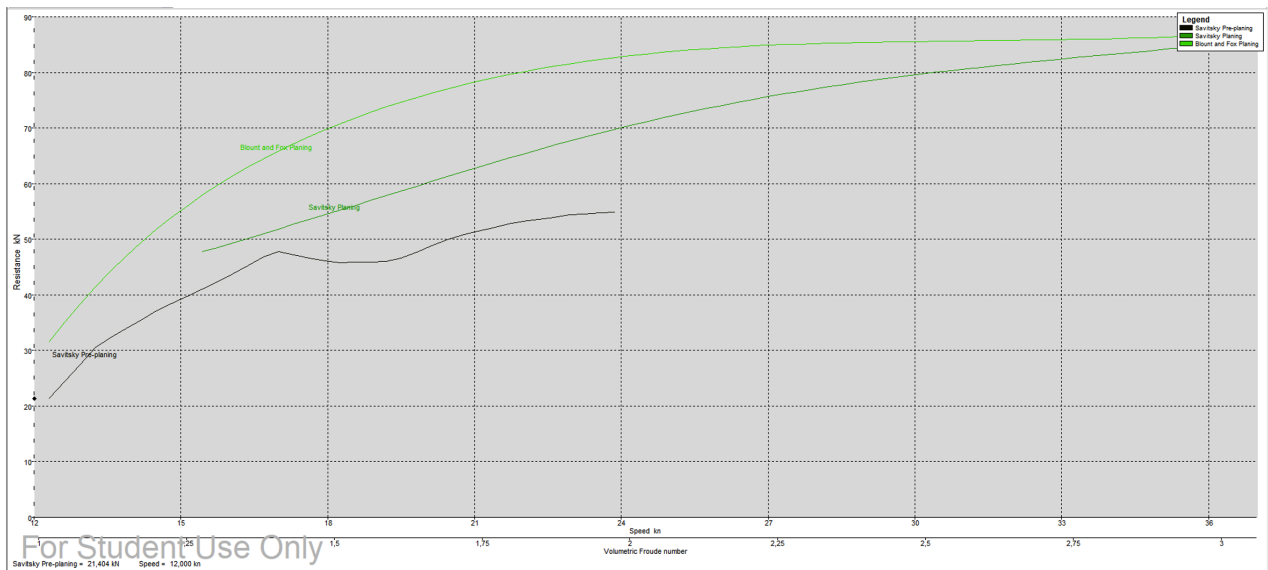


Figura 6.1: Gráfica de Resistencia (kN) frente a Velocidad (kn)

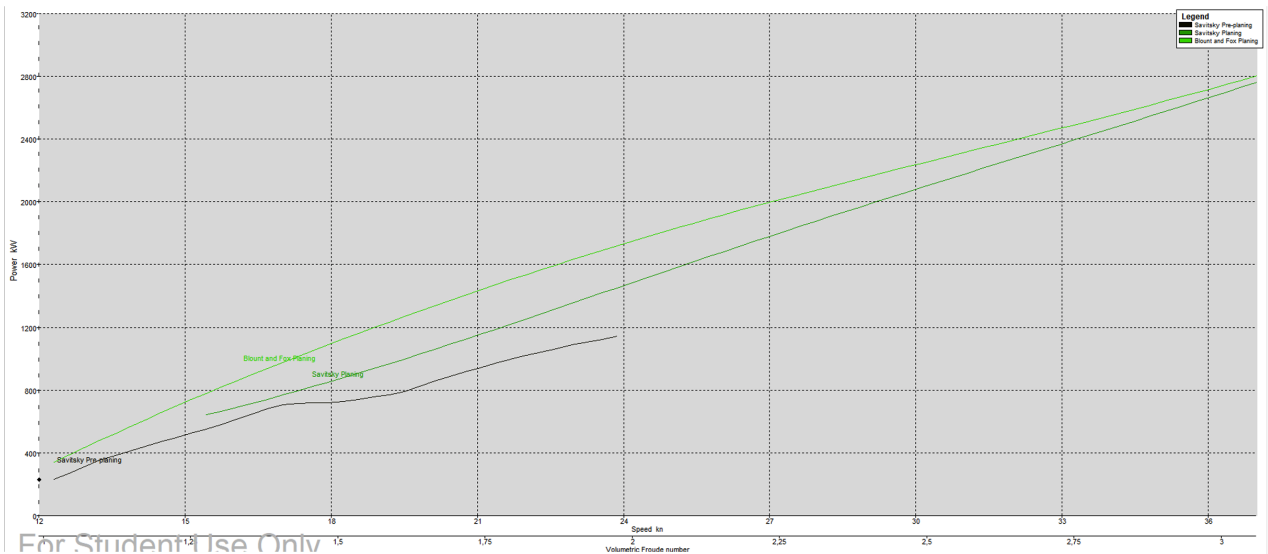


Figura 6.2: Gráfica de Potencia (kW) frente a Velocidad (kn)

Se obtiene también una tabla de resultados de predicción de potencia para el rango de velocidades establecido. En dicha tabla se puede observar el valor de la velocidad para la cual se alcanza el



régimen de planeo; es decir, a partir de 24.5 nudos la embarcación comienza a planear. De igual manera, para una velocidad máxima de 31 nudos, se obtiene un resultado de 2178 kW de potencia requerida, para el cual se dimensionará el motor propulsor.

Por último, se observa la gráfica del ángulo de trimado frente a velocidad que proporciona *Maxsurf* para el valor del LCG estimado en el predimensionamiento. Este es un parámetro importante en las embarcaciones que navegan en régimen de planeo, ya que el trimado afecta a la curva de resistencia y un valor excesivo puede comprometer la estabilidad y maniobrabilidad de la embarcación. En la Fig 6.3, se puede ver que será para una velocidad de 29 nudos cuando se alcance el trimado máximo. Para el rango de velocidades en los que mayoritariamente navegará la embarcación, se estima que el valor será de aproximadamente 4.5° de inclinación.

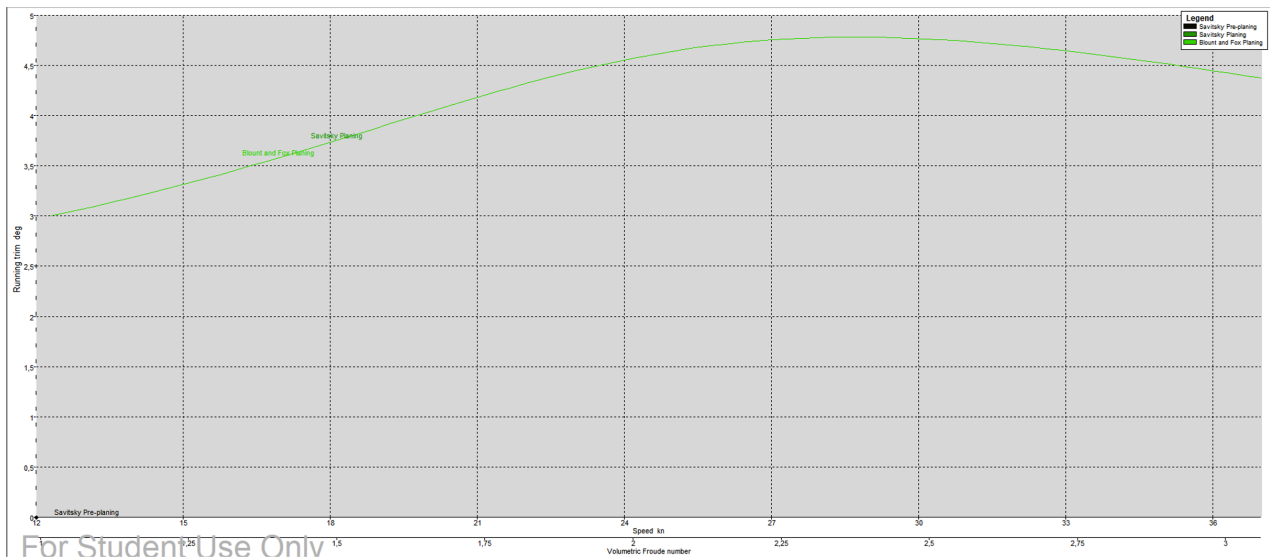


Figura 6.3: Gráfica de Trimado (°) frente a Velocidad (kn)

Mediante trigonometría se calcula la pendiente para dicho ángulo en la flotación:

$$\sin 4.5 = \frac{x}{21} \tag{6.3}$$

$$x = 1.65\text{m}$$

Este valor se considera relativamente aceptable; sin embargo, es recomendable instalar un sistema de *flaps* en la zona del espejo de popa que permitirán reducir dicho ángulo de trimado, entre otras ventajas.

Entre las ventajas que aportan, los *flaps* ofrecen una navegación más suave y confortable. Aportan a la embarcación un ahorro de combustible y una mayor eficiencia en la propulsión al permitir que el barco se adrice más rápidamente y que el motor alcance su rendimiento óptimo con mayor rapidez. Además de que permiten consumir menos, la corrección de trimado es más rápida y la facilidad de alcanzar el planeo a velocidades más bajas es menor, lo que facilita la maniobrabilidad de la embarcación. [20]

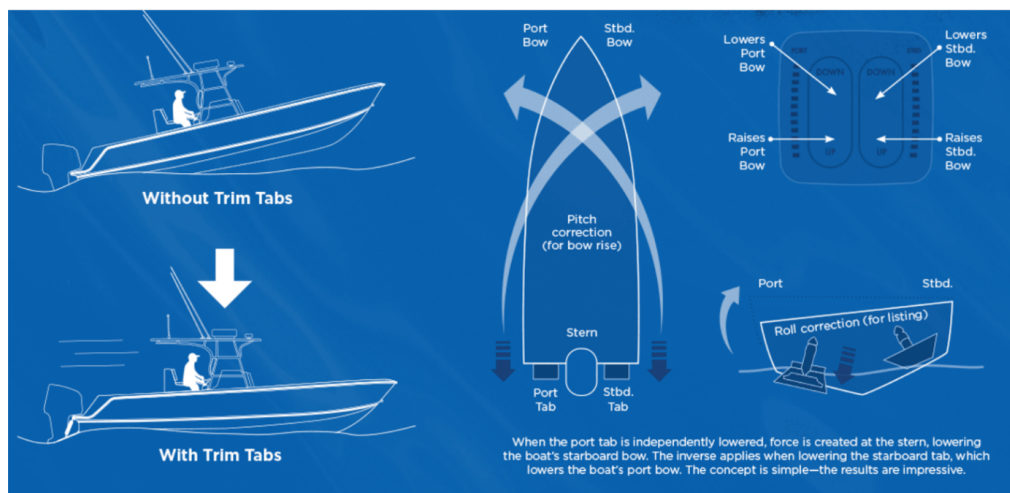


Figura 6.4: Especificaciones de los flaps

6.3. Elección de los motores

Para la elección del motor, se debe buscar un sistema que se ajuste a la estimación de la potencia requerida, así como a las formas de la carena, siendo de vital importancia que la propulsión sea compatible con una embarcación de planeo.

Se han valorado dos opciones: la instalación de los típicos motores intraborda con línea de ejes, muy comunes en este tipo de embarcaciones o la instalación de motores IPS (*Inboard Performance System*), opción relativamente innovadora que ha ido cobrando importancia en los últimos años [17].

Se ha decidido por esta última opción, debido a que plantea varias ventajas que la convierten en la opción más atractiva. Este sistema está formado por un motor, una unidad de transmisión, un sistema de escape y la cola. Cuenta también con dos hélices dobles contrarrotativas orientadas a proa, lo que permite optimizar cada giro transmitido a las palas. Además, diseñado con la maniobrabilidad como característica principal, cuenta con un sistema joystick para facilitar el atraque. [17]



Figura 6.5: Motor Volvo Penta IPS



Fabricantes como Volvo han sacado una amplia gama de estos motores, conocidos como VOLVO PENTA IPS. Según la información proporcionada por el propio fabricante, este tipo de propulsión ofrece comparado con una instalación convencional con línea de ejes [21]:

- 40 % más de autonomía de crucero.
- 20 % más de velocidad máxima.
- 30 % menos de consumo de combustible.
- 30 % menos de reducción de CO₂.
- 50 % menos de ruido percibido.
- Mayor espacio a bordo.

Además de estas ventajas, se ha tenido en cuenta también el hecho de prescindir de línea de ejes, hecho que elude dificultades de ajuste y precisión en el momento de montaje y construcción. Por último, el hecho de disponer de una salida directa en el fondo del casco se traduce en una ganancia de calado para la hélice, logrando disminuir los riesgos de cavitación.

Es cierto que no todo son ventajas con estos motores; el costo del mismo es más elevado, requiere un mayor control del sistema, por lo que el mantenimiento y las revisiones serán más frecuentes, convirtiéndolos en una opción menos atractiva para aquellas embarcaciones pensadas para hacer largas travesías como cruzar el Atlántico.

Después de la toma de decisiones, se procede por lo tanto a la elección del modelo, el cual deberá tener más de 2178 kW de potencia. Como ningún motor ofrece esta potencia, se valorará disponer de una instalación doble o incluso triple. Para ello, se divide la potencia demandada entre tres motores que funcionarán al mismo régimen, llegando a la conclusión de que será necesario un modelo que supere los 726 kW.

En el catálogo, se encuentra el modelo **D13-1350** motor de 12.8 litros de cilindrada en una configuración de 6 cilindros en línea. Este motor proporciona 735 kW de potencia al eje de la hélice, por lo que será idóneo para la embarcación del proyecto.

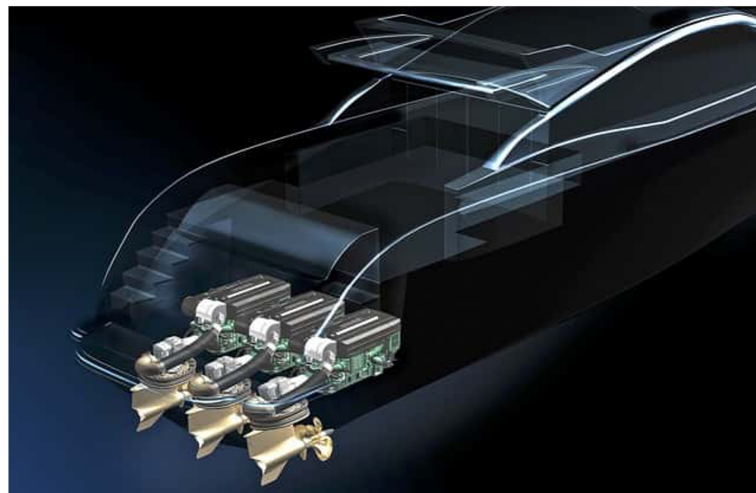


Figura 6.6: Instalación triple Volvo Penta IPS



Para este modelo de motores de la gama IPS (D13), se incluye un nuevo modelo de hélice contrarotativa: la serie Q/QS. Estas hélices están fabricadas en una aleación de nibral (níquel, bronce y aluminio) extremadamente resistente y especialmente desarrollada, además de tener una alta resistencia a la corrosión. Está compuesta por una hélice delantera de tres palas y una hélice trasera de cuatro palas.



Figura 6.7: Hélice tipo Q/QS para motores D-13

6.4. Predicción de la velocidad

Como ya se ha mencionado anteriormente, se pretende alcanzar una velocidad de crucero de 27 nudos y una velocidad máxima de 31 nudos. Según el motor seleccionado, se contará con una potencia instalada a bordo de 2205 kW (3000 hp), pudiéndose afirmar que la embarcación alcanzará la velocidad de crucero de 27 nudos demandando una potencia de 1780 kW y llegará a una velocidad de 32 nudos a máxima potencia (ver Fig.6.2).

6.5. Autonomía

Se hará un estudio del consumo de combustible del sistema propulsivo instalado para estimar la capacidad de la que deberán disponer los tanques de combustible. De este modo, se podrá hacer también una estimación del coste que supondrá llenar dichos tanques.

Para empezar, la embarcación que se está diseñando deberá tener categoría oceánica, lo que supone poder realizar largas travesías, disponiendo de tanques de combustible que tengan capacidad para varios días de navegación. Hay que tener en cuenta también la velocidad media a la que se pretenden hacer dichos viajes, ya que se pueden recorrer distancias relativamente cortas a máxima velocidad, incrementando el consumo de combustible. Como ya se definió anteriormente en la sección 3.2, se establecerá una ruta donde la embarcación partirá del puerto de atraque situado en Arenys de Mar (Barcelona) e irá haciendo varias paradas por la costa italiana como Ostia (Lacio), Reggio di Calabria (Calabria) y Palermo (Sicilia) (ver Fig. 6.8). Como también se puede ver en la figura, el viaje de vuelta se pretende hacer en un solo trayecto, posible gracias a la categoría de la embarcación, donde la distancia aproximada es de 800 - 900 millas, dejando un porcentaje de margen por mala mar, se fija una autonomía de 1000 millas náuticas.



Figura 6.8: Ruta que seguirá el yate

Se calculará la autonomía para el equivalente a la velocidad de crucero (27 nudos). Siguiendo el gráfico de la Fig. 6.9, se estima que para navegar a dicha velocidad se necesitará una potencia de 1780 kW totales, donde cada motor proporcionará aproximadamente 595 kW, traduciéndose en unas 1650 rpm en el cigüeñal. Con este valor, se podrá entrar en el gráfico de la Fig. 6.10, obteniendo un consumo de 65 litros por hora para cada motor. Para alcanzar la autonomía deseada, teniendo en cuenta que se dispone de tres motores a bordo, la capacidad de los tanques deberá ser de aproximadamente 6300 litros. Sin embargo, se ha aumentado la capacidad hasta los 7000 litros, dejando una reserva adicional de 700 litros de combustible para uso de los generadores.

Para transporte sin pasaje, la autonomía se puede aumentar de forma considerable, navegando en régimen de desplazamiento a velocidades reducidas (entre 10 y 12 nudos).

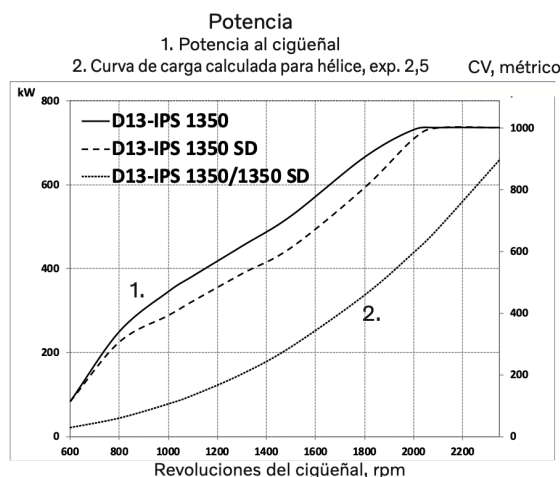


Figura 6.9: Gráfico de la potencia del motor

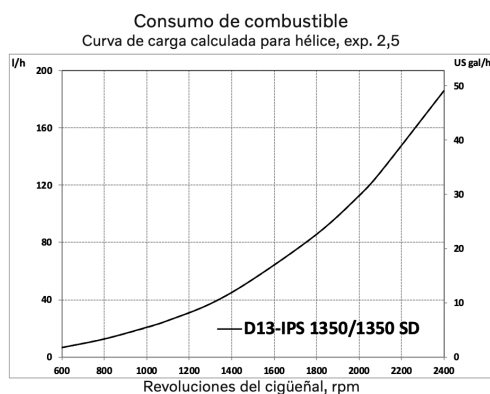


Figura 6.10: Gráfico del consumo del motor

6.6. Definición de la cámara de máquinas

Una vez seleccionados los motores, se establecerán las dimensiones de la cámara de máquinas y la posición de los mismos en la embarcación. Para ello, se deberán definir las distancias transversales y longitudinales de los elementos. Determinada la distribución de los elementos principales, se podrá comenzar con el dimensionamiento de la cámara de máquinas y se delimitará la posición de los tanques de combustible y agua dulce.

6.6.1. Disposición de los elementos

Los motores que se han seleccionado cuentan con una transmisión tipo IPS (ver sección 6.3), por lo que la disposición de los mismos deberá ser cerca de la popa de la embarcación. Para el dimensionamiento de la cámara de máquinas, habrá que tener en cuenta las características de la instalación, las especificaciones técnicas del modelo y el montaje definidos en los manuales proporcionados por el fabricante.

El manual de estudio donde vienen definidas las especificaciones, pertenece a la serie D-13 de motores. En la embarcación se ha establecido una instalación triple del modelo D-13 1350.

6.6.2. Posición del motor y la cola

Lo primero que se debe establecer es la posición transversal de los motores. En el manual de instalación, dicha distancia depende del ángulo de astilla muerta (α), el cual es de 20° respecto a la quilla. Para dicho valor de astilla muerta, se corresponde una distancia (A) medida desde la quilla hasta el centro de la cola azimutal del motor de 1190 mm. (Ver Fig. 6.11)

A continuación, se determinará la posición longitudinal, la cual dependerá del ángulo de inclinación que hay respecto al espejo de popa (β). El valor de este ángulo es de 0° , por lo que la distancia mínima que debe haber desde el centro de la cola azimutal hasta el fin de la quilla en el espejo de popa (C) es de 590 mm. Además, debe haber una distancia mínima entre el tubo de escape y la pared interior del espejo de popa de 25 mm. (Todas estas distancias se pueden ver de forma esquemática en la Fig. 6.11)

La mínima distancia que tiene que haber entre la pared lateral interior y el motor es de 200 mm. Por otro lado, para instalaciones triples, la mínima distancia entre motores debe de ser suficiente para facilitar las tareas de inspección y mantenimiento. Como última aclaración, la distancia desde el fondo del barco hasta el punto más bajo de la unidad de propulsión debe ser de 229 mm.

A pesar de que no viene especificado en el manual de instalación, deberá ser necesario que la extracción de los motores de su posición en la cámara de máquinas sea factible, ya que en un futuro cabe la posibilidad de que un motor deba ser sustituido o reparado fuera de la propia cámara de máquinas. Para ello, se ha dispuesto de una plancha desmontable en el fondo del garaje de popa que se encuentra encima de los motores y conecta directamente con la cámara de máquinas. La extracción del motor no será trivial, pero si posible.

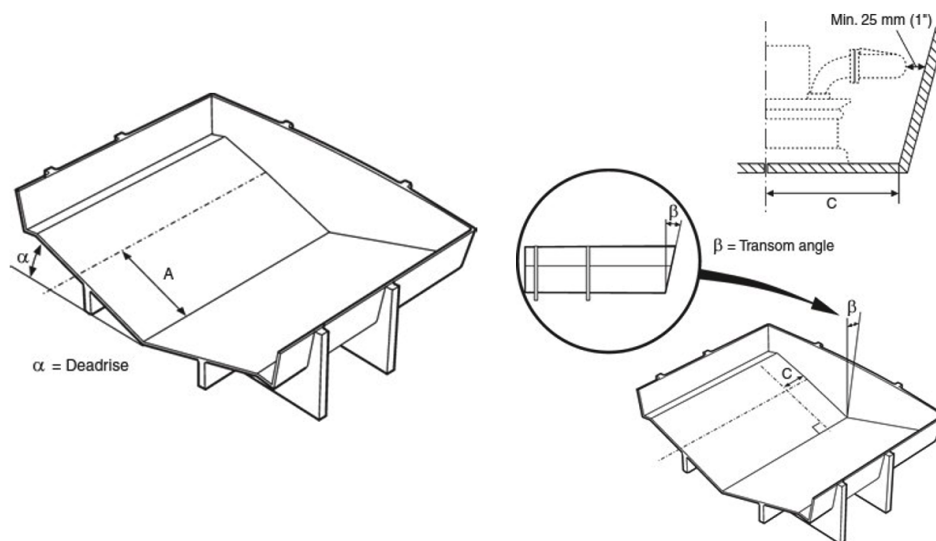


Figura 6.11: Distancias determinantes para la instalación de los motores IPS.

Una vez definidas las distancias anteriores, se procede a colocar los motores principales. Para poder instalar los motores sobre el fondo del casco se debe disponer de un refuerzo estructural que permita además de acomodar los motores, soportar los motores generados durante el funcionamiento de los mismo. Si es necesario debido a la inclinación del fondo del casco, se instalará un polín adecuado para rectificar el ángulo de inclinación del motor.

Como se puede ver en la Fig. 6.12, estos motores van unidos a una cola azimutal que atraviesa el casco. Esto hace que sea necesario diseñar los soportes de los motores junto con la instalación de la cola. Para ello, el fabricante facilita especificaciones del diseño de los refuerzos para la configuración triple en función del material del casco; en este caso, fibra de vidrio.

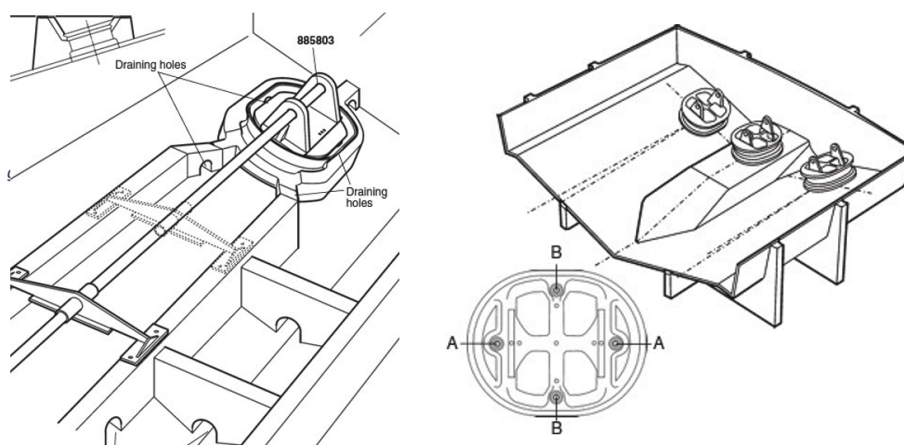


Figura 6.12: Requisitos de instalación de la bancada del motor

6.6.3. Cámara de máquinas

Como se ha dicho anteriormente, la prioridad en esta embarcación es primar la habilitación; esto se consigue dimensionando la cámara de máquinas de tal forma que el espacio ocupado por esta sea mínimo. Para ello, los motores se posicionan lo más a popa posible después de haber dispuesto los dos generadores necesarios, siempre cumpliendo con los requisitos de distancia especificados anteriormente. Además, se dejará un margen por proa desde los motores correspondiente a una clara entre cuadernas.

El acceso a la cámara de máquinas será a través de una escalera vertical por una escotilla en la cubierta superior. De esta forma, se consigue que las vías de entrada de agua queden limitadas a la escotilla y a los conductos de ventilación y tomas de aire del compartimento, situadas a suficiente altura sobre la cubierta y con las protecciones adecuadas para evitar la entrada de agua.

Para diseñar la disposición de la cámara de máquinas será previamente necesario definir los principales equipos y servicios que se ubicarán en ella. Entre estos servicios se encuentra: servicio de combustible, de aceite, de refrigeración, exhaustación y ventilación.

El tanque de combustible será de 7000 litros, como se estimó anteriormente durante el cálculo de la autonomía (sección 6.5). Habrá un solo tanque situado en el centro, sobre la quilla pegado al casco, con separaciones transversales interiores, para limitar el movimiento rápido de fluido, adecuadas para minimizar los efectos del "sloshing". A proa de dicho tanque, pero con un espacio de separación entre ellos se dispone del tanque de agua dulce. Para dimensionarlo, se estimará necesaria una cantidad de 15 litros por persona al día. Se establecerá como mínima una estancia de 7 días a bordo para 8 pasajeros y 2 tripulantes, haciendo un total de 1050 litros; además se dispondrá de una planta potabilizadora a bordo. Ambos tanques se colocarán fuera de la cámara de máquinas, a proa de la misma, pegados al fondo del casco bajo la habilitación.

Una vez determinadas las dimensiones correspondientes al espacio destinado a la cámara de máquinas se podrá diseñar el espacio de habilitación con relativa libertad. La disposición de la cámara de máquinas se presenta en un plano en el Anexo E.



Capítulo 7

Planta eléctrica

En el este capítulo, se pretende instalar una planta de generación de energía eléctrica, la cual deberá tener una potencia suficiente para suministrar la energía requerida por los distintos consumidores eléctricos instalados a bordo en las diferentes condiciones de operación de la embarcación.

Se analizarán por lo tanto, los diferentes equipos electrónicos del yate y las diferentes situaciones operativas que pueden darse mayoritariamente a lo largo de su vida útil. La generación de potencia eléctrica, así como los equipos generadores y de distribución, darán fiabilidad al sistema y continuidad de potencia a todos los equipos y servicios esenciales a bordo; como pueden ser el gobierno, los equipos de navegación y comunicaciones y el alumbrado. Esta planta generadora se define y dimensiona en el presente capítulo.

7.1. Definición de la planta eléctrica

Para definir la planta generadora a bordo, se lleva a cabo un balance eléctrico con todos los equipos instalados y en las distintas condiciones de operación de la embarcación como ya se mencionó; para así, instalar el número de generadores correcto con una capacidad óptima para abastecer las diferentes condiciones de demanda de electricidad. Además, se dimensionarán también unas baterías que se utilizarán para el arranque del motor y para proveer la potencia necesaria en caso de no querer utilizar los generadores o en situación de emergencia.

Cabe mencionar, que este tipo de embarcaciones como es el yate objeto del proyecto, no demandan grandes cantidades de electricidad en cuanto a equipos básicos y sistemas propios. Sin embargo, para poder proveer de grandes lujos y comodidades en los espacios de habitación, entre ellos el aire acondicionado o calefacción, entretenimiento o iluminación, el consumo será algo más elevado.

Por lo tanto, la planta eléctrica instalada estará formada por la planta principal, que suministra electricidad a todos los equipos instalados en el buque, y una de emergencia, independiente de la principal, que dará suministro a los equipos esenciales en el caso de que se produzca la pérdida de la planta generadora principal.



7.1.1. Tensión y frecuencia

Una vez definido el tipo de red eléctrica, se procede a establecer el valor de la tensión y la frecuencia de esta. La frecuencia de la corriente eléctrica depende de los estándares de cada país. Fundamentalmente, se utiliza una frecuencia de 50 Hz en Europa y de 60 Hz en América.

La embarcación objeto del proyecto se diseña con el objetivo de poder ser utilizada principalmente por la costa del Mediterráneo, además, la mayoría de los equipos seleccionados para su instalación en la embarcación son europeos, por lo que se utilizará como frecuencia de planta eléctrica 50 Hz y en el caso de que la embarcación atraque en puertos donde la red eléctrica utilizada sea diferente, se utilizará un convertidor.

En cuanto a la tensión, se definirán varios cuadros a diferentes tensiones, de tal manera que los equipos se conecten a la corriente de tensión más adecuada según su potencia.

- Red de 230 V – 50 Hz corriente alterna: para el alumbrado, así como algunos equipos y acomodación.
- Red de 24 V corriente continua: para luces de navegación, equipos electrónicos, de navegación y comunicaciones.

Una vez definido lo anterior, se procede a hacer un listado de los distintos equipos eléctricos ubicados a bordo según su distribución en las distintas barras.

7.1.2. Planta de emergencia

Se instalarán a bordo sistemas para la generación de energía eléctrica en situación normal y en situación de emergencia. Los grupos generadores principales, se instalarán en la cámara de máquinas, de forma que alimentarán a la mayoría de los consumidores.

La pérdida de suministro de energía de la planta principal supone una situación grave para la operatividad y seguridad de la embarcación. Esta situación se denomina “black-out” y para evitar que se produzca dicha situación se dispondrá de un generador o baterías que actuarán en caso de emergencia. Estas baterías o generador deberán poderse arrancar aun cuando el buque no se encuentre en condiciones de navegabilidad y deberán ser capaces de suministrar la energía necesaria para abastecer a los servicios esenciales y de emergencia. Se ha definido que dicho grupo de emergencia deberá ser capaz de suministrar energía, al menos durante 3 horas a los equipos esenciales.

Los servicios esenciales se definen como aquellos servicios que son fundamentales para el mantenimiento mínimo de la propulsión, maniobrabilidad, seguridad y mantenimiento mínimo de la habilitación. Definidos por las Sociedades de Clasificación:

- Equipos de gobierno
- Bombas de achique de sentinas
- Bombas de suministro de agua potable



- Iluminación necesaria
- Luces de navegación
- Equipos de navegación y comunicaciones
- Molinetes
- Ventiladores de cámara de máquinas
- Servicios necesarios para mantener las condiciones de habitabilidad de las personas a bordo (agua potable y sanitaria, climatización y cocina)

Por otro lado, el almacenamiento de electricidad se basa en grupos de baterías. Uno de los grupos se destinará únicamente al arranque de los motores, mientras que el otro grupo se destinará a la alimentación de los consumidores de 24 V.

En cuanto a los servicios no esenciales, se definen como aquellos cuyo fallo no compromete a la seguridad e integridad del yate ni sus pasajeros.

7.2. Situaciones de carga eléctrica

La demanda de potencia eléctrica varía en función de la situación en la que se encuentre la embarcación. Como se mencionó previamente, en un barco de las características del buque proyecto, el consumo diario y de mayor volumen es el correspondiente a la habilitación ya que el yate está destinado al ocio y disfrute de los pasajeros. Las situaciones de carga que se estudiarán serán aquellas más comunes en las que se encuentre la embarcación además de aquellas que sean más y menos demandantes de potencia eléctrica.

7.2.1. Navegación

Esta será la situación general de servicio del buque; la cual se espera que sea la más común durante su vida útil. En esta situación, estarán funcionando los servicios habituales. Hay que tener en cuenta que algunos de los servicios que se utilizan en otras situaciones de carga eléctrica, puede que no se utilicen en este caso, ya que en esta situación los pasajeros es probable que se encuentren en el solárium o *chill out* de proa o el *flybridge*. Además, sería interesante evaluar la situación de navegación en régimen de planeo y en velocidad crucero ya que el consumo no será el mismo; sin embargo, como los motores no consumen potencia eléctrica no habrá una diferencia importante de demanda de potencia.

En la situación de navegación, hay que tener en cuenta que, a diferencia del resto de situaciones, a excepción de la situación de maniobra (aunque el tiempo en que la embarcación se encuentra en esta situación será bastante escaso), los motores estarán en funcionamiento. Esto quiere decir, que los alternadores de los motores estarán funcionando, pudiendo destinarse dicha potencia eléctrica a la carga de baterías o contribuyendo al suministro de potencia eléctrica junto con los generadores.



7.2.2. Maniobra

En esta situación, la principal característica será el uso de la hélice de maniobra situada en proa, la cual tiene un consumo bastante elevado. A pesar de esto, el tiempo de uso de la hélice de maniobra será bastante puntual, no significando un problema cubrir la demanda de potencia. Como en la situación de navegación, los motores estarán funcionando de manera que podrán usarse para la carga de baterías o suministrando potencia a la planta. Como se ha dicho anteriormente, el tiempo que la embarcación pasará en esta situación será bastante reducido siendo este el correspondiente a la entrada y salida de puerto.

7.2.3. Fondeo

En la situación de buque fondeado, es posible que los consumos de los equipos de habilitación sean tan altos como en navegación; este es el caso de la ventilación o los electrodomésticos y aparatos de cocina. Sin embargo, la demanda de maquinaria y equipos de navegación será muy baja. El yate podrá estar en situación de fondeo durante periodos de tiempo largos de varias horas.

En esta situación se podría optar por el uso de un generador más pequeño o si este supusiera una molestia para el cliente por el ruido o vibración, se podría hacer uso de las baterías destinadas al suministro de potencia general. En principio estas baterías proporcionan corriente continua (CD), pero se podría hacer uso de un convertidor que transforme dicha corriente en corriente alterna (CA).

7.2.4. Puerto

La condición de puerto es bastante similar a la de fondeo; sin embargo, cuando la embarcación está fondeada en puerto, por lo general se dispondrá de una conexión de toma a tierra, por lo que la demanda eléctrica será más baja.

7.2.5. Emergencia

En esta situación se obtendrá la demanda de potencia mínima necesaria para superar de manera exitosa una situación crítica, de tal manera, que como ya se ha dicho anteriormente, solo se accionarán los equipos de navegación esenciales. Durante la condición de emergencia, los equipos se alimentarán exclusivamente con baterías.

7.3. Balance eléctrico

Dentro de los consumidores a bordo de la embarcación, cabe realizar una distinción entre servicios esenciales y no esenciales para estudiar la situación de emergencia. (En la Tab.B.1 se representan los servicios esenciales en rojo y los no esenciales en negro). También se aplicará una distinción entre los equipos conectados a la red de 24 V y los que estarán conectados a 230 V. Los generadores principales deberán generar energía eléctrica al cuadro principal para su distribución a todos los servicios de manera que mantengan al yate en condiciones operativas y habitables generales.



El método utilizado para hacer el balance será mediante una tabla donde se exponen todos los consumidores eléctricos que hay a bordo, así como la potencia que consumen individualmente, a partir de la cual se hará una estimación total para cada situación de carga de la embarcación.

Para la estimación de la potencia consumida en cada condición, será necesario aplicar ciertos coeficientes que permitirán establecer los rangos de funcionamiento de los consumidores instalados. Estos coeficientes son [22]:

- K_u coeficiente de utilización.

$$K_u = K_n \cdot K_{sr} \quad (7.1)$$

- K_n coeficiente de simultaneidad: indica el número de consumidores iguales que se utilizan a la vez respecto al número total instalado. Será de especial importancia en el caso de los equipos de respeto, debido a que se dispondrá de servicios duplicados, pero solo trabajará uno de ellos. Esto es debido a que no son necesarios dos equipos para cubrir la necesidad, pero son equipos esenciales de los que se deberá disponer en situaciones de emergencia.
- K_{sr} coeficiente de servicio y régimen; representa el régimen de operación del equipo en las distintas condiciones de carga y compuesto por:
 - K_s coeficiente de servicio: fracción de tiempo en la que un equipo está funcionando en una condición de carga concreta. Cuando el equipo funcione de forma continua, este coeficiente será igual a 1.
 - K_r coeficiente de régimen: refleja la fracción de potencia previsible en funcionamiento normal respecto a la nominal.

El objetivo del balance, es por lo tanto, conocer la potencia eléctrica previsible de consumo por cada equipo en cada una de las condiciones de carga a considerar para poder hacer así una estimación del consumo del yate por cada situación. Y se obtiene con la ecuación 7.2.

$$P(kW) = N \cdot P_U \cdot K_u \cdot K_n \cdot K_{sr} \quad (7.2)$$

Siendo N el número de equipos iguales y P_u , la potencia unitaria.

El balance eléctrico de la embarcación se puede ver en el Anexo B.

7.4. Características de la propulsión

Para la realización del dimensionamiento de la planta, es necesario definir y caracterizar la propulsión de la embarcación y el modelo instalado a bordo. En el caso de la embarcación que se pretende diseñar, se dispone de una propulsión diésel, con tres motores modelo Volvo Penta IPS D13-1350, los cuales cuentan con un alternador acoplado que proporciona 110 amperios a 24 voltios, aportando así aproximadamente 2.600 W de potencia eléctrica por motor. Contaremos por lo tanto con unos alternadores a bordo que proporcionan una potencia total de 7.800 W. Esta potencia estará destinada a la carga de baterías de 12/24 V o incluso para alimentar ciertos equipos. La demanda de potencia que no sea cubierta por la potencia que generan los alternadores de los



motores, tendrá que ser cubierta por baterías o generadores.

7.5. Generadores

Una vez realizado el balance eléctrico, así como sabiendo la potencia eléctrica demandada por el buque en cada situación y la potencia proporcionada por los diésel, se procede a escoger unos generadores adecuados para cubrir la demanda de potencia. Para el dimensionamiento de los generadores, se deberá considerar el uso de únicamente generadores para cubrir la demanda total, donde se instalarán dos generadores, uno de mayor tamaño y otro algo más pequeño o por el contrario, se valorará la instalación de un generador y un grupo de baterías de corriente alterna.

Se optará finalmente por la segunda opción, de tal manera que se instalará a bordo un generador modelo Fischer Panda 18x PMS de 50 Hz, que con solo 297 kg y un nivel de ruido de 54 dB aportará 14,4 kW de potencia; siendo ideal para el tipo de embarcación que se pretende diseñar [23].

A pesar de que solo se instalará un generador y un grupo de baterías, se dispondrá de un generador más pequeño de respeto; el cual también se podrá utilizar en situaciones de baja demanda de potencia. Este generador, será un modelo Fischer Panda 8 Mini DP de 7.4 kW [23].

Habrá que tener en cuenta que a pesar de que la potencia requerida en la condición más demandante (navegación) supera la potencia generada; por lo que habrá que recurrir a los alternadores del motor principal como se citó anteriormente.

7.6. Baterías

Las baterías son un dispositivo de almacenamiento de energía, la cual se obtendrá normalmente de la suministrada por los generadores o por los alternadores del motor. Se distinguirá entre dos grupos: baterías de arranque y baterías de servicios.

7.6.1. Baterías de servicios

Las baterías, como también se usarán para la condición de emergencia, se dimensionarán de acuerdo al consumo de potencia eléctrica en dicha condición, de manera que deberán abastecer potencia a los servicios esenciales durante un periodo mínimo de 3 horas.

La fuente de baterías instalada en la embarcación, deberá cumplir al menos con los siguientes requisitos:

- Mantener la demanda de potencia en la condición de emergencia sin recargar durante todo el proceso de descarga de las mismas.
- Conectarse de manera automática al cuadro de emergencia en caso de que la fuente generadora principal falle.
- Suministro inmediato en caso de fallo.



Se ha decidido instalar baterías de plomo con electrolito en gel debido a que su comportamiento es mejor en movimiento o en condiciones de escora, la capacidad de estas baterías es de 120 Ah a 12 V, por lo que se deberán de instalar dos grupos en serie para dar un voltaje de 24 V y a su vez dichos grupos en paralelo para cubrir la potencia demandada. Para abastecer la demanda de potencia en la condición de emergencia durante el tiempo requerido se deberán disponer:

$$P = P_{emergencia} \cdot t = 3.78 \cdot 3 = 11.34 kWh \quad (7.3)$$

$$I = \frac{kWh \cdot 1000}{V} = \frac{11.34 \cdot 1000}{24} = 472.5 Ah \quad (7.4)$$

$$n = \frac{472.5}{120} = 3.94 \approx 4uds \quad (7.5)$$

Se instalarán por lo tanto, 4 grupos de 2 baterías de plomo de 12V y 120 Ah, las cuales suministrarán 11.5 kWh. Estas baterías deberán estar conectadas a un convertidor de corriente continua a corriente alterna, ya que a pesar de que la mayoría de los servicios de emergencia funcionan a 24 V, tanto la potabilizadora como la ventilación de la CMM trabajan a 230 V.

Estas baterías son del catálogo *EXIDE technologies*, el modelo Exide DUAL ER 600 (ver Fig. 7.1), las cuales están específicamente diseñadas para barcos, ya que su diseño reforzado, junto con un buen procedimiento de carga, proporcionan el mejor resultado y la mayor vida útil. [24]



Figura 7.1: Batería Exide DUAL ER 600 - 120 Ah - 12V

7.6.2. Baterías de arranque

En la instalación eléctrica de corriente continua, se va a instalar un conjunto de baterías independiente para el sistema de arranque. La elección de estas baterías se lleva a cabo siguiendo las indicaciones del fabricante del motor; en este caso VOLVO.

Se han escogido finalmente unas baterías del mismo fabricante que las de servicios, siendo estas el modelo Exide DUAL AGM EP 1200, las cuales cuentan con 140 Ah a 12 V. Se dispondrá un grupo de 2 baterías en serie de tal manera que suministren energía a 24 V.

El diagrama unifilar se puede encontrar en el Anexo E junto al resto de planos.



Capítulo 8

Disposición general

Para poder hacer una óptima distribución del espacio interior, es necesario establecer previamente el espacio destinado a los propulsores y los principales elementos estructurales.

Como ya ha sido definida la cámara de máquinas (ver Sección 6.6), en este capítulo se procede a realizar una estructuración del espacio destinado a la habilitación (*Los planos de disposición general se podrán encontrar en el Anexo E*). En este punto, es de gran importancia ser coherente con dicha distribución, buscando la simetría y la homogeneidad en el reparto de pesos para el posterior cálculo del centro de gravedad. Se intentará de igual modo ubicar las paredes/mamparos transversales con las cuadernas, etc.

8.1. Criterios de diseño

La embarcación tiene una eslora de casco (L_h) de 24 m, la eslora total (L_{OA}) teniendo en cuenta la plataforma de baño (desmontable), es de 25.19 m y por último la eslora en la flotación (L_{WL}) es de 21 m. El calado (C) es de 1.26 m y la manga máxima (B_{max}) es de 6.25 m.

Siguiendo la normativa ISO 12217-1:2015 [2], se definen las cubiertas diferenciándose entre cubierta parcial y cubierta completa.

La cubierta inferior se determina como cubierta completa, la cubierta principal o cubierta superior se define como cubierta parcial; ya que la superficie de la misma que está cubierta por la superestructura abarca más de una tercera parte del plano del área proyectada del contorno de la cubierta; la superestructura se encuentra situada a menos de $L_H/3$ a partir de la roda y además la superestructura se encuentra a más de 100 mm hacia el interior del contorno de la cubierta. Por último, la cubierta del *flybridge* también se considera cubierta parcial por no cumplir ninguna de las condiciones anteriores.

Para el diseño de las zonas interiores de la embarcación, se han tomado como guía varias embarcaciones similares para saber de forma aproximada cuantos camarotes se podrán disponer, si es común contar con tripulación y dónde suelen situarse sus camarotes, etc.



Para empezar a hacer la distribución de la habilitación, se han establecido planos paralelos a la altura correspondiente de los asientos, de las camas y de los lavabos; esto es a 400, 600 y 900 mm respectivamente. Además, la distribución a cada banda se ha hecho de manera bastante simétrica para conseguir cuadrar el centro de gravedad en la coordenada 'y' lo más centrado en cruzía posible.

La habilitación de la cubierta inferior engloba el grueso de la misma, por lo que conseguir obtener espacios amplios colocando todos los elementos necesarios es más laborioso. Uno de los trabajos más complicados es la distribución de los muebles de tal forma que quede espacio suficiente para poder abrir las puertas. Gracias a la instalación de motores compactos por prescindir de línea de ejes, se ha podido redistribuir el espacio destinado a la tripulación, añadir la lavandería y aumentar el tamaño de la Suite Principal. Por otro lado, se ha dejado una distancia entre cubiertas de entre 2 y 2.1 m dependiendo de la zona, de tal manera que el techo sea lo suficientemente alto como para cubrir el espacio de margen de iluminación y para poder instalar a suficiente altura la alcachofa de la ducha.

En cuanto a la cubierta superior, el mayor conflicto es colocar el puente de gobierno y diseñar la cristalera, ya que la visibilidad es de suma importancia. Se ha valorado instalar la cocina en la cubierta inferior de tal manera que el puesto de gobierno de la cubierta principal fuera bastante amplio; sin embargo, se ha concluido que un mayor espacio para el puente de mando no es imprescindible y si se instalaba la cocina en la cubierta principal se ganaría espacio para un baño extra y una pequeña ampliación de uno de los dormitorios de la cubierta interior. De esta forma, cada camarote tendrá su baño independiente, una gran ventaja si la embarcación cuenta con su capacidad máxima de pasajeros y tripulación; ya que de otra forma se tendría que compartir un único baño para cuatro pasajeros.

El concepto de diseño de esta embarcación se centraba en primar la habilitación, por ello, se ha decidido disponer de formas amplias contando con algunas comodidades "extra" como la de disponer de un baño por camarote.

Por último, gracias a la disposición de los motores tipo IPS, se ha ganado espacio no solo longitudinal para los camarotes; si no que también se ganó altura, pudiendo disponer de un jet-ski en el garaje situado a popa; ya que, en el caso anterior, los camarotes de tripulación irían dispuestos a popa en la zona en la que se ha dispuesto el mismo.

8.2. Cubierta interior

En la cubierta interior, se dispondrá el grueso de la habilitación además de la cámara de máquinas en la zona más a popa de la cubierta (ver Fig. 8.1). El acceso a esta cubierta se puede realizar por tres puntos: las escaleras situadas en la zona del puente de mando a babor, las cuales desembocan en el pasillo central de la cubierta interior justo a proa de la Suite Principal; otra entrada será a través de las escaleras que conducen a la cámara de máquinas desde la escotilla de la terraza en la cubierta principal y por último, se podrá acceder al camarote de la tripulación por unas escaleras situadas tras una puerta estanca en el costado de babor de la superestructura.

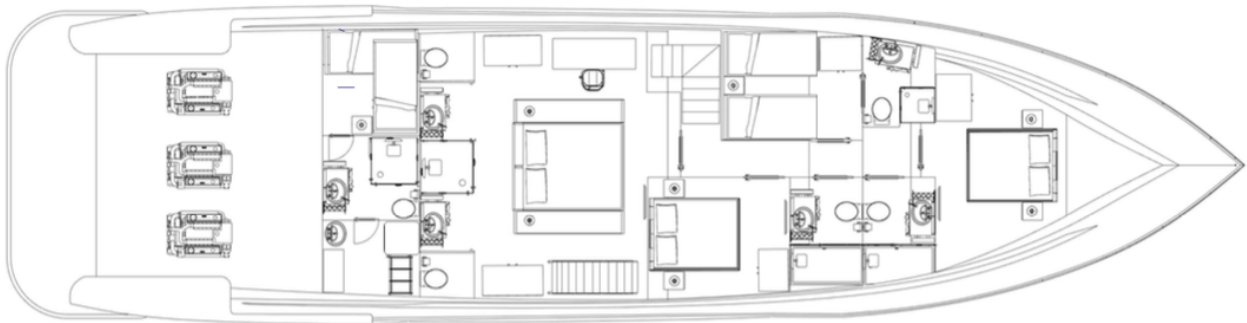


Figura 8.1: Cubierta interior

8.2.1. Camarote doble de proa

Este camarote se encuentra totalmente a proa. Su espacio comienza inmediatamente a popa del mamparo de colisión. La altura del suelo de este camarote es algo más elevada que la del resto debido al poco espacio que hay en proa por las formas del casco.

Está formado por una cama canapé doble en el centro con mesitas de noche a ambos lados de la misma y sendas lamparitas. Además, cuenta con un armario y tv.

8.2.2. Camarote doble babor

Está situado en la banda de babor a la izquierda de las escaleras de acceso a la cubierta. El camarote está formado por dos camas individuales, una mesita de noche entre ambas con su lamparita, armario y tv.

8.2.3. Camarote doble estribor

Situado en la banda de estribor, justo en frente de las escaleras de acceso a cubierta. Cuenta con una cama canapé, mesitas a ambos lados de la cama con sendas lamparitas, armario y tv.

8.2.4. Cuartos de baño

Los cuartos de baño están repartidos a lo largo de la cubierta. Hay un cuarto de baño por cada camarote, pero no todos ellos tienen acceso privado. El primero de los baños se sitúa a popa del camarote de proa, en la banda de estribor, este es su baño correspondiente. El segundo de los cuartos de baño se encuentra a popa del camarote de proa en la banda de babor y este corresponde al camarote doble de babor, el cual tiene acceso privado al mismo. Por último, está el baño del camarote doble de estribor, dispuesto en la misma banda a proa del propio camarote. Este tampoco cuenta con acceso privado.

Los tres cuartos de baño cuentan con los mismos elementos: lavabo amplio con armario bajo, toallero y espejo sobre el lavabo, además de un pequeño espejo de aumento articulado, un WC y un amplio plato de ducha.



8.2.5. Suite Principal y baño

Se encuentra en la zona más popa de la zona de habilitación en la cubierta principal y va de banda a banda.

Como bien da a entender su nombre, es el camarote principal y más grande. Está formado por una gran cama doble cuya estructura lleva incorporada un amplio espacio de mesita con una lamparita a ambos lados. Cuenta también con un diván, una mesa escritorio y su silla, dos armarios amplios (uno a cada banda) y el baño privado.

El baño está en la zona de popa del camarote, cuenta con un espacioso plato de ducha en el centro, lavabos a sendos lados de la misma, con mueble bajo, toallero, espejo de pared y espejo de aumento articulado. Además hay dos WC, uno a cada banda, que están separados del resto con una pared y puerta corredera.

8.2.6. Camarotes de la tripulación

La tripulación está formada por dos personas, las cuales cuentan con un camarote y un baño compartido. El camarote se encuentra inmediatamente a popa de la Suite principal y el acceso es por las escaleras en el costado de babor de la superestructura.

Está compuesto por dos camas individuales tipo litera cruzada, lamparita de noche, una pequeña mesita y armario bajo la litera superior. El baño común cuenta con lavabo, espejo de pared, un WC y ducha.

8.2.7. Lavandería

Al lado del baño de tripulación, en la banda de babor, se encuentra una lavandería. Este cuarto está formado por una torre lavadora-secadora, un carro triple de ropa sucia y un mueble tipo *storage* donde se almacena todo lo necesario, el cual cuenta con lavabo.



8.3. Cubierta superior

La cubierta superior está formada tanto por el espacio que abarca el solárium de proa y la terraza de popa, que se encuentran expuestos, como por el espacio cubierto por la superestructura (ver Fig. 8.2).

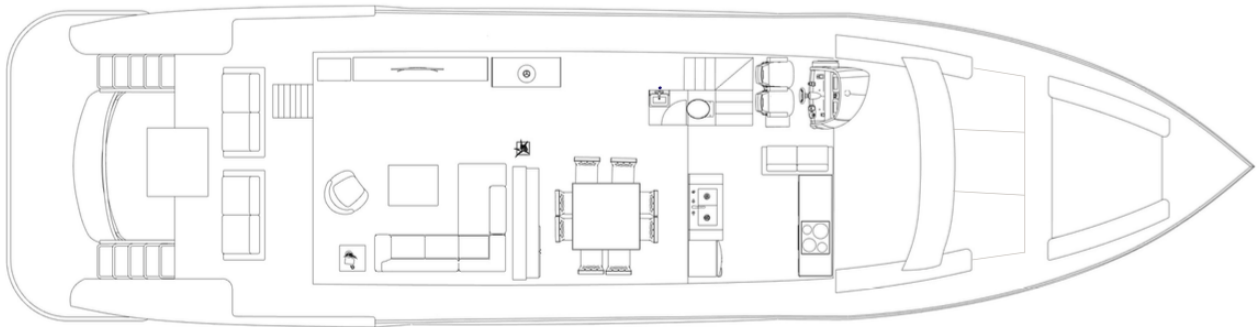


Figura 8.2: Cubierta superior

8.3.1. Solarium proa

Se refiere a la zona de la cubierta superior más a proa de la embarcación, expuesta a la intemperie. Se puede acceder a ella a partir de los pasillos laterales que hay a ambos lados de la embarcación y que van desde la zona de la terraza de popa hasta el solárium de proa. También hay una puerta lateral en la zona de la cocina a estribor por la que se puede acceder. Está compuesto por unas colchonetas pegadas a la parte frontal de la superestructura además de otro amplio espacio de colchonetas, las cuales conforman el solárium donde se podrá descansar y tomar el sol.

8.3.2. Terraza popa

Es la zona expuesta de la cubierta superior más a popa de la embarcación. Se puede acceder a ella desde las puertas correderas de la superestructura además de las escaleras a amabas bandas que suben desde la plataforma de baño.

Cuenta con una zona tipo *chill out* compuesta por unos sofás, unas mesas y unos asientos individuales donde se puede organizar alguna comida o cena si el tiempo es bueno; aún así, esta zona está semicubierta por el techo del *flybridge*.

8.3.3. Salón-Comedor

El salón comedor es la zona más amplia dentro de la superestructura, Las paredes son prácticamente de cristal tintado dando una sensación de luminosidad y amplitud, ocultando la vista desde fuera de la estructura de soporte del *flybridge*.

En esta zona está el salón propiamente dicho, compuesto por un gran sofá, un sillón, una mesita auxiliar y una mesita de café. Además, está el mueble de la tv, un pequeño armario en la esquina



y un mueble bar.

La zona del comedor está mínimamente diferenciada por un aparador a proa del sofá. Cuenta también con una mesa de comedor amplia y sillas, con espacio para 8 personas.

En la zona del comedor hay también un aseo con WC y lavabo.

8.3.4. Cocina

La cocina está en la zona más a proa del área cubierta por la superestructura y se encuentra a estribor.

Está formada por un frigorífico, los muebles de almacenaje bajo la encimera que cuenta con fregadero y trituradora, además de una placa de inducción. Cuenta también con un horno y muebles de almacenaje altos.

8.3.5. Puente de mando

Está a la misma altura que la cocina en la zona más a proa de la cubierta superior, delimitado por la superestructura; sin embargo el puente de mando se encuentra a babor.

Cuenta con el puente de gobierno, dos asientos y un sofá auxiliar en el lateral.

8.4. Flybridge

El *flybridge* es otra cubierta parcial, la más alta, donde se puede encontrar otra zona tipo solárium y *chill out*. A ella se puede acceder a partir de una escalera en la terraza de la cubierta principal en un extremo de las puertas corredizas (ver Fig. 8.2). Está formado por una zona de hamacas en la parte más a popa donde se podrá tomar el sol. En la zona más céntrica, el *flybridge* cuenta con una barra de bar a babor y unos taburetes, donde se podrán tomar unas copas o hacer una barbacoa, ya que tiene parrilla y fregadero. Hay también unos sofás y una mesa a estribor para comer. En la zona más a proa, está el segundo puesto de gobierno y unos sofás (ver Fig. 8.3).

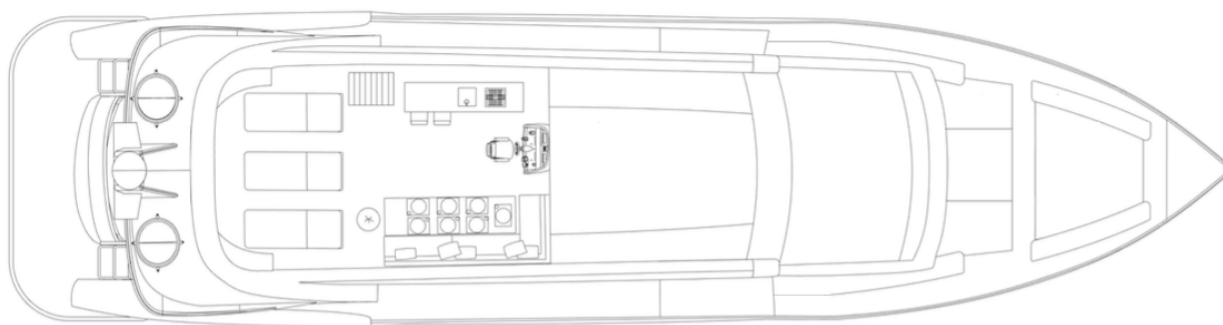


Figura 8.3: Flybridge



Capítulo 9

Estimación de pesos y centros de gravedad

A medida que se realiza la distribución de la habilitación y el dimensionamiento de los equipos y servicios, aspectos ligados al presente capítulo debido a que cubren un buen porcentaje del peso total, se realiza la estimación de pesos y su centro de gravedad.

La estimación de pesos deberá de ser detallada para poder alcanzar un alto grado de precisión de la posición del centro de gravedad, lo cual será un punto clave para los cálculos posteriores de estabilidad y flotabilidad.

9.1. Libro de pesos

Realizar un buen libro de pesos es una tarea muy importante en el diseño de la embarcación. Es importante conocer la distribución de estos para así tener localizado el centro de gravedad en los tres ejes de coordenadas, el cual afecta de forma importante a la hidrodinámica del buque y su estabilidad. En la estimación del cdg, se debe intentar conseguir que la coordenada “Y” esté lo más cerca de 0 posible; ya que, de no ser así la embarcación tendría una escora inicial indeseada. En el caso de la posición de la coordenada longitudinal, una posición muy alejada del centro de carena previsto del buque haría que este tuviera un asiento y trimase por proa o popa. Además, en el tipo de embarcación que se desea diseñar, un asiento excesivo podría hacer que el ángulo de trimado en el régimen de planeo se vuelva incómodo para los pasajeros debido a la pendiente que se genera, como se comentó previamente en la sección 6.2. La posición vertical del cdg también es de suma importancia debido a que la estabilidad de la embarcación depende de la misma.

A continuación, se procederá a la elaboración del libro de pesos de la embarcación. El peso total se divide en peso muerto y peso en rosca y la suma de ambos deberá ser igual al desplazamiento. En este capítulo, se hará una estimación tanto del peso en rosca de la embarcación, como del peso muerto. También, una vez estimados los pesos, se determinarán las coordenadas del centro de gravedad; para ello, tanto el casco, su obra viva y obra muerta, la superestructura y los muebles, se han modelado en programas tipo CAD para poder facilitar esta tarea.



En el libro de pesos que se ha elaborado, muchos de los elementos del grupo equipos y servicios, han sido estimados, tanto el peso como su posición, debido a que varios de ellos no han sido dimensionados. Entre estos elementos se podrían citar las válvulas, los conductos de refrigeración, toma de mar, planta de tratamiento, tornillería, cableado, etc. La estimación del peso y de la posición de todos ellos se ha hecho en base a buques similares que se han tomado como referencia para estos cálculos.

Las tablas del libro de pesos se pueden encontrar en el Anexo C del presente documento.

9.2. Tripulación y consumibles

Siguiendo la normativa ISO 12217-1 [2] donde se establecen los pesos y condiciones de carga para embarcaciones mayores de 6 metros no propulsadas a vela, se considera como peso muerto a la tripulación, los pertrechos personales, los víveres (tanto alimentos como líquidos) y el contenido de los tanques. Como se ha dicho anteriormente, se dimensionaron los tanques de manera que tuvieran una capacidad de agua dulce suficiente para 10 personas durante 7 días, con un uso moderado, contando además con una potabilizadora para extender este uso en cantidad y tiempo.

Se calcularán a continuación los pesos de cada grupo. La estimación del peso por tripulante según la norma se estima en 75 kg/persona. Además, se ha estimado el peso de las pertenencias de 60 kg por persona. A cada uno de dichos tripulantes se les debe sumar un peso de 2 kg de ingesta de líquidos y 2 kg (sobredimensionado por precaución ante un posible contratiempo en la travesía) por ingesta de alimentos al día.

Por otro lado, se debe tener en cuenta en el conjunto del peso muerto, el peso de la balsa salvavidas con capacidad para 12 personas, siendo de 95 kg, aunque el peso total del equipo de salvamento se estimará en un total de aproximadamente 175 kg.

El tanque de agua dulce se ha dimensionado con una capacidad de 1050 L, mientras que el de combustible cuenta con una capacidad de 7000 L. Teniendo en cuenta que el combustible que se usará es Diesel, las capacidades mencionadas equivaldrán a unos pesos respectivos de 1050 kg y 5950 kg. El tanque de aguas grises y negras se dimensiona para 350 L a razón de 4 L/persona al día durante 7 días. Como la densidad será aproximadamente la del agua, el peso se estimará también en 350 kg. Los centros de gravedad de los tanques se han establecido de forma estratégica de manera que su nivel de llenado no afecte de forma significativa al asiento del yate.

9.3. Peso en rosca

9.3.1. Peso de la maquinaria, equipos y servicios

Como ya se ha mencionado anteriormente, en este caso, muchos de los elementos tenidos en cuenta no han sido dimensionados, por lo que el peso de los mismos ha sido estimado a partir de proyectos de embarcaciones similares.



En el caso de la maquinaria, los motores, generadores y baterías sí que han sido dimensionados en los Capítulos 6 y 7, así como ciertos equipos y servicios (ver Capítulo 5), como los extintores, baldes contraincendios, bombas de sentinas, ancla, y cadena, entre otros. Algunos de los sistemas de navegación (la mayoría), se han obtenido de catálogos comerciales [25], así como ciertos mecanismos y accesos estancos, como el acceso al puente de mando de la cubierta principal o la puerta del garaje de popa que da acceso al *jet-ski*.

9.3.2. Peso de la habilitación

En el caso de la habilitación, una vez definida la misma en el Capítulo 8, se ha estimado el peso de todos los elementos mediante la búsqueda en catálogos comerciales de muebles y artículos de interiores de las mismas características, material y dimensiones que aquellos de los que se pretende disponer. Incluso elementos característicos propios de una embarcación se han buscado en catálogos específicos de material para embarcaciones [25], como los wc, los electrodomésticos, etc.

9.3.3. Peso de la estructura

El peso de la estructura es el más complicado de estimar sin realizar un escantillonado completo y detallado. Es por esto que se ha decidido hacer un ejemplo de modelo de laminado estructural correspondiente a un posible estilo de laminado del casco y superestructura de la embarcación. A pesar de saber que el espesor de los paneles depende de las presiones de cálculo correspondientes a cada uno de ellos, se considerará un único laminado isotrópico con tejidos *multiaxiales* y *mat* con una densidad de 1.6 kilogramos por m^2 por milímetro de espesor, de manera estimada, que se aplicará a todas las zonas del casco. Este laminado se ha obtenido siguiendo ejemplos de embarcaciones de características similares a la de diseño.

En cuanto a los espesores de los paneles, se estimará un espesor aproximado de 20mm para todos los forros. A partir de la densidad de laminado establecida y el espesor considerado, se obtendrá el peso por metro cuadrado de la estructura y a su vez, a partir del modelado de la embarcación con programas 3D, se determinará el área del casco y superestructura, logrando conseguir un peso estimado de la misma. El peso estructural de los refuerzos, mamparos y suelos, se estimará como el 30 % del peso total del casco y superestructura. Se deberá de tener en cuenta que la superestructura esta formada por paneles y vidrio, el cual también forma parte de este conjunto de pesos.

De acuerdo con estimaciones en embarcaciones similares, el peso estructural debería corresponder a un valor aproximado de entre el 35 % y el 45 % del desplazamiento. Haciendo un cálculo rápido con los valores mencionados, se obtiene un peso total de los forros de 15.425 toneladas, añadiendo un 30 % de refuerzos más un 5 % de margen, se obtiene un peso total de la estructura de 21.865 t, lo cual supone un 35 %, dentro del rango de valores mencionado; sin embargo, para ser conservadores, se tomará un valor de 25 t, suponiendo el 40 % del desplazamiento total de la embarcación.



Finalmente se dispone de una tabla-resumen que engloba las principales partidas de pesos, sus centros de gravedad y el correspondiente porcentaje que supone del peso total (ver Tab 9.1).

El libro de pesos completamente desarrollado se puede ver en el Anexo C

RESUMEN LIBRO PESOS				COORDENADAS CDG					
	Δ (kg)	62870		x (m)	y (m)	z (m)	Mx (kg·m)	My (kg·m)	Mz (kg·m)
1	ESTRUCTURA	40 %	25000	8,95	0,00	3,32	223775,00	0,00	82875,00
2	HABILITACIÓN	7 %	4225	11,04	-0,06	2,14	46636,58	-235,84	9062,57
3	EQUIPOS Y SERVICIOS	21 %	13150	5,76	0,10	1,29	75691,59	1364,35	16942,99
4	AISLAMIENTO Y ACABADOS	7 %	4616	12,86	0,01	3,04	59357,80	47,42	14030,73
5	CONSUMOS	11 %	7000	9,91	0,00	0,79	69356,00	0,00	5525,80
6	TRIPULACIÓN	2 %	1120	13,49	0,00	3,36	15108,05	0,00	3763,77
7	ACASTILLAJE	4 %	2295	8,87	0,34	2,93	20356,70	775,09	6724,48
8	OTROS	5 %	2934	10,93	0,00	1,47	32075,68	-7,59	4301,47
9	ESTABILIZADOR	2 %	1000	2,58	-1,28	1,13	2580,00	-1276,00	1129,00
	Margen seguridad	2 %	1500	9,60	0,00	2,55	14400,00	0,00	3825,00
TOTAL		100 %	62840	8,901	0,007	2,372	559337,40	412,22	149747,32

Tabla 9.1: Resumen pesos



Capítulo 10

Estudio de la estabilidad

En el presente capítulo se realizará un análisis de la estabilidad de la embarcación a diseñar. El objetivo de este capítulo es realizar un estudio completo de la estabilidad para las condiciones de carga requeridas siguiendo la normativa UNE-EN ISO 12217-1 [2], y verificar que se cumple con los requisitos necesarios para la categoría de navegación elegida.

Primero, se establecerán los objetivos a cumplir en base a la normativa según la categoría de diseño. Posteriormente, se definirán las condiciones de carga y por último se realizarán los análisis de estabilidad necesarios para comprobar y verificar de forma minuciosa la estabilidad de la embarcación objetivo. De la normativa ISO 12217, se consultará la parte 1 [2], correspondiente a embarcaciones no propulsadas a vela y de eslora mayor de 6 metros.

Según la tabla de la Fig.D.1 obtenida del apartado 5.3 de la norma ISO, para obtener la categoría de diseño deseada se deberá cumplir con los requisitos definidos en la misma.

10.1. Condiciones hidrostáticas

Antes de comenzar a analizar los ensayos de estabilidad, se deben definir las condiciones hidrostáticas. Las condiciones hidrostáticas son los casos de carga de la embarcación según el llenado de los tanques, el número de personas a bordo, la cantidad de víveres, etc., que se estudiarán para la evaluación de la estabilidad. Estas condiciones se determinarán a partir de la estimación de pesos que se hizo en el Capítulo 9.

En primer lugar, se representan los tanques definidos en *Maxsurf Stability*. Los cuales fueron definidos en el Capítulo 5; mientras que su posición se determinó en el Capítulo 6 (sección 6.6), los cuales irían a proa de la cámara de máquinas de tal manera que el contiguo a la misma fuera el de combustible. El siguiente sería el de agua dulce y por último el tanque de aguas negras. Todos ellos se dispondrán en la crujía de la embarcación, en el fondo del casco. En la Fig. 10.1 se representan dichos tanques, siendo el de secciones rojas el correspondiente al combustible, el de secciones azules el de agua dulce y el de secciones verdes el de aguas negras.

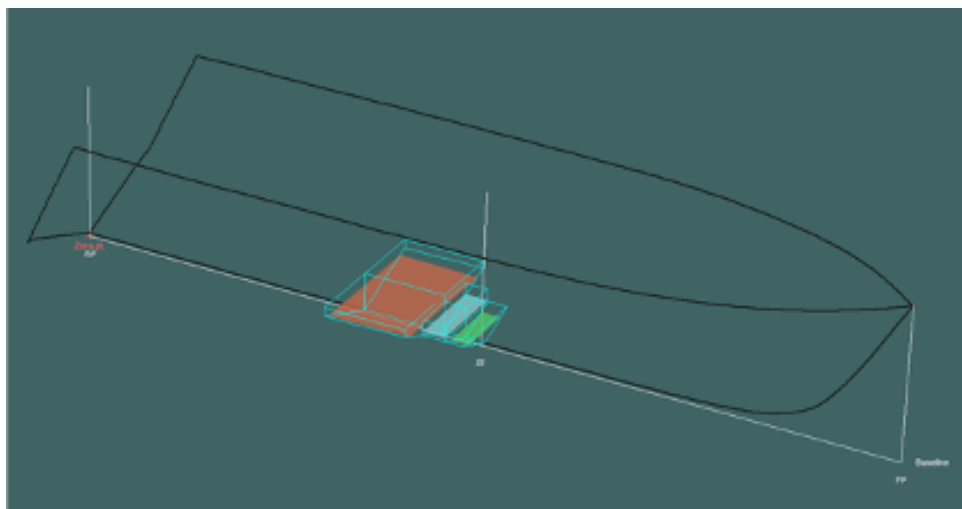


Figura 10.1: Posición de los tanques en el centro de la embarcación

Las condiciones de carga cuyo análisis requiere la normativa ISO y definidas por la misma, son aquellas que se consideran más comunes y problemáticas debido a que pueden comprometer a la embarcación haciéndole alcanzar una situación de estabilidad crítica. Estas son: Condición de carga máxima (M_{LDC}), condición mínima operativa (M_{MO}) y condición de llegada en carga (M_{LA}). La información detallada de las condiciones, se podrá encontrar en el Anexo D.

10.1.1. Condición de Carga Máxima

Esta condición (M_{LDC}) se define como la situación de peso en rosca de la embarcación a la que se ha añadido la carga máxima con los tanques al 95 % de su capacidad, con el fin de producir el asiento de diseño, con la tripulación situada en las posiciones típicas utilizadas cuando la embarcación está en navegación.

Las características de la condición se pueden ver en la Tab.D.1 y la curva GZ en la Fig.D.2.

10.1.2. Condición de Llegada en Carga

En esta condición (M_{LA}), la embarcación se encuentra en la situación de carga máxima con los tanques a un 10 % de su capacidad máxima y de igual forma, el 10 % de las provisiones comestibles. El tanque de aguas negras se contabilizará también al 10 % de su capacidad.

Las características de la condición se pueden ver en la Tab.D.2 y la curva GZ en la Fig.D.3.

10.1.3. Condición Mínima Operativa

Esta condición (M_{MO}) corresponde a la embarcación equipada en la condición en rosca más ciertas adiciones como las provisiones no comestibles y equipo llevado normalmente a bordo de la embarcación y no incluido como equipo estándar en la lista del constructor; además de la masa que representa a la tripulación mínima para operar la embarcación situada en la línea de crujía en la posición del puesto de control más alta.

Las características de la condición se pueden ver en la Tab.D.3 y la curva GZ en la Fig.D.4.

10.2. Aberturas inundables

Siguiendo la norma ISO [2], en el apartado 6.1 se especifican los criterios relacionados con las aberturas inundables. Se definen como aberturas inundables aquellas aberturas en el interior que puedan permitir la entrada de agua en la embarcación durante la escora del buque, a excepción de aquellas citadas por la norma.

Solo se han considerado los cuatro potenciales puntos de inundación del buque, representados en las Figs. 10.2-10.3, los cuales son la entrada principal a la embarcación por popa en la cubierta principal [4], la entrada al camarote de la tripulación en la superestructura por el costado de babor [2], la abertura de ventilación de la cámara de máquinas para los motores [3] y la entrada al puesto de gobierno en la cubierta principal también por el costado de babor [1].

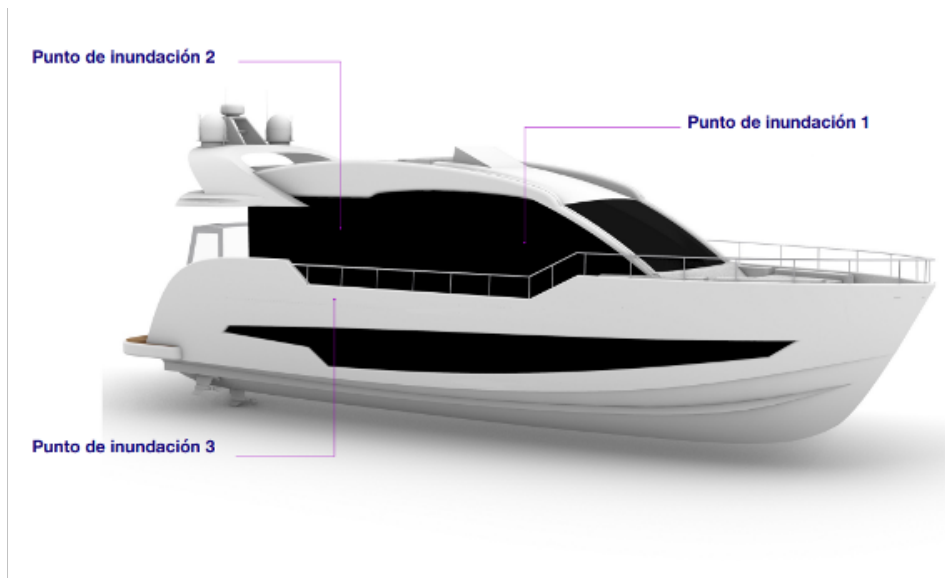


Figura 10.2: Potenciales puntos de inundación de la embarcación



Figura 10.3: Potenciales puntos de inundación de la embarcación



Como se pretende obtener una categoría de diseño A, las aberturas dispuestas en la embarcación deberán estar a un mínimo de 0.2 metros sobre la línea de flotación en la situación de máxima carga. En el caso de la embarcación de estudio, dicho requisito se cumple al ser el primer espacio inundable el garaje y encontrándose a 0.35 metros.

10.2.1. Altura de inundación

Queda descrito en el epígrafe 6.1.2. [2] el criterio a seguir para establecer la altura mínima de inundación, donde quedará a su vez definido el margen de francobordo mínimo. Para realizar este ensayo, se deberá determinar el primer punto inundable, a partir de la flotación; siendo el calado de la embarcación 1.265 m. El garaje no se considerará como punto de inundación debido a la posibilidad de ser cerrado de forma estanca durante la navegación. Por lo tanto, el punto a considerar será la entrada a la habitación por popa en la cubierta exterior; de tal forma que, si el agua llega a este punto, empezará a entrar agua en la zona de habitación a través del *deck saloon*. Las coordenadas de este punto son:

- $x=3.94$ [m] (desde el espejo de popa)
- $y=1.737$ [m] (hasta crujía)
- $z=1.98$ [m] (desde la flotación en la condición de máxima carga)

El plano de aberturas inundables se puede ver en el Anexo D, Fig.D.5. Las coordenadas de dichos puntos se resumen en la Tab.10.1.

	ABERTURAS INUNDABLES			
	HABILITACION ENTRANCE	ENGINE VENTILATION	CREW DOOR	FRONT DOOR
XD (m)	3.94	4.85	5.53	13.87
YD (m)	3.21	0.51	0.86	1.07
XD' (m)	20.03	19.15	18.47	10.13
HD (m)	1.98	1.98	1.99	2.27

Tabla 10.1: Coordenadas de los puntos de inundación de la embarcación de acuerdo con la Fig. D.5

Siguiendo el criterio de la normativa según la gráfica de la Fig. 10.4, se puede calcular la altura mínima de inundación a partir de la eslora de la embarcación; siendo 1.4m la altura mínima para embarcaciones de 24m de eslora.

Como 1.98 [m] > 1.4 [m], se cumplirá dicho criterio.

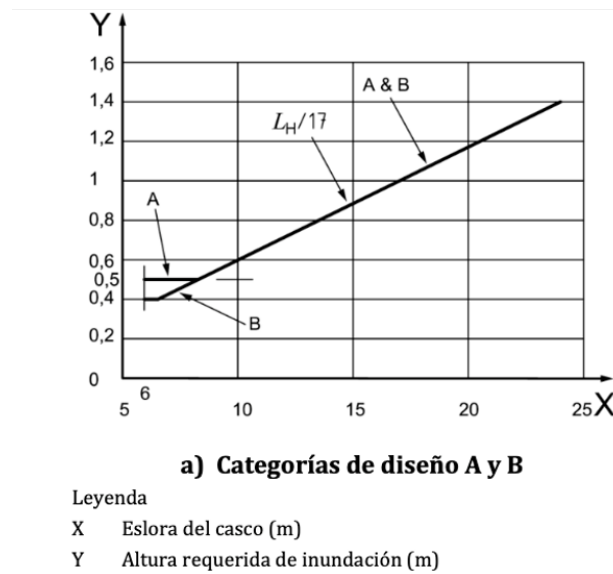


Figura 10.4: Altura de inundación mínima requerida por la ISO

Comparándolo con los resultados obtenidos con el programa *Maxsurf Stability* (Tabs. D.6, D.7, D.8), se puede ver que efectivamente se cumple con el requisito de la altura de inundación en equilibrio.

10.2.2. Ángulo de inundación (primer criterio)

Se calculará el valor del ángulo de inundación de la embarcación siguiendo las directrices del método simplificado proporcionado por la normativa ISO [2] en el Anexo C. Este se calculará a partir de la ecuación 10.1, siendo la expresión de la inversa de la tangente de la altura del punto inundable entre la posición transversal de la misma hasta cruzía.

$$\phi_D = \tan^{-1} \left(\frac{Z_D}{Y'_D} \right) \tag{10.1}$$

$$\phi_D = \tan^{-1}(1.98/1.737) = 49.1^\circ$$

Si se compara con los resultados obtenidos por el programa *Maxsurf Stability* (Fig. D.2) se puede apreciar que los valores coinciden.

10.3. Ensayo compensación de pesos

En el epígrafe 6.2 de la norma [2] se define el ensayo de compensación de pesos. Este ensayo sirve para comprobar que la embarcación cuenta con la estabilidad suficiente para soportar un movimiento de pesos inesperado realizado por la propia tripulación, con respecto al centro de cruzía de la embarcación.

Los dos métodos posibles para realizar este ensayo están descritos en el anexo B de la misma norma. En el caso del presente proyecto, se seguirá el método de cálculo mediante el uso de programas de arquitectura naval. Se deberán suponer dos condiciones de carga: LC1 D.4 y LC2 D.5, ambas descritas en el anexo B.3.2.2 [2]. En ambas condiciones, los tanques deberán estar al



50 % de su capacidad debido a que no cumplen con la especificación del epígrafe B.3.1.3. donde se establece el requisito de manga máxima para los tanques, teniendo el tanque de combustible una manga mayor al $0.35B_{Hm}$ establecido por la ISO.

Para la condición de carga LC1, se deberá posicionar a la tripulación límite, de tal forma que el LCG de la misma se encuentre al 75 % de la eslora máxima a proa y centrado en crujía. La coordenada vertical corresponderá a la posición más elevada de la zona de tripulación con su VCG 0.1m por encima de los asientos. El peso de la tripulación será a razón de 85kg por persona. La condición de LC2 será igual que la LC1 pero en este caso el LCG estará al 25 % de la eslora máxima. Siguiendo las directrices del anexo B.3.2., se representa en una gráfica el momento adrizante (a partir de los valores de GZ obtenidos de los ensayos para las condiciones LC1 y LC2 multiplicados por el desplazamiento de la embarcación), frente a la curva de momento escorante (obtenida de las curvas KN). (Ver Figs. D.7-D.9)

El ángulo de escora obtenido durante el ensayo (ϕ_0) no debe sobrepasar el ángulo máximo de escora permitido especificado por la norma ($(\phi_0)_R$) según la siguiente Fig. 10.5.

L_H (m)	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	12,0	15,0	18,0	21,0	24,0
$\phi_{0(R)}$ (°)	22,7	20,9	19,4	18,0	16,8	14,8	12,9	11,9	11,6	11,5

Figura 10.5: Ángulo máximo de escora autorizado durante los ensayos de compensación de pesos, para diferentes esloras de casco según la norma ISO [2]

Se comprueba que en ambas condiciones se cumple con los requisitos donde se establece que el punto de intersección de ambas curvas en los gráficos de las Figs. D.7-D.9, la escora es menor que la exigida (11.5°), ya que en ambas condiciones el ángulo de escora obtenido no supera los 5° , y que el momento máximo de adrizamiento hasta el ángulo de inundación debe ser superior al momento de escora en el ángulo. Las tablas de resultados obtenidas de los ensayos realizados por *Maxsurf*, se pueden ver en el Anexo D. (Figs. D.6-D.8)

10.3.1. Ángulo de inundación (segundo criterio)

Siguiendo la normativa, en el apartado 6.1.3. [2] se define el criterio del ángulo de inundación mínimo según la categoría de la embarcación a partir de los requisitos determinados en la Fig. 10.6.

Categoría de diseño	Ángulo mínimo de inundación grados	
	Opciones 1 y 3ª, utilizar el que sea mayor	
A	$\phi_0 + 25$	30
B	$\phi_0 + 15$	25

Figura 10.6: Requisitos del ángulo de inundación según la ISO [2]

Por lo que se puede observar a partir de dicho ensayo, la embarcación cuenta con un margen de



ángulo de escora antes de que embarque una cantidad significativa de agua.

Para realizar la comprobación, se deberá seleccionar previamente el mayor de los ángulos de escora obtenidos en el ensayo de compensación de pesos (condiciones LC1 y LC2) y se sumarán 25° por ser de categoría de diseño A. Como ambos ángulos son muy parecidos y menores de 5°, para ser conservadores, se hará la comprobación como si ese fuera el valor real del ángulo.

Según la Fig. 10.6, el ángulo mínimo de inundación será:

$$\phi_0 = 5 + 25 = 30^\circ \tag{10.2}$$

De tal manera que se puede garantizar el cumplimiento del criterio, ya que, para el punto de inundación principal definido previamente en la sección (10.2.1), el ángulo de inundación que se obtiene según los cálculos del programa para todas las condiciones de carga es superior a 50° (ver Figs. D.2, D.3, D.4).

10.3.2. Margen de francobordo

Además de cumplir con el requisito referido al ángulo de escora máximo que se puede alcanzar durante los ensayos de compensación de pesos, las embarcaciones deberán disponer de un margen de francobordo mínimo según la opción elegida y su categoría de diseño. Este margen no debe de ser inferior al establecido por la norma en la tabla de la Fig. 10.7.

Como la categoría de diseño de la embarcación proyectada es la A (Opción 1 en la tabla de la Fig. D.1), no se aplicará un criterio de francobordo mínimo.

Medidas en metros

Categoría de diseño	A	B	C	D
Opciones 1 o 3 en la tabla 2	no aplicable	no aplicable	no aplicable	no aplicable
Opciones 2 o 4 en la tabla 2	no aplicable	no aplicable	0,014 L_H pero no inferior que 0,1 m	0,010
Opciones 5 o 6 en la tabla 2	no aplicable	no aplicable	0,110 $\sqrt{L_H}$	0,070 $\sqrt{L_H}$

Figura 10.7: Margen de francobordo mínimo requerido durante los ensayos de compensación de pesos según la ISO [2]

10.4. Ensayo de resistencia a olas y viento

En el apartado 6.3.2. de la norma ISO [2], se define el ensayo de resistencia a olas y viento, donde se establece un criterio de análisis de la estabilidad de la embarcación teniendo en cuenta el efecto del viento sobre la superficie de la obra muerta y las olas que harían balancearse a la embarcación. Deberá verificarse de igual modo que en esta condición, la escora del barco no sobrepasa el ángulo de inundación. La curva de los momentos del par adrizante de la embarcación se deberá establecer hasta el máximo ángulo de inundación, el ángulo de estabilidad nula o un ángulo de 50°. Para generar esta condición de análisis se deben definir ciertos valores:



- M_w momento escorante debido al viento, el cual se considera constante para todos los ángulos de escora:

$$M_w = 0.53 \cdot A'_{lv} \cdot h \cdot V_w^2 \quad (10.3)$$

- h se define como la distancia vertical entre los centros geométricos de las superficies que conforman A_{lv} y el perfil del área sumergida. Valor obtenido de la geometría de la embarcación definida en *Rhinoceros*.
- V_w es la velocidad del viento, de 28m/s en el caso de embarcaciones de categoría A: Oceánica.
- A_{lv} corresponde a la superficie expuesta al viento. Nunca debe ser inferior a $0.5L_H B_H m^2$. El área se obtiene nuevamente del render de la embarcación hecho en *Rhinoceros*, donde se obtiene un valor de $103.31m^2$ superior a los $75m^2$ mínimos.
- ϕ_R ángulo de retorno para categoría de diseño A, calculado con la ecuación 10.4:

$$\phi_R = 25 + \frac{20}{V_D} \quad (10.4)$$

donde V_D es el volumen de desplazamiento en m^3 en cada condición. Se debe dividir el desplazamiento en toneladas de cada condición entre la densidad del agua de mar ($1.025t/m^3$). Para la condición de Máxima Carga:

$$\phi_R = 25 + \frac{20}{V_D} = 25 + \frac{20}{61.71} = 25.32^\circ \quad (10.5)$$

Para verificar que se cumplen las condiciones de resistencia al viento se usa el criterio de la ISO correspondiente en *Maxsurf*, cuyos resultados numéricos están representados en las Figs. D.10, D.12, D.14, junto a unos gráficos del momento adrizante frente al momento producido por la fuerza del viento (Ver Figs. D.11, D.13, D.15). Para obtener los resultados se realizará una evaluación de la estabilidad a grandes ángulos como se ha hecho en los casos anteriores. Los datos introducidos para el ensayo de resistencia a olas y viento vienen definidos en la normativa ISO [2].

10.4.1. Ensayo de resistencia a olas

Por último, se realizará un ensayo de resistencia únicamente a las olas, también con ayuda de *Maxsurf*. Este nuevo análisis es bastante similar al anterior; sin embargo, en este caso, el objetivo es confirmar que con una escora de la embarcación de valor igual o superior a 30° , el momento adrizante es de mínimo $25kN \cdot m$ para la categoría de diseño A. De esta forma, se confirma que la embarcación cuenta con una buena reserva de flotabilidad. Además, el brazo adrizante a 30° deberá ser superior a 0.2m. Se comprueba que los resultados obtenidos a partir de *Maxsurf* (ver Figs. D.16, D.17, D.18) son válidos ya que se cumple que el momento adrizante mínimo obtenido para cada caso es de mínimo $25kN \cdot m$ (ver ecuaciones D.1, D.2, D.3).



Capítulo 11

Comportamiento en la mar

En este capítulo se procede a estudiar el comportamiento del buque en la mar. Para ello, se estimarán los movimientos de la embarcación en sus seis grados de libertad, para la condición de carga máxima definida y unas condiciones ambientales específicas dadas en la zona de navegación, siendo estas por lo tanto, las más comunes.

Debido al tipo de embarcación objeto de diseño, la cual se pretende explotar de forma privada y está completamente enfocada a la navegación de pasaje, el estudio se centrará en los movimientos de balance (*roll*), cabeceo (*pitch*) y arfada (*heave*) (reflejados en la Fig.11.1), que son los más importantes en el contexto de las aceleraciones causantes del mareo.

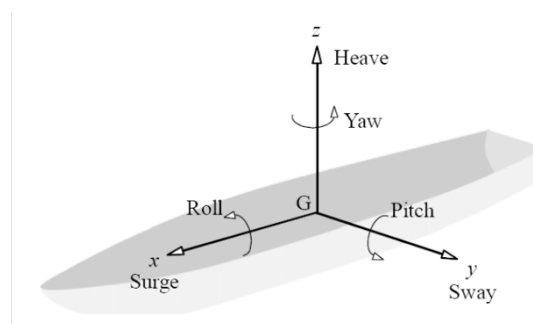


Figura 11.1: Movimientos en todos los grados de libertad de la embarcación

Se calcularán también las funciones de transferencia de energía *RAOs* (*Response Amplitud Operation*) y los espectros de energía de ola, así como las aceleraciones verticales y los índices de mareo (*MSI = Motion Sickness Incidence*) para distintos puntos de la habilitación.

Para el cálculo de dichos valores y sus gráficos asociados, se hará uso del programa *Maxsurf Motions*, donde se podrán evaluar los movimientos mencionados. Para ello, se introducirán en el programa las características específicas para el caso de estudio. Es importante mencionar que el software de *Maxsurf Motions* utiliza la teoría de rebanadas (*strip theory*), lo cual significa que los cálculos obtenidos para embarcaciones con un Froude superior a 0.8 están sobrestimados; sin embargo, se estudiará el comportamiento en la mar, ya que los valores obtenidos son conservadores.

11.1. Datos iniciales

11.1.1. Generación del mar modelo

La superficie del mar se define como una superficie libre representada por la combinación de olas de distintas amplitudes y frecuencias, las cuales determinan en su conjunto el “mar irregular”. Para representar dicho tipo de mar, se debe utilizar una función de densidad espectral que lo define. Esta función representa la energía que habría en dicho mar irregular por cada metro cuadrado de superficie. Se obtiene superponiendo las energías de olas que conforman el espectro.

Se puede encontrar una gran variedad de modelos teóricos espectrales que representan los estados de mar en las distintas zonas. La embarcación del proyecto navegará principalmente por la zona del Mediterráneo noroccidental, por aclaraciones del cliente como se describió anteriormente en la sección 3.2. Según estudios realizados [26], el modelo de espectro que se utilizará para estas zonas será el tipo *JONSWAP* (*Joint North Sea Wave Project*). Este modelo de oleaje genera un espectro bastante similar y de igual energía al *ITTC* (*International Towing Tank Conference*) [27], el cual se usa para el tipo de aguas oceánicas con picos más pronunciados.

Para poder generar el tipo de mar deseado, será necesario definir previamente los valores característicos de la ola, como la altura significativa y el periodo pico de la misma.

Estos datos se han obtenido mediante el conjunto de datos SIMAR, constituido a partir de simulaciones temporales realizadas por el modelado numérico del viento y oleaje, que proporciona descripciones del clima, que en general, son adecuadas en todo el entorno del litoral español. Dichos datos se pueden encontrar en la página de Puertos del Estado [28].

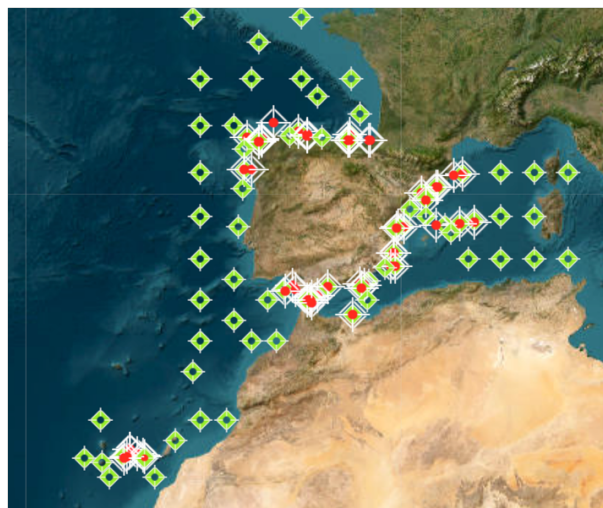


Figura 11.2: Boyas de toma de datos situadas en el litoral español

Como se puede ver en la Fig. 11.2, existen varias boyas que recopilan información en las zonas de interés. Por lo que se obtendrá una media de los datos de los puntos más importantes del objeto de estudio.



La navegación de esta embarcación será principalmente estacionaria, ya que el cliente ha enfocado su uso a la estación de verano; sin embargo, se hará un estudio anual de la zona norte del Mar Mediterráneo.

Los datos obtenidos se muestran en la Tab.11.1 y Figs.11.3, 11.4, 11.5.

OLEAJE Mediterráneo noroccidental	
Nodo	SIMAR 712018020
Longitud	2.20 E
Latitud	41.32 N
Periodo	Anual
Fecha inicio	Mar. 2004
Fecha fin	May. 2022

Tabla 11.1: Tabla-resumen de información de los puntos SIMAR

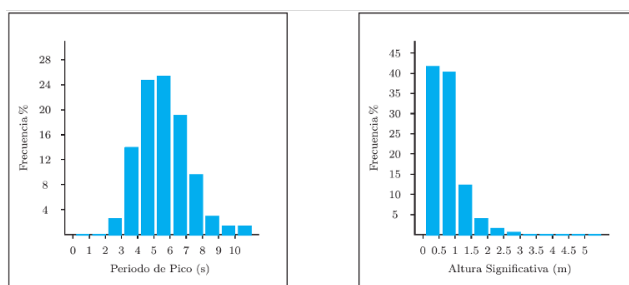


Figura 11.3: Histogramas de periodo pico (izquierda) y altura significativa (derecha) anuales en la zona de Barcelona

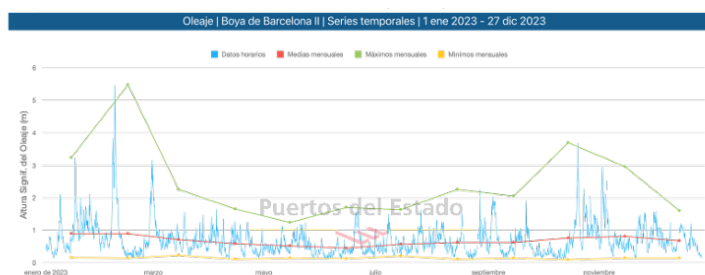


Figura 11.4: Series temporales de la media anual de altura significativa para el Mar Mediterráneo en la zona de Barcelona

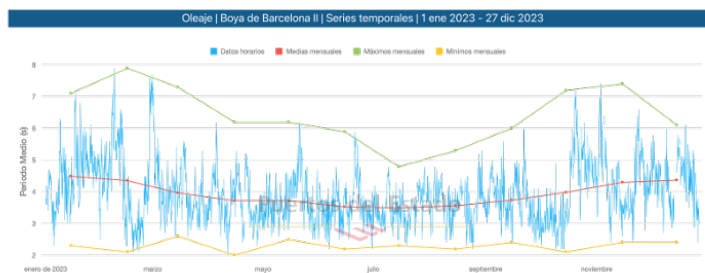


Figura 11.5: Series temporales de la media anual del periodo medio para el Mar Mediterráneo en la zona de Barcelona



Analizando los datos mostrados en las gráficas de las Figs.11.4 y 11.5, para todos los meses del año de forma individual en la zona del Mediterráneo, por ser esta la zona de mayor explotación del buque, se han obtenido medias de los datos máximos, medios y mínimos, para la simulación de 3 mares característicos de la zona. Se supondrá que el barco no navegará en mares extremales. Las tres condiciones a estudiar serán las que se dan con mayor frecuencia en la realidad y están representadas en la siguiente Tab. 11.2.

OLEAJE Mediterráneo noroccidental		
Altura (m)	Periodo (s)	Dirección (°)
3.69	7.20	90.0
2.26	5.30	202.5
0.45	2.10	135.0

Tabla 11.2: Media de valores de las olas en un periodo anual del Mar Mediterráneo

La dirección de las olas se ha obtenido de la gráfica de la rosa de oleaje correspondiente (ver Fig. 11.6).

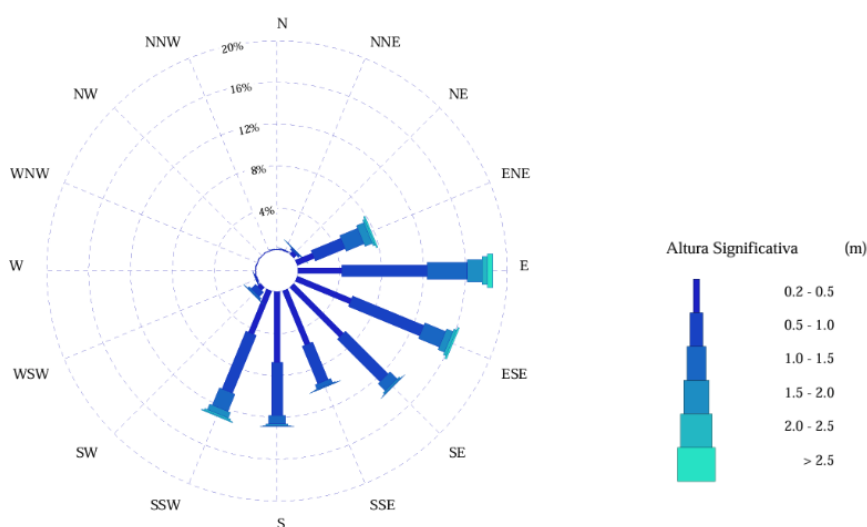


Figura 11.6: Rosa de oleaje para el periodo anual, donde predominan los mares del este, sureste y sur

Si se observan los datos obtenidos en los histogramas y gráficos, se puede determinar que se han escogido las olas predominantes a lo largo del periodo estudiado.

11.1.2. Aceleraciones verticales

En las embarcaciones de pasaje, es importante tener en cuenta el mareo. El mareo en un barco es una situación de malestar que sufre una persona debido a un desequilibrio entre el oído interno y la vista, produciendo náuseas, vértigos, sudoraciones e inclusive síntomas más severos en ciertas situaciones.



Esta sensación de mareo es producida durante la navegación de una embarcación debido a que el cuerpo del pasajero se mueve con ella, de tal forma que el oído interno transmite al cerebro esta información de movimiento, mientras que la vista percibe un estado de quietud en la embarcación (esto se incrementa, por lo tanto, en el interior de los camarotes).

Los movimientos que producen mayor índice de mareo son los de arfada (*heave*), balance (*roll*) y cabeceo (*pitch*). Cuando el pasajero se encuentra en el centro de gravedad de la embarcación, únicamente notará el movimiento de arfada, pero a medida que se vaya alejando de este punto en sentido transversal, irá experimentando una aceleración vertical mayor debido a la adición de los movimiento de cabeceo y balance. En el supuesto de que el pasajero se desplace longitudinalmente, alejándose del LCG, los movimientos serán más pronunciados.

Como en esta embarcación se prima el confort, será de gran importancia determinar dichas aceleraciones causantes de la sensación de mareo en los distintos puntos de la embarcación donde será más probable que los pasajeros y tripulación pasen más tiempo durante la navegación, con el objetivo de definir los índices de mareo (*MSI*) y los lugares más o menos favorables para el confort de la navegación.

Maxsurf Motions permite introducir las coordenadas de los puntos de interés. Serán un total de 14 puntos, todos ellos representados en la Tab.11.3.

Name	Long. Pos [m]	Offset [m]	Height [m]	Long. Pos from CoG	Offset from CoG	Height from CoG
Camarote VIP	10.36	0.00	1.30	1.43	0.00	-1.09
Camarote Estribor	12.95	-1.86	1.53	4.03	-1.86	-0.86
Camarote Babor	13.85	2.26	1.53	4.92	2.26	-0.87
Baño Estribor	13.96	-1.86	1.60	5.03	-1.86	-0.80
Baño Babor	14.62	1.21	1.60	5.70	1.21	-0.80
Camarote Proa	18.35	0.00	1.73	9.42	0.00	-0.67
Salon	7.50	1.38	3.59	-1.43	1.38	1.19
Puesto de mando ppal	14.18	1.44	4.22	5.25	1.44	1.82
Cocina	13.33	-1.14	4.41	4.40	-1.13	2.01
Chill Out proa	20.50	0.00	4.11	11.58	0.00	1.72
Chill Out popa	3.58	-0.02	3.71	-5.35	-0.02	1.31
Tumbonas flybridge	6.13	0.00	5.77	-2.80	0.00	3.38
Sofa flybridge	8.75	-2.04	5.97	-0.18	-2.04	3.58
Puesto de control flybridge	13.28	1.47	5.75	4.36	1.47	3.36

Tabla 11.3: Posición de los puntos de medida de la aceleración de la embarcación

11.1.3. Velocidades de ensayo y ángulos de ola

Además de la altura y periodo de las olas, es necesario definir otros parámetros para realizar el estudio del comportamiento del buque en la mar; entre estos parámetros está la velocidad a la que navegará la embarcación en las distintas condiciones. Con la definición de dichas velocidades se podrá definir la frecuencia de encuentro buque-ola y otras características.

La velocidad de crucero de la embarcación es de 27 nudos, la velocidad de crucero se debe alcanzar a pesar de darse malas condiciones de mar. Se incluirá también una velocidad intermedia en el ensayo, una velocidad 0 para la condición de fondeo y la velocidad máxima que alcanza la embarcación, la cual es de 32 nudos. (ver Tab.11.4)



	Velocidad (nudos)
Fondeo	0
Pre-planeo	15
Crucero	27
Máxima	32

Tabla 11.4: Velocidades de ensayo en Maxsurf Motions

Se determinará entonces el ángulo de incidencia entre el buque y el mar de olas. Este será de 0° cuando la embarcación y las olas vayan en la misma dirección y 180° cuando vayan en dirección contraria.

Se ensayarán ángulos distintos para poder comprobar el comportamiento de la embarcación en diversas situaciones de mar (ver Tab. 11.5), siendo las más interesantes aquellas en las que la frecuencia de encuentro sea de 180° , por ser esta la más determinante en la aparición de aceleraciones verticales y movimientos de *heave* y *pitch* y 90° por de igual forma fomentar la aparición de *roll*.

Tipo de mar	Ángulo ($^\circ$)
Popa	0
Aleta	20
Través	90
Amura	160
Proa	180

Tabla 11.5: Ángulos de incidencia buque-ola para los ensayos de Maxsurf Motions

11.1.4. Distribución de pesos

La embarcación cuando navega se comporta como un sólido rígido el cual puede girar en torno al eje que pasa por su centro de masas. Para una correcta predicción del comportamiento de la embarcación y los movimientos y giros que se producen, será necesario disponer de la distribución de pesos del buque, de tal manera que se puedan determinar o estimar sus radios de inercia. De igual forma será necesario determinar o estimar, la posición vertical del centro de gravedad.

11.2. Análisis de resultados

Una vez hechos los cálculos y estimaciones anteriores, se procede a introducir los datos iniciales y realizar los correspondientes cálculos. Se obtendrán los resultados de las *RAOs*, aceleraciones, *MSI* y espectros de la embarcación.

Se representarán las *RAOs* (operador de Amplitud de Respuesta), definida como una función de transferencia entre la fuerza generadora de movimiento, en este caso el espectro de la ola, y el desplazamiento que se produce con el movimiento de la embarcación. Para determinar dicha fuerza o energía del movimiento, se representará la relación de desplazamiento al cuadrado y el cuadrado de la amplitud de la ola en ordenadas, frente a la frecuencia de encuentro.



Las RAOs de una embarcación, dependen de 5 factores, dos son de operación, otros dos son de diseño y el último se refiere a la condición de carga analizada. Como parámetros de diseño se tienen las dimensiones y las formas del barco, incluyendo los apéndices; entre los factores de operación, se encuentra el rumbo y la velocidad de avance. Finalmente, el factor final depende de la situación de carga. De esto se deduce, que las RAOs de una embarcación no dependen del estado de la mar, sino que los movimientos dependen de ello, además de la RAO específica de cada movimiento.

Con los valores obtenidos, se podrá obtener el rango de frecuencias en las que cierto modo de vibración de la embarcación se excita con mayor intensidad, conociéndose como frecuencia natural o periodo propio de la embarcación. Para conocer el comportamiento de la embarcación en la mar, se representarán en gráficos polares los movimientos del buque más característicos en función del ángulo y la velocidad. (ver Figs. 11.7, 11.8 y 11.9)

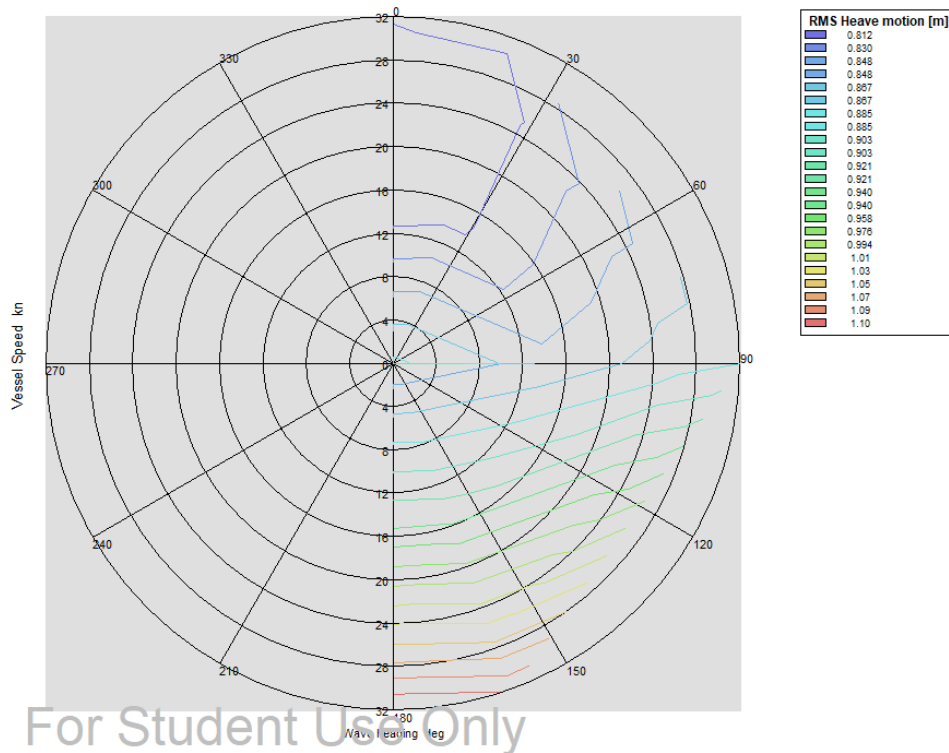


Figura 11.7: Gráfico polar del movimiento de heave para el mar máximo, en función de la velocidad y el ángulo de encuentro

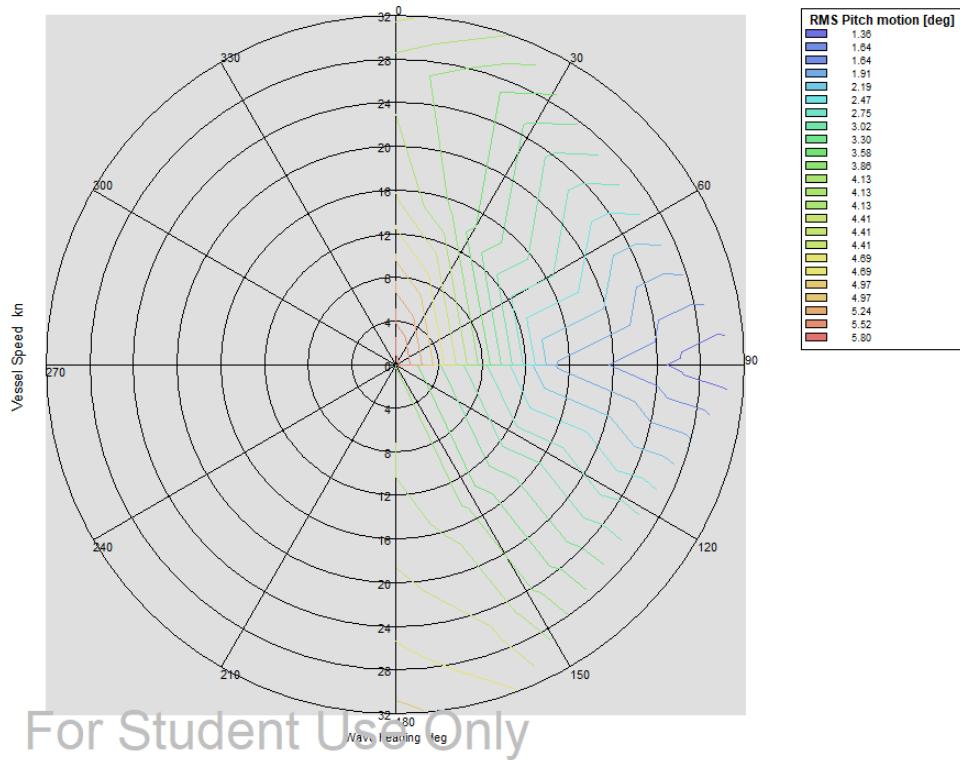


Figura 11.8: Gráfico polar del movimiento de pitch para el mar máximo, en función de la velocidad y el ángulo de encuentro

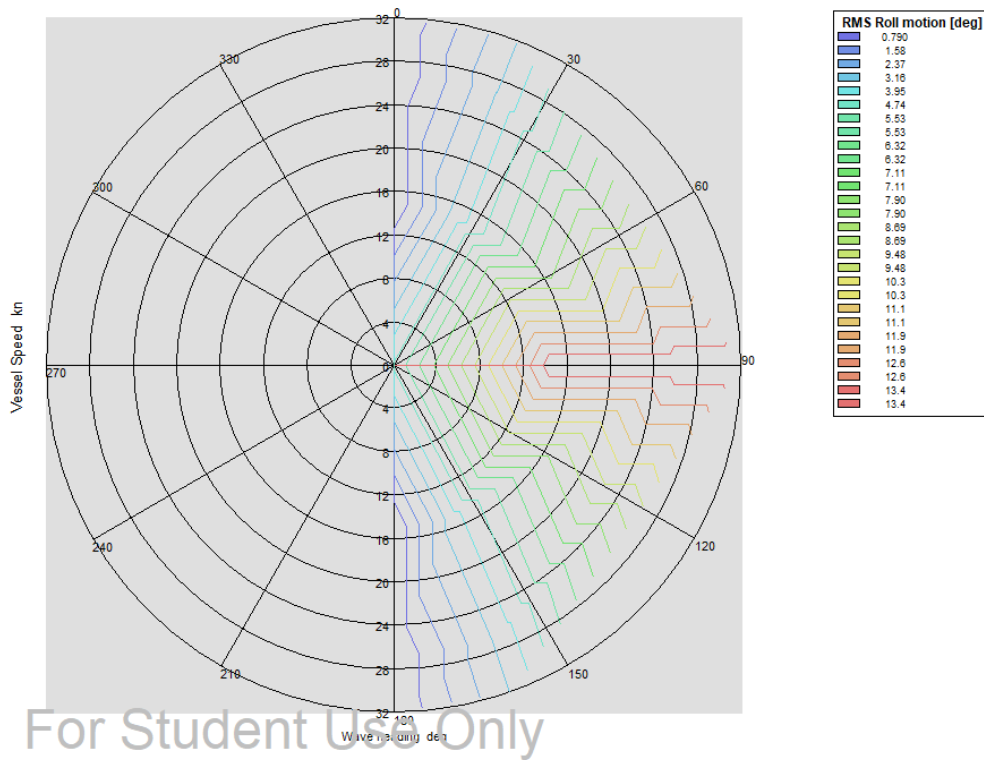


Figura 11.9: Gráfico polar del movimiento de roll para el mar máximo, en función de la velocidad y el ángulo de encuentro



A partir de los gráficos polares, se observa que para el mar que brinda mejores condiciones (mar mínimo), los movimientos de la embarcación son muy pequeños, pudiendo decir que la embarcación tiene un buen comportamiento.

Para el mar medio, se observan máximos de 0.769m en heave para velocidades comprendidas entre los 28 y los 32 nudos y para ángulos entre 150 – 180°. En el movimiento de pitch se alcanzarán ángulos máximos de trimado de hasta 5.22° para valores comprendidos entre 0 – 9 nudos y ángulos de 0 a 90°. Por último, en movimientos de roll, se obtienen ángulos de escora máximos de 14.2° para valores comprendidos entre los 0 y los 32 nudos, para ángulos cercanos a los 90°. Si se analizan estos últimos valores obtenidos de tal forma que se comparan con los ángulos de roll máximos obtenidos en las peores condiciones de mar, los cuales son similares e incluso menores y se observa que los altos valores de roll se producen para cualquier rango de velocidades, se deduce que la embarcación se encuentra o muy cerca o en el periodo de resonancia. En las simulaciones del programa, también se puede observar que la embarcación alcanza valores bastante altos también de movimientos de yaw. Analizando de igual forma el mar máximo se ve en los gráficos de las Figs. 11.7, 11.8 y 11.9 que los valores que se obtienen de roll son bastante similares que para el mar medio.

Sin embargo, cabe destacar, que *Maxsruf Motions* exige como entrada un valor del coeficiente de amortiguamiento para calcular los movimientos en roll. Este coeficiente debe hallarse de forma individual para cada buque y su estimación es compleja, por lo que se introduce un valor por defecto en el programa de 0.05, haciendo que los valores obtenidos puedan ser sobrestimados.

A continuación, se expondrán algunos gráficos de la aceleración e índices de mareo, donde se representa la aceleración absoluta (m/s^2) frente a la frecuencia de encuentro (Hz). Se analizarán aquellos gráficos en los que la aceleración sea muy alta o baja y se estudiarán los detalles destacables.

Las rectas representan el límite de aceleración a partir de la cual la navegación se hace incómoda para un tiempo de exposición determinado, en función de la frecuencia de encuentro, siguiendo la norma ISO 2631/3 1985. Las curvas azules representan el porcentaje mínimo de pasaje (índice mínimo o MSI) que se marea para una exposición de 2 horas. El resto de curvas, representan los puntos de medida de la embarcación, definidos anteriormente en la Tab.11.3; pudiéndose determinar su aceleración para cada frecuencia de encuentro. El tramo de línea de cada punto de la embarcación que queda en la zona superior de las líneas límite establecidas por la norma, producirá el mareo del pasaje en el grado que indica la línea límite que la corta.

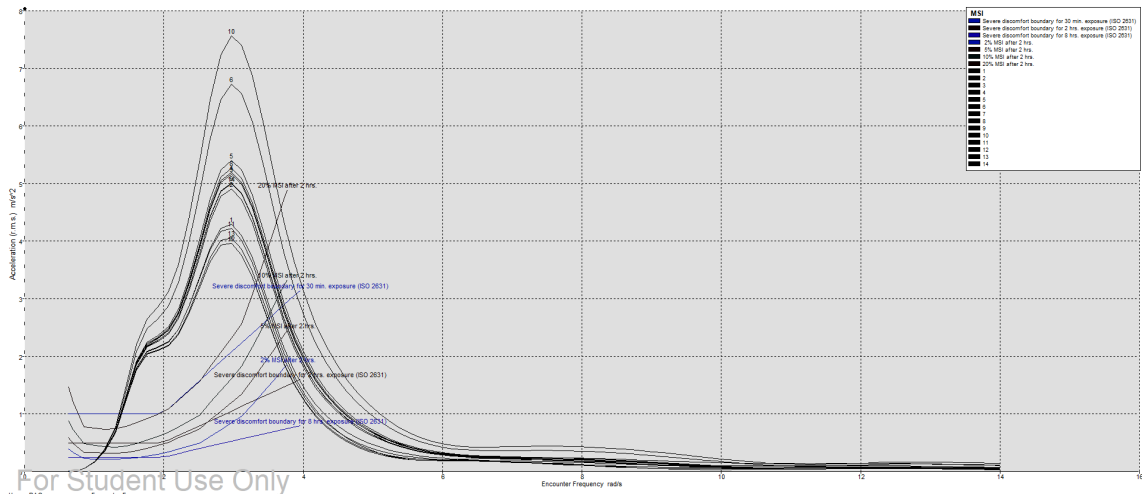


Figura 11.10: MSI con mar de proa (180°) a 32 nudos de velocidad y en la condición de mar máximo

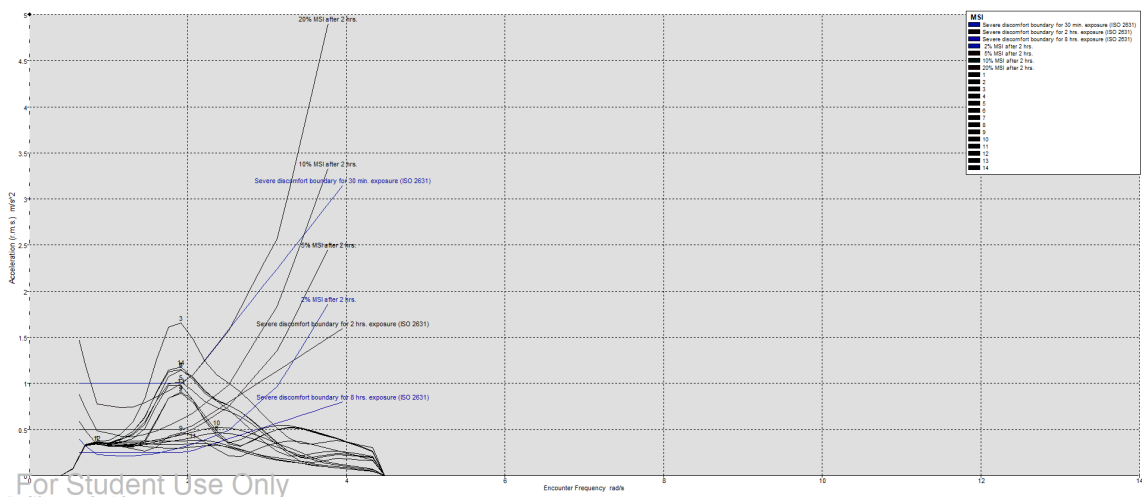


Figura 11.11: MSI con mar de través (90°) a 32 nudos de velocidad y en la condición de mar máximo

Analizando las gráficas para la condición de mar máximo a diferentes ángulos de encuentro en el rango de planeo (ver Figs. 11.11, 11.10), se puede determinar que los valores del MSI prácticamente no varían, siendo estos bastante altos. Los valores comienzan a disminuir para velocidades en el rango de pre-planeo y son bastante bajos para velocidad 0. En la Fig.11.10, se aprecia, como viene a ser lógico por el rumbo con respecto a la mar (heading), que las zonas de la embarcación donde el mareo es mayor serán aquellas que se encuentran más a proa, tanto en el chill out de proa, como en el camarote de proa y la zona del puesto de mando de la cubierta principal.

Si se estudian los resultados obtenidos para el mar de través en la misma condición de mar (ver Fig.11.11), se puede ver que los efectos serán notables para un rango de frecuencias de encuentro más amplio, a pesar de que estos efectos no serán tan grandes como en el caso anterior. En esta ocasión, la variación de la velocidad no tenía prácticamente ningún efecto notable en la reducción de los índices MSI, siendo del mismo orden para todos los casos. Si se hace un estudio de los datos obtenidos en la Fig.11.11, será razonable concluir que los efectos más notables se darán en



zonas como el camarote de babor y de estribor de la cubierta inferior, así como en el puesto de gobierno de la cubierta principal o en las zonas del *flybridge*. Estos *headings* son en los cuales los índices MSI son más notables, siendo bastante reducidos para mar de aleta, mar de amura o mar de popa.

Al igual que en la condición de mar máximo con un *heading* de 180° , las aceleraciones son muy notables a velocidades altas y no se reducen prácticamente en un rango alto de velocidades donde la navegación es de planeo, no siendo hasta velocidades medias que las aceleraciones se comienzan a reducir hasta ser bastante bajas a velocidad nula. Como ya se advirtió en los movimientos de roll para la condición de mar medio definida, los resultados obtenidos de aceleración son más altos que para la condición de mar máximo. Nuevamente, las zonas donde las aceleraciones son más perjudiciales son en las zonas más a proa de la embarcación. De la misma manera, se obtienen resultados muy similares que en la condición de mar máximo para el mar de través.

Se ha observado en el estudio cómo cambian los valores de la aceleración, siendo estos prácticamente nulos para un mar mínimo en las mismas variables que en los casos anteriores, inclusive para velocidades máximas en régimen de planeo, para todas las zonas de la acomodación. El mismo fenómeno ocurre como es de suponer para todo el rango de velocidades, pero también para todos los *headings*, siendo el más notable el del mar de través, donde independientemente de la velocidad, se obtienen los mismos resultados.

A continuación, se presentan las RAOs de los movimientos de heave, pitch y roll, para 15 nudos de velocidad y unas condiciones medias de mar, por ser esta una situación bastante estándar, ya que los resultados obtenidos para velocidades más altas son de las mismas características y evolucionan igual; siendo la condición de mar medio la que peores resultados ha obtenido.

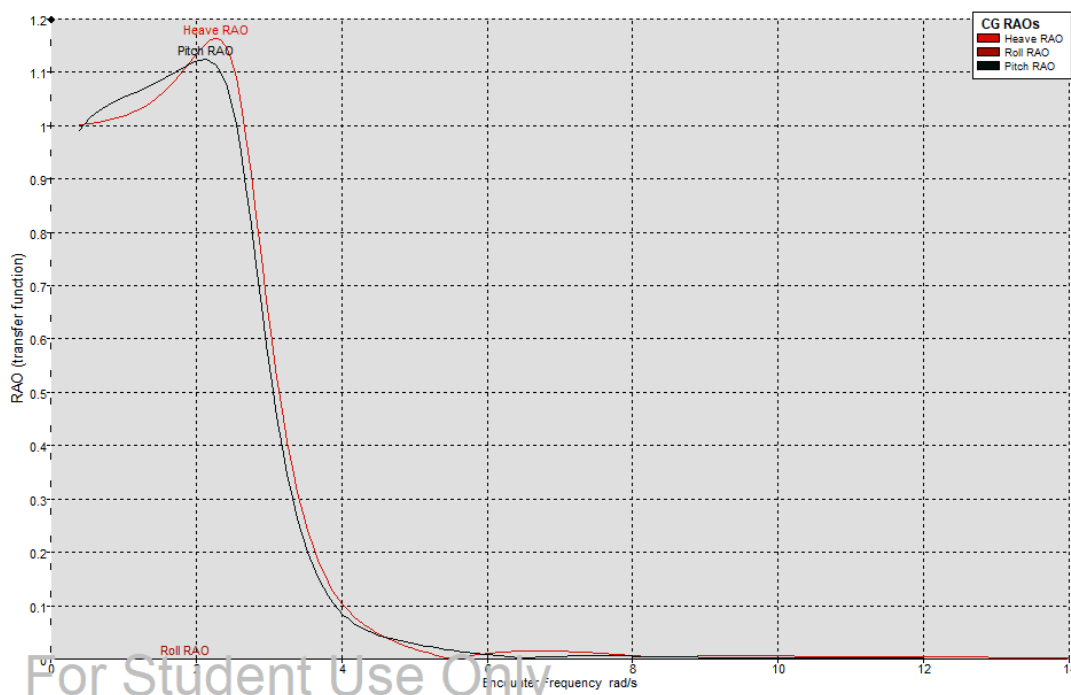


Figura 11.12: RAOs para 180° en navegación a 15 nudos

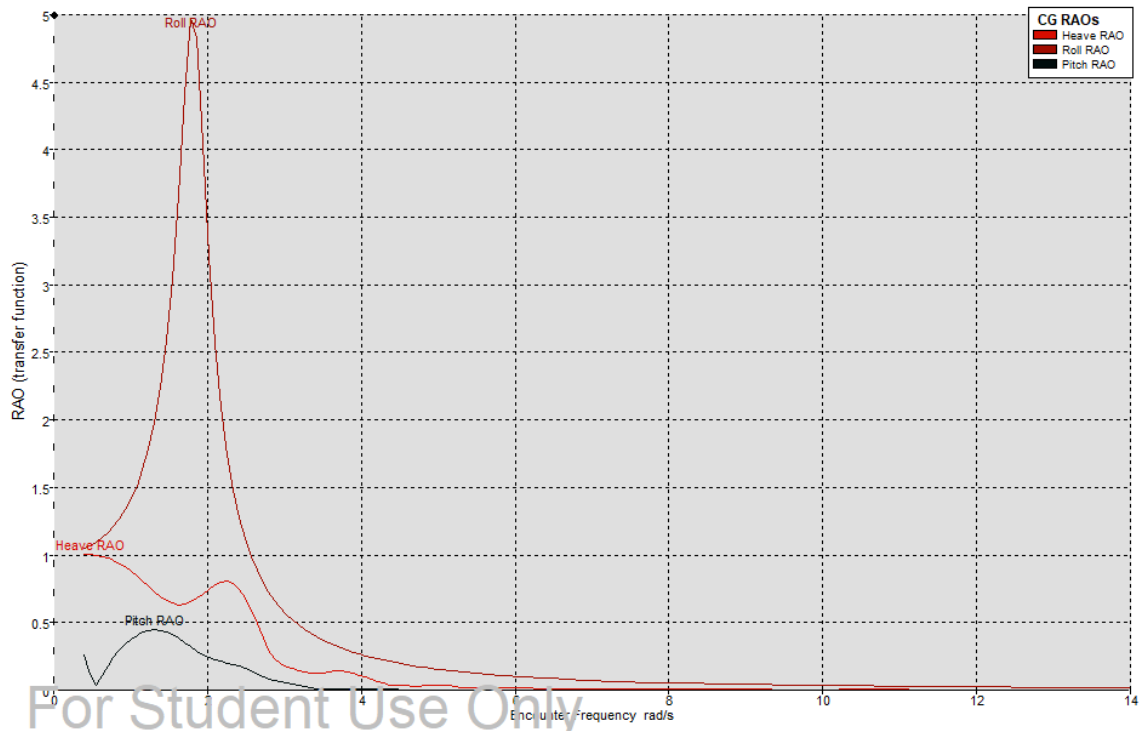


Figura 11.14: RAOs para 90° en navegación a 15 nudos

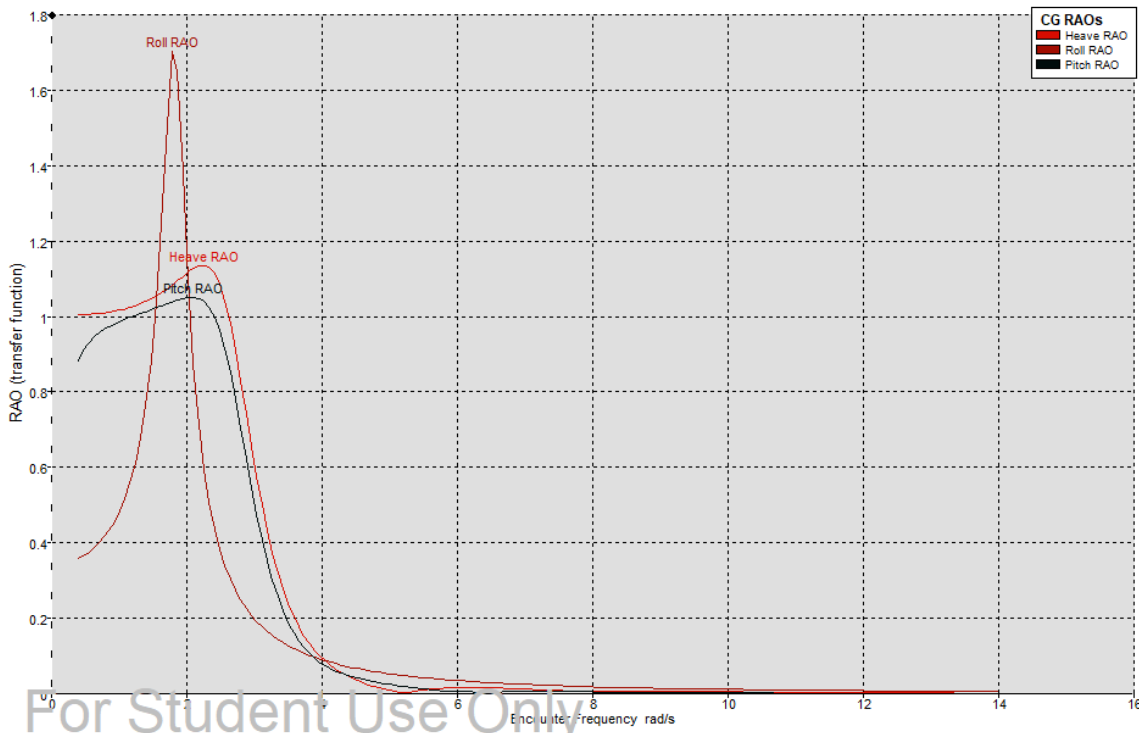


Figura 11.13: RAOs para 160° en navegación a 15 nudos

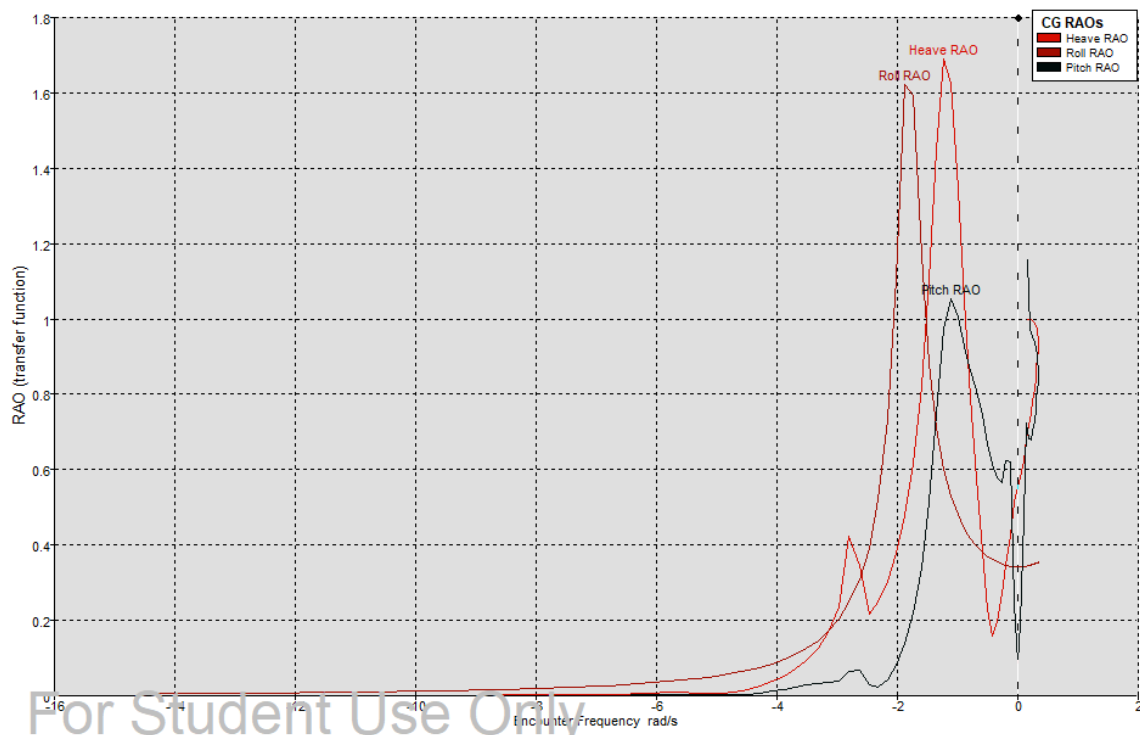


Figura 11.15: RAOs para 20° en navegación a 15 nudos

En las gráficas de las RAOs, se puede analizar la respuesta de la embarcación en función del oleaje y las condiciones de mar establecidas. Se puede ver la Fig. 11.12, donde el mar es de proa, que el movimiento es únicamente de pitch y de heave y que el movimiento de roll es nulo, ya que estas condiciones no afectarán al balanceo del buque. Sin embargo, en las Figs. 11.13, 11.14 y 11.15, se puede empezar a apreciar que la RAO de roll es bastante pronunciada, alcanzando valores máximos cuando el mar es de través. Las RAOs de heave y pitch se mantienen relativamente constantes oscilando para todos los *headings* entre valores de la misma magnitud.

De estos gráficos se puede extraer también que las peores situaciones son para frecuencias de encuentro bajas, cercanas a los 2rad/s , donde se alcanza el pico de la gráfica de la RAO. Este pico representa el pico de resonancia donde la embarcación entra en sincronismo y el comportamiento en la mar es peor.

Sabiendo esto, es posible predecir en qué momentos de la navegación la embarcación se encontrará en los peores casos de confort, pudiéndose evitar las frecuencias de encuentro para las cuales el barco responderá peor. Si se dispone de la ruta que se va a realizar, se podrá saber en qué rumbos sufrirá sincronismo para el mar ocasional, de modo que el capitán pueda alterar su rumbo o velocidad para evitarlos.



11.3. Resumen de resultados

Se puede observar, que la embarcación no tiene muy buen comportamiento en movimientos de balance para las condiciones de mar medio y máximo en el Mediterráneo. Además, el comportamiento es bastante similar en ambas condiciones, lo cual es “alarmante” ya que se pretende que la embarcación navegue durante todo el año por el litoral catalán. Sin embargo, como ya se ha mencionado anteriormente, el software sobrestima los resultados y el coeficiente de amortiguamiento en *roll*, podría ser algo más bajo para la embarcación de estudio.

Como se ha visto, el peor de los comportamientos lo tiene cuando navega con mar de través, obteniendo resultados relativamente buenos para mares de popa o proa e incluso de aleta o amura. Estos resultados son previsibles dada la elevada posición del centro de gravedad y el alto puntal, que afectan a los radios de inercia, junto con una inercia del área de flotación elevada, sobretodo transversalmente. En todo caso, son consecuencias derivadas sobretodo del tipo de embarcación, por lo que va a recaer en el capitán hacer un uso adecuado de esta información para maximizar el confort y seguridad del pasaje ajustando el rumbo y velocidades a las condiciones de la mar.

Para solucionar el movimiento de balanceo *roll*, se puede hacer uso de la estabilización giroscópica; es decir, un sistema ARG (Anti-Rotación Giroscópica). Se instalará una caja dentro de la cual hay un gran volante de inercia que gira con bajo rozamiento sobre cojinetes de muy baja fricción. A diferencia de los FLAPS estabilizadores, el ARG está totalmente contenido en una unidad fácil de instalar. El sistema no introduce resistencias hidrodinámicas adicionales pues ningún elemento toca el agua. No hay pérdidas de rendimiento en velocidad o consumo, ni posibles daños a piezas en contacto con el agua. Como el dispositivo no depende del flujo del agua, el ARG es efectivo incluso cuando la embarcación navega a baja velocidad o está amarrada. El sistema giroscópico puede ser instalado en cualquier parte del barco e incluso es posible instalar varias unidades para aumentar la efectividad del sistema. El ARG no requiere mantenimientos periódicos o ajustes de ningún tipo, no hay riesgos ni fallos ya que todos sus componentes están contenidos en una unidad a la que solo es necesario alimentar con corriente eléctrica. El coste operativo es mínimo.



Conclusiones

El objetivo principal de este proyecto era conocer y aprender el desarrollo del proceso de diseño de una embarcación de recreo, donde se han englobado muchos de los conocimientos adquiridos a lo largo de toda la carrera. Esta motivación ha sido el pilar fundamental de este trabajo. Se ha comprendido que una buena gestión de este tipo de proyectos es fundamental. Una buena organización y una previa planificación sustentan los pilares para la obtención de mejores resultados. Este tipo de proyectos se llevan a cabo por un grupo de personas, donde cada una está especializada en diferentes áreas, lo cual implica que haber realizado este proyecto por una sola persona pueda conllevar una mejor consideración de las interacciones entre diferentes áreas del proyecto.

El mercado de embarcaciones de lujo combina varios requisitos que hacen que la complejidad de su diseño sea elevada. Ha quedado reflejada la importancia de la espiral de diseño, definiéndose como base de esta ingeniería y sobre la cuál se han de realizar varias iteraciones para poder ir perfeccionando y consiguiendo, mediante un proceso iterativo, los objetivos fijados en un primer momento, que redundarán en la mejor calidad del resultado.

Se ha concluido que es relativamente más fácil llegar a un buen resultado en el diseño de las formas si se toma una referencia de partida. Esto no significa que si no se hace no se pueda llegar a obtener un buen resultado; pero conseguir unas formas bonitas de la embarcación que además obtengan buenos valores de resistencia al avance, maniobrabilidad, comportamiento en la mar, amplio espacio de acomodación, etc. requerirá un mayor esfuerzo, a no ser que se cuente con bastante experiencia. La optimización de formas es bastante importante para alcanzar mejores resultados. Por otro lado, habrá veces que se deberán primar ciertos aspectos referidos al tipo de embarcación objetivo, deseada por el cliente. Obteniendo un buen comportamiento de la embarcación para cualquier condición (velocidad, maniobrabilidad, etc.), y una acomodación adecuada, se sellarán las bases necesarias adecuadas para obtener el éxito del proyecto.

Es importante ser consciente de la amplia gama de opciones existentes a tener en cuenta en el momento de elegir el método propulsivo y de generación de potencia, valorando los objetivos a primar por el cliente y estudiando los “pros” y los “contras” de cada una para así poder tomar la decisión más adecuada. Además, en un yate, todo el proceso de diseño de la habilitación está fuertemente ligado al espacio ocupado por el motor y el cálculo de pesos, ya que según el lugar donde vaya instalado, y su cdg, la habilitación se podrá distribuir de una forma u otra e incluso se ganará o perderá espacio. Por último, destacar que el uso de distintos tipos de software a lo largo del proyecto, ha simplificado de manera sustancial todo el proceso, siendo de gran utilidad el



dominio de los mismos.



Bibliografía

- [1] “Market.us.” <https://www.market.us/>, 2024.
- [2] Asociación Española de Normalización (UNE), *Evaluación y clasificación de la estabilidad y la flotabilidad. Parte 1: Embarcaciones no propulsadas a vela de eslora igual o superior a 6 m.* UNE-EN ISO 12217-1: 2005, 2005.
- [3] “Yacht Market Size, Share, Trends & Growth .” <https://www.grandviewresearch.com/>, 2023.
- [4] M. Intelligence, “Análisis del tamaño y la participación del mercado de yates de lujo. Tendencias y pronósticos de crecimiento (2023-2028).”
- [5] “itBoat.” <https://itboat.com/>.
- [6] L. Vidal Insensé, *Anteproyecto y diseño preliminar*. Fundación Ingeniero Jorge Juan, 2010.
- [7] J. M. González Álvarez Campana, “Formas de cascos de embarcaciones rápidas,” tech. rep., Canal de experiencias hidrodinámicas de el Pardo, 1991.
- [8] Asociación Española de Normalización (UNE), *Pequeñas embarcaciones. Datos principales.* UNE-EN ISO 8666: 2016, 2016.
- [9] Asociación Española de Normalización (UNE), *Pequeñas embarcaciones: Construcción de cascos y escantillones. Parte 5: Presiones de diseño, tensiones de diseño y determinación del escantillón.* UNE-EN ISO 12215-5: 2020, 2020.
- [10] A. Baquero Mayor, “Resistencia y propulsión del buque,” tech. rep., Canal de experiencias hidrodinámicas de el Pardo, 2015.
- [11] L. Larsson and R. E. Eliasson, *Principles of Yacht Design*. International Marine, 2 ed., 2000.
- [12] BOE, *ORDEN FOM 1144/2003*. Boletín Oficial del Estado, 28 de abril 2003.
- [13] Asociación Española de Normalización (UNE), *Embarcaciones de recreo. Campo de visión desde la posición de gobierno.* UNE-EN ISO 11591:2020, 2020.
- [14] Asociación Española de Normalización (UNE), *Fondeo, amarre y remolque. Puntos de amarre.* UNE-EN ISO 15084:2019, 2019.



- [15] Asociación Española de Normalización (UNE), *Pequeñas embarcaciones. Protección contra incendios*. UNE-EN ISO 9094:2017, 2017.
- [16] Asociación Española de Normalización (UNE), *Pequeñas embarcaciones. Sistemas de bombeo de sentinas*. UNE-EN ISO 15083:2020, 2020.
- [17] N. . Yates, “Una década del sistema IPS, y llegó la revolución,” <https://nauticayyates.com/>, 2015.
- [18] D. Savitsky and SNAME, *Hydrodynamic Design of Planing Hulls* , vol. I. Marine Technology, 1964.
- [19] J. Calderón Sanchez, *Hidrodinámica del buque II. Planeadores*. Universidad Politécnica de Madrid, 2018.
- [20] A. Sakaki, “Evaluation of the Hydrodynamic Performance of Planing Boat with Trim Tabs,” tech. rep., Harbin Engineering University, 2018.
- [21] “Volvo Penta.” <https://www.volvopenta.com>, 2024.
- [22] M. M. Espín García, *Planta Eléctrica*. Universidad Politécnica de Madrid, 2018.
- [23] “Fischer Panda,” 2023.
- [24] “EXIDE Technologies,” 2023.
- [25] DOMETIC, *Catálogo Náutico Yates y Barcos*. Interempresas, 2019.
- [26] R. Bolaños Sánchez, “Predicción del oleaje en el Mediterráneo: Física y predicción,” 11 2004.
- [27] ITTC, “International Towing Tank Conference, ITTC Quality System Manual, Recommended Procedures and Guidelines, Procedure: Seakeeping Experiments, Report 7.5-02-07-02.1,” tech. rep., 2017.
- [28] M. de Transportes y Movilidad Sostenible, “Puertos del Estado,” 2024.



Anexo A

Base de datos

En el siguiente anexo, se expondrá la base de datos del proyecto para el posterior predimensionamiento desarrollado en el [Capítulo 2](#).

BARCO	ESLORA (m)	ESLORA FLOTACION (m)	MANGA (m)	CALADO (m)	PUNTA FLYBRIDGE	PUNTA CBTA. PPAL	Δ (t)	VELOCIDAD MAXIMA (kn)	VELOCIDAD DE CRUCERO (kn)	PROPULSIÓN	Nº MOTORES	POTENCIA MOTOR (kW)	ENERGÍA REQUERIDA (t*kn ²)	FROUDE (Fn)	FROUDE (Fn ∇)
MCY 66	20,11	16,30	5,2	1,55	No profile data		36	30	24	2 x MAN V8 1200 HP	2 x 1200 hp	1.789,70	32.400	1,220	2,711
FLYBRIDGE 66	20,12	16,20	5,30	1,46	5,89	3,51	44,39	30	24	2 x Volvo D13 IPS 1350 HP	2 x 1350 hp	2.013,40	39.951	1,224	2,618
RIVA 68' DIABLE	20,67	17,00	5,29	1,78	-		3,53	44	37	2 x Volvo PENTA D13 IPS 1200 HP	2 x 1550 hp	2.311,70	60.236	1,474	3,234
AZIMUT 68	20,98	17,02	5,23	1,60	No profile data		43,7	32	28	2 x Volvo D13 IPS 1350 HP	2 x 1350 hp	2.013,40	44.749	1,274	2,800
MCY 70 SKYLounge	21,08	17,15	5,45	1,85	No profile data		45	26	22	2 x MAN V8 1300 HP	2 x 1300 hp	1.938,80	30420	1,031	2,264
AZIMUT S7	21,37	17,63	5,30	1,69	No profile data		45,4	36	30	3 x Volvo PENTA D13 IPS 1050 HP	3 x 1050 hp	2.349	58.838	1,408	3,130
FERRETTI 720	22,30	21,00	5,60	1,80	5,85	3,75	54	28	24	2 x MAN V8 1200 HP	2 x 1200 hp	1.789,70	42.336	1,003	2,365
AZIMUT 72	22,64	21,15	5,60	1,82	5,77	3,42	53,3	32	26	2 x MAN CR V12 1400 HP	2 x 1400 hp	2.088	54.579	1,143	2,709
FILIPPETTI F76	23,00	19,50	5,80	1,82	No profile data		55	31	27	2 x CAT 1700 HP	2 x 1700 hp	2.535,40	52855	1,153	2,611
MCY 76	23,06	21,50	5,75	1,96	No profile data		54	30	24	2 x MAN V8 ZF POD 1200 HP	2 x 1200 hp	1.789,70	48600	1,063	2,534
RODMAN MUSE 74	23,16	21,90	5,67	1,78	No profile data		44,80	30	25	2 x MAN V12 CRM 1550 HP	2 x 1550 hp	2.311,70	40320	1,053	2,614
COUACH 2300	23,20	21,73	5,60	1,35	4,90	3,2	50	30	27	2 x MAN CR V12 1400 HP	2 x 1400 hp	2.088	45000	1,057	2,567
PERSEO SUPER 76'	23,25	19,57	5,75	1,90	6,10	3,85	53,5	37	32	2 x MAN V12 1550 HP	2 x 1550 hp	2.311,70	73.242	1,374	3,130
WALLYWHY 150	24,06	22,50	6,78	2,00	6,43	3,70	98	23	21	3 x Volvo PENTA D13 IPS 1200 HP	3 x 1200 hp	2.684,50	51.842	0,796	1,759
SIRENA 78	25,00	22,50	6,50	1,77	5,77	3,32	87	24	16	2 x MAN V12 1400 HP	2 x 1400 hp	2.089	50.112	0,831	1,873
ASTONDOA AS8	25,25	22,05	6,04	2,21	6,31	3,86	56	32	27	2 x MAN V12-1600 HP	2 x 1213 kw	2.426	57.344	1,119	2,687
HORIZON E81	25,32	22,07	6,25	1,80	6,50	3,85	68	25	20	2 x MAN V8 1200 HP	2 x 1600 hp	2.386,20	42.500	0,874	2,032
FERRETTI 860	26,95	23,96	6,22	2,08	6,53	4,28	82	32	27	2 x MAN V12 2000 HP	2 x 2000 hp	2.982,80	83.968	1,074	2,521
HORIZON FD90	27,45	23,99	7,11	1,83	6,23	3,63	104	22	16	2 x Caterpillar C18A - 1136 HP	2 x 1136 hp	1.694,20	50.336	0,738	1,666
RIVA 90' ARGO	28,49	23,10	6,50	2,15	6,58	4,35	85	26	22	MTU 12V 2000 M96L	1 x 2400 hp	1.789,70	57460	0,888	2,036
PROTOTIPO	24,00	21	5,97	1,87	5,9	3,6	64,43	29	24	-	-	2,318	54185,63	1,061	2,42

Tabla A.1: Base de datos

BARCO	AGUA (L)	FUEL (L)	TRIPULANTES	PASAJEROS	ASTILLERO	TIPO DE CASCO	MATERIAL
MCY 66	750	3.500	2	6	Monte Carlo Yacht	Planeo	Fiberglass
FLYBRIDGE 66	1.000	3.600	2	8	Astilleros Astondoa	Planeo	Fiberglass
RIVA 68' DIABLE	600	3.800	0	6	Riva	Planeo	Fiberglass
AZIMUT 68	1.000	3.700	2	8	Azimut Yacht	Planeo	Fiberglass
MCY 70 SKYLounge	800	4.000	2	8	Monte Carlo Yacht	Planeo	Fiberglass
AZIMUT S7	1.000	3.800	2	8	Azimut Yacht	Planeo	Carbon Fiber + Fiberglass
FERRETTI 720	1.000	4.600	2	8	Ferretti Group	Planeo	Fiberglass
AZIMUT 72	1.100	5.200	1	8	Azimut Yacht	Planeo	Carbon Fiber + Fiberglass
FILIPPETTI F76	1.200	6.200	3	8	Filippetti Yacht	Planeo	Fiberglass
MCY 76	1.000	5.000	3	8	Monte Carlo Yacht	Planeo	Fiberglass
RODMAN MUSE 74	1.308	5.412	3	8	Rodman	Planeo	Fiberglass
COUACH 2300	1.000	6.000	2	6	Couach	Planeo	Fiberglass
PERSEO SUPER 76'	840	5.600	0	6	Riva	Planeo	Fiberglass
WALLYWHY 150	2.000	9.000	4	8	Wally	Semi-despl	Fiberglass
SIRENA 78	1.800	9.000	3	8	Sirena Yacht	Semi-despl	Fiberglass
ASTONDOA AS8	1.100	6.200	3	8	Astilleros Astondoa	Planeo	Fiberglass
HORIZON E81	1.135	8.706	2	8	Horizon Yacht	Semi-despl	Fiberglass
FERRETTI 860	1.400	7.000	3	8	Ferretti Group	Semi-despl	Fiberglass
HORIZON FD90	1.500	13.170	3	10	Horizon Yacht	Fast-displ	Fiberglass
RIVA 90' ARGO	1.320	8.700	2	8	Riva	Planeo	Fiberglass
PROTOTIPO	1142,65	6109,4	2	8	-	Planeo	Fiberglass

Tabla A.2: Base de datos





Anexo B

Balance eléctrico

En el siguiente anexo, se expondrá el balance eléctrico para el dimensionamiento de la planta eléctrica del proyecto, desarrollado en el Capítulo 7.



Servicio	Local	Equipo	Alimentación	Unidades Instaladas	Unidades en Servicio	Potencia/unidad (W)	Potencia instalada (W)	Ku	Kn	Potencia máxima demandada (W)	NAVEGACIÓN		MANIOBRA		FONDEO		PUERTO	
											Ksr	Potencia estimada	Ksr	Potencia estimada	ksr	Potencia estimada	Ksr	Potencia estimada
Iluminación	Salón principal	Luces LED	24 V	8	8	20	160	1	1	160	0,5	80	0,5	80	0,2	32	0	0
Iluminación	Comedor	Luces LED	24 V	10	10	20	200	1	1	200	0,5	100	0,5	100	0,2	40	0	0
Iluminación	Puente de mando	Luces LED	24 V	2	2	20	40	1	1	40	0,5	20	0,5	20	0,2	8	0	0
Iluminación	Cocina	Luces LED	24 V	3	3	20	60	1	1	60	0,5	30	0,5	30	0,2	12	0	0
Iluminación	Pasillo	Luces LED	24 V	3	3	20	60	1	1	60	0,5	30	0,5	30	0,2	12	0	0
Iluminación	Camarotes	Luces LED	24 V	11	11	20	220	1	1	220	0,5	110	0,5	110	0,2	44	0	0
Iluminación	Baños	Luces LED	24 V	5	5	20	100	1	1	100	0,5	50	0,5	50	0,2	20	0	0
Iluminación	Lavandería	Luces LED	24 V	1	1	20	20	1	1	20	0,5	10	0,5	10	0,2	4	0	0
Iluminación	Sala de maquinas	Luces LED	24 V	4	4	20	80	1	1	80	0,1	8	0,1	8	0,1	8	0	0
Iluminación	Exterior	Luces LED	24 V	15	15	20	300	1	1	300	0,5	150	0,5	150	0,2	60	0	0
Iluminación	Emergencia	Luces LED	24 V	23	10	20	460	1	1	460	0,1	46	0	0	0,6	276	0,5	230
Achique y CI	CMM	Bomba Achique	24 V	3	2	350	1050	1	0,67	703,5	0,2	140,7	0,2	140,7	0,2	140,7	0	0
Agua Sanitaria	CMM	Potabilizadora	230 V	1	1	400	400	1	1	400	0,7	280	0,1	40	0,5	200	0,1	40
Agua Sanitaria	CMM	Bomba de Agua dulce	24 V	2	1	50	100	1	0,5	50	0,2	10	0,2	10	0,2	10	0,2	10
Agua Sanitaria	CMM	Bomba Grifos a presión	24 V	2	1	250	500	1	0,5	250	0,2	50	0,1	25	0,2	50	0,2	50
Agua Sanitaria	CMM	Bomba Agua Caliente	24 V	2	1	100	200	1	0,5	100	0,1	10	0,1	10	0,1	10	0,1	10
Agua Sanitaria	CMM	Calentador de agua	230 V	1	1	3000	3000	1	1	3000	0,5	1500	0,2	600	0,5	1500	0,5	1500
Agua negras	CMM	Greywater y aguas residuales	24 V	2	1	100	200	1	0,5	100	0,2	20	0,1	10	0,2	20	0,2	20
Climatización	CMM	Compresor	230 V	1	1	3000	3000	1	1	3000	0,5	1500	0,1	300	0,5	1500	0,5	1500
Ventilación y climatización	Cubierta principal	Fan coil	230 V	4	3	150	600	1	0,75	450	0,5	225	0,1	45	0,5	225	0,5	225
Ventilación y climatización	Cubierta inferior (acomodación)	Fan coil	230 V	6	6	150	900	1	1	900	0,5	450	0,1	90	0,5	450	0,5	450
Ventilación y climatización	CMM	Ventilación	230 V	1	1	200	200	1	1	200	0,8	160	0,2	40	0,5	100	0,5	100
Fondeo	Cubierta principal	Molinete	24 V	2	1	1250	2500	1	0,5	1250	0	0	0,4	500	0,8	1000	0	0
Amarre	Proa	Cabrestantes	230 V	1	1	180	180	1	1	180	0	0	0	0	0	0	0,5	90
Amarre	Cubierta principal	Cabrestantes	230 V	1	1	3500	3500	1	1	3500	0	0	0	0	0	0	0,5	1750
Audio y Video	Salón principal	Televisión	230 V	1	1	250	250	1	1	250	0,5	125	0,3	75	0,6	150	0,6	150
Audio y Video	Camarotes	Televisión	230 V	4	4	50	200	1	1	200	0,4	80	0,3	60	0,6	120	0,6	120
Audio y Video	Salón principal	Equipo de sonido	230 V	1	1	150	150	1	1	150	0,5	75	0,2	30	0,5	75	0,5	75
Navegación y Comunicaciones	Puente-consola	AIS	24 V	2	2	30	60	1	1	60	1	60	1	60	1	60	0,5	30
Navegación y Comunicaciones	Puente-consola	Piloto automático	24 V	2	2	70	140	1	1	140	0,9	126	0,8	112	0,7	98	0	0
Navegación y Comunicaciones	Radar	Antena	24 V	1	1	150	150	1	1	150	1	150	1	150	1	150	1	150
Navegación y Comunicaciones	Operador de datos	Ordenador	24 V	2	2	250	500	1	1	500	1	500	1	500	1	500	1	500
Navegación y Comunicaciones	Data	Servomotor	24 V	2	2	20	40	1	1	40	0,1	4	0,3	12	0	0	0	0
Navegación y Comunicaciones	Data	PLC	24 V	2	2	40	80	1	1	80	1	80	1	80	0	0	0	0
Navegación y Comunicaciones	Auxiliar	Estación climática	24 V	2	2	10	20	1	1	20	0,8	16	1	20	0,2	4	0,2	4
Navegación y Comunicaciones	Auxiliar	Limpiaparabrisas	24 V	1	1	60	60	1	1	60	0,2	12	0,2	12	0	0	0	0
Navegación y Comunicaciones	Puente-consola	Sonda	24 V	1	1	80	80	1	1	80	0,9	72	0,9	72	0,7	56	0,9	72
Navegación y Comunicaciones	Puente-consola	Radio VHF	24 V	2	2	38	76	1	1	76	0,9	68,4	0,9	68,4	0,7	53,2	0,8	60,8
Navegación y Comunicaciones	Puente-consola	Radio HF	24 V	2	2	40	80	1	1	80	0,9	72	0,9	72	0,7	56	0,8	64
Navegación y Comunicaciones	Puente-consola	Radio LF	24 V	2	2	45	90	1	1	90	0,9	81	0,9	81	0,7	63	0,8	72
Navegación y Comunicaciones	Puente-consola	Luces de navegación	24 V	4	4	7	28	1	1	28	0,5	14	0,7	19,6	0	0	0	0
Navegación y Comunicaciones	Puente-consola	Bocina	24 V	1	1	60	60	1	1	60	0	0	0,3	18	0	0	0	0
Navegación y Comunicaciones	Puente-consola	Radio VLF/ULF	24 V	2	2	40	80	1	1	80	0,9	72	0,9	72	0,7	56	0,9	72
Servicio CI	CMM	Bomba de Sentina	24 V	1	1	100	100	1	1	100	0,2	20	0,2	20	0,2	20	0,1	10
Toma de corriente	Pasaje	Otros conectados a enchufes	230 V	1	1	4000	4000	0,6	0,6	1440	0,4	576	0,1	144	0,4	576	0,4	576
Toma de corriente	CMM	Otros conectados a enchufes	230 V	1	1	2000	2000	0,6	0,6	720	0,9	648	0,3	216	0,7	504	0,7	504
Lavandería	Lavandería	Lavandería	230 V	2	2	1000	2000	0,6	1	1200	0,3	360	0,1	120	0,4	480	0,3	360
Electrodomesticos	Cocina	Electrodomesticos	230 V	1	1	5000	5000	1	1	5000	0,5	2500	0,1	500	0,5	2500	0	0
Detección y alarma	Cubierta principal	Cámara de seguridad	230 V	7	7	20	140	1	1	140	1	140	1	140	1	140	1	140
Estabilizador	CMM	ARG	24 V	1	1	5000	5000	1	1	5000	0,8	4000	0,1	500	0,5	2500	0	0
Hidráulica	Proa	Hélice de proa	24 V	1	1	10800	10800	1	1	10800	0	0	0,8	8640	0	0	0	0
-2*Potencia demandada (W)											-2*14831,1	-2*14192,7	-2*13882,9	-2*8934,8				

Tabla B.1: Balance electrico



Anexo C

Libro de pesos

En el siguiente Anexo se procede a desarrollar el libro de pesos correspondiente al Capítulo 9.

Propulsión y Generadores de Combustión									
Elementos	Unidades	Peso unitario	Peso total	Xcdg	Ycdg	Zcdg	Mx (kg-m)	My	Mz
Motores (motor+transmision+escape+cola)	3	2458	7374	2,159	-0,005	0,811	15917,811	-39,200	5976,848
Silenciador	3	5	15	2,815	-0,127	0,876	42,230	-1,901	13,146
Colector de agua	3	1	3	2,384	0,128	0,763	7,153	0,383	2,288
Aislamiento sala de máquinas	3	10	30	3,084	0,000	0,673	92,512	0,000	20,204
Baterías Servicios	8	45	360	2,984	0,726	0,773	1074,146	261,490	278,446
Baterías Motor	2	31	62	2,874	0,026	0,817	178,166	1,640	50,677
Bomba de Combustible	1	30	30	3,238	-0,365	0,746	97,130	-10,946	22,392
Compresor Aire Acondicionado	1	15	15	3,128	-0,346	0,578	46,919	-5,194	8,674
Válvula de alimentación anti-retorno	3	1	3	2,074	-0,022	0,802	6,221	-0,067	2,407
Refrigeración	1	20	20	3,119	0,323	0,235	62,388	6,466	4,699
			7912	2,2149	0,0269	0,8063	17524,676	212,670	6379,780

Instalación eléctrica general									
Elementos	Unidades	Peso unitario	Peso total	Xcdg	Ycdg	Zcdg	Mx	My	Mz
Aerogeneradores	1	9	9	3,976	-0,093	0,676	35,787	-0,835	6,087
Cargadores de baterías	3	3	9	4,035	0,000	0,867	36,313	0,000	7,807
Transformadores	2	3	6	4,165	0,000	0,764	24,992	0,000	4,583
Convertidores	2	2	4	3,863	0,000	0,876	15,454	0,000	3,505
Inversores	1	20	20	2,653	0,137	0,954	53,068	2,731	19,085
Cuadro de Control	1	100	100	4,790	0,024	0,973	479,030	2,364	97,340
Cableado	1	1280	1280	11,794	0,000	1,065	15096,115	0,000	1363,635
Generador	1	243	243	0,864	0,000	0,983	209,865	0,000	238,981
Generador de emergencia	5	135	675	0,765	0,000	1,376	516,605	0,000	929,030
Aire acondicionado	5	15	75	13,799	0,000	1,331	1034,925	0,000	99,803
Calefacción	5	15	75	13,799	0,000	1,331	1034,925	0,000	99,803
			2496	7,012	0,002	1,110	18537,079	4,260	2869,657

Sistema de seguridad									
Elementos	Unidades	Peso unitario	Peso total	Xcdg	Ycdg	Zcdg	Mx	My	Mz
Balsa salvavidas (12 personas)	1	95	95	3,279	2,898	6,287	597,308	275,277	597,308
Chalecos salvavidas	14	1	14	11,799	0,498	1,331	165,186	6,967	18,630
Bocina	1	0,8	0,8	14,181	1,436	3,784	11,344	1,149	3,027
Aro salvavidas	2	2,5	5	2,384	0,128	3,648	11,922	0,638	18,242
Bengalas y Señales reglamentarias	14	5	70	2,384	0,128	3,427	166,907	8,935	239,918
Botiquín	1	2,5	2,5	2,384	0,128	3,857	5,961	0,319	9,642
Otros	5%		9,365	2,427	0,000	2,577	22,732	0,000	24,129
			196,665	4,990	1,491	4,632	981,360	293,285	910,895



Sistema Contra Incendios									
Elementos	Unidades	Peso unitario	Peso total	Xcdg	Ycdg	Zcdg	Mx	My	Mz
Detector de incendios	7	0,7	4,9	3,084	0,000	0,673	15,110	0,000	3,300
Alarma	1	0,8	0,8	14,181	1,436	4,418	11,344	1,149	3,535
Válvula CI	2	0,8	1,6	2,874	0,026	0,887	4,598	0,042	1,420
Bomba CI	2	2,4	4,8	2,752	0,087	0,783	13,211	0,417	3,761
Balde CI	3	7	21	2,972	0,049	0,737	62,422	1,036	15,467
Trajes y Equipo de Bomberos	2	22	44	2,384	0,128	3,697	104,913	5,616	162,688
Extintores	10	10	100	11,799	0,498	1,331	1179,900	49,763	133,070
			177,1	7,857	0,328	1,825	1391,499	58,024	323,241

Sistema de Sentinas									
Elementos	Unidades	Peso unitario	Peso total	Xcdg	Ycdg	Zcdg	Mx	My	Mz
Descarga de Sentinas	1	20	20	3,688	-0,002	0,755	73,7531	-0,0460	15,1087
Balde	2	30	60	3,712	0,045	0,755	222,7200	2,7000	45,3000
Reguladores y Actuadores	40	0,8	32	11,684	0,343	2,176	373,8766	10,9600	69,6433
Limpiaparabrisas	3	12	36	15,635	0,000	4,477	562,8760	0,0000	161,1551
Sistema de presión	1	20	20	5,928	-0,746	1,046	118,5531	-14,9135	20,9153
Bomba de Sentinas	3	2,8	8,4	2,948	0,055	0,769	24,7595	0,4593	6,4634
Indicadores de nivel de tanques	5	0,8	4	10,308	1,209	0,783	41,2306	4,8351	3,1338
Aireaciones	5	0,3	1,5	12,487	0,076	3,176	18,7298	0,1145	4,7645
			181,9	7,897	0,023	1,795	1436,499	4,109	326,484

Sistema de Aguas Sanitarias									
Elementos	Unidades	Peso unitario	Peso total	Xcdg	Ycdg	Zcdg	Mx	My	Mz
Planta potabilizadora	1	100	100	2,886	1,276	0,683	288,645	127,645	68,346
Válvulas	30	0,8	24	3,038	-0,638	0,735	72,901	-15,300	17,639
Bomba Agua Dulce	15	2,1	31,5	3,574	0,349	0,768	112,570	10,985	24,185
Filtro Ionizador	1	5	5	4,567	0,005	0,832	22,837	0,023	4,162
Calentador	1	90	90	4,539	1,113	0,412	408,486	100,193	37,087
Toma de Mar	1	5	5	4,790	-1,254	0,308	23,952	-6,270	1,538
Tuberías de Circulación	30 (m)	35	35	4,873	0,004	0,487	170,571	0,132	17,059
			290,5	3,786	0,748	0,585	1099,961	217,407	170,015

Sistema de aguas grises y negras									
Elementos	Unidades	Peso unitario	Peso total	Xcdg	Ycdg	Zcdg	Mx	My	Mz
Tanque de aguas negras	1	10	10	10,855	0,000	0,940	108,547	0,000	9,400
Planta de tratamiento	1	100	100	3,635	0,976	0,797	363,544	97,640	79,734
Descarga	1	7	7	2,837	-0,005	0,824	19,862	-0,037	5,770
Tuberías de circulación	1	35	35	2,967	0,000	0,686	103,861	0,000	24,021
Válvulas	9	0,8	7,2	3,188	-1,095	0,811	22,950	-7,881	5,836
Bombas	4	2,1	8,4	2,276	0,287	0,138	19,121	2,415	1,156
			167,6	3,806	0,550	0,751	637,886	92,136	125,917

Sistema de Navegación									
Elementos	Unidades	Peso unitario	Peso total	Xcdg	Ycdg	Zcdg	Mx	My	Mz
Mandos de Gobierno	1	16	16	14,181	1,436	4,220	226,888	22,982	67,520
VHF	2	0,8	1,6	14,181	0,000	4,220	22,689	0,000	6,752
Antenas	3	1	3	3,582	0,000	6,784	10,745	0,000	20,353
SART (Respondedor RADAR 9 Ghz)	1	1	1	3,582	0,000	6,784	3,582	0,000	6,784
RADAR	1	11	11	3,582	0,000	6,784	39,399	0,000	74,628
Receptor NAVTEX	1	1,5	1,5	3,582	0,000	6,784	5,373	0,000	10,176
Radiobaliza EPIRB	1	1,5	1,5	3,582	0,000	6,784	5,373	0,000	10,176
INMARSAT (Servicio SSM)	1	1,5	1,5	14,181	0,000	4,220	21,271	0,000	6,330
Satélite	1	8	8	3,582	0,000	6,784	28,654	0,000	54,275
GPS	1	1	1	3,582	0,000	6,784	3,582	0,000	6,784
Módem ADSL	1	0,8	0,8	20,865	0,000	6,784	16,692	0,000	5,427
Ordenador de abordó	1	7	7	14,181	0,000	4,220	99,264	0,000	29,540
Cámaras de Videovigilancia	8	2,8	22,4	3,847	0,000	6,784	86,167	0,000	151,969
Libros Técnicos de Abordo	1	60	60	14,181	1,436	3,865	850,830	86,184	231,924
Cables y Otros	10 %		7,63	9,920	0,764	4,732	75,690	5,832	36,104
Giroscopio			143,93	10,395	0,799	4,994	1496,197	114,998	718,742



FONDEO Y AMARRE									
Elementos	Unidades	Peso unitario	Peso total	Xcdg	Ycdg	Zcdg	Mx	My	Mz
Ancla	1	75	75	24,026	0,000	3,888	1801,913	0,000	291,592
Cadena del ancla	1	1000	1000	23,474	0,344	3,436	23473,760	343,740	3436,360
Ancla de respeto	1	60	60	21,187	0,000	3,129	1271,246	0,000	187,724
Sistema de fondeo integrado	1	50	50	21,836	0,000	3,584	1091,824	0,000	179,187
Cabos y Amarras	200	0,4	80	22,344	0,387	3,336	1787,507	30,990	266,853
Pasacabos de Proa	2	2	4	23,446	0,000	4,002	93,783	0,000	16,007
Pasacabos Centrales	2	2	4	13,838	0,000	3,776	55,351	0,000	15,105
Pasacabos de Popa	2	2	4	1,835	0,000	3,284	7,339	0,000	13,135
Cornamusa	6	1,1	6,6	12,838	0,000	3,489	84,728	0,000	23,030
			1283,6	23,113	0,292	3,450	29667,450	374,730	4428,993

AISLAMIENTO Y ACABADOS									
Elementos	Unidades	Peso unitario	Peso total	Xcdg	Ycdg	Zcdg	Mx	My	Mz
Aislamiento ignífugo, Térmico y Acústico	261,94 (m2)	4,5	1178,73	13,865	0,000	3,315	16342,502	0,000	3907,490
Recubrimiento Obra Viva	1	204,24	204,24	12,888	0,000	3,865	2632,174	0,000	789,475
Recubrimiento Obra Muerta	1	295,04	295,04	12,677	0,000	2,588	3740,086	0,000	763,461
Recubrimiento de la superestructura	1	317,3	317,3	10,129	0,000	4,274	3213,889	0,000	1356,013
Recubrimiento de los tanques	1	281,2	281,2	12,017	0,000	0,970	3379,276	0,000	272,883
Margen Recubrimientos	1	50,4	50,4	12,165	0,000	3,053	613,116	0,000	153,853
Calafateado Sun Deck + Flybridge + Plataforma	1	560	560	12,665	0,000	3,287	7092,249	0,000	1840,440
Teca Sun Deck + Flybridge + Plataforma	1	872,2	872,2	12,665	0,000	3,287	11046,151	0,000	2866,485
Revestimeinto exterior	1	90,4	90,4	13,175	0,000	3,075	1191,059	0,000	278,019
Revestimeinto Cbta. Ppal.	1	316,9	316,9	12,447	0,000	3,795	3944,387	0,000	1202,762
Revestimiento Escalera Ppal.	1	25,5	25,5	12,241	1,860	1,397	312,135	47,425	35,635
Revestimiento Cbta. Inferior	1	424	424	13,799	0,000	1,331	5850,776	0,000	564,217
			4615,91	12,859	0,010	3,040	59357,801	47,425	14030,734

Accesos Estancos									
Elementos	Unidades	Peso unitario	Peso total	Xcdg	Ycdg	Zcdg	Mx	My	Mz
Pantógrafo del Puente	1	32	32	14,181	1,676	4,220	453,776	53,647	135,039
Corredizo del Salón	1	150	150	3,947	0,000	4,587	592,015	0,000	688,101
Acceso habilitación tripulación	1	35	35	5,867	2,269	4,176	205,329	79,406	146,175
Portón de Popa (Mecanismo)	2	70	140	2,584	0,000	1,836	361,724	0,000	257,103
Estiba del Solarium (Mecanismo)	1	70	70	20,503	0,006	4,112	1435,217	0,417	287,843
			427	7,138	0,313	3,546	3048,061	133,469	1514,261

Escotillas									
Elementos	Unidades	Peso unitario	Peso total	Xcdg	Ycdg	Zcdg	Mx	My	Mz
Escotilla de CCMM	2	315	630	3,763	0,000	3,088	2370,942	0,000	1945,210
Pique de proa	1	80	80	22,876	0,000	3,765	1830,114	0,000	301,227
Registro de la Caja de Cadenas	1	80	80	23,177	0,344	3,640	1854,120	27,499	291,168
Registro de Fondos desde el Camarote	1	80	80	16,400	0,000	0,583	1312,000	0,000	46,677
			870	8,468	0,032	2,970	7367,176	27,499	2584,282
Uniones, Atornillados y Accesorios	5 %		1141,5432	14,305	0,000	2,676	16329,775	0,000	3055,226

Candelerio y escaleras									
Elementos	Unidades	Peso unitario	Peso total	Xcdg	Ycdg	Zcdg	Mx	My	Mz
Candelerio	20	5,24	197,2	14,578	0,000	3,965	2874,849	0,000	781,973
Barandilla seguridad	40 (m)	3	120	15,063	0,000	4,413	1807,560	0,000	529,584
Escaleras habilitación principal	12	107,9	107,9	12,241	1,860	1,397	1320,760	200,672	150,785
Escaleras Cámara de Máquinas	6	69,8	69,8	3,763	0,000	1,765	262,685	0,000	123,162
Escaleras habilitación Tripulación	8	91,4	91,4	5,867	2,269	2,657	536,201	207,363	242,877
Escaleras Popa	8	87,5	87,5	0,746	1,190	2,242	65,296	104,121	196,173
Escaleras Flybridge	10	78,5	78,5	2,584	0,000	1,836	202,824	0,000	144,161
Anclajes y Herrajes	5 %		37,615	3,947	1,795	4,587	148,458	67,506	172,553
			789,915	9,138	0,734	2,964	7218,633	579,661	2341,268



Iluminación										
Elementos	Unidades	Peso unitario	Peso total	Xcdg	Ycdg	Zcdg	Mx	My	Mz	
Consumibles de cubierta	30	0,35	10,5	8,035	0,000	4,238	84,365	0,000	44,495	
Consumibles Casco Exterior	10	0,35	3,5	8,238	0,000	2,965	28,832	0,000	10,379	
Consumibles interior Cbta. Ppal	21	0,35	7,35	15,736	0,000	4,763	115,663	0,000	35,011	
Consumibles Bañera/Ducha + Baño	15	0,35	5,25	12,141	-1,385	1,255	63,739	-7,272	6,587	
Consumibles planta inferior	50	0,35	17,5	13,799	0,000	3,074	241,483	0,000	53,789	
Luces de navegación	9	0,2	1,8	8,675	0,000	5,873	15,614	0,000	10,572	
Foco	1	0,5	0,5	21,468	0,000	4,174	10,734	0,000	2,087	
Iluminación interiores Cbta. Ppal	1	50	50	15,736	0,000	4,238	786,820	0,000	211,890	
Iluminación interiores Cbta. Inferior	1	50	50	13,799	0,000	3,024	689,950	0,000	151,180	
Cables	10%			14,64	14,272	0,000	2,965	208,947	0,000	43,400
				161,04	13,948	-0,521	3,536	2246,146	-7,272	569,389

Mobiliario Flybridge									
Elementos	Unidades	Peso unitario	Peso total	Xcdg	Ycdg	Zcdg	Mx	My	Mz
Tumbonas	3	22	66	6,1273	0	5,77364	404,4018	0	381,06024
Silla baja (Taburete)	2	3	6	10,346	1,374	5,86347	62,076	8,244	35,18082
Sofá (5 plazas)	1	15	15	8,746	-2,03746	5,97364	131,19	-30,5619	89,6046
Silla alta de barra	2	5	10	9,346	-1,3674	6,03465	93,46	-13,674	60,3465
Mesa alta	1	17,8	17,8	10,3476	-1,63654	6,098374	184,18728	-29,130412	108,5510572
Encimera mueble	1	35	35	12,3476	-1,83654	6,103764	432,166	-64,2789	213,63174
Fregadero	1	3,5	3,5	11,96534	-1,76354	6,00346	41,87869	-6,17239	21,01211
Acolchado Solarium	1	7	7	13,3746	2,017364	5,7346	93,6222	14,121548	40,1422
Butaca capitán	1	25	25	13,283	1,47364	5,86354	332,075	36,841	146,5885
Mesa plegable	2	27	54	10,3476	2,017345	5,7534	558,7704	108,93663	310,6836
			239,3	9,75272616	0,10165305	5,878818919	2333,82737	24,325576	1406,801367

Mobiliario Terraza Cbta Ppal									
Elementos	Unidades	Peso unitario	Peso total	Xcdg	Ycdg	Zcdg	Mx	My	Mz
Mesa plegable	2	25	50	2,117	-0,154	3,754	105,826	-7,681	187,699
Silla baja (Taburete)	2	3	6	3,175	0,148	3,482	19,049	0,886	20,894
Sofá (2 Plazas)	2	24,7	49,4	3,582	-0,014	3,707	176,937	-0,695	183,141
Acolchado proa	2	30	60	20,503	0,006	4,112	1230,186	0,357	246,722
			165,4	9,262	-0,043	3,860	1531,998	-7,132	638,456

Mobiliario Salón									
Elementos	Unidades	Peso unitario	Peso total	Xcdg	Ycdg	Zcdg	Mx	My	Mz
Sofá (5 plazas)	1	70	70	7,502	1,379	3,788	525,153	96,555	265,182
Mesa baja café	1	22	22	6,598	-0,377	3,688	145,163	-8,292	81,129
Sillón	1	30	30	5,163	-0,587	3,872	154,901	-17,615	116,148
Mesita	2	9	18	5,366	-1,840	3,805	96,583	-33,120	68,496
Mueble Televisión	1	30	30	9,302	2,008	3,725	279,065	60,231	111,743
Silla comedor	8	6,25	50	10,493	-0,998	3,961	524,669	-49,889	198,032
Mueble bar	1	28	28	8,883	1,880	3,748	248,734	52,640	104,949
Armario	1	25	25	5,000	1,914	4,289	125,008	47,846	107,231
Mueble aparador	1	40	40	8,813	-0,970	3,832	352,538	-38,792	153,276
Mesa comedor	1	26	26	10,312	-0,990	3,989	268,120	-25,728	103,723
			339	8,023	0,247	3,864	2719,932	83,835	1309,911

Mobiliario Baños y Lavandería									
Elementos	Unidades	Peso unitario	Peso total	Xcdg	Ycdg	Zcdg	Mx	My	Mz
WC	7	20	140	11,452	-0,301	0,522	1603,277	-42,077	73,020
Lavabo + Armario + Espejo	7	55,2	386,4	11,271	-0,208	1,482	4355,114	-80,452	572,452
Plato de Ducha Individual	2	53	106	10,219	0,574	1,174	1083,193	60,791	124,471
Plato de Ducha Doble	3	90	270	13,141	-1,385	1,255	3548,003	-373,977	338,742
Accesorios	1	15	15	11,521	-0,330	1,108	172,815	-4,952	16,620
Carrito triple ropa sucia	1	20	20	6,439	-2,298	0,439	128,778	-45,961	8,774
Mueble estorage	1	45	45	5,079	-2,254	0,508	228,556	-101,430	22,842
			982,4	11,319	-0,599	1,178	11119,737	-588,058	1156,920



Mobiliario Cocina									
Elementos	Unidades	Peso unitario	Peso total	Xcdg	Ycdg	Zcdg	Mx	My	Mz
Mueble cocina + encimera	1	179,2	179,2	14,185	-1,467	4,305	2541,988	-262,915	771,463
Fregadero	1	3,5	3,5	12,445	-0,836	4,476	43,559	-2,925	15,665
Menaje + Utensilios de cocina	1	50	50	14,185	-1,467	4,305	709,260	-73,358	215,252
			232,7	14,159	-1,458	4,308	3294,806	-339,199	1002,380

Mobiliario Dormitorios									
Elementos	Unidades	Peso unitario	Peso total	Xcdg	Ycdg	Zcdg	Mx	My	Mz
Cama Doble Canapé	3	44	132	13,831	-0,439	0,783	1825,670	-57,912	103,323
Cama Individual	2	20	40	13,851	1,622	0,612	554,040	64,888	24,480
Litera	2	25	50	5,901	2,063	0,545	295,075	103,150	27,265
Escritorio	2	36	72	10,381	2,264	0,522	747,461	162,990	37,559
Mesilla de Noche	7	10,9	76,3	13,446	0,072	0,681	1025,965	5,516	51,991
Armario	8	150	1200	11,799	0,498	1,331	14158,800	597,156	1596,840
Silla	1	11	11	10,381	1,774	0,441	114,195	19,512	4,851
Diván	1	30	30	10,360	-2,061	0,593	310,804	-61,833	17,782
			1611,3	11,812	0,517	1,157	19032,010	833,468	1864,091
Margen Decoración y Enseres	5%		178,505	11,812	0,517	1,157	2108,501	92,287	206,530

Electrodomésticos									
Elementos	Unidades	Peso unitario	Peso total	Xcdg	Ycdg	Zcdg	Mx	My	Mz
Vitrocerámica	1	5	5	14,724	-1,463	4,636	73,621	-7,316	23,178
Frigorífico	1	60	60	12,483	-1,853	4,614	749,004	-111,154	276,859
Microondas	1	11	11	12,445	-0,586	4,476	136,898	-6,443	49,232
Cafetera	1	1,8	1,8	12,445	-0,566	4,476	22,402	-1,018	8,056
Horno	1	40	40	14,784	-1,407	4,117	591,344	-56,266	164,666
Lavavajillas	1	60	60	12,437	-1,043	4,041	746,243	-62,561	242,477
Lavadora+Secadora	1	170	170	6,479	-1,481	1,056	1101,379	-251,714	179,598
Triturador de basura	1	15	15	12,445	-0,836	4,476	186,680	-12,538	67,134
Campana de extracción	1	5	5	12,583	-0,810	5,287	62,913	-4,049	26,436
Equipo de Música	2	10	20	8,890	1,868	4,116	177,809	37,368	82,329
Televisión	5	15	75	6,683	1,967	4,067	501,232	147,505	305,037
Cables	3%		13,884	10,533	-0,517	3,780	146,244	-7,182	52,484
			476,684	9,431	-0,704	3,100	4495,769	-335,369	1477,486

CONSUMOS Y TRIPULACIÓN									
Elementos	Unidades	Peso unitario	Peso total	Xcdg	Ycdg	Zcdg	Mx	My	Mz
Viveres	1	400	400	12,594	0,000	2,136	5037,536	0	854,560
Pertrechos personales	10	60	600	14,103	0,000	1,331	8461,974	0	798,420
Pasajeros	10	80	800	14,103	0,000	3,024	11282,632	0	2419,008
Invitados	2	80	160	13,543	0,000	4,528	2166,956	0	724,539
Tripulación	2	80	160	10,365	0,000	3,876	1658,464	0	620,224
Aguas negras	1	350	350	11,809	0,000	0,430	4133,150	0	150,500
Fuel	1	7000	5950	9,680	0,000	0,814	57596,000	0	4843,300
Agua Dulce	1	1050	1050	11,200	0,000	0,650	11760,000	0	682,500
			9470	10,781	0	1,17138872	102096,712	0	11093,0512

OTROS									
Elementos	Unidades	Peso unitario	Peso total	Xcdg	Ycdg	Zcdg	Mx	My	Mz
Mástil de la Bandera de Proa	1	1,1	1,1	23,876	0,000	3,888	26,264	0,000	2,788
Mástil de la Bandera de Comunicaciones	1	1,1	1,1	3,582	0,000	6,784	3,940	0,000	5,684
Barras para Colgar del Pique de Proa	10	2,8	28	23,765	0,000	3,755	665,432	0,000	-24,245
Ánodos de Sacrificio	20	0,6	12	12,297	0,000	3,376	147,558	0,000	-8,624
Nombre del Yate en Popa	1	5	5	2,384	0,000	3,697	11,922	0,000	-1,303
Logo del Designer	2	2	4	2,384	0,000	2,765	9,538	0,000	-1,235
Underwater Jet-Ski	1	29	29	3,546	0,000	2,587	102,834	0,000	-26,413
Soporte Jet-Ski	1	8	8	3,546	0,000	2,375	28,368	0,000	-5,625
Moto de agua Eplorer Pro 170	1	348	348	3,546	0,000	3,654	1234,008	0,000	-344,346
Ducha del baño en Popa	1	6	6	2,755	-1,265	2,587	16,528	-7,592	-3,413
			442,2	5,080	-0,017	-0,920	2246,391	-7,592	-406,731



Anexo D

Estabilidad

En el siguiente Anexo se definirán las tablas, figuras y cálculos auxiliares correspondientes al Capítulo [10]: Estudio de la estabilidad.

D.1. Ensayos de estabilidad

Opción	1	2	3	4	5	6
Categorías posibles	A y B	C y D	B	C y D	C y D	C y D
Cubiertas o protecciones	Cubierta completa ^a	Cubierta completa ^a	Cualquier tipo	Cualquier tipo	Cubierta parcial ^b	Cualquier tipo excepto barco completamente cerrado ^c
Aberturas de inundación	6.1.1	6.1.1	6.1.1	6.1.1	6.1.1	6.1.1
Ensayo de la altura de inundación	6.1.2	6.1.2	6.1.2	6.1.2 ^d	6.1.2	6.1.2
Ángulo de inundación	6.1.3	-	6.1.3	-	-	-
Ensayo de compensación de cargas	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2
Resistencia a las olas + viento	6.3	-	6.3	-	-	-
Escora debida a la acción del viento	-	6.4 ^e	-	6.4 ^e	6.4 ^e	6.4 ^e
Tamaño de los nichos	6.5	6.5 ^f	-	-	-	6.5.4 ^f
Multicascos habitables	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6
Embarcaciones mixtas vela-motor	6.7	-	-	-	-	-
Requisitos de flotación	-	-	6.8	6.8	-	-
Material de flotación	-	-	anexo G	anexo G	-	-
Detección y achique del agua	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9

a Este término se define en el apartado 3.1.6.
 b Este término se define en el apartado 3.1.7.
 c Es decir toda embarcación que no sea "completamente cerrada", incluyendo así las embarcaciones sin cubierta alguna.
 d No es necesario realizar el ensayo de altura de inundación en algunas embarcaciones, véase el apartado 6.1.2.1.
 e La aplicación del apartado 6.4 sólo se requiere para embarcaciones en las que la condición mínima de operación sea, $A_{LV} \geq 0,5 L_{HB}$.
 f Estos requisitos sólo se aplican a la categoría de diseño C.

Figura D.1: Ensayos a realizar según la norma ISO 12217-1



D.2. Condiciones de carga

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
Estructura	1	25.000	25.000			8.951	0.000	3.320	0.000	User Specified
Habilitación	1	4.225	4.225			11.050	-0.100	2.140	0.000	User Specified
Equipos y Servicios	1	12.707	12.707			5.950	0.090	1.290	0.000	User Specified
Aislamientos y Acabados	1	4.616	4.616			12.860	0.010	3.040	0.000	User Specified
Acastillaje	1	2.295	2.295			8.870	0.340	2.930	0.000	User Specified
Estabilizador	1	1.200	1.200			2.580	-1.280	1.130	0.000	User Specified
Otros	1	2.392	2.392			10.470	0.003	1.350	0.000	User Specified
Pasajeros y Tripulación	12	0.080	0.960			13.543	0.000	3.024	0.000	User Specified
Viveres	1	0.400	0.400			12.594	0.000	2.136	0.000	User Specified
Margen de Seguridad	1	1.600	1.600			9.600	0.000	2.550	0.000	User Specified
Tanque Combustible	100 %	5.947	5.947	7.080	7.080	9.680	0.000	0.814	0.000	Maximum
Tanque Aguas Negras	100 %	0.368	0.368	0.359	0.359	11.809	0.000	0.430	0.000	Maximum
Tanque Agua Dulce	100 %	1.063	1.063	1.063	1.063	11.200	0.000	0.650	0.000	Maximum
Total Loadcase			62.773	8.502	8.502	8.939	0.000	2.347	0.000	
FS correction								0.000		
VCG fluid								2.347		

Tabla D.1: Condición de Carga Máxima

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
Estructura	1	25.000	25.000			8.951	0.000	3.320	0.000	User Specified
Habilitación	1	4.225	4.225			11.050	-0.100	2.140	0.000	User Specified
Equipos y Servicios	1	12.707	12.707			5.950	0.090	1.290	0.000	User Specified
Aislamientos y Acabados	1	4.616	4.616			12.860	0.010	3.040	0.000	User Specified
Acastillaje	1	2.295	2.295			8.870	0.340	2.930	0.000	User Specified
Estabilizador	1	1.200	1.200			2.580	-1.280	1.130	0.000	User Specified
Otros	1	2.392	2.392			10.470	0.003	1.350	0.000	User Specified
Pasajeros y Tripulación	10	0.080	0.800			13.543	0.000	3.024	0.000	User Specified
Viveres	0.1	0.400	0.040			12.594	0.000	2.136	0.000	User Specified
Margen de Seguridad	1	1.600	1.600			9.600	0.000	2.550	0.000	User Specified
Tanque Combustible	10 %	5.947	0.595	7.080	0.708	9.679	0.000	0.318	14.132	Maximum
Tanque Aguas Negras	10 %	0.368	0.037	0.359	0.036	11.809	0.000	0.200	0.725	Maximum
Tanque Agua Dulce	10 %	1.063	0.106	1.063	0.106	11.199	0.000	0.260	0.760	Maximum
Total Loadcase			55.613	8.502	0.850	8.775	0.000	2.528	15.618	
FS correction								0.281		
VCG fluid								2.809		

Tabla D.2: Condición de Llegada en Carga o Condición de Mínima Carga

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
Estructura	1	25.000	25.000			8.951	0.000	3.320	0.000	User Specified
Habilitación	1	4.225	4.225			11.050	-0.100	2.140	0.000	User Specified
Equipos y Servicios	1	12.707	12.707			5.950	0.090	1.290	0.000	User Specified
Aislamientos y Acabados	1	4.616	4.616			12.860	0.010	3.040	0.000	User Specified
Acastillaje	1	2.295	2.295			8.870	0.340	2.930	0.000	User Specified
Estabilizador	1	1.200	1.200			2.580	-1.280	1.130	0.000	User Specified
Otros	1	2.392	2.392			10.470	0.003	1.350	0.000	User Specified
Pasajeros y Tripulación	10	0.075	0.750			13.543	0.000	5.020	0.000	User Specified
Viveres	0	0.400	0.000			12.594	0.000	2.136	0.000	User Specified
Margen de Seguridad	0	1.600	0.000			9.600	0.000	2.550	0.000	User Specified
Tanque Combustible	0 %	5.947	0.000	7.080	0.000	10.135	0.000	0.094	0.000	Maximum
Tanque Agua Dulce	0 %	1.063	0.000	1.063	0.000	10.971	0.000	0.095	0.000	Maximum
Tanque Aguas Negras	0 %	0.368	0.000	0.359	0.000	11.615	0.000	0.095	0.000	Maximum
Total Loadcase			53.185	8.502	0.000	8.726	0.000	2.586	0.000	
FS correction								0.000		
VCG fluid								2.586		

Tabla D.3: Condición Mínima Operativa



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
Estructura	1	25.000	25.000			8.951	0.000	3.320	0.000	User Specified
Habilitación	1	4.225	4.225			11.050	-0.100	2.140	0.000	User Specified
Equipos y Servicios	1	12.707	12.707			5.950	0.090	1.290	0.000	User Specified
Ailamientos y Acabados	1	4.616	4.616			12.860	0.010	3.040	0.000	User Specified
Acastillaje	1	2.295	2.295			8.870	0.340	2.930	0.000	User Specified
Estabilizador	1	1.200	1.200			2.580	-1.280	1.130	0.000	User Specified
Otros	1	2.392	2.392			10.470	0.003	1.350	0.000	User Specified
Pasajeros y Tripulación	12	0.085	1.020			18.000	0.000	5.020	0.000	User Specified
Viveres	1	0.400	0.400			12.594	0.000	2.136	0.000	User Specified
Margen de Seguridad	1	1.600	1.600			9.600	0.000	2.550	0.000	User Specified
Tanque Combustible	50 %	5.947	2.974	7.080	3.540	9.678	0.000	0.598	14.132	Maximum
Tanque Agua Dulce	50 %	1.063	0.532	1.063	0.532	11.199	0.000	0.469	0.760	Maximum
Tanque Aguas Negras	50 %	0.368	0.185	0.359	0.180	11.809	0.000	0.332	0.725	Maximum
Total Loadcase			59.145	8.502	4.252	8.954	0.000	2.467	15.618	
FS correction								0.264		
VCG fluid								2.731		

Tabla D.4: Condición LC1

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
Estructura	1	25.000	25.000			8.951	0.000	3.320	0.000	User Specified
Habilitación	1	4.225	4.225			11.050	-0.100	2.140	0.000	User Specified
Equipos y Servicios	1	12.707	12.707			5.950	0.090	1.290	0.000	User Specified
Ailamientos y Acabados	1	4.616	4.616			12.860	0.010	3.040	0.000	User Specified
Acastillaje	1	2.295	2.295			8.870	0.340	2.930	0.000	User Specified
Estabilizador	1	1.200	1.200			2.580	-1.280	1.130	0.000	User Specified
Otros	1	2.392	2.392			10.470	0.003	1.350	0.000	User Specified
Pasajeros y Tripulación	12	0.085	1.020			6.000	0.000	5.020	0.000	User Specified
Viveres	1	0.400	0.400			12.594	0.000	2.136	0.000	User Specified
Margen de Seguridad	1	1.600	1.600			9.600	0.000	2.550	0.000	User Specified
Tanque Combustible	50 %	5.947	2.974	7.080	3.540	9.678	0.000	0.598	14.132	Maximum
Tanque Agua Dulce	50 %	1.063	0.532	1.063	0.532	11.199	0.000	0.469	0.760	Maximum
Tanque Aguas Negras	50 %	0.368	0.184	0.359	0.180	11.809	0.000	0.331	0.725	Maximum
Total Loadcase			59.145	8.502	4.251	8.747	0.000	2.467	15.618	
FS correction								0.264		
VCG fluid								2.731		

Tabla D.5: Condición LC2



D.3. Curvas GZ

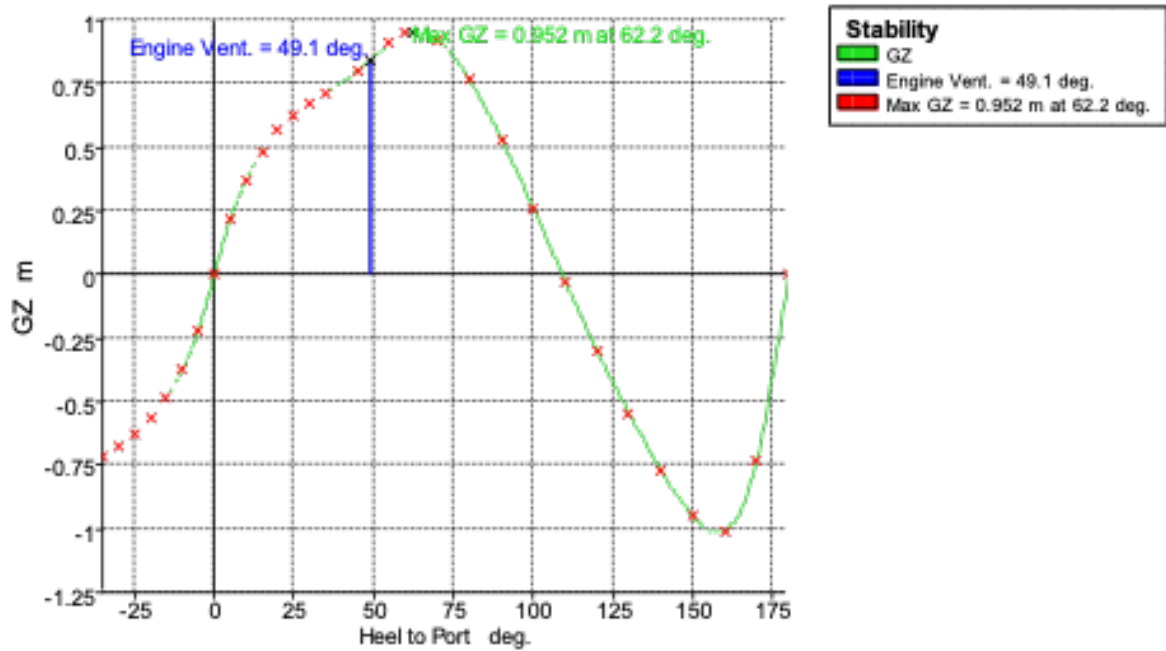


Figura D.2: Curva GZ para la condición de Carga Máxima

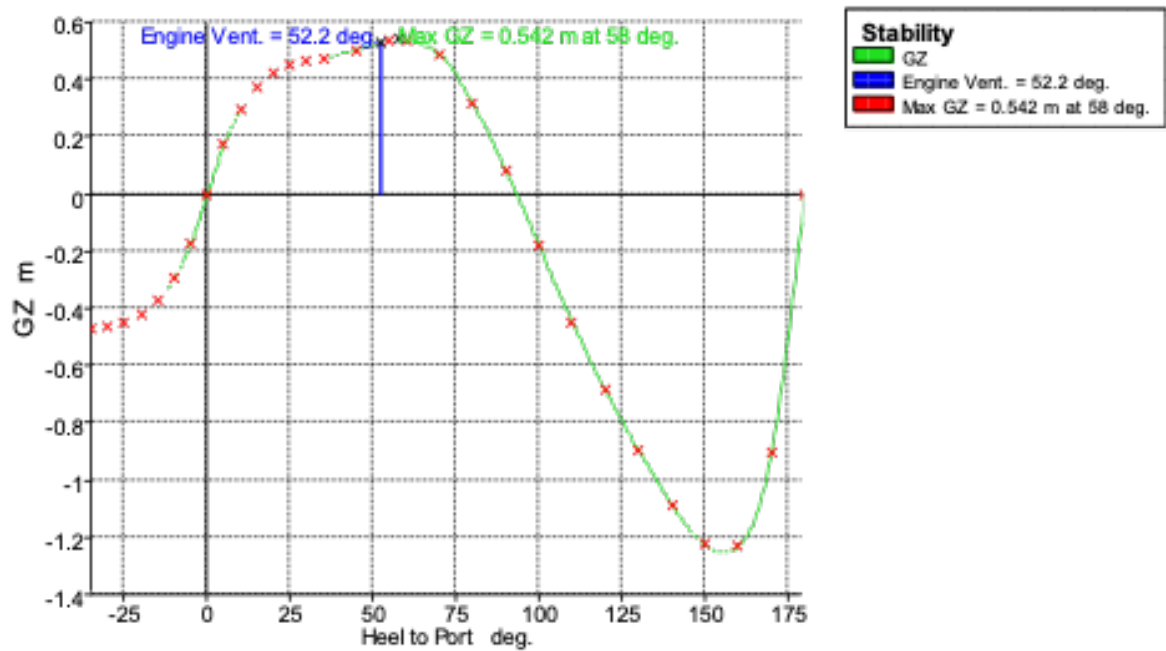


Figura D.3: Curva GZ para la condición de Mínima Carga

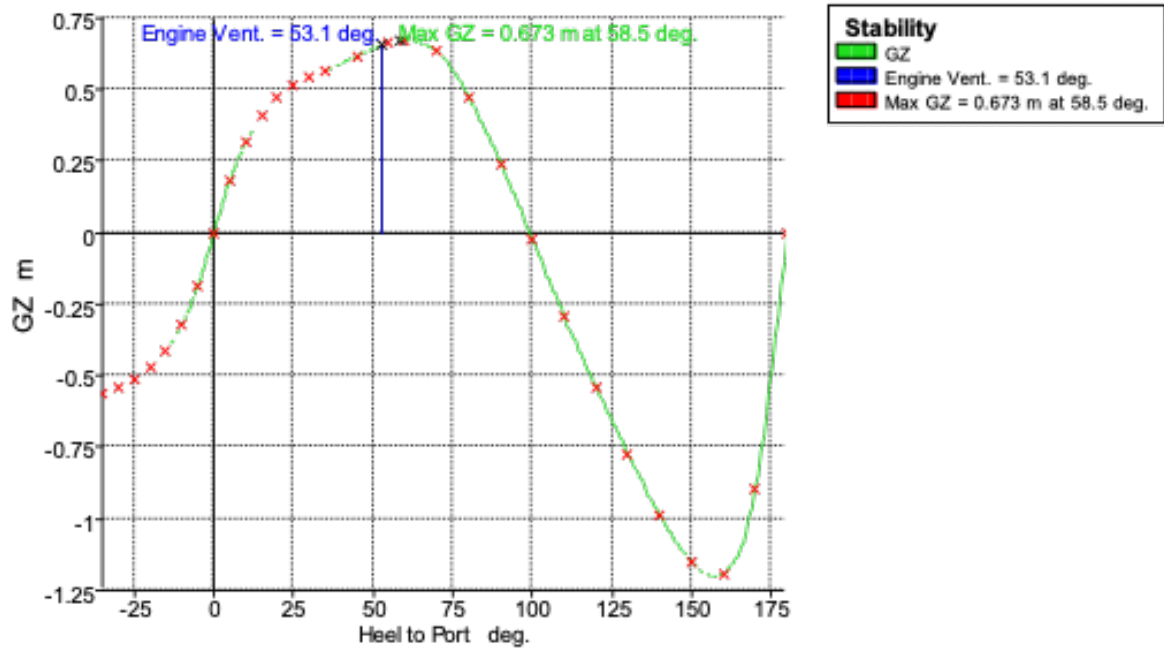


Figura D.4: Curva Gz para la condición Mínima Operativa

D.4. Aberturas inundables

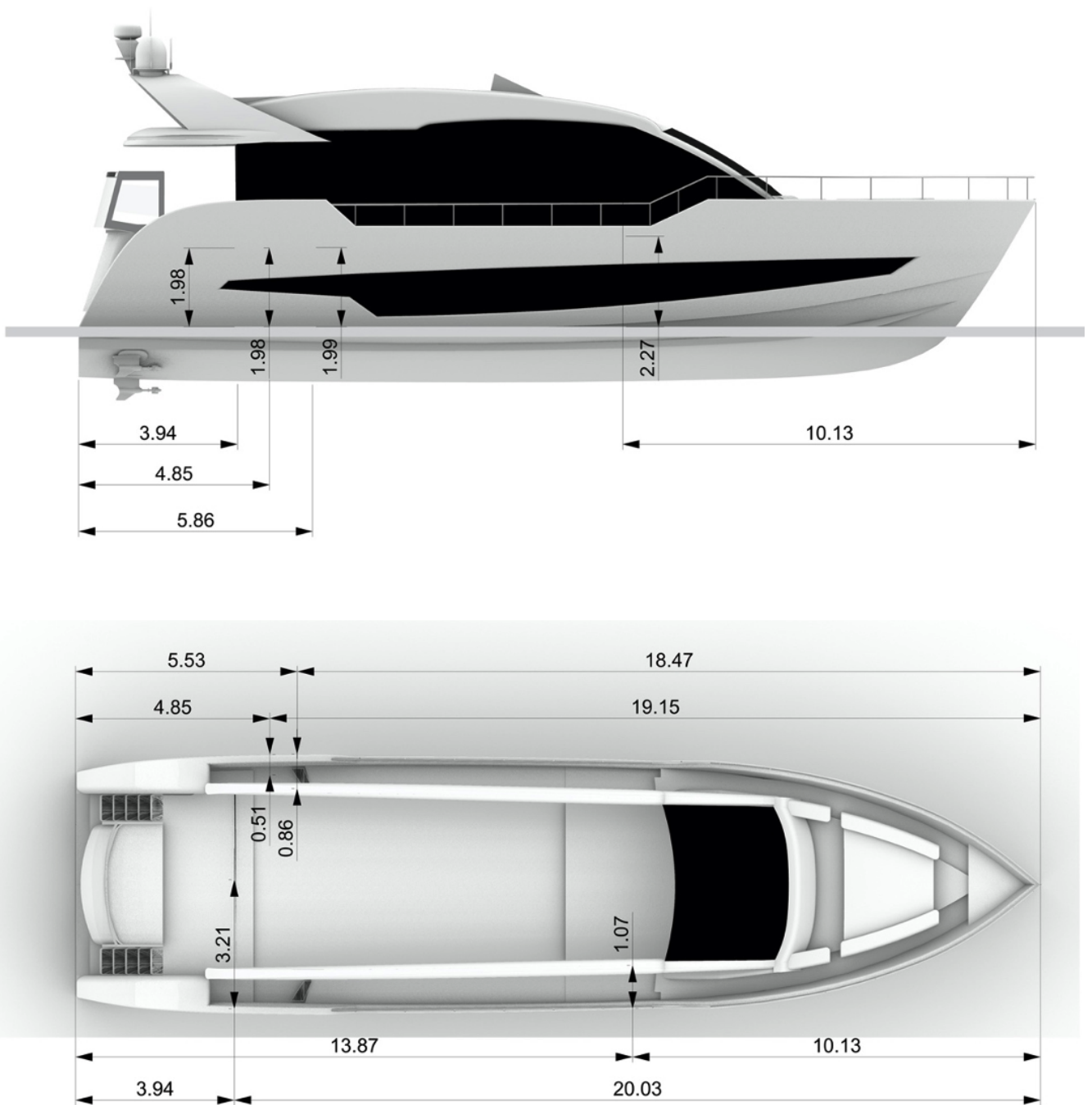


Figura D.5: Coordenadas puntos de inundación



D.4.1. Altura de inundación

Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
ISO 12217-1:2002(E)	6.1.2 Downflooding height at equilibrium	1,420	m	1,98	Pass	+39,44 %

Tabla D.6: Criterios de estabilidad y alturas inundables en equilibrio para la condición M_{LDC}

Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
ISO 12217-1:2002(E)	6.1.2 Downflooding height at equilibrium	1,420	m	2,031	Pass	+43,03 %

Tabla D.7: Criterios de estabilidad y alturas inundables en equilibrio para la condición M_{LA}

Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
ISO 12217-1:2002(E)	6.1.2 Downflooding height at equilibrium	1,420	m	2,052	Pass	+44,51 %

Tabla D.8: Criterios de estabilidad y alturas inundables en equilibrio para la condición M_{MO}

D.5. Ensayo compensación de pesos

Large Angle Stability - LC1 - Intact						
Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin
ISO 12217-1:2002(E)	6.2 Offset load test - equilibrium with heel arm					
	Heeling arm = $A / \text{disp.} \cdot \cos^n(\phi)$					
	A =	2.500	tonne.m			
	n =	1				
	Intermediate values					
	Heel arm amplitude		m	0.042		
ISO 12217-1:2002(E)	6.2 Offset load test - equilibrium with heel arm				Pass	
	6.2 Offset load test - equilibrium with heel arm					
	shall not be greater than (<=)	11.5	deg	1.1	Pass	+90.37

Figura D.6: Ensayo compensación de pesos en *Maxsurf Stability* para la condición LC1

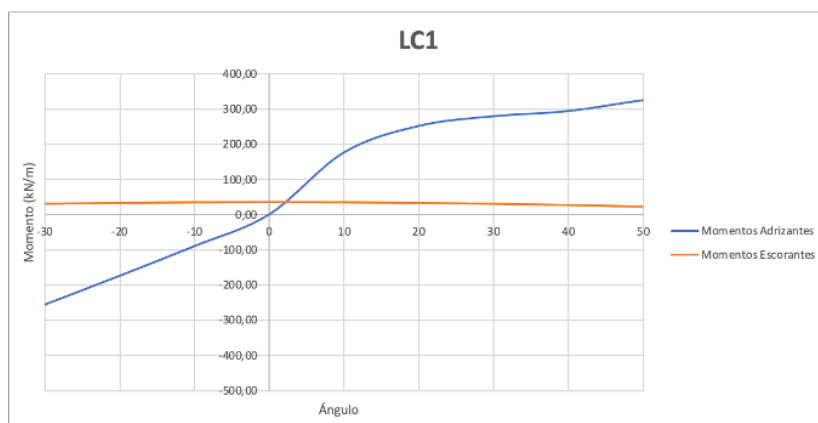


Figura D.7: Gráfico de la intersección de las curvas del momento adrizante y escorante para la condición LC1



Large Angle Stability - LC2 - Intact						
Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin
ISO 12217-1:2002(E)	6.2 Offset load test - equilibrium with heel arm					
	Heeling arm = $A / \text{disp.} \cdot \cos^n(\phi)$					
	A =	2.500	tonne.m			
	n =	1				
	Intermediate values					
	Heel arm amplitude		m	0.042		
ISO 12217-1:2002(E)	6.2 Offset load test - equilibrium with heel arm				Pass	
	6.2 Offset load test - equilibrium with heel arm					
	shall not be greater than (\leq)	11.5	deg	1.1	Pass	+90.53

Figura D.8: Ensayo compensación de pesos en *Maxsurf Stability* para la condición LC2

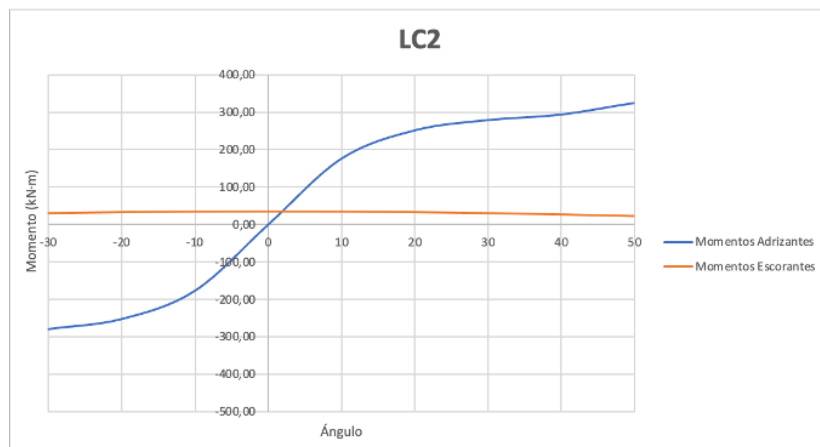


Figura D.9: Gráfico de la intersección de las curvas del momento adrizante y escorante para la condición LC2



D.6. Ensayo de resistencia a olas y viento

Large Angle Stability - Condición Máxima Carga - Intact							
Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin	
ISO 12217-1:2002(E)	6.3.2 Wind heeling arm						
	Wind arm = $a v^2 A (h - H) / (g \text{ disp.}) \cos^n(\phi)$						
	constant: $a (0.5 \rho_{\text{air}} C_d) =$	0.00053	tonne/m ³				
	wind velocity: $v =$	54.428	kn				
	area centroid height (from zero point): $h =$	3.300	m				
	total area: $A =$	103.310	m ²				
	$H =$ vert. centre of projected lat. u'water area	0.697	m				
	cosine power: $n =$	0					
	gust ratio	1					
	Intermediate values						
	Heel arm amplitude			m	0.182		
	ISO 12217-1:2002(E)	6.3.2 Rolling in beam waves and wind				Pass	
6.3.2 Wind heeling arm (steady)							
Area1 integrated from the greater of angle of equilibrium (with heel arm) to the lesser of spec. heel angle		4.1	deg		4.1		
first flooding angle of the DownfloodingPoints		50.0	deg		50.0		
angle of vanishing stability (with heel arm)		95.0	deg				
Area2 integrated to the lesser of roll back angle from equilibrium (with heel arm) roll back to specified heel angle		25.3 (-21.2)	deg		-21.2		
Area1 / Area2 shall be greater than (>)		100.00	%		165.98	Pass	+65.98
Intermediate values							
Equilibrium angle with heel arm			deg		4.1		
Area1 (under GZ), from 4.1 to 50.0 deg.			m.deg		279.313		
Area1 (under HA), from 4.1 to 50.0 deg.			m.deg		83.522		
Area1, from 4.1 to 50.0 deg.			m.deg		195.791		
Area2 (under GZ), from -21.2 to 4.1 deg.			m.deg		-71.876		
Area2 (under HA), from -21.2 to 4.1 deg.			m.deg		46.084		
Area2, from -21.2 to 4.1 deg.			m.deg		117.959		

Figura D.10: Ensayo de resistencia a olas y viento con *Maxsurf Stability* para la condición M_{LDC}



Figura D.11: Gráfico ensayo de resistencia a olas y viento para la condición M_{LDC}



Large Angle Stability - Condición Mínima Carga - Intact						
Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin
ISO 12217-1:2002(E)	6.3.2 Wind heeling arm					
	Wind arm = $a v^2 A (h - H) / (g \text{ disp.}) \cos^n(\phi)$					
	constant: $a (0.5 \rho_{\text{air}} C_d) =$	0.00053	tonne/m ³			
	wind velocity: $v =$	54.428	kn			
	area centroid height (from zero point): $h =$	3.300	m			
	total area: $A =$	103.310	m ²			
	$H =$ vert. centre of projected lat. u'water area	0.658	m			
	cosine power: $n =$	0				
	gust ratio	1				
	Intermediate values					
	Heel arm amplitude			m	0.208	
ISO 12217-1:2002(E)	6.3.2 Rolling in beam waves and wind				Pass	
	6.3.2 Wind heeling arm (steady)					
	Area1 integrated from the greater of					
	angle of equilibrium (with heel arm)	6.3	deg	6.3		
	to the lesser of					
	spec. heel angle	50.0	deg	50.0		
	first flooding angle of the DownfloodingPoints	102.5	deg			
	angle of vanishing stability (with heel arm)	84.8	deg			
	Area2 integrated to the lesser of					
	roll back angle from equilibrium (with heel arm)	25.3 (-19.0)	deg	-19.0		
	roll back to specified heel angle	0.0	deg			
	Area1 / Area2 shall be greater than (>)	100.00	%	102.61	Pass	+2.61
	Intermediate values					
	Equilibrium angle with heel arm		deg	6.3		
	Area1 (under GZ), from 6.3 to 50.0 deg.		m.deg	188.241		
	Area1 (under HA), from 6.3 to 50.0 deg.		m.deg	90.929		
	Area1, from 6.3 to 50.0 deg.		m.deg	97.312		
Area2 (under GZ), from -19.0 to 6.3 deg.		m.deg	-42.172			
Area2 (under HA), from -19.0 to 6.3 deg.		m.deg	52.665			
Area2, from -19.0 to 6.3 deg.		m.deg	94.837			

Figura D.12: Ensayo de resistencia a olas y viento con *Maxsurf Stability* para la condición M_{LA}

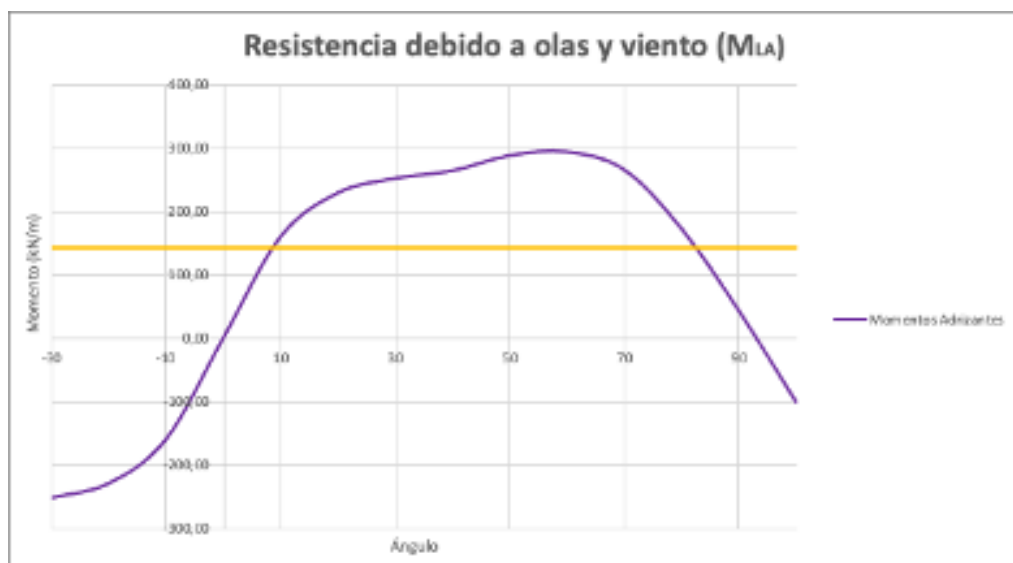


Figura D.13: Gráfico ensayo de resistencia a olas y viento para la condición M_{LA}



Large Angle Stability - Condición Mínima Operativa - Intact						
Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin
ISO 12217-1:2002(E)	6.3.2 Wind heeling arm					
	Wind arm = $a v^2 A (h - H) / (g \text{ disp.}.) \cos^n(\phi)$					
	constant: $a (0.5 \rho_{\text{air}} C_d) =$	0.00053	tonne/m ³			
	wind velocity: $v =$	54.428	kn			
	area centroid height (from zero point): $h =$	3.300	m			
	total area: $A =$	103.310	m ²			
	$H =$ vert. centre of projected lat. u'water area	0.655	m			
	cosine power: $n =$	0				
	gust ratio	1				
	Intermediate values					
	Heel arm amplitude			m	0.212	
ISO 12217-1:2002(E)	6.3.2 Rolling in beam waves and wind				Pass	
	6.3.2 Wind heeling arm (steady)					
	Area1 integrated from the greater of					
	angle of equilibrium (with heel arm)	5.9	deg	5.9		
	to the lesser of					
	spec. heel angle	50.0	deg	50.0		
	first flooding angle of the DownfloodingPoints	105.0	deg			
	angle of vanishing stability (with heel arm)	91.2	deg			
	Area2 integrated to the lesser of					
	roll back angle from equilibrium (with heel arm)	25.3 (-19.4)	deg	-19.4		
	roll back to specified heel angle	0.0	deg			
	Area1 / Area2 shall be greater than (>)	100.00	%	124.27	Pass	+24.27
	Intermediate values					
	Equilibrium angle with heel arm		deg	5.9		
	Area1 (under GZ), from 5.9 to 50.0 deg.		m.deg	220.634		
	Area1 (under HA), from 5.9 to 50.0 deg.		m.deg	93.321		
	Area1, from 5.9 to 50.0 deg.		m.deg	127.313		
Area2 (under GZ), from -19.4 to 5.9 deg.		m.deg	-48.842			
Area2 (under HA), from -19.4 to 5.9 deg.		m.deg	53.603			
Area2, from -19.4 to 5.9 deg.		m.deg	102.445			

Figura D.14: Ensayo de resistencia a olas y viento con *Maxsurf Stability* para la condición M_{MO}



Figura D.15: Gráfico ensayo de resistencia a olas y viento para la condición M_{MO}



D.6.1. Resistencia olas

Large Angle Stability - Condición Máxima Carga - Intact						
Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin
ISO 12217-1:2002(E)	6.3.3 Resistance to waves (Value of GZ)				Pass	
	heel angle at which required GZ is constant	30.0	deg			
	required value of GZ at this angle is	0.200	m			
	limited by first flooding angle of the DownfloodingPoints	95.0	deg			
	GZ at 30.0 deg shall be greater than (>)	0.200	m	0.675	Pass	+237.50
	Intermediate values					
	angle at which max. GZ occurs		deg	63.2		

Figura D.16: Ensayo de resistencia a las olas con *Maxsurf Stability* para la condición M_{LDC}

Large Angle Stability - Condición Mínima Carga - Intact						
Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin
ISO 12217-1:2002(E)	6.3.3 Resistance to waves (Value of GZ)				Pass	
	heel angle at which required GZ is constant	30.0	deg			
	required value of GZ at this angle is	0.200	m			
	limited by first flooding angle of the DownfloodingPoints	102.5	deg			
	GZ at 30.0 deg shall be greater than (>)	0.200	m	0.462	Pass	+131.00
	Intermediate values					
	angle at which max. GZ occurs		deg	61.4		

Figura D.17: Ensayo de resistencia a las olas con *Maxsurf Stability* para la condición M_{LA}

Large Angle Stability - Condición Mínima Operativa - Intact						
Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin
ISO 12217-1:2002(E)	6.3.3 Resistance to waves (Value of GZ)				Pass	
	heel angle at which required GZ is constant	30.0	deg			
	required value of GZ at this angle is	0.200	m			
	limited by first flooding angle of the DownfloodingPoints	105.0	deg			
	GZ at 30.0 deg shall be greater than (>)	0.200	m	0.541	Pass	+170.50
	Intermediate values					
	angle at which max. GZ occurs		deg	62.7		

Figura D.18: Ensayo de resistencia a las olas con *Maxsurf Stability* para la condición M_{MO}

$$M(30^\circ) = 0.675\text{m} \rightarrow \Delta = 62.770\text{t} \tag{D.1}$$

$$Momento = 0.675 \cdot 62.770 = 42.37\text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M(30^\circ) = 0.462\text{m} \rightarrow \Delta = 55.610\text{t} \tag{D.2}$$

$$Momento = 0.462 \cdot 55.610 = 25.69\text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M(30^\circ) = 0.541\text{m} \rightarrow \Delta = 54.690\text{t} \tag{D.3}$$

$$Momento = 0.541 \cdot 54.690 = 29.587\text{kN} \cdot \text{m}$$

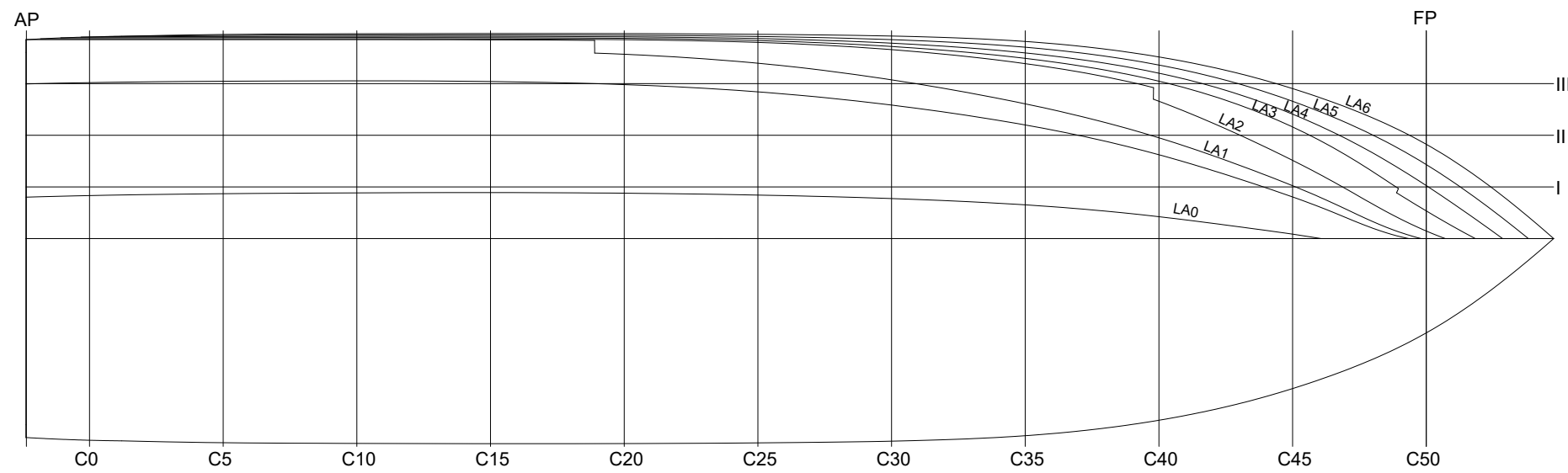
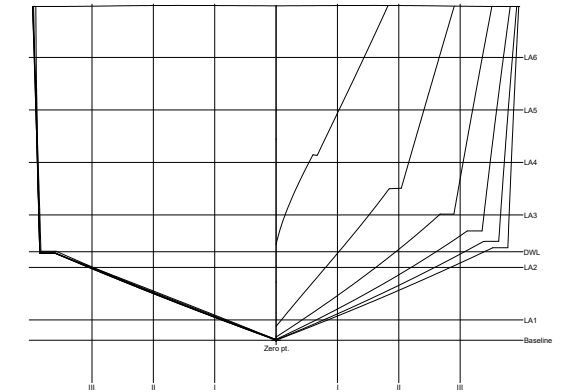
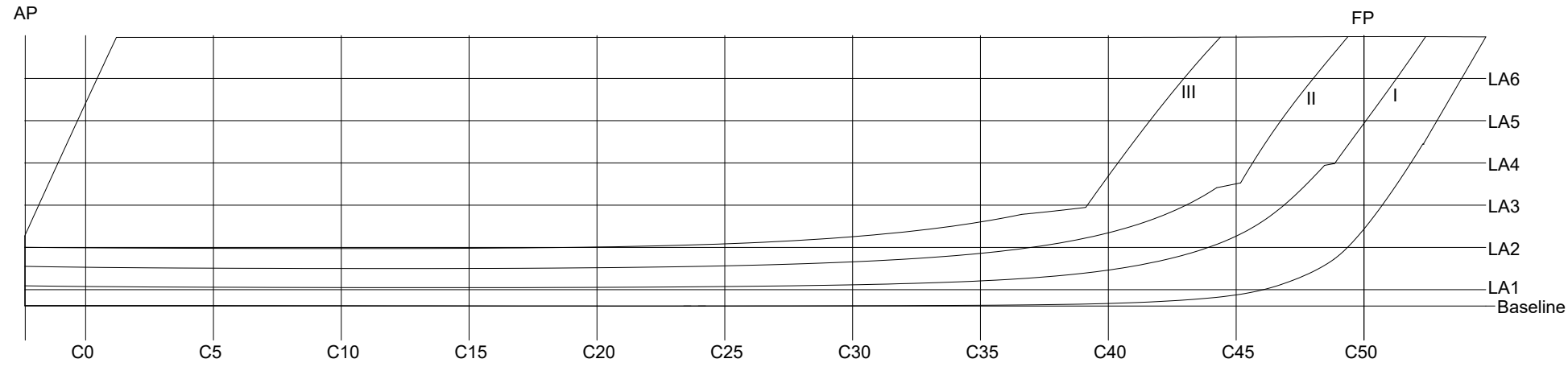


Anexo E

Planos


En el siguiente Anexo se incluyen todos los planos a los cuales se hace referencia a lo largo del documento. Estos son:

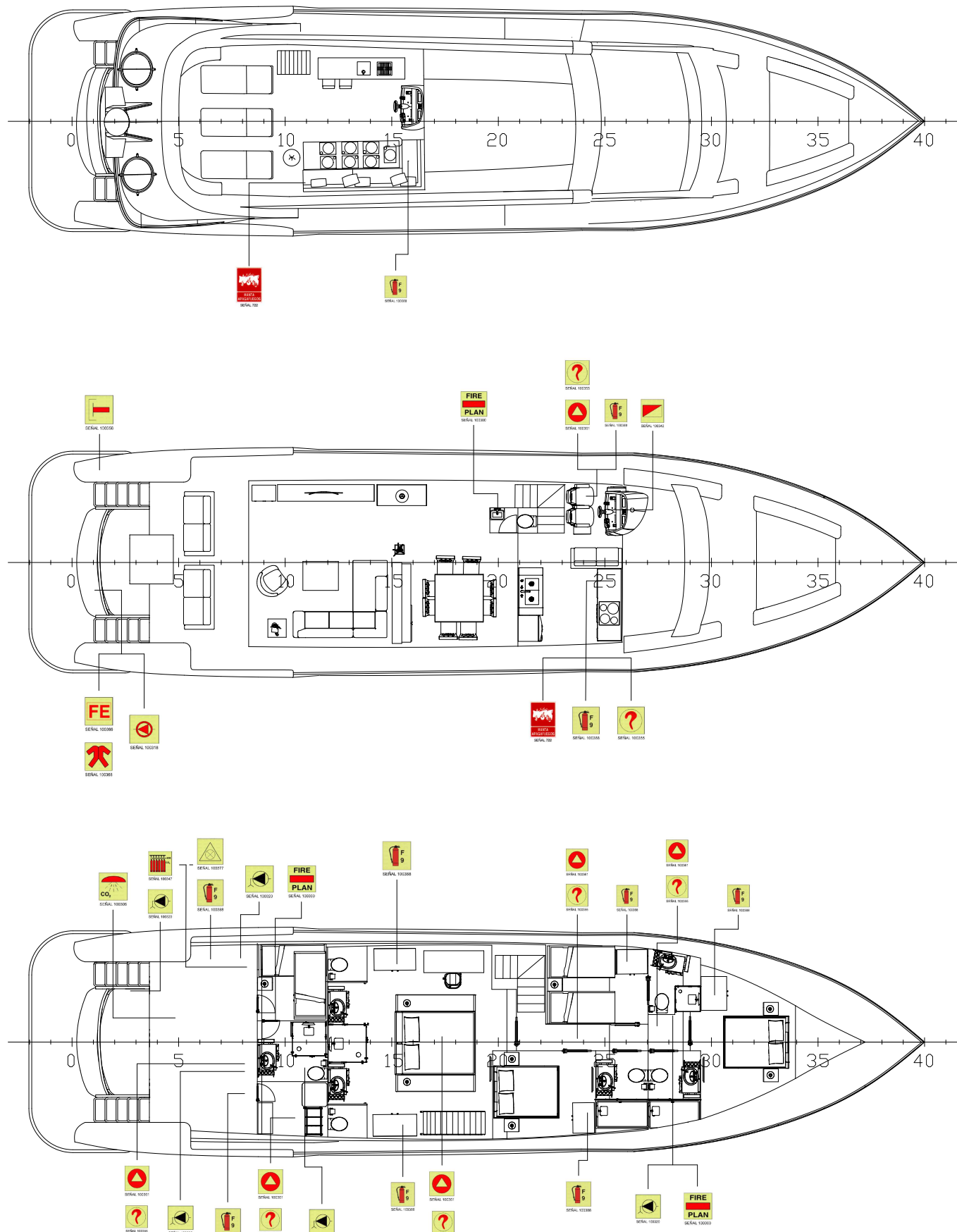
- Plano de formas de la embarcación a la cual se hace mención en el Capítulo 4.
- Plano contraincendios, definido en el Capítulo 5.
- Plano de la Cámara de Máquinas, desarrollado en la sección 6.6 del capítulo 6.
- Plano de Disposición General, descrito en el Capítulo 7
- Diagrama unifilar correspondiente al estudio de la planta eléctrica del Capítulo 10.

















CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

ESLORA TOTAL	_____	24m
ESLORA ENTRE PERP.	_____	21.9 m
MANGA DE TRAZADO	_____	6.25 m
PUNTAL CUB. PPAL	_____	3.2 m
CALADO DE DISEÑO	_____	1.27 m
DESPLAZAMIENTO	_____	62.9 t
ACOMODACIÓN	_____	10 p

	Título:		<h1>PLANO DE FORMAS</h1>
	Hecho por:	Andrea Pérez Fernández	
Formato:	A3	Página: 01	No. de páginas: 01
Escala:	1:100	No. de plano: 01	TFG-369
Proyecto:			



FIRE FIGHTING PLAN

-  Fire Control Plan / Plan de Emergencia ante Incendios
-  Gas Detector / Detector de gas
-  Smoke Detector / Detector de humos
-  Fire Extinguisher Dry Chem / Extintor de Espuma
-  Fire Alarm / Panel de Alarma de Incendios
-  Fire Locker with Fireman's Suit / Armario con equipo de bomberos
-  Fireman's Suit / Armario con ropa protectora
-  Emergency Portable Fire Pump / Bomba de Incendios de Emergencia
-  Fire Blanket / Manta Apagafuegos
-  Bilge Pump / Bomba de Sentina de Emergencia
-  CO2 Battery / Bateria de CO2
-  International Shore Power / Conexión Internacional
-  Space Protected by CO2 / Espacio Protegido por CO2
-  Emergency Engine Room Ventilation Shut Down / Cierre de Ventilación por Control Remoto

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

ESLORA TOTAL	_____	24 m
ESLORA ENTRE PERP.	_____	21.9 m
MANGA DE TRAZADO	_____	6.25 m
PUNTAL CUB. PPAL	_____	3.2 m
CALADO DE DISEÑO	_____	1.27 m
DESPLAZAMIENTO	_____	62.9 t
ACOMODACIÓN	_____	10 p



Título:

PLANO CONTRA INCENDIOS

Hecho por: Andrea Pérez Fernández

Nº TFG

Formato: A3

Página: 01

No. de páginas: 01

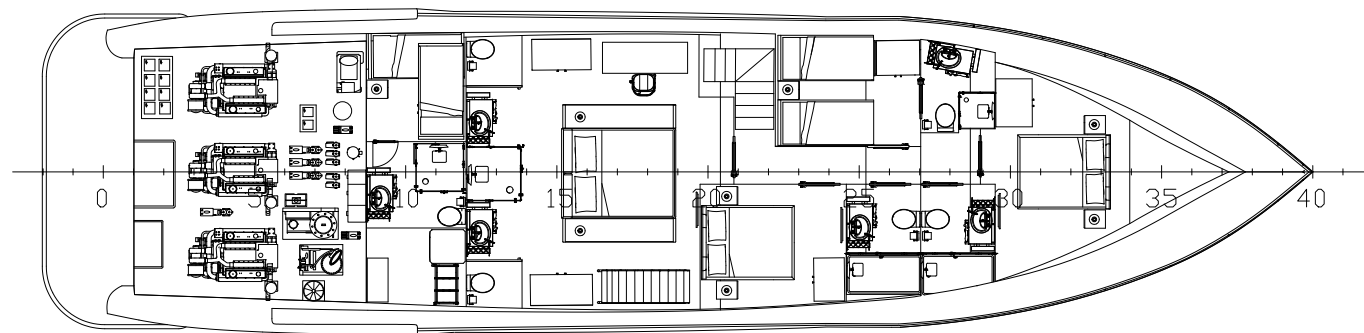
TFG-369

Escala: 1:150

No. de plano: 02

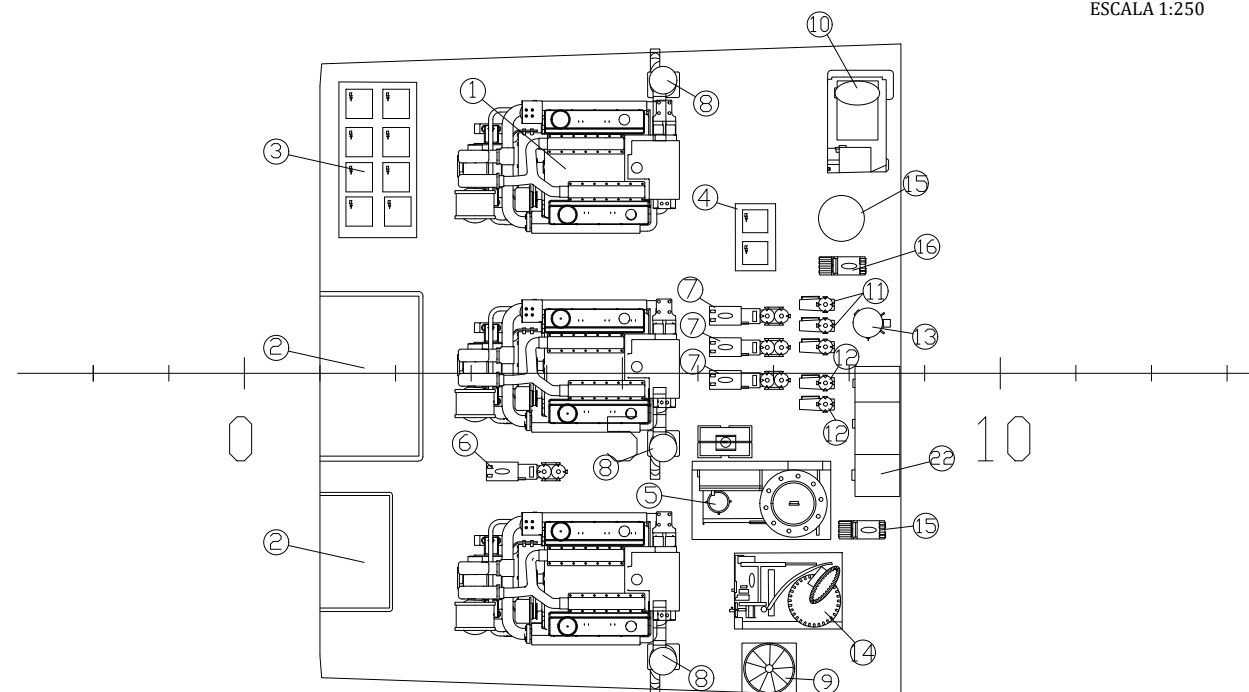
Proyecto: Diseño de un yate a motor de 24 m de eslora

CUB. INFERIOR



PLANTA

ESCALA 1:250



1	MOTOR PROPULSOR IPS
2	GENERADOR
3	BATERIAS DE SERVICIOS
4	BATERIAS DE ARRANQUE
5	POTABILIZADORA
6	BOMBA REFRIG. A.S. AC
7	BOMBAS CI/SENTINAS
8	SILENCIADOR MOTORES PRINCIPALES
9	VENTILADOR
10	COMPRESOR A.C.
11	BOMBA AGUA SANITARIA
12	BOMBA DE AGUA CALIENTE
13	CALDERA ELÉCTRICA
14	PLANTA DE TRATAMIENTO
15	BOMBA DE DESCARGA
16	BOMBA AGUAS NEGRAS
17	CUADROS Y TRAFOS

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

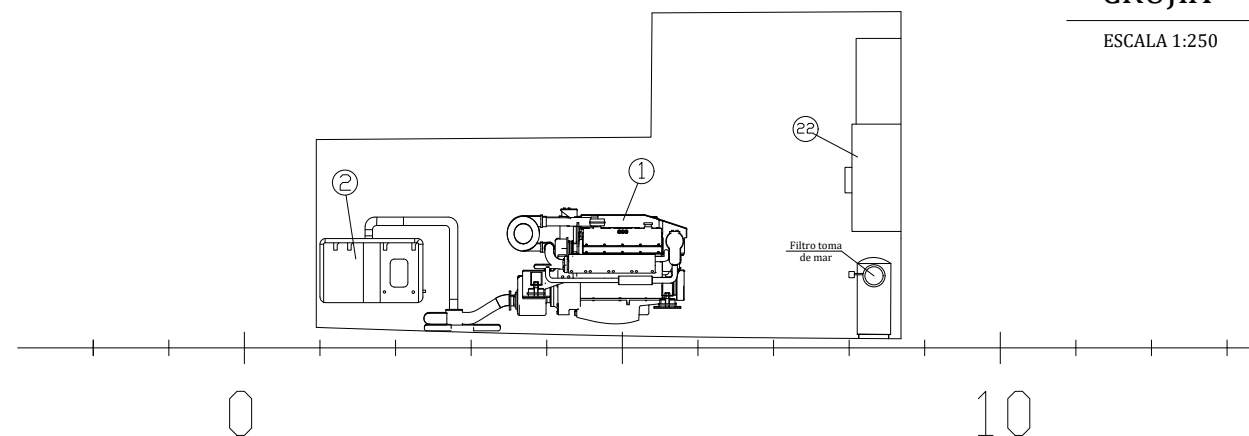
ESLORA TOTAL	_____	24 m
ESLORA ENTRE PERP.	_____	21.9 m
MANGA DE TRAZADO	_____	6.25 m
PUNTAL CUB. PPAL	_____	3.2 m
CALADO DE DISEÑO	_____	1.27 m
DESPLAZAMIENTO	_____	62.9 t
ACOMODACIÓN	_____	10 p


CARACTERÍSTICAS PROPULSIÓN

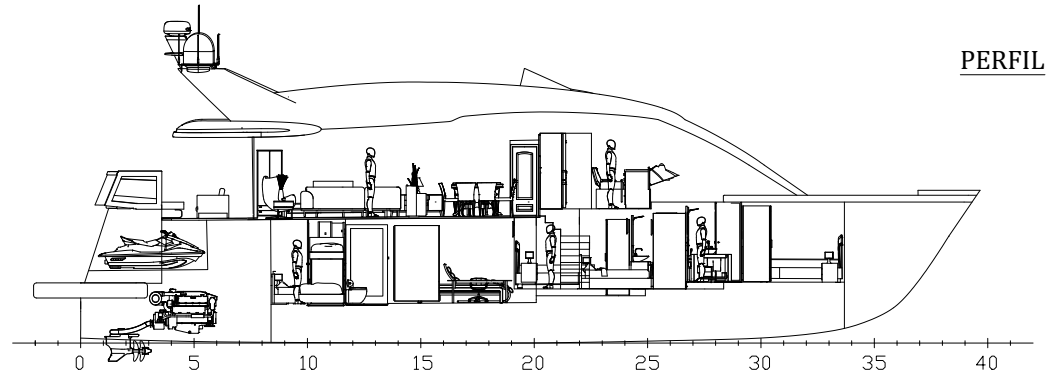
3 X MOTORES VOLVO PENTA D-13 1350	726 kW
1 X GENERADOR FISCHER PANDA 15DP	14,4 kW
1 X GENERADOR FISCHER PANDA 8 MINI	7,4 kW

CRUJÍA

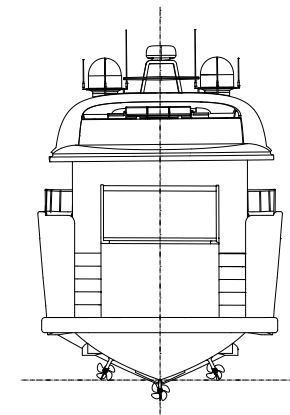
ESCALA 1:250



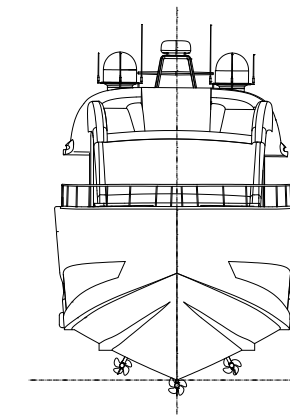
	Título: <h2 style="text-align: center;">CÁMARA DE MÁQUINAS</h2>	
	Hecho por: Andrea Pérez Fernández	Nº TFG
Formato: A3	Página: 01	No. de páginas: 01
Escala: 1:150	No. de plano: 03	TFG-369
Proyecto: Diseño de un yate a motor de 24 m de eslora		



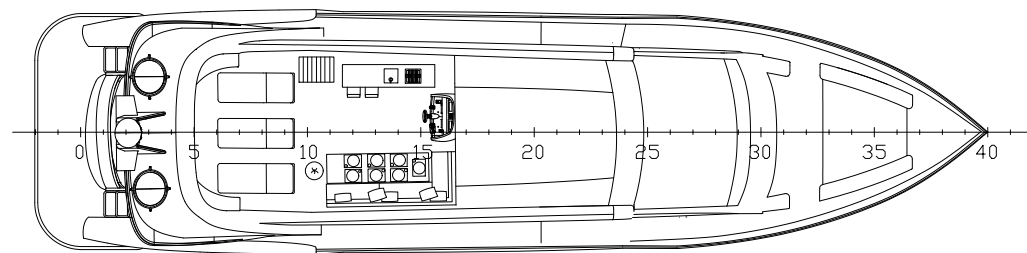
PERFIL



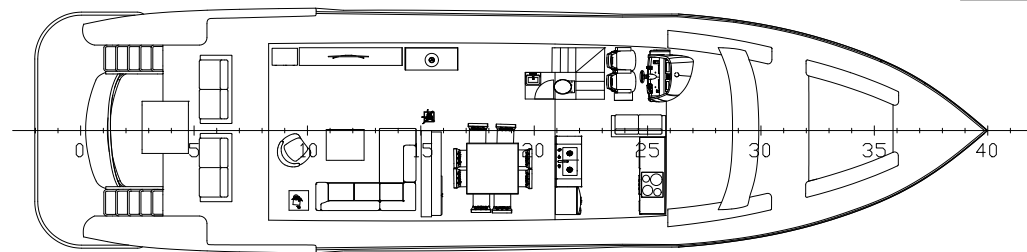
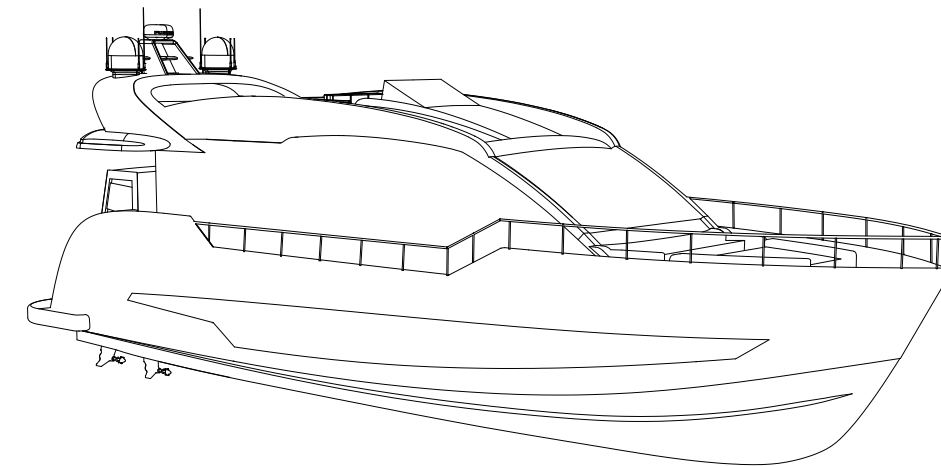
POPA



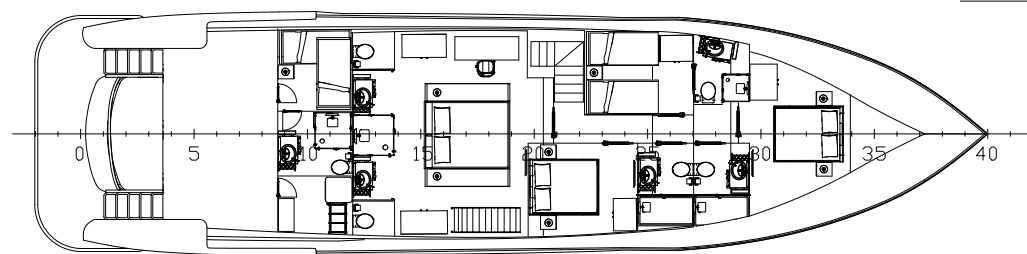
PROA



FLYBRIDGE



CUB. EXTERIOR

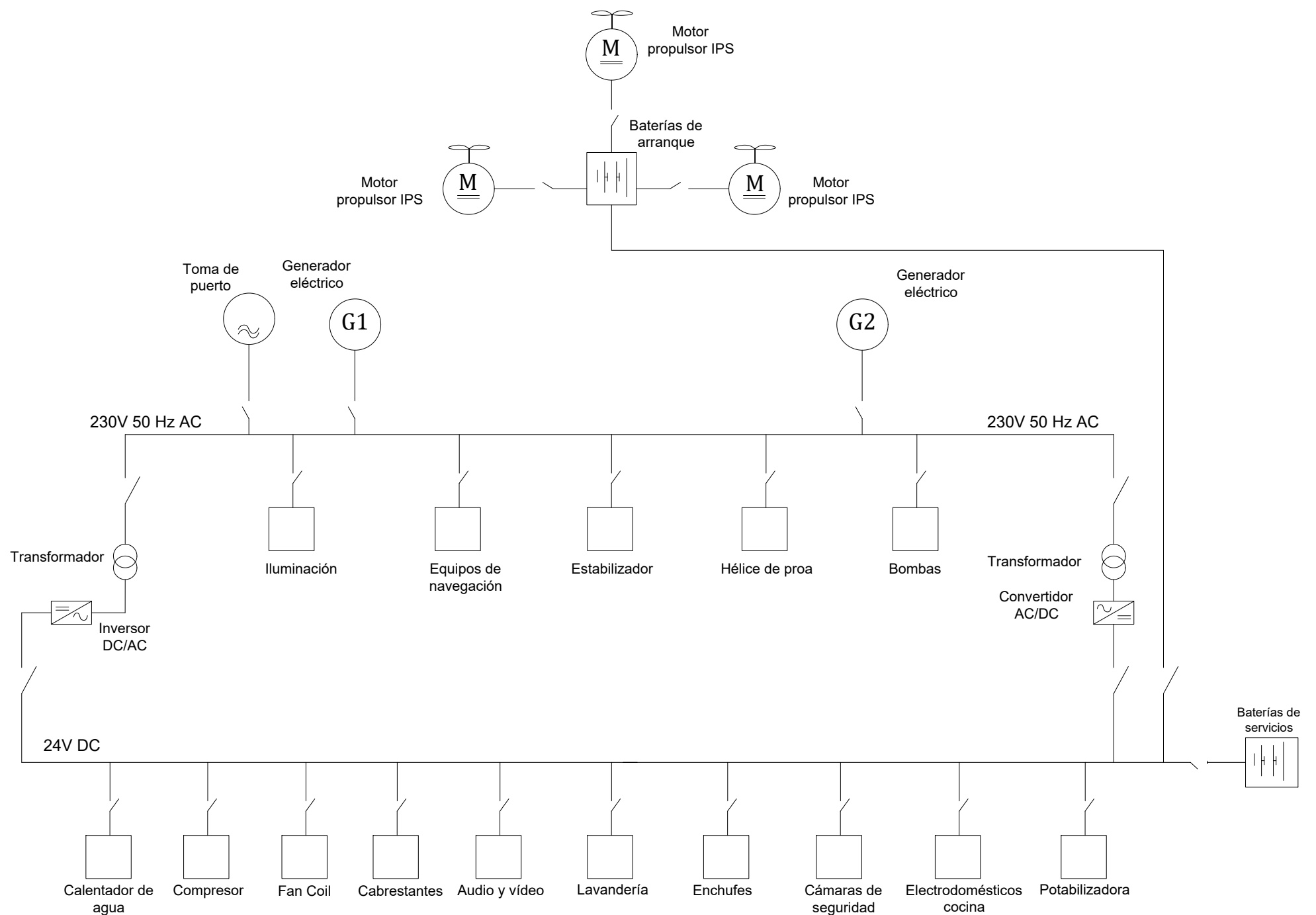


CUB. INFERIOR

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

ESLORA TOTAL _____ 24m
 ESLORA ENTRE PERP. _____ 21.9 m
 MANGA DE TRAZADO _____ 6.25 m
 PUNTAL CUB. PPAL _____ 3.2 m
 CALADO DE DISEÑO _____ 1.27 m
 DESPLAZAMIENTO _____ 62.9 t
 ACOMODACIÓN _____ 10 p

	Título:		<h1>DISPOSICIÓN GENERAL</h1>
	Hecho por: Andrea Pérez Fernández		
Formato: A3	Página: 01	No. de páginas: 01	TFG-369
Escala: 1:200	No. de plano: 04		
Proyecto: Diseño de un yate a motor de 24 m de eslora			



CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

ESLORA TOTAL	_____	24 m
ESLORA ENTRE PERP.	_____	21.9 m
MANGA DE TRAZADO	_____	6.25 m
PUNTAL CUB. PPAL	_____	3.2 m
CALADO DE DISEÑO	_____	1.27 m
DESPLAZAMIENTO	_____	62.9 t
ACOMODACIÓN	_____	10 p

	Título:	
	<h1>PLANO DE FORMAS</h1>	
Hecho por:	Andrea Pérez Fernández	Nº TFG
Formato:	A3	TFG-369
Página:	01	
Escala:	1:100	No. de páginas: 01
	No. de plano: 01	
Proyecto: Diseño de un yate a motor de 24 m de eslora		