

Estudio y Diseño de una Embarcación de Consola Central de 13 metros

Trabajo Final de Máster



Facultad de Náutica de Barcelona
Universidad Politécnica de Catalunya

Trabajo realizado por:

Francisco Seijo Alarcón

Dirigido por:

Benjamín Pleguezuelos

Máster en Ingeniería Naval y Oceánica

Barcelona, España 2022

Departamento de Ciencias e Ingeniería Náutica

Hoja de cortesía

AGRADECIMIENTOS

Primero que nada, quiero agradecer a Dios por darme la oportunidad de venir a España y perseguir mis sueños. A mis padres y mi familia por su apoyo incondicional en todas y cada una de las cosas que me propongo hacer. A mi esposa, por estar a mi lado y vivir de primera mano este máster.

Quiero agradecer a Benjamín Pleguezuelos, mi tutor. Tu guía y consejo en cada una de las reuniones fue fundamental para hoy poder presentar este proyecto. También quiero agradecer a cada uno de los profesores y equipo de la Facultad de Náutica de la UPC que han hecho posible que este máster se haya abierto y hoy siga adelante.

Cada uno de los aquí mencionados participaron en este sueño y sin ustedes no hubiera sido posible y, por todo ello, muchas gracias.

RESUMEN

El presente proyecto consiste en el diseño de una embarcación de consola central de 13 metros de eslora donde se describen los aspectos a considerar en cada una de las fases de diseño.

Se empieza con la elaboración de una base de datos de embarcaciones con características similares. A partir de esta base de datos se realizan unas regresiones lineales con las cuales se obtienen las características principales de la embarcación. Estas características sirven de referencia para el diseño de diferentes puntos de la embarcación.

Posteriormente se crea la carena usando el programa de modelaje Rhinoceros y se exporta al programa Maxsurf Modeler y al programa Maxsurf Resistance donde se conocen las hidrostáticas y resistencia al avance de la carena respectivamente. Asimismo, habiendo definido la forma de la carena, se determina la disposición general de la embarcación.

En una siguiente etapa se define la disposición estructural y se hace un análisis de escantillado siguiendo la normativa aplicable ISO 12215-5. Luego se listan cada uno de los elementos que componen a la embarcación para la estimación del peso total y la posición del centro de gravedad.

Seguidamente se realiza un estudio de estabilidad siguiendo lo establecido por la normativa aplicable ISO 12217 y, por último, una vez realizado el estudio de estabilidad, se finaliza el proyecto con un estudio económico y una descripción de los diferentes sistemas a bordo.

Palabras claves: Embarcación de planeo, embarcación de eslora menor a 24 metros, motores fuera de borda, embarcación de consola central, carena, escantillado.

ABSTRACT

This project consists of the design of a 13-meter central console boat where each of the aspects to be considered in each of the design phases is described.

It begins with the development of a database of boats with similar characteristics. From this database, linear regressions are performed from which the main characteristics of the vessel are obtained. These characteristics serve as a reference point for the design of different aspects of the boat.

Subsequently, the hull is created using the Rhinoceros modelling program and is exported to the Maxsurf Modeler program and the Maxsurf Resistance program where the hydrostatics and hull resistance are determined, respectively. Likewise, having defined the shape of the hull, the general layout of the boat is determined as well.

In a next stage, the structural layout is defined, and a scantling analysis is carried out following the applicable standard ISO 12215-5. Then each of the elements that make up the boat are listed to estimate the total weight and the position of the center of gravity.

Next, a stability study is carried out following the recommendation of the applicable ISO 12217 regulation and, finally, once the stability study has been carried out, the project is completed with an economic study and a description of the different on-board systems.

Key words: Planning hull, boat with LOA under 24 meters, outboard engines, center console boat, hull, scantling.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS.....	I
RESUMEN	II
ABSTRACT	III
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
ÍNDICE DE ECUACIONES	XII
ÍNDICE DE TABLAS	XIV
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1. BASE DE DATOS Y REGRESIONES LINEALES	2
CAPÍTULO 2: FORMAS DEL CASCO, DISTRIBUCIÓN GENERAL Y RESISTENCIA AL AVANCE.....	7
2.1 FORMAS DEL CASCO.....	7
2.2 DISTRIBUCIÓN GENERAL	15
2.3 RESISTENCIA AL AVANCE	22
CAPÍTULO 3: DISPOSICIÓN ESTRUCTURAL Y ESTUDIO DE ESCANTILLONADO.....	26
3.1 DISPOSICIÓN ESTRUCTURAL.....	26
3.2 ESTUDIO DE ESCANTILLONADO.....	29
3.2.1 DETERMINACIÓN DE ESPESOR MÍNIMO DE LAMINACIÓN SEGÚN NORMATIVA	29
3.2.2 DIMENSIONAMIENTO DE REFUERZOS.....	42
3.2.3 SECUENCIA DE LAMINADO	46
3.2.4 VERIFICACIÓN ADICIONAL DE CARGAS EN ESPEJO DE POPA.....	63
CAPÍTULO 4: PESOS Y CENTRO DE GRAVEDAD	65
4.1 PESO EN ROSCA.....	65
4.2 PESO MUERTO	67

4.2.1 CONDICIÓN MÍNIMA OPERATIVA.....	67
4.2.2 CONDICIÓN DE CARGA MÁXIMA.....	68
4.2.3 CONDICIÓN DE LLEGADA EN CARGA	70
<u>CAPÍTULO 5: ESTUDIO DE ESTABILIDAD</u>	<u>72</u>
5.1 ABERTURAS INUNDABLES.....	73
5.2 ALTURA MÍNIMA DE INUNDACIÓN	73
5.3 ÁNGULO DE INUNDACIÓN	74
5.4 ENSAYO DE COMPENSACIÓN DE PESOS	75
5.5 RESISTENCIA A LAS OLAS Y VIENTO.....	77
5.5.1 BALANCE TRANSVERSAL DEBIDO A LAS OLAS Y EL VIENTO.....	78
5.5.2 RESISTENCIA A LAS OLAS.....	80
5.6 TAMAÑO DE LOS NICHOS	85
5.7 MULTICASCOS HABITABLES	86
<u>CAPÍTULO 6: ESTUDIO ECONÓMICO</u>	<u>87</u>
6.1 COSTE ASOCIADO A LA MANO DE OBRA	87
6.2 COSTE ASOCIADO A LOS MATERIALES DE FABRICACIÓN	88
6.2.1 COSTE ASOCIADO A LOS MATERIALES DE FABRICACIÓN DE LOS ELEMENTOS DE FIBRA DE VIDRIO	88
6.2.2 COSTE ASOCIADO A LOS ELEMENTOS Y EQUIPOS QUE VAN INSTALADOS EN LA EMBARCACIÓN	89
<u>CAPÍTULO 7: SISTEMAS A BORDO.....</u>	<u>91</u>
7.1 SISTEMA DE COMBUSTIBLE.....	91
7.2 SISTEMA DE ACHIQUE	93
7.3 SISTEMA ELÉCTRICO.....	94
7.4 SISTEMA DE AGUA DULCE	96
7.5 SISTEMA DE AGUAS NEGRAS.....	97
<u>CONCLUSIONES</u>	<u>99</u>
<u>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</u>	<u>100</u>

ANEXOS	101
ANEXO A: BASE DE DATOS DE EMBARCACIONES	101
ANEXO B: ESCANTILLONADO.....	102
B.1 DISCRETIZACIÓN DE PANELES PARA CÁLCULO DE ESCANTILLONADO.....	102
B.2 CAPTURAS DE LA HOJA DE CÁLCULO PARA LA DETERMINACIÓN DE ESCANTILLONADO.	105
ANEXO C: PLANOS	119

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Relación eslora manga. Fuente: Elaboración propia	3
Ilustración 2: Relación eslora calado. Fuente: Elaboración propia	3
Ilustración 3: Relación eslora desplazamiento. Fuente: Elaboración propia	4
Ilustración 4: Relación eslora ángulo astilla muerta. Fuente: Elaboración propia.....	4
Ilustración 5: Relación eslora capacidad agua dulce. Fuente: Elaboración propia	5
Ilustración 6: Relación eslora máxima potencia. Fuente: Elaboración propia	5
Ilustración 7: Relación eslora capacidad de combustible. Fuente: Elaboración propia.....	6
Ilustración 8: Codillos pronunciados. Fuente: Como diseñar un barco (Teale, 2006)	7
Ilustración 9: Steps. Fuente: Principles of Yacht Design (Lars Larsson, 2014)	8
Ilustración 10: Spray rails. Fuente: Cómo diseñar un barco (Teale, 2006)	9
Ilustración 11: Sección de spray rail. Fuente: Principles of Yacht Design (Lars Larsson, 2014)	9
Ilustración 12: Vista estribor de carena. Fuente: Elaboración propia.....	9
Ilustración 13: Vista proa de carena. Fuente: Elaboración propia	10
Ilustración 14: Vista de planta de carena. Fuente: Elaboración propia	10
Ilustración 15: Vista de carena inferior. Fuente: Elaboración propia	11
Ilustración 16: Vista popa. Fuente: Elaboración propia	12
Ilustración 17: Vista isométrica de carena estribor. Fuente: Elaboración propia.....	12
Ilustración 18: Viste isométrico babor. Fuente: Elaboración propia	13
Ilustración 19: Ventana Maxsurf Modeler de marco de referencia. Fuente: Elaboración propia	14
Ilustración 20: Resultados de hidrostática de Maxsurf Modeler. Fuente: Elaboración propia	15
Ilustración 21: Render número 1. Fuente: Elaboración propia.....	16
Ilustración 22: Render número 2. Fuente: Elaboración propia.....	17
Ilustración 23: Render número 3. Fuente: Elaboración propia.....	17
Ilustración 24: Render número 4. Fuente: Elaboración propia.....	18
Ilustración 25: Distribución general. Fuente: Elaboración propia.....	19
Ilustración 26: Render número 5. Fuente: Elaboración propia.....	20
Ilustración 27: Render número 6. Fuente: Elaboración propia.....	20

Ilustración 28: Render número 7. Fuente: Elaboración propia.....	21
Ilustración 29: Render número 9. Fuente: Elaboración propia.....	22
Ilustración 30: Potencia al freno. Fuente: Maxsurf Resistance.....	23
Ilustración 31: Gráfico resistencia en función de la velocidad. Fuente: Maxsurf Resistance.	24
Ilustración 32: Gráfico potencia al freno en función de la velocidad. Fuente: Maxsurf Resistance	24
Ilustración 33: Gráfico trimado en función de la velocidad. Fuente: Maxsurf Resistance.....	25
Ilustración 34: Disposición estructural. Fuente: Elaboración propia.	26
Ilustración 35: Estructura interna en casco. Fuente: Elaboración propia.	27
Ilustración 36: Disposición estructural con tanques. Fuente: Elaboración propia.....	28
Ilustración 37: Definición de zonas. Fuente: ISO 12215-5 (ISO12215-5, 2008)	30
Ilustración 38: Dimensiones básicas de refuerzos y paneles. Fuente: ISO 12215-5 (ISO12215-5, 2008)	31
Ilustración 39: Valor de K_{DC} en función de categoría de diseño Fuente: ISO 12215-5 (ISO12215-5, 2008).....	32
Ilustración 40: Tabla de valores mínimo de K_{AR} . Fuente ISO 12215 – 5 (ISO12215-5, 2008)	34
Ilustración 41: Tabla de valores de K_{SUP} para superestructuras y casetas. Fuente: ISO 12215 – 5 (ISO12215-5, 2008).....	35
Ilustración 42: Tabla para la determinación del factor k_2 . Fuente: ISO 12215-5 (ISO12215-5, 2008)	38
Ilustración 43: Factor de curvatura k_C . Fuente: ISO 12215-5 (ISO12215-5, 2008)	38
Ilustración 44: Variable c y b para factor de curvatura. Fuente: ISO 12215-5 (ISO12215-5, 2008) .	39
Ilustración 45: Tensión de diseño para materiales de FRP de una sola capa. Fuente: ISO 12215-5 (ISO12215-5, 2008).....	39
Ilustración 46: Tabla contenido nominal de fibra en masa. Fuente: ISO 12215 -5 (ISO12215-5, 2008)	40
Ilustración 47: Propiedades mecánicas del laminado de fibra de vidrio. Fuente: ISO 12215 -5 (ISO12215-5, 2008).....	41
Ilustración 48: Tabla para valores de K_{CS} . Fuente: ISO 12215-5. (ISO12215-5, 2008)	43
Ilustración 49: Medidas C_U y l_U Fuente: ISO 12215-5 (ISO12215-5, 2008)	43
Ilustración 50: Tabla de factor de superficie de cizalla k_{SA} Fuente: ISO 12215-5 (ISO12215-5, 2008)	44

Ilustración 51: Tabla para la determinación de la tensión de diseño en los refuerzos. Fuente: ISO 12215-5 (ISO12215-5, 2008)	44
Ilustración 52: Árbol de ComposeIT. Fuente: ComposeIT.....	47
Ilustración 53: Información básica de proyecto. Fuente: ComposeIT.	47
Ilustración 54: Ventana de tipos de resina. Fuente: ComposeIT.	48
Ilustración 55: Ventana de tipos de fibra. Fuente: ComposeIT.....	48
Ilustración 56: Propiedades del MAT450. Fuente: ComposeIT.....	48
Ilustración 57: Propiedades del unidireccional. Fuente: ComposeIT.....	49
Ilustración 58: Definición del cuatriaxial. Fuente: ComposeIT.....	49
Ilustración 59: Propiedades del cuatriaxial. Fuente: ComposeIT.....	49
Ilustración 60: Definición de laminados. Fuente: ComposeIT.....	50
Ilustración 61: Laminado de fondo. Fuente: ComposeIT	51
Ilustración 62: Laminado de costado. Fuente: ComposeIT	52
Ilustración 63: Laminado de cubierta. Fuente: ComposeIT	53
Ilustración 64: Laminado de estructura interna. Fuente: ComposeIT	54
Ilustración 65: Laminado de superestructura. Fuente: ComposeIT.....	55
Ilustración 66: Laminado de techo. Fuente: ComposeIT.....	56
Ilustración 67: Laminado de liners. Fuente: ComposeIT.....	57
Ilustración 68: Refuerzo de sobrero de copa cuadrado. Fuente: ISO 12215-5 (ISO12215-5, 2008)	58
Ilustración 69: Tabla de selección de refuerzo de sobrero de copa. Fuente ISO 12215-5 (ISO12215-5, 2008)	59
Ilustración 70: Secuencia de laminación refuerzo de 5mm. Fuente: ComposeIT.....	61
Ilustración 71: Secuencia de laminación refuerzo de 10 mm. Fuente: ComposeIT.....	62
Ilustración 72: Tabla de fuerzas y momentos de diseño para espejos de popa. Fuente: ISO12215-5	63
Ilustración 73: Condición mínima operativa. Fuente: Maxsurf Stability.....	67
Ilustración 74: Hidrostáticas para condición mínima operativa. Fuente: Maxsurf Stability.....	68
Ilustración 75: Condición de carga máxima. Fuente: Maxsurf Stability.....	69
Ilustración 76: Hidrostáticas de condición de carga máxima. Fuente: Maxsurf Stability.	69
Ilustración 77: Condición de llegada en carga. Fuente: Maxsurf Stability	70

Ilustración 78: Hidrostáticas de condición de llegada en carga. Fuente: Maxsurf Stability.....	71
Ilustración 79: Tabla 1 de ensayos a realizar para verificación de la estabilidad. Fuente: ISO 12217-1 (ISO12217-1, 2017).....	72
Ilustración 80: Tabla 2 de ensayos a realizar para verificación de la estabilidad. Fuente: ISO 12217-1 (ISO12217-1, 2017).....	73
Ilustración 81: Gráfico para determina altura mínima. Fuente: ISO 12217-1 (ISO12217-1, 2017)..	74
Ilustración 82: Ángulo mínimo de inundación. Fuente ISO 12217-1 (ISO12217-1, 2017)	75
Ilustración 83: Condición compensación de pesos Fuente: Maxsurf Stability.....	76
Ilustración 84: Hidrostáticas para condición de compensación de pesos. Fuente: Maxsurf Stability.	77
Ilustración 85: Resistencia al balance debido a las olas y viento. Fuente ISO 12217-1 (ISO12217-1, 2017).....	78
Ilustración 86: Ventana se selección de criterio a utilizar. Fuente: Maxsurf Stability	79
Ilustración 87: Resultados en condición mínima operativa. Fuente: Maxsurf Stability.....	80
Ilustración 88: Resultados en condición de llegada en carga. Fuente: Maxsurf Stability.	80
Ilustración 89: Criterio de resistencia a las olas. Fuente: Maxsurf Stability.....	81
Ilustración 90: GZ y RM para condición mínima de operación. Fuente: Maxsurf Stability.	82
Ilustración 91: GZ y RM para condición de llegada en carga. Fuente: Maxsurf Stability.	82
Ilustración 92: Ubicación tanque de lastre. Fuente: Maxsurf Stability	83
Ilustración 93: GZ y RM para condición mínima de operación con tanque de lastre. Fuente: Maxsurf Stability.....	84
Ilustración 94: GZ y RM para condición de llegada en carga con tanque de lastre. Fuente: Maxsurf Stability.....	84
Ilustración 95: Curva de brazos adrizantes para condición de llegada en carga. Fuente: Maxsurf Stability.....	85
Ilustración 96: Curva de brazos adrizantes para condición mínima de operación. Fuente: Maxsurf Stability.....	85
Ilustración 97: Esquema sistema de combustible. Fuente: Atwood (Atwood, 2022).....	91
Ilustración 98: Disposición de tanques de combustibles. Fuente: Elaboración propia.....	93
Ilustración 99: Esquema de sistema de achique. Fuente: MirtoArt (MirtoArt, 2022)	94
Ilustración 100: Bomba manual de achique. Fuente: SkyInternational (SkyInternational, 2022) ...	94
Ilustración 101: Sistema eléctrico AC. Fuente: Elaboración propia.	95

Ilustración 102: Sistema DC de baterías de arranque. Fuente: Elaboración propia.	95
Ilustración 103: Sistema DC de baterías de servicio. Fuente: Elaboración propia.....	96
Ilustración 104: Disposición de tanques de agua dulce. Fuente: Elaboración propia.	97
Ilustración 105: Disposición tanque de desechos. Fuente: Elaboración propia.	98
Ilustración 106: Base de datos de embarcaciones de consola central. Fuente: Elaboración propia.	101
Ilustración 107: Discretización de paneles en casco. Fuente: Elaboración propia.	102
Ilustración 108: Discretización de paneles en cubierta. Fuente: Elaboración propia.....	103
Ilustración 109: Discretización de paneles en estructura. Fuente: Elaboración propia.....	104
Ilustración 110: Discretización de paneles en superestructura. Fuente: Elaboración propia.	104
Ilustración 111: Discretización de paneles en techo. Fuente: Elaboración propia.....	105
Ilustración 112: Datos básicos de la embarcación. Fuente: Elaboración propia.	106
Ilustración 113: Presiones de diseño zona de fondo. Fuente: Elaboración propia.....	107
Ilustración 114: Presiones de diseño zona de costado. Fuente: Elaboración propia.....	108
Ilustración 115: Presiones de diseño de zona de cubierta. Fuente: Elaboración propia.	109
Ilustración 116: Presiones de diseño zona de estructura. Fuente: Elaboración propia.....	110
Ilustración 117: Presiones de diseño zona de superestructura y techo. Fuente: Elaboración propia.	111
Ilustración 118: Espesor mínimo para zona de fondo. Fuente: Elaboración propia.....	112
Ilustración 119: Espesor mínimo para zona de costado. Fuente: Elaboración propia.....	113
Ilustración 120: Espesor mínimo para zona de cubierta. Fuente: Elaboración propia.	114
Ilustración 121: Espesor mínimo para zona de superestructura. Fuente: Elaboración propia.....	115
Ilustración 122: Espesor mínimo para zona de superestructura y techo. Fuente: Elaboración propia.	116
Ilustración 123: Requerimientos mínimos de refuerzos en casco y cubierta. Fuente: Elaboración propia.	117
Ilustración 124: Requerimientos mínimos de refuerzos en superestructura y techo. Fuente: Elaboración propia.	118

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Condición de planeo	7
Ecuación 2: Primera ecuación cálculo del factor de carga dinámica. Fuente: ISO 12215-5 (ISO12215-5, 2008).....	32
Ecuación 3: Segunda ecuación cálculo del factor de carga dinámica. Fuente: ISO 12215-5 (ISO12215-5, 2008).....	32
Ecuación 4: Primera ecuación cálculo K_L . Fuente ISO 125215-5 (ISO12215-5, 2008)	33
Ecuación 5: Segunda ecuación cálculo K_L . Fuente ISO 125215-5 (ISO12215-5, 2008)	33
Ecuación 6: Ecuación para el cálculo del factor de reducción de presión. Fuente ISO 12215-5 (ISO12215-5, 2008).....	33
Ecuación 7: Presión de diseño de paneles de fondo para embarcaciones en modalidad desplazamiento. Fuente: ISO 12215-5 (ISO12215-5, 2008)	35
Ecuación 8: Presión mínima de diseño de paneles de fondo para embarcaciones en modalidad desplazamiento. Fuente: ISO 12215-5 (ISO12215-5, 2008)	35
Ecuación 9: Presión base de los paneles de fondo de la embarcación en modalidad desplazamiento. Fuente: ISO 12215-5 (ISO12215-5, 2008).....	35
Ecuación 10: Presión de diseño de paneles de fondo para embarcaciones en modalidad planeadora. Fuente: ISO 12215-5 (ISO12215-5, 2008).....	36
Ecuación 11: Presión base de los paneles de fondo de la embarcación planeadora Fuente: ISO 12215-5 (ISO12215-5, 2008)	36
Ecuación 12: Presión en paneles de costado para embarcación a motor en modalidad desplazamiento. Fuente: ISO 12215-5 (ISO12215-5, 2008)	36
Ecuación 13: Presión mínima en paneles de costado para embarcación a motor en modalidad desplazamiento. Fuente: ISO 12215-5 (ISO12215-5, 2008)	36
Ecuación 14: Presión base de paneles de costado de embarcaciones a motor. Fuente: ISO 12215 – 5 (ISO12215-5, 2008).....	36
Ecuación 15: Presión en los paneles de costado de embarcaciones a motor en modalidad planeadora. Fuente: ISO 12215 – 5 (ISO12215-5, 2008).....	36
Ecuación 16: Presión de diseño de cubiertas expuestas a la intemperie. Fuente: ISO 12215 – 5 (ISO12215-5, 2008).....	36
Ecuación 17: Presión mínima de cubiertas expuestas a la intemperie. Fuente: ISO 12215-5 (ISO12215-5, 2008).....	37
Ecuación 18: Presión base de cubiertas expuestas a intemperie. Fuente: ISO 12215 -5 (ISO12215-5, 2008).....	37

Ecuación 19: Presión superestructuras de las embarcaciones a motor. Fuente: ISO 12215-5 (ISO12215-5, 2008)	37
Ecuación 20: Presión de diseño de mamparos y paredes de tanques estructurales. Fuente: ISO 12215-5 (ISO12215-5, 2008)	37
Ecuación 21: Contenido nominal de fibra. Fuente: ISO 12215-5 (ISO12215-5, 2008).....	40
Ecuación 22: Cálculo de R. Fuente: ISO 12215 – 5 (ISO12215-5, 2008).....	40
Ecuación 23: Tensión de rotura por flexión. Fuente: ISO 12215 – 5 (ISO12215-5, 2008).....	41
Ecuación 24: Ecuación para el cálculo de espesor mínimo. Fuente: ISO 12215-5 (ISO12215-5, 2008)	41
Ecuación 25: Tensión de diseño a tracción de refuerzos. Fuente: ISO 12215-5 (ISO12215-5, 2008)	44
Ecuación 26: Tensión de diseño a compresión de refuerzos. Fuente: ISO 12215-5 (ISO12215-5, 2008)	44
Ecuación 27: Tensión de diseño a cizalla de refuerzos. Fuente: ISO 12215-5 (ISO12215-5, 2008) .	44
Ecuación 28: Superficie del alma AW. Fuente: ISO 12215-5 (ISO12215-5, 2008).....	45
Ecuación 29: Módulo de inercia mínimo SM. Fuente: ISO 12215-5 (ISO12215-5, 2008)	45
Ecuación 30: Segundo momento de área mínimo. Fuente: ISO 12215-5 (ISO12215-5, 2008).....	45
Ecuación 31: Módulo de elasticidad. Fuente: ISO 12215-5 (ISO12215-5, 2008)	46
Ecuación 32: Ecuaciones de posición de centro de gravedad.....	66
Ecuación 33: Relación eslora - altura mínima de inundación. Fuente: ISO 12217-1 (ISO12217-1, 2017)	74
Ecuación 34: Ángulo de inundación. Fuente: ISO 12217-1 (ISO12217-1, 2017)	75
Ecuación 35: Ángulo de escora máximo. Fuente: ISO 12217-1 (ISO12217-1, 2017).....	75

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Espesores mínimos de laminación. Fuente: Elaboración propia	42
Tabla 2: Requisitos mínimos de refuerzos. Fuente: Elaboración propia.....	46
Tabla 3: Espesores finales de laminado. Fuente: Elaboración propia.....	58
Tabla 4: Selección de espesores. Fuente: Elaboración propia.	60
Tabla 5: Fuerzas y momentos de diseño en espejo de popa. Fuente: Elaboración propia.....	63
Tabla 6: Pesos y centro de gravedad: Fuente: Elaboración propia.....	66
Tabla 7: Resumen horas y precio mano de obra. Fuente: Elaboración propia.....	87
Tabla 8: Peso de resina. Fuente: Elaboración propia.....	88
Tabla 9: Coste de material para fabricación de piezas en fibra de vidrio. Fuente: Elaboración propia.	89
Tabla 10: Coste de accesorios. Fuente: Elaboración propia.....	90
Tabla 11: Resumen costes total de la embarcación: Fuente: Elaboración propia.....	91

INTRODUCCIÓN

Este proyecto final de máster tiene como objetivo poner en práctica los aspectos más importantes del proceso de diseño de una embarcación; aspectos que hemos desarrollado a la largo de los últimos dos años. La embarcación que se ha diseñado es una embarcación de planeo de 13 metros de eslora con consola central. Estará diseñada para clientes cuyo principal objetivo es hacer crucero de día (day cruising), es decir, navegar al lugar de destino por la mañana, realizar actividades durante el día y luego regresar a puerto al final de éste. Por este motivo, primarán los espacios exteriores amplios para sentarse, amenidades como barbacoas, bar, equipamiento de pesca. Será una embarcación rápida cuya velocidad de crucero rondará los 40 nudos por lo que se dispondrán asientos cómodos para la navegación. Debido a que la embarcación no está diseñada principalmente para pernoctar, no cuenta con la máxima comodidad para la pernocta, sin embargo, contemplará un espacio para realizar una pernocta ocasional.

Antes de empezar con el diseño se enumeran una serie de premisas a partir de las cuales se diseñó la embarcación:

- Embarcación que formará parte de una línea de producción.
- Se fabricará en fibra de vidrio a través del método de infusión de resina.
- Se harán moldes de fibra de vidrio de cada una de las piezas.

Los moldes por fabricar son los siguientes:

- Molde de casco
- Molde de estructura interna
- Molde de cubierta
- Molde de T-top
- Molde de primera fila de asientos
- Molde de segunda fila de asiento y bar
- Molde de piezas internas varios

CAPÍTULO 1. BASE DE DATOS Y REGRESIONES LINEALES

En este capítulo se mostrarán los resultados obtenidos de las regresiones lineales de una base de datos de 30 embarcaciones. Estas regresiones nos permiten conocer las relaciones que existen entre las dimensiones y características principales de la embarcación y de este modo, a partir de una dimensión principal poder estimar el resto y, de esta forma, tener un punto de partida para el diseño de la embarcación.

Dos criterios principales se han utilizado para la elaboración de esta base de datos. El primero de ellos es que cuente con una consola central y la segunda es que la eslora esté comprendida entre 38 y 45 pies. La base de datos contiene características básicas como eslora (LOA), manga (B), calado (T), ángulo de astilla muerta, capacidad de combustible, capacidad de agua dulce y potencia máxima (Max HP). Las relaciones estudiadas fueron:

- LOA/B
- LOA/T
- LOA/T
- LOA/Capacidad de combustible
- LOA/Desplazamiento
- LOA/Ángulo de astilla muerta
- LOA/Capacidad de combustible
- LOA/Capacidad de agua dulce
- LOA/Max. HP

No fue posible encontrar toda la información en todas las 30 embarcaciones por lo que, en caso de no disponer de algún dato, esa embarcación no se incluyó en las regresiones con el objetivo de no alterar los resultados. Adicionalmente, las unidades usadas en la base de datos son unidades inglesas ya que la gran mayoría de estas embarcaciones son fabricadas y vendidas en el mercado americano. Una vez obtenidos los resultados se han convertido a unidades métricas.

A continuación, los resultados de las regresiones:

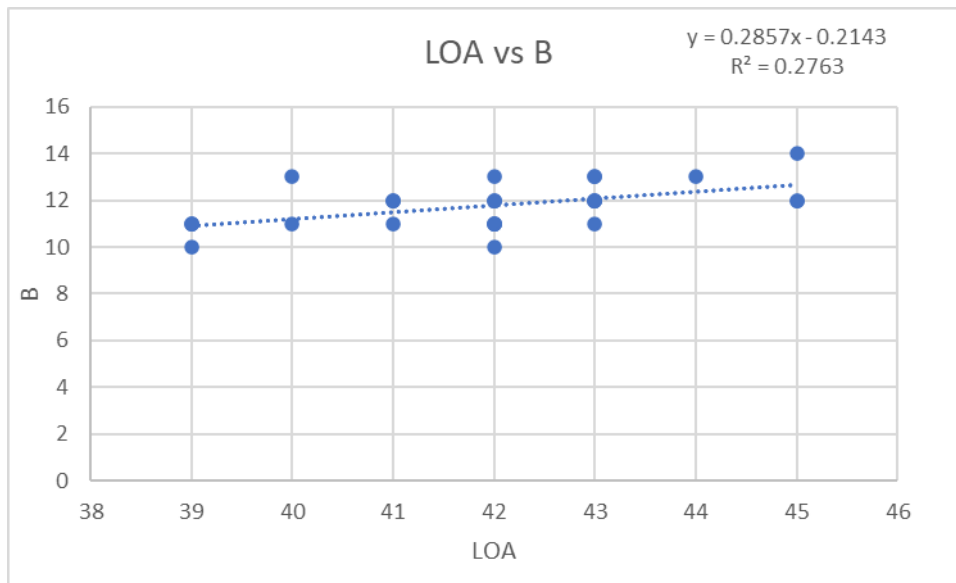


Ilustración 1: Relación eslora manga. Fuente: Elaboración propia

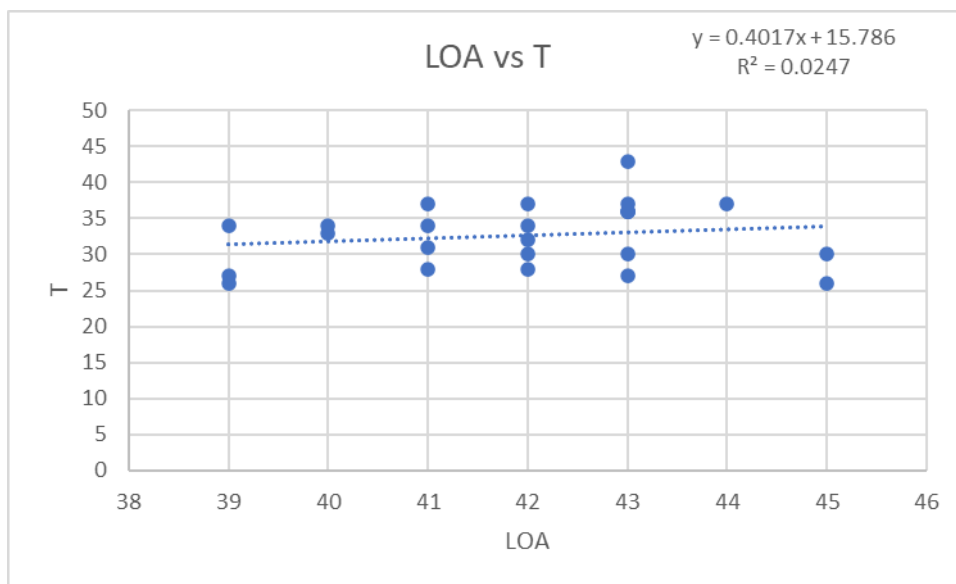


Ilustración 2: Relación eslora calado. Fuente: Elaboración propia

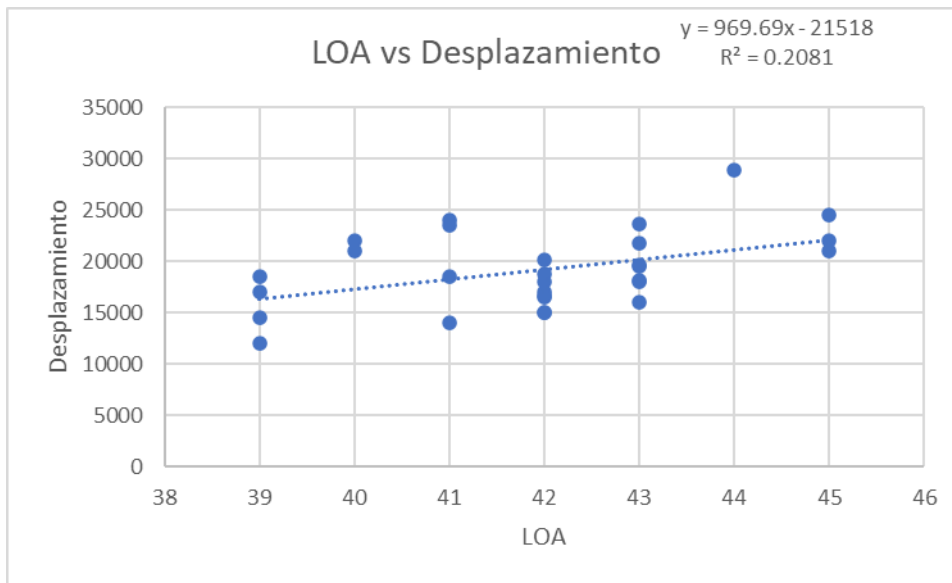


Ilustración 3: Relación eslora desplazamiento. Fuente: Elaboración propia

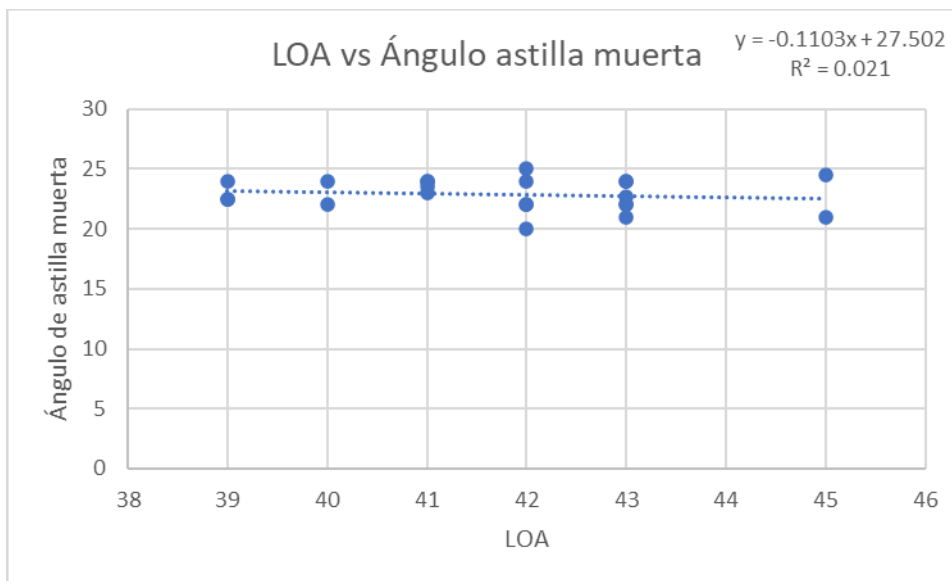


Ilustración 4: Relación eslora ángulo astilla muerta. Fuente: Elaboración propia

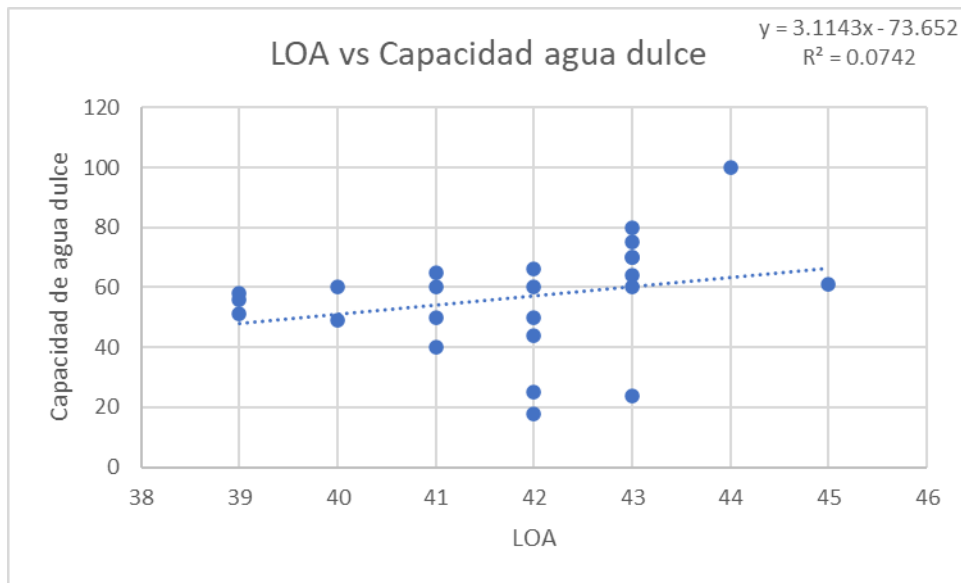


Ilustración 5: Relación eslora capacidad agua dulce. Fuente: Elaboración propia

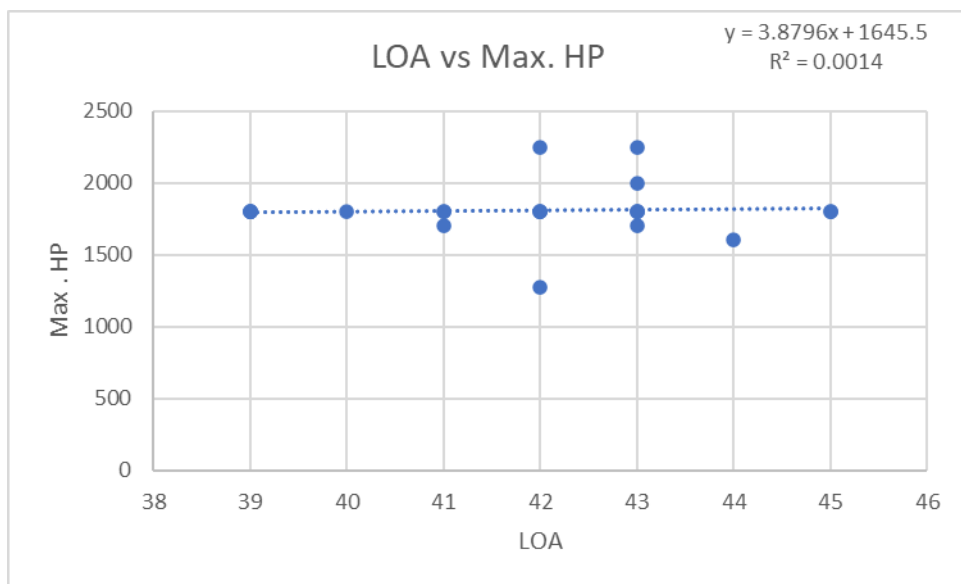


Ilustración 6: Relación eslora máxima potencia. Fuente: Elaboración propia

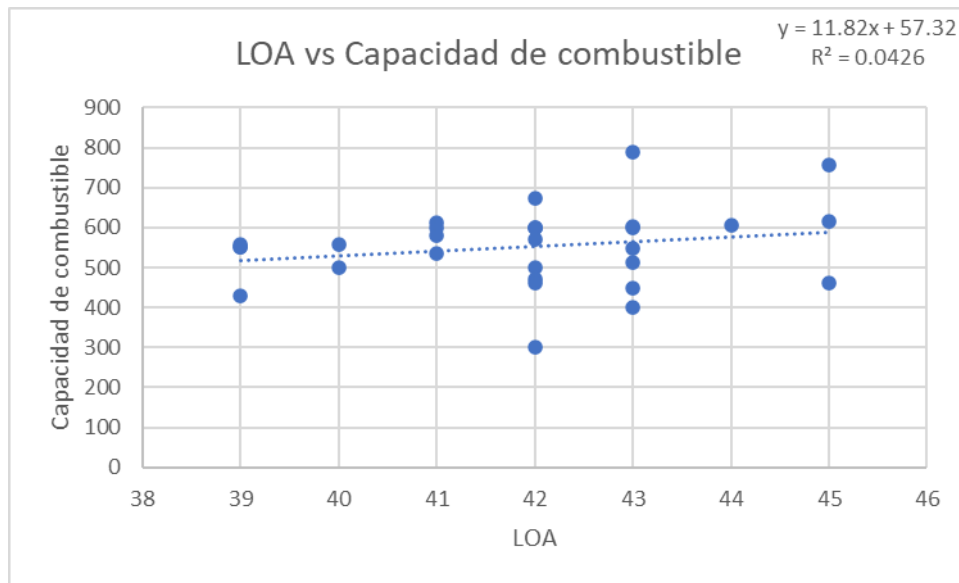


Ilustración 7: Relación eslora capacidad de combustible. Fuente: Elaboración propia

A partir de las ecuaciones de las regresiones lineales podemos obtener, para una embarcación de 13 metros equivalente a 42 pies, los siguientes resultados:

- Manga B: 12 pies (3.66 metros)
- Calado T: 32 pulgadas (0.81 metros)
- Desplazamiento: 32.245 lbs (14.626 kg)
- Ángulo de astilla muerta: 23°
- Capacidad de combustible: 553 galones US (2.093 litros)
- Capacidad de agua dulce: 57 galones US (215 litros)
- Máxima potencia: 1808 HP (1.348 KW)

Podemos observar que los coeficientes de correlación son bastante bajos por lo que estos resultados servirán únicamente de referencia y serán una guía para diseñar las características principales de la embarcación.

En el anexo A puede observarse la base de datos utilizada.

CAPÍTULO 2: FORMAS DEL CASCO, DISTRIBUCIÓN GENERAL Y RESISTENCIA AL AVANCE

2.1 Formas del casco

La normativa ISO 12215 – 5 (ISO12215-5, 2008), en el apartado 3.8, define una embarcación de planeo como aquella que, en condiciones de velocidad máxima en mar llana y en condiciones de masa de desplazamiento en carga (m_{LDC}) cumple con la siguiente relación:

$$\frac{V}{\sqrt{L_{WL}}} > 5$$

Ecuación 1: Condición de planeo

Donde la velocidad (V) se inserta en nudos y la eslora de flotación (L_{WL}) en metros. En la embarcación de estudio, al introducir los valores en esta fórmula, se obtiene una relación de 12.1 que es superior a 5 por lo que, efectivamente, nuestra embarcación es considerada una embarcación de planeo.

Al ser una embarcación de planeo se ha diseñado con un grupo de características propias de este tipo de embarcaciones. La primera de ellas es codillos pronunciados o “hard chines” cuyo objetivo es contribuir a la sustentación.

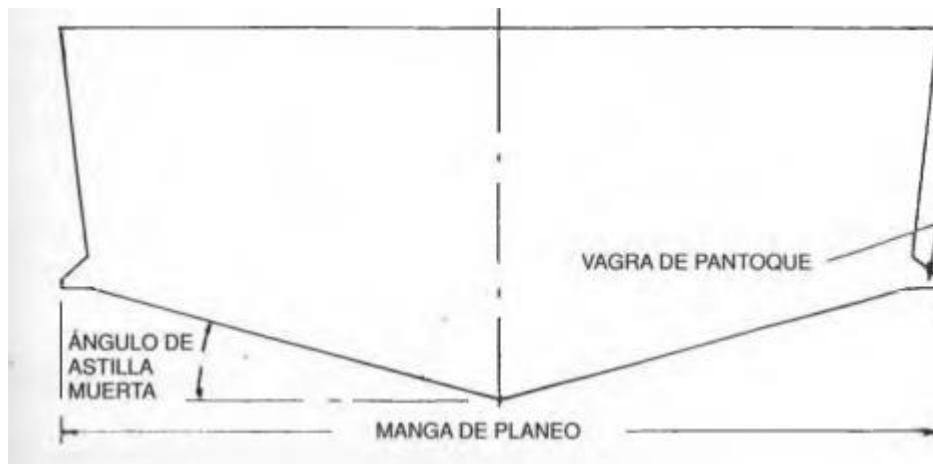


Ilustración 8: Codillos pronunciados. Fuente: Como diseñar un barco (Teale, 2006)

La segunda es la incorporación de escalones o “steps” que son interrupciones a lo largo de la manga del casco cuyo objetivo es reducir la superficie mojada y, consecuentemente, la resistencia al avance generado por fricción. Estos escalones van de estribor a babor permitiendo el acceso de aire por los laterales. Es importante que este flujo de aire no se interrumpa ya que, en caso de que ocurra, se puede generar un vacío que genera el efecto contrario y, en vez de reducir la resistencia

al avance, se aumenta. A continuación en la figura se puede observar el funcionamiento de estos "steps".

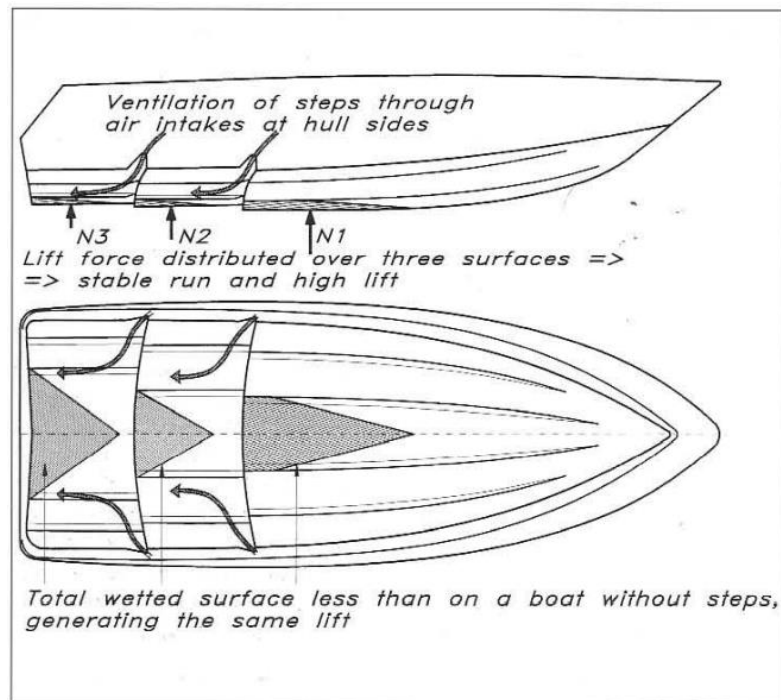


Ilustración 9: Steps. Fuente: Principles of Yacht Design (Lars Larsson, 2014)

La tercera característica es un ángulo de astilla muerta o "deadrise" relativamente bajo en popa. El ángulo de astilla muerta se define como el ángulo que forma el fondo de la carena con un plano horizontal. El objetivo de tener un ángulo de astilla muerta bajo es obtener superficies más planas y mejorar la sustentación. Este ángulo no es constante en todo el casco. En proa tendremos un ángulo de astilla muerta con ángulos superiores que, como comenta Larsson y compañía (Lars Larsson, 2014) en el libro *Principles of Yacht Design*, permiten reducir las aceleraciones verticales mejorando la navegabilidad y el confort en la navegación, y a medida que nos acercamos a popa, este ángulo se reduce para obtener formas más planas que favorezcan la sustentación.

La cuarta característica propia de este tipo de embarcaciones es la presencia de redones o "spray rails" que son una especie de rieles que van a lo largo la carena. Como comenta John Teale (Teale, 2006) en su libro *Cómo diseñar un barco*, los redones tienen forma triangular con las caras del fondo en horizontal que, a altas velocidades, contribuyen con la sustentación y desvían al agua en zonas de la carena. Esto también permite mangas de planeo más estrechas que permiten reducir el área mojada y, consecuentemente, la resistencia por fricción.

En la siguiente figura se puede observar este efecto.

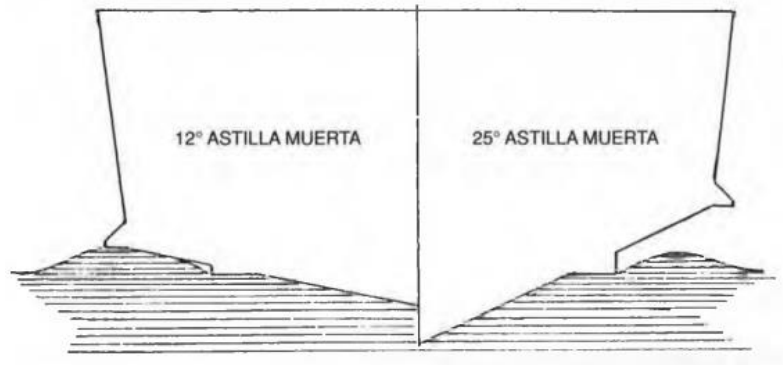


Ilustración 10: Spray rails. Fuente: Cómo diseñar un barco (Teale, 2006)

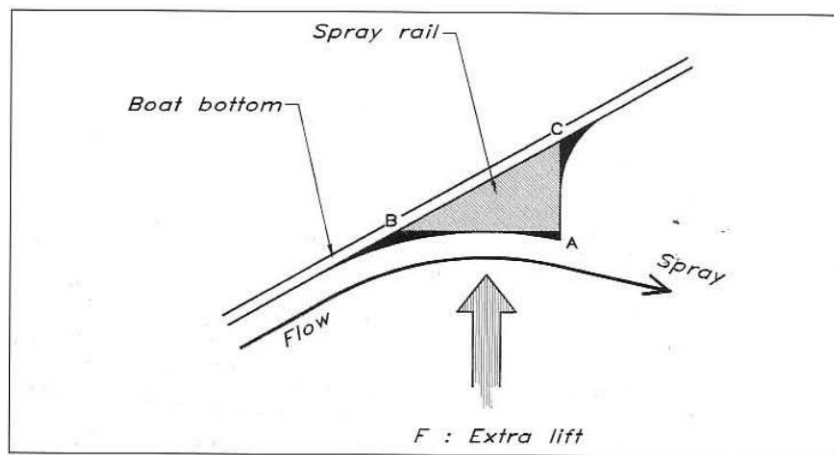


Ilustración 11: Sección de spray rail. Fuente: Principles of Yacht Design (Lars Larsson, 2014)

Tomando en cuenta estas características mencionadas y, usando como referencia los resultados obtenidos de las regresiones lineales, se procedió a diseñar la carena del barco en el programa de modelaje Rhinoceros. A continuación, se pueden observar algunas imágenes de la carena generada.

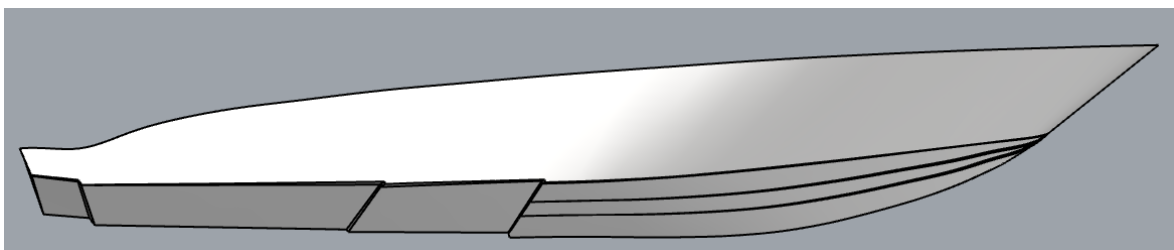


Ilustración 12: Vista estribor de carena. Fuente: Elaboración propia

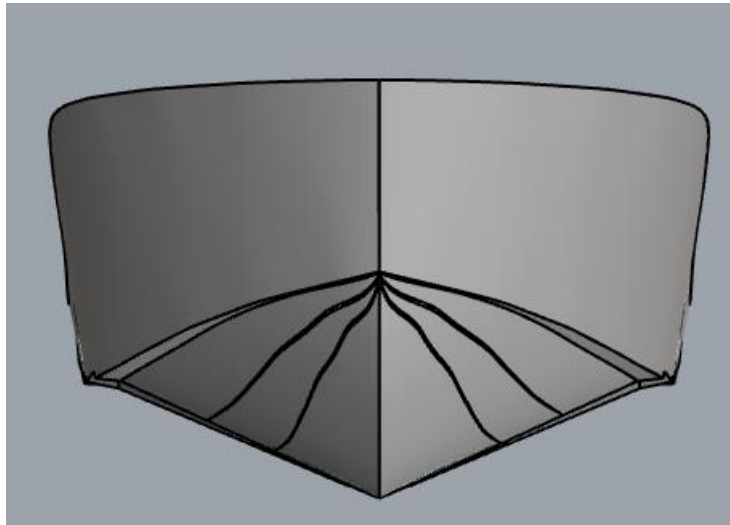


Ilustración 13: Vista proa de carena. Fuente: Elaboración propia

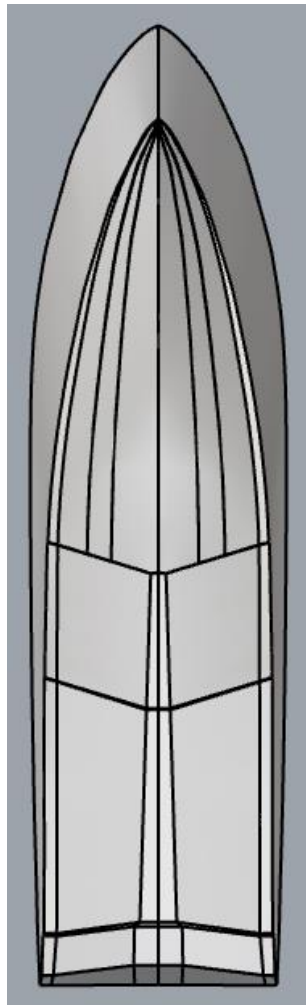


Ilustración 14: Vista de planta de carena. Fuente: Elaboración propia

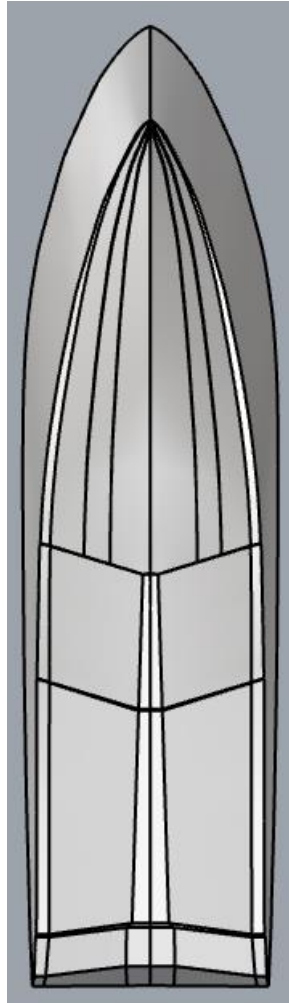


Ilustración 15: Vista de carena inferior. Fuente: Elaboración propia

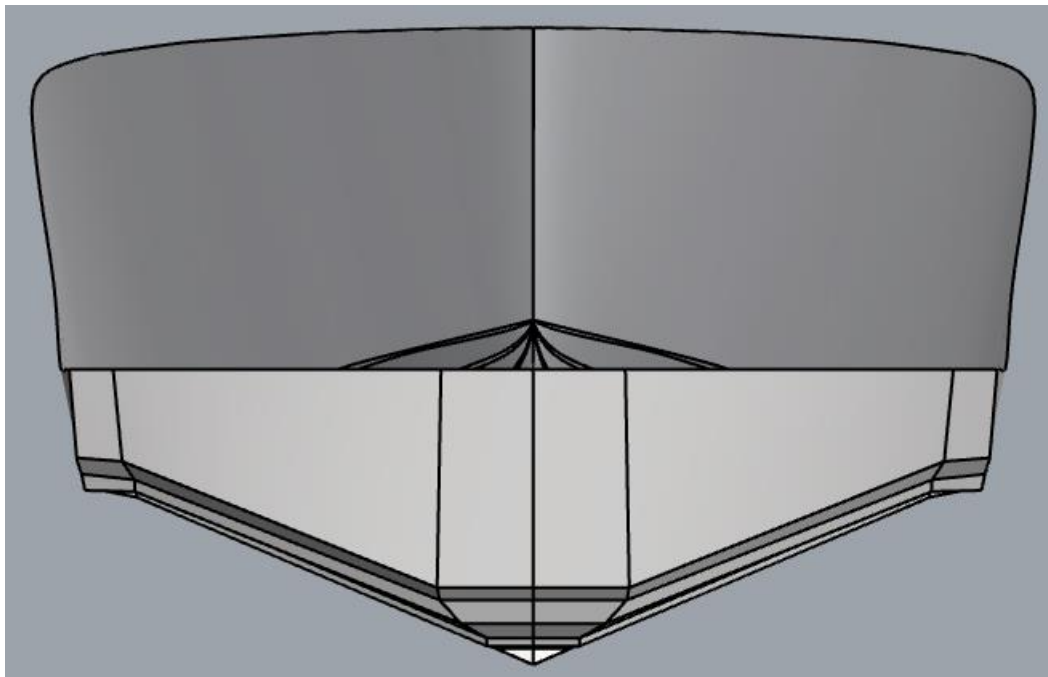


Ilustración 16: Vista popa. Fuente: Elaboración propia

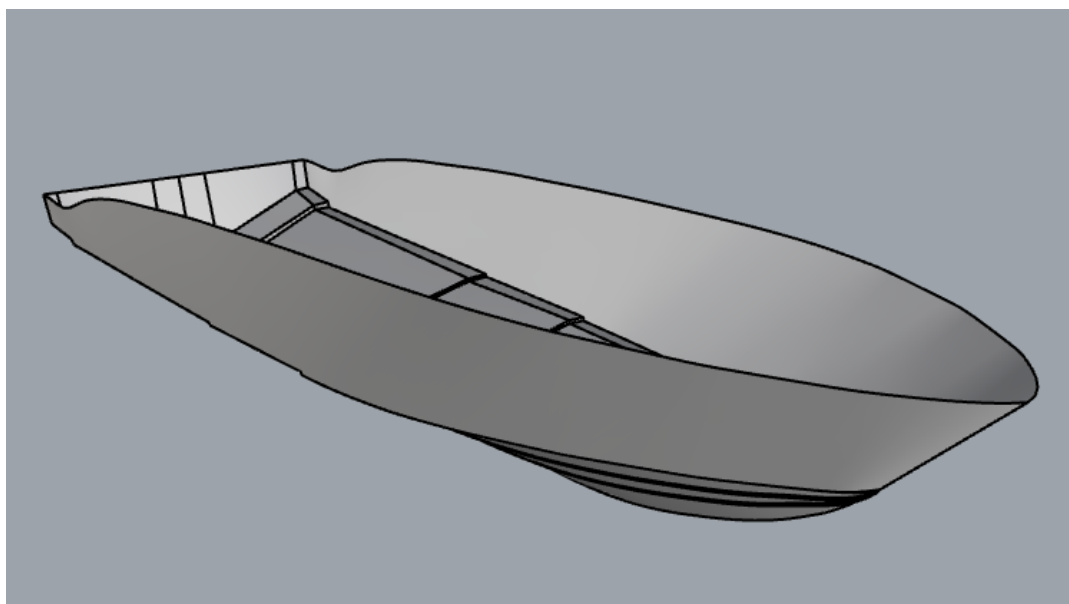


Ilustración 17: Vista isométrica de carena estribor. Fuente: Elaboración propia

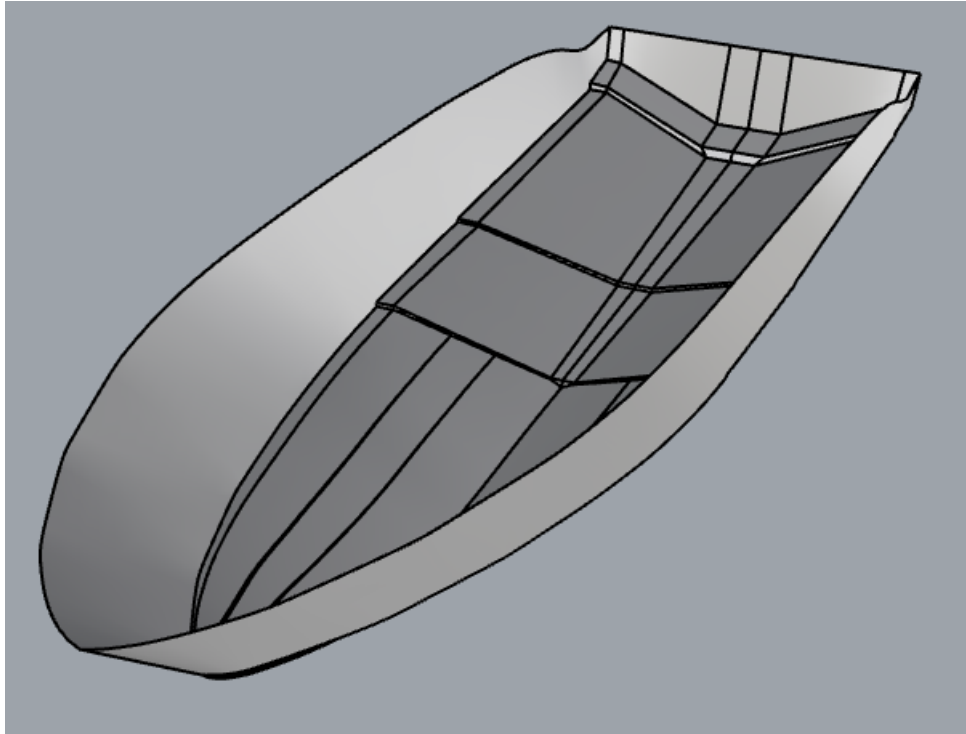


Ilustración 18: Viste isométrico babor. Fuente: Elaboración propia

Una vez definida la carena, esta se ha importado en Maxsurf Modeler para determinar las características principales de la misma. En el Maxsurf Modeler se ha definido el marco de referencia, entendiéndose perpendiculares de proa y popa y el calado inicial estimado, para luego calcular las hidrostáticas.

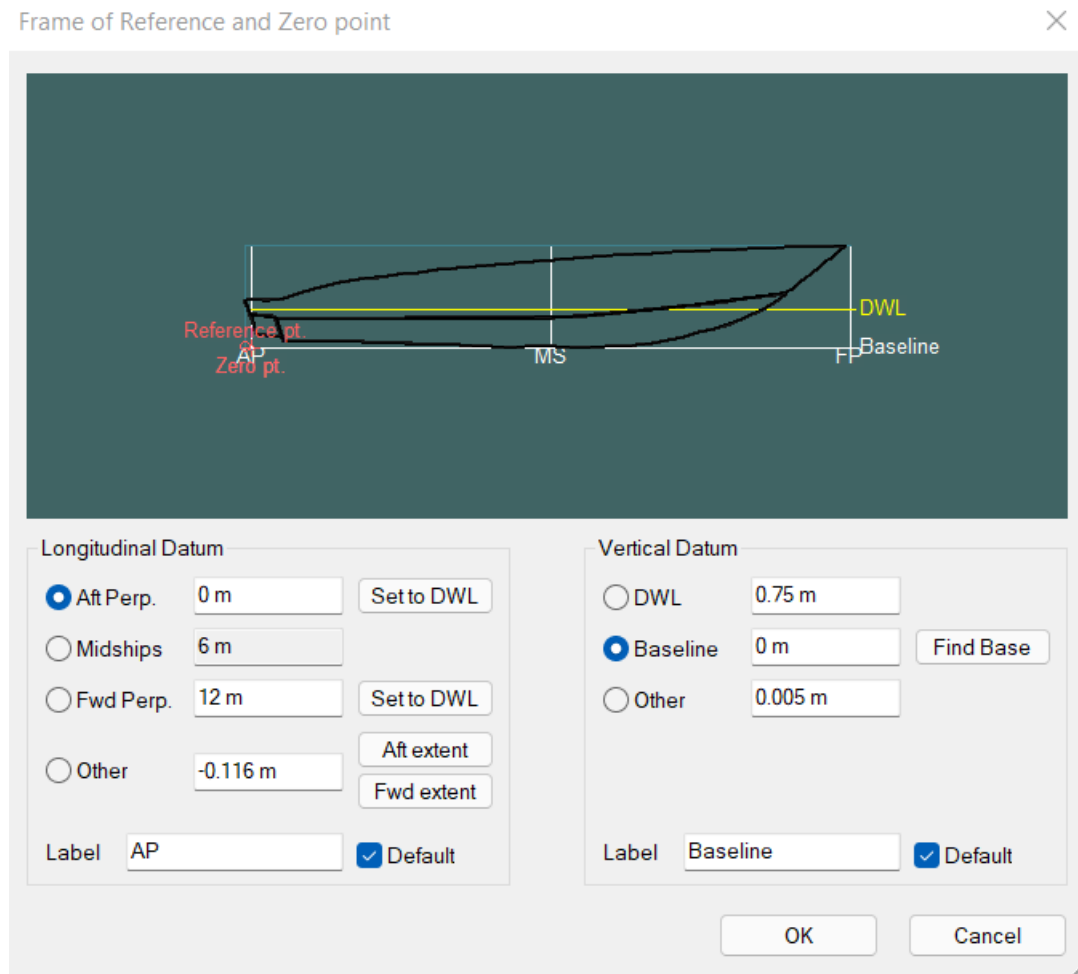


Ilustración 19: Ventana Maxsurf Modeler de marco de referencia. Fuente: Elaboración propia

Los resultados obtenidos de las hidrostáticas son los siguientes:

	Measurement	Value	Units
1	Displacement	9.530	t
2	Volume (displace	9.298	m ³
3	Draft Amidships	0.750	m
4	Immersed depth	0.749	m
5	WL Length	10.245	m
6	Beam max extent	2.927	m
7	Wetted Area	29.784	m ²
8	Max sect. area	1.228	m ²
9	Waterpl. Area	24.712	m ²
10	Prismatic coeff. (0.739	
11	Block coeff. (Cb)	0.414	
12	Max Sect. area c	0.584	
13	Waterpl. area coe	0.824	
14	LCB length	4.219	from z
15	LCF length	4.308	from z
16	LCB %	41.176	from z
17	LCF %	42.053	from z
18	KB	0.519	m
19	KG fluid	0.000	m
20	BMt	1.618	m
21	BML	18.089	m
22	GMt corrected	2.138	m
23	GML	18.608	m
24	KMt	2.138	m
25	KML	18.608	m
26	Immersion (TPc)	0.253	tonne/
27	MTc	0.148	tonne.
28	RM at 1deg = GM	0.356	tonne.
29	Length:Beam rati	3.501	

Ilustración 20: Resultados de hidrostática de Maxsurf Modeler. Fuente: Elaboración propia

Podemos observar que los valores obtenidos de desplazamiento, manga y calado son similares a los valores obtenidos en las regresiones lineales y esto es un buen indicador que la forma generada está en sintonía con las formas de este tipo de embarcaciones.

2.2 Distribución general

Como comentado anteriormente, en esta embarcación priman los espacios amplios externos por el uso que se le dará. En proa se dispone de un espacio con asientos y una mesa telescópica convertible con tres posiciones. En el punto más bajo queda al ras de suelo, en el punto medio queda a ras de los asientos para convertir el espacio en solárium y en el punto más alto convierte el espacio en una zona comedor.



Ilustración 21: Render número 1. Fuente: Elaboración propia

En la zona central de la embarcación encontramos la consola central. Este espacio es donde se encuentran los mandos de la embarcación y el acceso al camarote. Cuenta con dos hileras de asientos a popa de la consola y un asiento solárium a proa de la consola central que se integra con la zona de proa.



Ilustración 22: Render número 2. Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 23: Render número 3. Fuente: Elaboración propia.

Hacia popa, detrás de la segunda fila de asientos, encontramos un mueble que contiene un grill, un congelador, una nevera y una tabla de trabajo. Este espacio se integra perfectamente con el espacio en popa donde hay una fila de asientos y el acceso a las plataformas de nado.

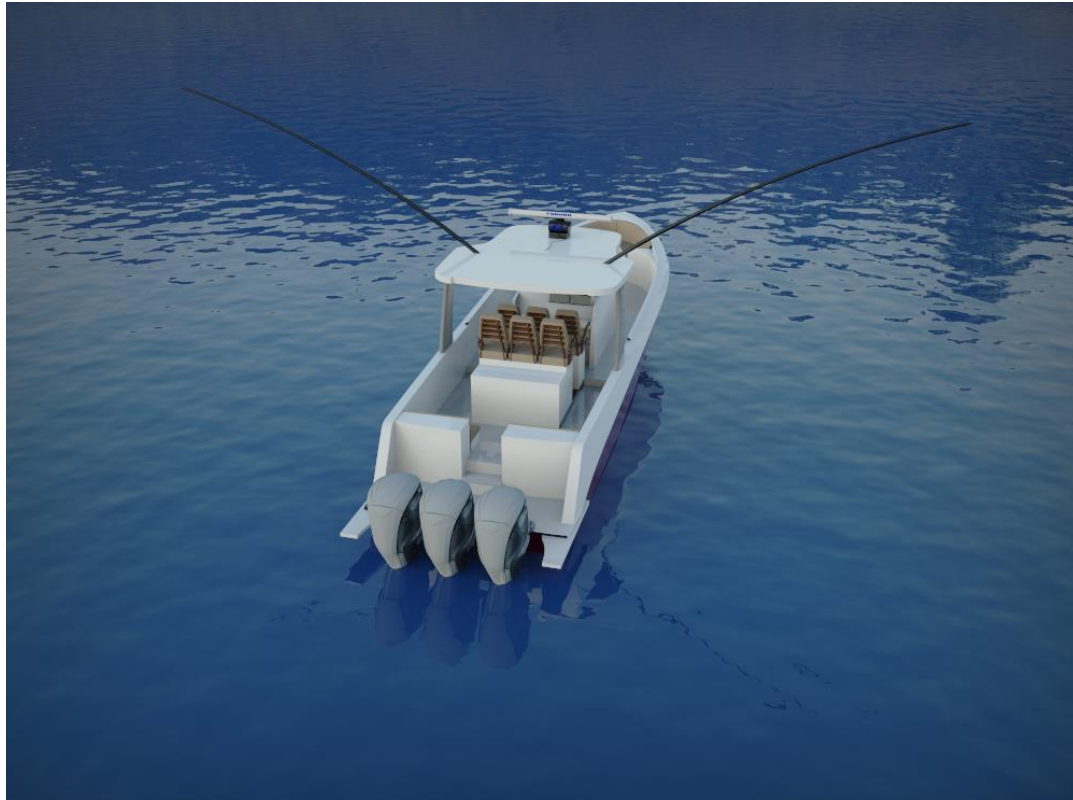


Ilustración 24: Render número 4. Fuente: Elaboración propia.

En cuanto al camarote, al entrar encontramos a estribor un espacio de baño con lavabo, inodoro y ducha. Luego, también a estribor, se localiza un mueble que dispone de vitrocerámica, nevera, gabinetes para almacenar y un fregadero. A proa encontramos una zona comedora que se convierte en cama para una pernocta ocasional.

En la ilustración de a continuación se puede observar una imagen de la distribución general comentada en los párrafos anteriores.



Ilustración 25: Distribución general. Fuente: Elaboración propia.

Como puede observarse, los pasillos y zonas de transición son amplios también permitiendo una fluidez en el desplazamiento entre zonas. De esta forma todas las zonas están muy bien interconectadas.

Dejamos a continuación unos renders adicionales de la embarcación:



Ilustración 26: Render número 5. Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 27: Render número 6. Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 28: Render número 7. Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 29: Render número 9. Fuente: Elaboración propia.

2.3 Resistencia al avance

Para el cálculo de la resistencia al avance, hemos importado el modelo en Maxsurf Resistance y hemos definido un grupo de parámetros básicos necesarios para obtener resultados apropiados. El primero de ellos el método de análisis de la resistencia al avance. Como se mencionó anteriormente, la embarcación diseñada es una embarcación de planeo. El método que más se ajusta a este tipo de embarcaciones es el método de Savitsky. Si bien el régimen de operación de esta embarcación es el régimen de planeo, también se ha decidido incluir el método de Savitsky de pre-planeo para conocer la resistencia de la embarcación en ese período de transición hasta alcanzar el régimen de planeo desarrollado.

El segundo parámetro que definir es el rango de velocidad del análisis. Este rango se ha definido entre los 10 nudos y los 50 nudos con un incremento de 1 nudo a la vez. El tercer parámetro definido es la eficiencia general. Esta eficiencia, dependiendo de la potencia que se desee calcular, puede variar. En caso de que se desee obtener la potencia efectiva este parámetro debe ajustarse al 100%, sin embargo, para dimensionar la planta propulsora necesitamos conocer la potencia al freno que es la que usualmente los fabricantes de plantas propulsoras indican en sus productos. La relación entre la potencia efectiva y la potencia al freno se conoce como rendimiento propulsivo. Este rendimiento tiene en cuenta la eficiencia del propulsor, la eficiencia de la carena, el rendimiento rotativo relativo y el rendimiento mecánico de la línea de ejes. El rendimiento propulsivo varía

considerablemente dependiendo de diversos factores. En este caso, fijaremos un valor conservador de 0.50 (50%).

A continuación, podemos observar los resultados obtenidos de este análisis.

	Speed (kn)	Froude No. LWL	Froude No. Vol.	Savitsky Pre-planing Resist. (N)	Savitsky Pre-planing Power (W)	Savitsky Planing Resist. (N)	Savitsky Planing Power (W)
1	10.000	0.513	1.133	7594.84	78142.46	--	--
2	11.000	0.565	1.246	9876.82	111783.71	14373.28	162673.64
3	12.000	0.616	1.359	11117.15	137259.76	15342.85	189433.03
4	13.000	0.667	1.473	11026.73	147488.65	16216.45	216904.01
5	14.000	0.719	1.586	11264.47	162258.49	16919.17	243711.27
6	15.000	0.770	1.699	11430.91	176417.07	17406.26	268636.54
7	16.000	0.821	1.813	11577.22	190588.84	17673.61	290946.96
8	17.000	0.873	1.926	11662.06	203982.38	17748.95	310448.88
9	18.000	0.924	2.039	--	--	17675.03	327341.46
10	19.000	0.975	2.152	--	--	17496.06	342028.45
11	20.000	1.026	2.266	--	--	17250.52	354977.31
12	21.000	1.078	2.379	--	--	16968.85	366640.20
13	22.000	1.129	2.492	--	--	16673.71	377418.62
14	23.000	1.180	2.606	--	--	16381.29	387654.18
15	24.000	1.232	2.719	--	--	16102.77	397631.02
16	25.000	1.283	2.832	--	--	15845.56	407583.13
17	26.000	1.334	2.945	--	--	15614.40	417702.67
18	27.000	1.386	3.059	--	--	15412.09	428147.83
19	28.000	1.437	3.172	--	--	15240.07	439049.57
20	29.000	1.488	3.285	--	--	15098.88	450517.15
21	30.000	1.540	3.399	--	--	14988.42	462642.61
22	31.000	1.591	3.512	--	--	14908.17	475504.37
23	32.000	1.642	3.625	--	--	14857.35	489169.96
24	33.000	1.694	3.738	--	--	14835.02	503698.40
25	34.000	1.745	3.852	--	--	14840.16	519141.71
26	35.000	1.796	3.965	--	--	14871.70	535546.47
27	36.000	1.848	4.078	--	--	14928.59	552954.87
28	37.000	1.899	4.192	--	--	15009.78	571405.52
29	38.000	1.950	4.305	--	--	15114.27	590934.20
30	39.000	2.002	4.418	--	--	15241.10	611574.35
31	40.000	2.053	4.531	--	--	15389.36	633357.55
32	41.000	2.104	4.645	--	--	15558.20	656313.84
33	42.000	2.156	4.758	--	--	15746.81	680472.02
34	43.000	2.207	4.871	--	--	15954.44	705859.89
35	44.000	2.258	4.985	--	--	16180.39	732504.38
36	45.000	2.310	5.098	--	--	16424.01	760431.78
37	46.000	2.361	5.211	--	--	16684.69	789667.79
38	47.000	2.412	5.324	--	--	16961.86	820237.67
39	48.000	2.464	5.438	--	--	17254.99	852166.27
40	49.000	2.515	5.551	--	--	17563.59	885478.16
41	50.000	2.566	5.664	--	--	17887.21	920197.63

Ilustración 30: Potencia al freno. Fuente: Maxsurf Resistance

Como se puede observar, para una velocidad de 50 nudos la potencia al freno requerida es de 920KW. La embarcación fue proyectada para llevar 3 motores cuya potencia varía en 300HP y 425HP. Esto nos da un rango de velocidad máxima entre 40 y 50 nudos. Es importante destacar que estos valores son los obtenidos con las condiciones de análisis actuales, pero hay muchos factores

que determinan esta velocidad máxima como el peso, centro de gravedad, trimado, condición de la mar, viento, etc. Por esta razón estos valores son orientativos.

A continuación, podemos observar algunas gráficas adicionales dadas por el programa.

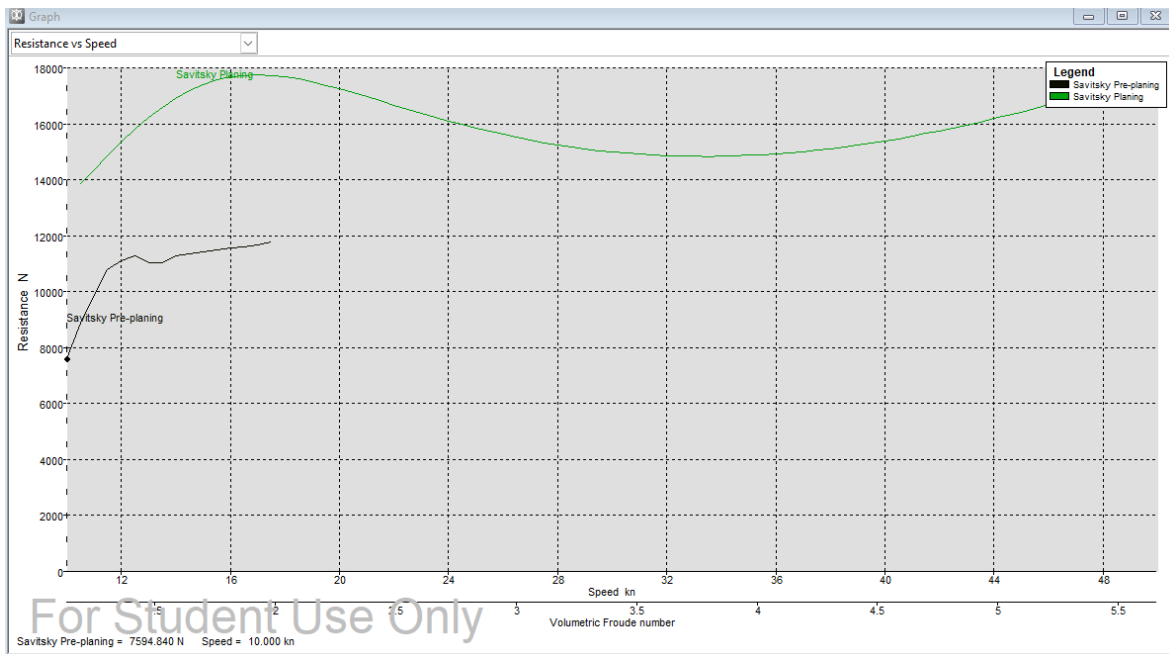


Ilustración 31: Gráfico resistencia en función de la velocidad. Fuente: Maxsurf Resistance.

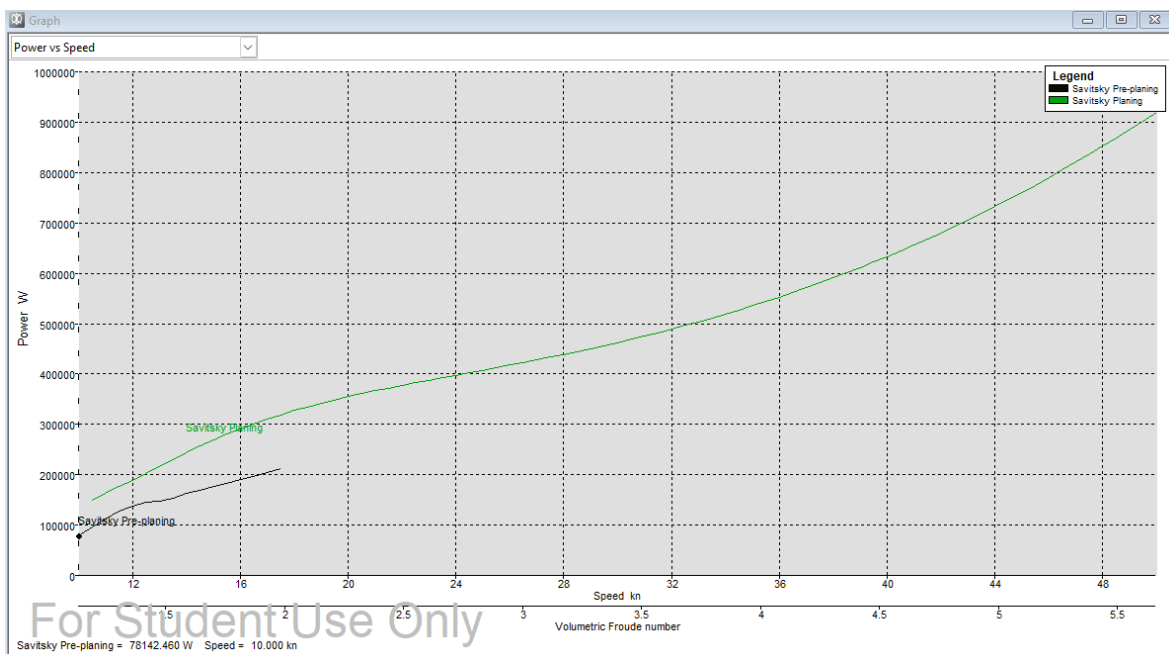


Ilustración 32: Gráfico potencia al freno en función de la velocidad. Fuente: Maxsurf Resistance

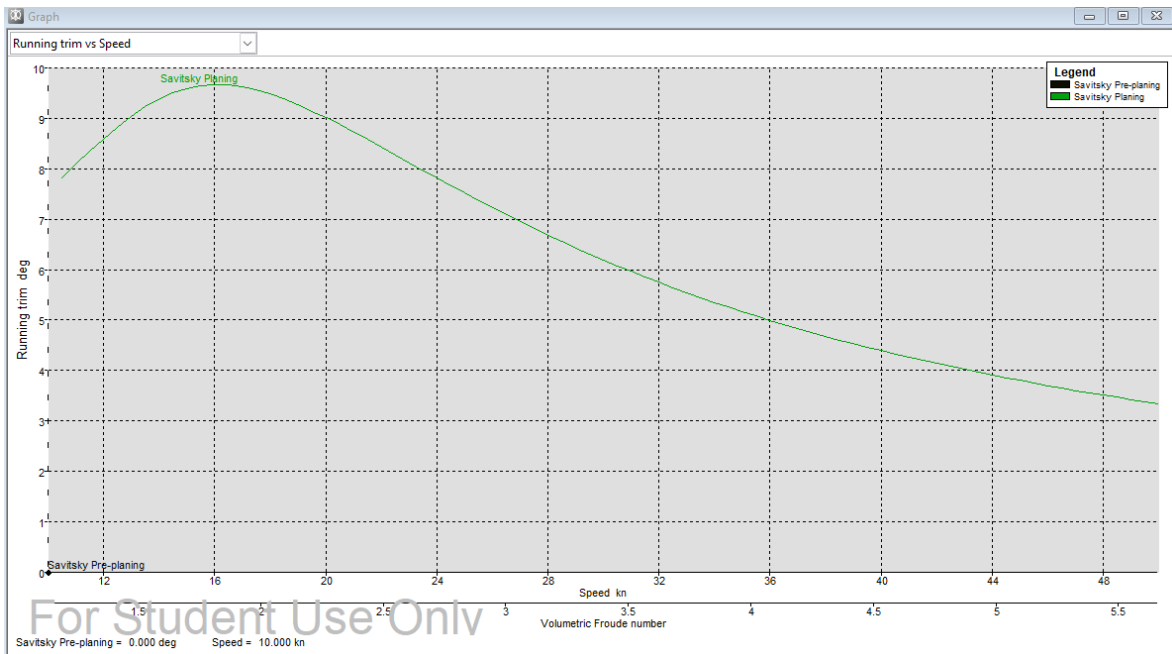


Ilustración 33: Gráfico trimado en función de la velocidad. Fuente: Maxsurf Resistance

CAPÍTULO 3: DISPOSICIÓN ESTRUCTURAL Y ESTUDIO DE ESCANTILLONADO

En el presente capítulo se dimensionará la estructura de la embarcación. Empezaremos con la disposición de los refuerzos estructurales tomando en cuenta la distribución de los espacios. Una vez definida esta distribución, haciendo uso de la normativa ISO 12215-5, se definirán los espesores de laminación y sus propiedades. Así mismo, se plantearán las secuencias de laminación de los componentes calculados.

3.1 Disposición estructural

Como comentado inicialmente, al ser una embarcación que formará parte de una línea de producción, la estructura interna se ha diseñado para ser fabricada en un molde. La posición de los refuerzos se basó en varios factores como la capacidad del tanque de combustible, el espacio de camarote, el espacio de cámara de máquinas, la capacidad de las cavas laterales, entre otras. Después de varias iteraciones, buscando optimizar cada uno de los espacios, se logró la siguiente configuración:

Dos (2) mamparos longitudinales simétricos a estribor y babor a una distancia de 850 mm de crujía y cinco (5) mamparos transversales ubicados desde el espejo de popa a:

1. 926 mm
2. 3.333 mm
3. 5.387 mm
4. 8.129 mm
5. 10.000 mm

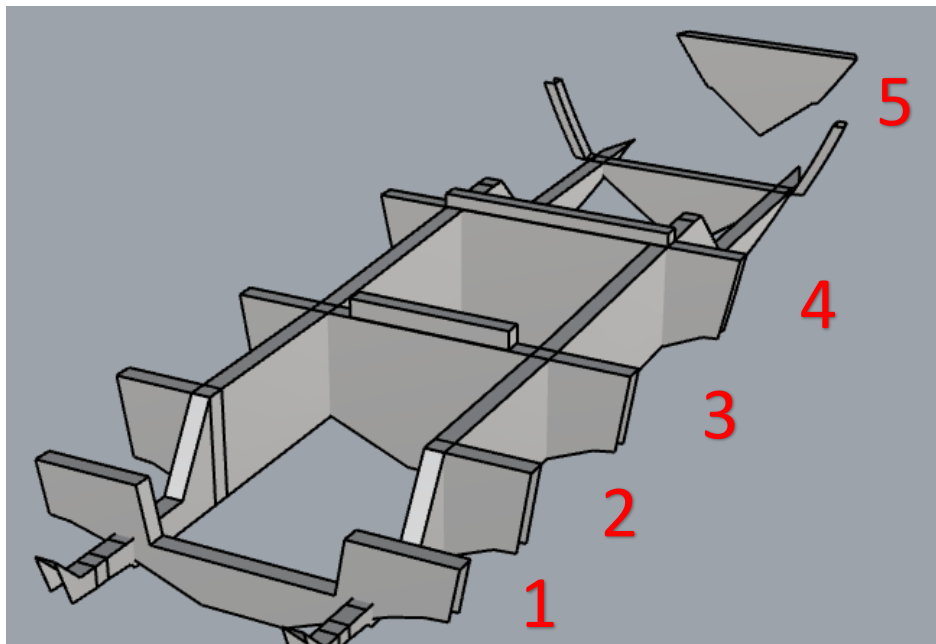


Ilustración 34: Disposición estructural. Fuente: Elaboración propia.

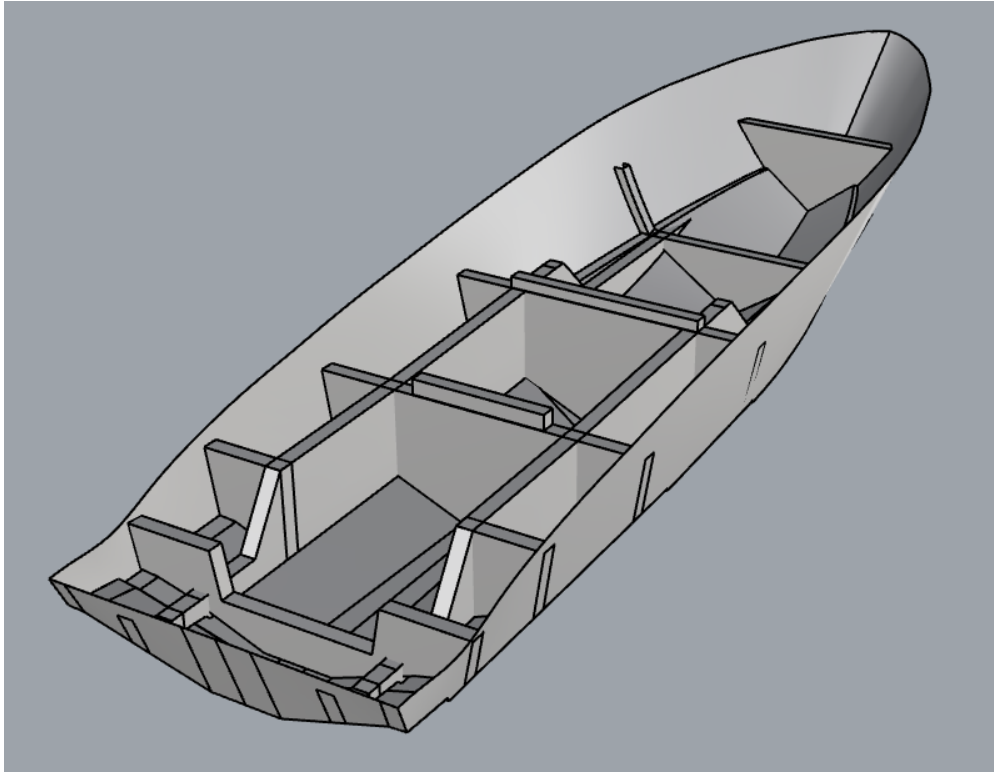


Ilustración 35: Estructura interna en casco. Fuente: Elaboración propia.

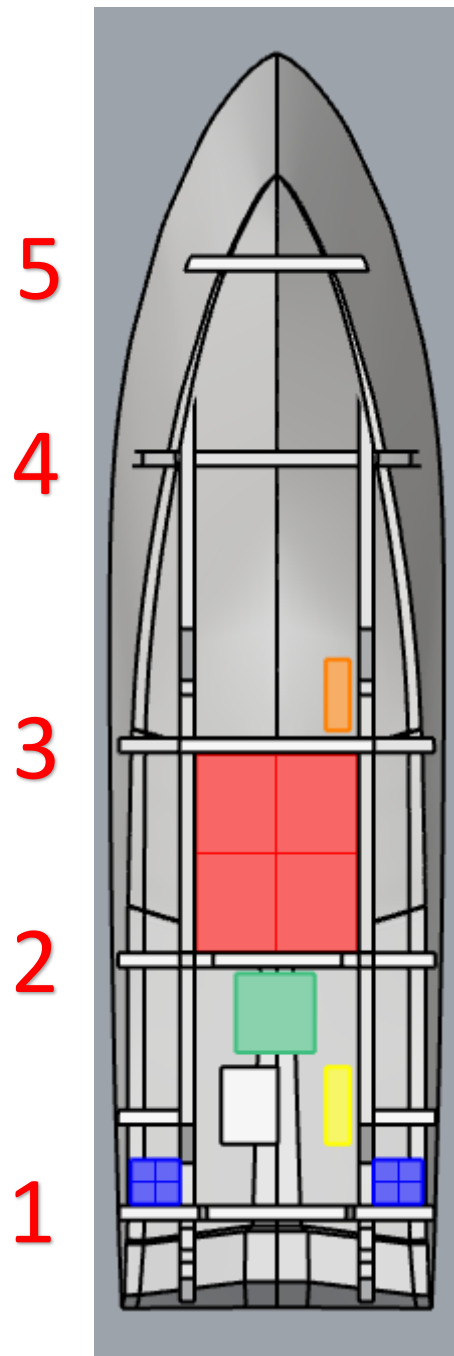


Ilustración 36: Disposición estructural con tanques. Fuente: Elaboración propia.

Entre el primer y el segundo mamparo encontramos la cámara de máquinas donde se instalará un dispositivo de asistencia a la estabilidad, Seakeeper® (recuadro verde), generador diésel (recuadro gris), tanque de diésel (recuadro amarillo), tanques de agua dulce (recuadros azules) y demás accesorios de sentina como bombas de achique, bomba de agua dulce, etc. Entre el segundo y tercer mamparo se ubicará el tanque de combustible (recuadro rojo) que será un tanque de aluminio hecho a medida para que se ajuste a la forma del espacio con el objetivo de maximizar la capacidad de este. Entre el tercer y quinto mamparo encontramos el espacio de camarote.

Adicionalmente, contamos con refuerzos tanto transversales como longitudinales. Estos refuerzos son refuerzos naturales propios de las formas del casco y refuerzos puntuales que se han colocado específicamente en ciertas zonas para evitar paneles muy grandes que aumenten considerablemente los espesores de laminación. A medida que se vayan desarrollando los cálculos iremos comentado dónde se han colocado y por qué.

3.2 Estudio de escantillado

En este apartado se determinarán los espesores de laminación de los componentes más importantes de la embarcación. Estos espesores se han determinado siguiendo el procedimiento que establece la normativa *ISO 12215 – 5:2008 Presiones de diseño, tensiones de diseño y determinación de escantillón*. Este apartado se separará en tres subapartados principales:

1. Determinación de espesor mínimo de laminación según normativa
2. Dimensionamiento de los refuerzos
3. Secuencia de laminado de componentes

En los primeros dos apartados seguiremos paso a paso lo que establece la normativa y en el último, ya sabiendo los espesores mínimos, haremos la secuencia de laminado para cumplir dichos espesores.

3.2.1 Determinación de espesor mínimo de laminación según normativa

El primer aspecto que definir en el proceso de cálculo es el material de fabricación de la embarcación. La normativa ofrece la posibilidad de diseñar en 4 materiales principales: laminados de FRP de una sola capa, laminados tipo sándwich, madera y metales. La embarcación se ha diseñado para ser fabricada en fibra de vidrio (FRP) de una sola capa con la combinación de MAT-Roving.

El proceso se dividirá en tres apartados para la facilidad del seguimiento de los cálculos:

1. Factores de ajuste de presión
2. Presiones de diseño
3. Determinación del espesor mínimo

Antes de empezar con los cálculos, es importante definir ciertos parámetros que se usarán a lo largo de la memoria de cálculo. El primero de ellos es la definición de las zonas de la embarcación. Esta se puede encontrar en el apartado 6.2 de la normativa. En este se definen seis zonas principales:

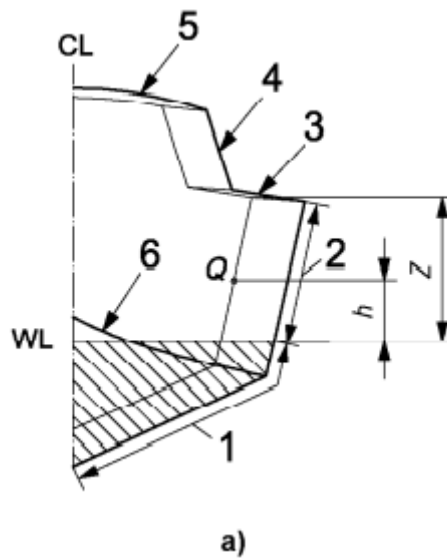


Ilustración 37: Definición de zonas. Fuente: ISO 12215-5 (ISO12215-5, 2008)

1. Zona de fondo
2. Zona de costado
3. Cubierta
4. Superestructura
5. Parte superior de superestructura
6. Pantoque vivo

Dependiendo de la zona donde este ubicado el panel, las presiones de diseño cambiarán y sucesivamente los espesores. En la memoria de cálculo se hará referencia a la ubicación de cada panel.

El segundo aspecto es la definición de las dimensiones principales de los paneles y refuerzos. Esta se puede encontrar en el apartado 9.1.

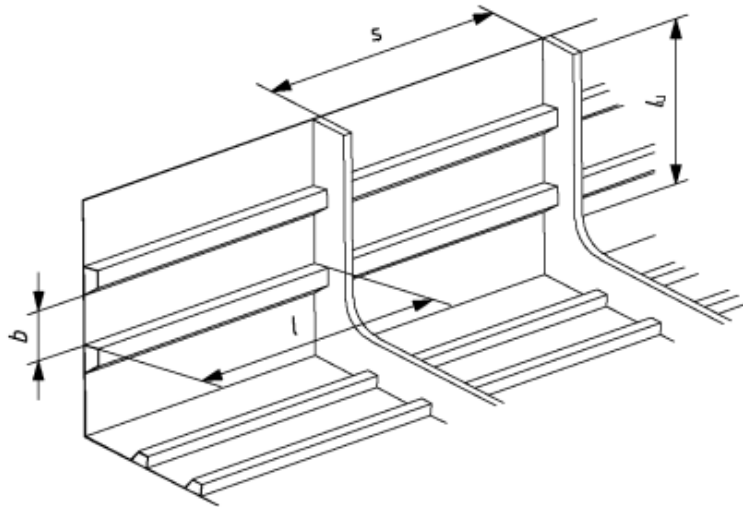


Ilustración 38: Dimensiones básicas de refuerzos y paneles. Fuente: ISO 12215-5 (ISO12215-5, 2008)

Donde,

- L es la dimensión mayor del panel
- B es la dimensión menor del panel
- S es la separación entre refuerzos

Estas medidas se irán mencionando a lo largo de la memoria por lo que resulta importante conocerlas.

3.2.1.1 Factores de ajuste de presión

Estos son un conjunto de factores que permiten ajustar la presión final de diseño en función de diferentes parámetros como diseño de embarcación, tipo de embarcación, zona del panel o refuerzo, etc. A continuación, definiremos cada uno de ellos y cómo se calculan.

Factor de categoría de diseño K_{DC}

Este factor toma en cuenta la variación de las cargas de presión en función de la zona de navegación. Este factor se toma de la tabla 2 de la sección 7.2. La embarcación tendrá una categoría de diseño A por lo que el valor de K_{DC} será de 1. A continuación, se muestra la tabla en cuestión.

Categoría de diseño	A	B	C	D
Valor de k_{DC}	1	0,8	0,6	0,4

Ilustración 39: Valor de K_{DC} en función de categoría de diseño Fuente: ISO 12215-5 (ISO12215-5, 2008)

Factor de carga dinámica n_{CG}

Este factor toma en cuenta la aceleración negativa que experimenta una embarcación al encontrarse con una ola cuando navega a altas velocidades o cuando cae desde la cresta de una ola hasta su sima. La normativa hace diferencia entre el factor para embarcaciones en modalidad planeadora y en modalidad desplazamiento por lo que tendremos que calcular ambos casos ya que nuestra embarcación navega en ambos regímenes.

Para embarcaciones planeadoras el factor n_{CG} se calcula a partir de la siguiente fórmula:

$$n_{CG} = 0,32 \left(\frac{L_{WL}}{10 \times B_C} + 0,084 \right) \times (50 - \beta_{0,4}) \times \frac{V^2 \times B_C^2}{m_{LDC}}$$

Ecuación 2: Primera ecuación cálculo del factor de carga dinámica. Fuente: ISO 12215-5 (ISO12215-5, 2008)

Donde,

- L_{WL} es la eslora a la línea de flotación, cuyo valor es de 11 metros.
- B_C es la manga en el pantoque a una eslora de $0,4 L_{WL}$, cuyo valor es de 2,8 metros.
- $B_{0,4}$ es el semi ángulo de diedro del fondo a $0,4 L_{WL}$, cuyo valor es de 25° .
- V que hace referencia a la velocidad de la embarcación, cuyo valor es de 45 nudos.
- M_{LDC} es la masa de diseño en carga de la embarcación, cuyo valor es de 10T.

Si el resultado de la ecuación es menor o igual a 3, se utilizará ese valor. Si el valor es superior a 3, se debe utilizar la siguiente ecuación:

$$n_{CG} = \frac{0,5 \times V}{m_{LDC}^{0,17}}$$

Ecuación 3: Segunda ecuación cálculo del factor de carga dinámica. Fuente: ISO 12215-5 (ISO12215-5, 2008)

En cualquier caso, no debe nunca tomarse un valor superior a 7.

Finalmente, para la embarcación en modalidad desplazamiento, si el valor de la ecuación 2 es menor a 3, debe utilizarse 3 como valor de factor de carga dinámica.

Factor longitudinal de distribución de presión K_L

Este factor toma en cuenta la variación de presión en función de la eslora de la embarcación. Se calcula mediante las siguientes dos fórmulas:

$$K_L = \frac{1 - 0,167 \times n_{CG}}{0,6} \frac{x}{L_{WL}} + 0,167 \times n_{CG} \text{ pero sin ser } > 1 \text{ para } \frac{X}{L_{WL}} \leq 0,6$$

Ecuación 4: Primera ecuación cálculo K_L . Fuente ISO 125215-5 (ISO12215-5, 2008)

$$K_L = 1 \text{ para } \frac{X}{L_{WL}} > 6$$

Ecuación 5: Segunda ecuación cálculo K_L . Fuente ISO 125215-5 (ISO12215-5, 2008)

Donde n_{CG} es el valor calculado en el apartado anterior y la relación $\frac{X}{L_{WL}}$ tomara en un valor entre 0 y 1, siendo 0 el valor más extremo a proa y 1 el valor más extremo a popa. Este factor también se calcula para ambas modalidades, planeo y desplazamiento.

Factor de reducción de presión en función de la superficie K_{AR}

Este factor tiene en cuenta la variación de las cargas de presión según el tamaño del panel o refuerzo. Se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$K_{AR} = \frac{k_R \times 0,1 \times m_{LDC}^{0,15}}{A_D^{0,3}}$$

Ecuación 6: Ecuación para el cálculo del factor de reducción de presión. Fuente ISO 12215-5 (ISO12215-5, 2008)

Donde,

- k_R es el factor estructural del elemento y tipo de embarcación, y toma los siguientes valores:
 - o $k_R = 1$ para los paneles de fondo, costado y cubierta, así como para los refuerzos de las embarcaciones planeadoras a motor que funcionen en modalidad planeadoras.
 - o $k_R = 1,5 - 3 \times 10^{-4} \times b$ para los paneles de fondo, costado y cubierta, para los refuerzos de veleros y de las embarcaciones a motor, así como las embarcaciones planeadoras a motor que funcionen en modalidad desplazamiento.
 - o $k_R = 1 - 2 \times 10^{-4} \times l_u$ para los refuerzos de fondo, costado y cubierta, para los refuerzos de veleros y de las embarcaciones a motor, así como las embarcaciones planeadoras a motor que funcionen en modalidad desplazamiento.
- A_D es el área de diseño en metros cuadrados definida de la siguiente manera:
 - o $A_D = (l \times b) \times 10^{-6}$ para las chapas de costados, pero no se debe tomar mayor a $2,5 \times b^2 \times 10^{-6}$
 - o $A_D = (l_u \times s) \times 10^{-6}$ para las chapas de costados, pero no se debe tomar mayor a $0,33 \times l_u^2 \times 10^{-6}$

Donde,

b, es la dimensión menor del panel

l, la dimensión mayor del panel

s, la separación entre refuerzos

l_u, la luz entre apoyos del refuerzo

El valor máximo de K_{AR} no debe ser superior a 1, y el valor mínimo obtenido de la siguiente tabla:

Categoría de diseño	Paneles de una sola capa y refuerzos de fondo y costados Paneles de una sola capa o tipo sandwich y refuerzos de cubiertas y superestructuras	Paneles tipo sandwich de fondo y costados ^a		
		$\frac{x}{L_{WL}} \leq 0,4$	$0,4 < \frac{x}{L_{WL}} < 0,6$	$\frac{x}{L_{WL}} \geq 0,6$
A	0,25 todas las embarcaciones casco y cubierta	0,4 todas las embarcaciones	Interpolación entre los valores $\frac{x}{L_{WL}} = 0,4$ y $0,6$	0,5 fondo de veleros y costado 0,5 fondo embarcaciones a motor 0,4 costado embarcaciones a motor
B	0,25 todas las embarcaciones casco y cubierta	0,4 todas las embarcaciones		0,4 todas las embarcaciones
C y D	0,25 todas las embarcaciones casco y cubierta	0,4 todas las embarcaciones		

^a El valor mínimo de k_{AR} se aplica a los requisitos de resistencia a la flexión o cizalla y con la flecha máxima.

Ilustración 40: Tabla de valores mínimo de K_{AR}. Fuente ISO 12215 – 5 (ISO12215-5, 2008)

Como nuestra embarcación es una embarcación de FRP de una sola capa cuya categoría de diseño es A, el valor mínimo de K_{AR} es de 0,25.

Factor de reducción de presión K_Z en el costado

Este factor interpola la presión del costado entre la presión del fondo en la flotación y la presión de cubierta en el borde superior (véase ilustración 13). Se calcula con la siguiente fórmula:

$$K_Z = \frac{Z - h}{Z}$$

Donde,

- Z es la altura de la parte superior del casco desde la línea de flotación.
- h, es la altura del centro del panel o del punto medio del refuerzo desde la línea de flotación.

Factor de reducción de presión para la superestructuras y casetas k_{SUP}

Este factor de reducción de presión va definido por la siguiente tabla:

Situación del panel	k_{SUP} para superestructuras y casetas	Aplicación
En el frente de proa	1	Todas las zonas
En el costado	0,67	Zonas de paso
En el costado	0,5	Zonas de no paso
En la cara posterior	0,5	Todas las zonas
Parte superior, ≤ 800 mm por encima de cubierta	0,5	Zonas de paso
Parte superior, > 800 mm por encima de cubierta y pisos superiores	0,35	Zonas de paso
Pisos superiores ^a	Presión mínima de cubierta 5 kN/m ³	Zonas de no paso
^a Los elementos no expuestos a la intemperie deben considerarse como pisos superiores.		

Ilustración 41: Tabla de valores de K_{SUP} para superestructuras y casetas. Fuente: ISO 12215 – 5 (ISO12215-5, 2008)

3.2.1.2 Presiones de diseño

La normativa no establece una única ecuación para el cálculo de las presiones de diseño, sino que establece una fórmula en función de la ubicación del panel y de la modalidad de desplazamiento. Adicionalmente, define un valor de presión mínimo que debe aplicarse en caso que la presión obtenida sea inferior a este valor. La unidad de cada uno de los valores es de kN/m². A continuación, definimos cada uno de ellos:

Presión en los paneles de fondo para embarcaciones a motor en modalidad desplazamiento P_{BMD}

Esta presión está definida por la siguiente ecuación:

$$P_{BMP} = P_{BMP\ Base} \times K_{AR} \times K_{DC} \times K_L$$

Ecuación 7: Presión de diseño de paneles de fondo para embarcaciones en modalidad desplazamiento. Fuente: ISO 12215-5 (ISO12215-5, 2008)

La presión mínima va definida por la siguiente ecuación:

$$P_{BMP\ min} = 0,45m_{LDC}^{0,33} + (0,9 \times L_{WL} \times K_{DC})$$

Ecuación 8: Presión mínima de diseño de paneles de fondo para embarcaciones en modalidad desplazamiento. Fuente: ISO 12215-5 (ISO12215-5, 2008)

Donde,

$$P_{BMP\ Base} = 2,4 m_{LDC}^{0,33} + 20$$

Ecuación 9: Presión base de los paneles de fondo de la embarcación en modalidad desplazamiento. Fuente: ISO 12215-5 (ISO12215-5, 2008)

Presión en los paneles de fondo para embarcaciones a motor en modalidad planeadora P_{BMP}

Esta presión se define por la ecuación 10:

$$P_{BMP} = P_{BMP\ Base} \times K_{AR} \times K_L$$

Ecuación 10: Presión de diseño de paneles de fondo para embarcaciones en modalidad planeadora. Fuente: ISO 12215-5 (ISO12215-5, 2008)

La presión mínima es la misma definida en la ecuación 8.

En el caso de la presión base, esta se define como:

$$P_{BMP\ Base} = \frac{0,1 m_{LDC}}{L_{WL} \times B_C} \times (1 + K_{DC}^{0,5} \times n_{CG})$$

Ecuación 11: Presión base de los paneles de fondo de la embarcación planeadora Fuente: ISO 12215-5 (ISO12215-5, 2008)

Presión en los paneles de costado para las embarcaciones a motor en modalidad desplazamiento

P_{SMD}

La presión en el costado para los paneles y refuerzos en modalidad desplazamiento es la siguiente:

$$P_{SMD} = [P_{DMBase} + K_Z \times (P_{BMPBase} - P_{DMBase})] \times K_{AR} \times K_{DC} \times K_L$$

Ecuación 12: Presión en paneles de costado para embarcación a motor en modalidad desplazamiento. Fuente: ISO 12215-5 (ISO12215-5, 2008)

Donde la presión mínima

$$P_{SM\ min} = 0,9 L_{WL} \times K_{DC}$$

Ecuación 13: Presión mínima en paneles de costado para embarcación a motor en modalidad desplazamiento. Fuente: ISO 12215-5 (ISO12215-5, 2008)

y:

$$P_{DM\ Base} = 0,35L_{WL} + 14,6$$

Ecuación 14: Presión base de paneles de costado de embarcaciones a motor. Fuente: ISO 12215 – 5 (ISO12215-5, 2008)

Presión en los paneles de costado para embarcaciones de motor en modalidad planeadora P_{SMP}

Esta presión se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$P_{SMP} = [P_{DMBase} + K_Z \times (0,25 \times P_{BMPBase} - P_{DMBase})] \times K_{AR} \times K_{DC} \times K_L$$

Ecuación 15: Presión en los paneles de costado de embarcaciones a motor en modalidad planeadora. Fuente: ISO 12215 – 5 (ISO12215-5, 2008)

Y la presión mínima es exactamente igual a la definida en la ecuación 13.

Presión de cubierta de embarcaciones a motor P_{DM}

La presión de cubiertas expuestas a la intemperie se calcula a partir de la siguiente fórmula:

$$P_{DM} = P_{DMBase} \times k_{AR} \times K_{DC} \times K_L$$

Ecuación 16: Presión de diseño de cubiertas expuestas a la intemperie. Fuente: ISO 12215 – 5 (ISO12215-5, 2008)

$$P_{DMMin} = 5 \text{ KN/m}^2$$

Ecuación 17: Presión mínima de cubiertas expuestas a la intemperie. Fuente: ISO 12215-5 (ISO12215-5, 2008)

Donde,

$$P_{DMBase} = 0,35 L_{WL} + 14,6$$

Ecuación 18: Presión base de cubiertas expuestas a intemperie. Fuente: ISO 12215 -5 (ISO12215-5, 2008)

Presión de superestructuras y casetas de embarcaciones a motor P_{SUPM}

La presión en las superestructuras se calcula con la siguiente ecuación:

$$P_{SUPM} = P_{DMBase} \times K_{DC} \times K_{AR} \times K_{SUP}$$

Ecuación 19: Presión superestructuras de las embarcaciones a motor. Fuente: ISO 12215-5 (ISO12215-5, 2008)

Donde la presión base es la misma calculada en la ecuación 18.

Presión de diseño de mamparos y paredes de tanques estructurales P_{TB}

La normativa hace diferenciación entre la presión de diseño de mamparos estancos y mamparos de tanques estructurales. En el caso de nuestra de embarcación, a pesar de que ningún mamparo cumple función de tanque estructural directamente, debido a que el tanque de aluminio estará hecho a medida para que se ubique entre los mamparos transversales 2 y 3, y los dos mamparos longitudinales, se ha decidido utilizar la fórmula de mamparo estructural debido a que es una aproximación más conservadora. La fórmula para calcular la presión de diseño es la siguiente:

$$P_{TB} = 10 h_B$$

Ecuación 20: Presión de diseño de mamparos y paredes de tanques estructurales. Fuente: ISO 12215-5 (ISO12215-5, 2008)

Donde h_B es la altura de carga del fluido, en metros, medida desde la parte superior del tanque hasta un punto situado a 2/3 de la altura total del panel.

Presión de diseño de mamparos de colisión

La presión de diseño del mamparo de colisión debe calcularse como la presión de diseño de mamparo de tanque estructural por lo que hemos utilizado la fórmula de la ecuación 20 para su cálculo.

En el anexo B se puede encontrar una tabla con las presiones de diseño de cada panel.

3.2.1.3 Cálculo de espesor mínimo

En el apartado 10 de la normativa podemos encontrar el procedimiento para el cálculo del escantillado. La normativa ofrece diferentes procedimientos en función del material de fabricación. Nosotros seguiremos el procedimiento para materiales de FRP de una sola capa. Adicionalmente, hay una serie de factores de ajuste de espesor que debemos de calcular antes de determinar el espesor mínimo. A continuación, presentaremos cada uno de ellos:

Factor de alargamiento del panel por resistencia a la flexión k_2

Este factor se determina a partir de la siguiente tabla. En la tabla también podemos encontrar el factor k_3 , pero en nuestro caso no es aplicable ya que solo aplica para paneles tipo sándwich.

Alargamiento del panel l/b	Factor k_2 k_2 debe tomarse = 0,5 para un costado de madera laminada	Factor k_3
> 2,0	0,500	0,028
2,0	0,497	0,028
1,9	0,493	0,027
1,8	0,487	0,027
1,7	0,479	0,026
1,6	0,468	0,025
1,5	0,454	0,024
1,4	0,436	0,023
1,3	0,412	0,021
1,2	0,383	0,019
1,1	0,349	0,016
1,0	0,308	0,014
	k_2 puede evaluarse mediante la fórmula siguiente manteniendo $0,308 < k_2 < 0,5$	k_3 puede evaluarse mediante la fórmula siguiente manteniendo $0,014 < k_3 < 0,028$
	$k_2 = \frac{0,271(l/b)^2 + 0,910(l/b) - 0,554}{(l/b)^2 - 0,313(l/b) + 1,351}$	$k_3 = \frac{0,027(l/b)^2 - 0,029(l/b) + 0,011}{(l/b)^2 - 1,463(l/b) + 1,108}$

Ilustración 42: Tabla para la determinación del factor k_2 . Fuente: ISO 12215-5 (ISO12215-5, 2008)

Factor de corrección de curva k_C

Este factor toma en cuenta el abombamiento o curvatura del panel y se obtiene a partir de la siguiente tabla.

c/b	k_C
0 a 0,03	1,0
0,03 a 0,18	$1,1 - \frac{3,33c}{b}$
> 0,18	0,5

Ilustración 43: Factor de curvatura k_C . Fuente: ISO 12215-5 (ISO12215-5, 2008)

Donde, c y b son las medidas según la siguiente figura.

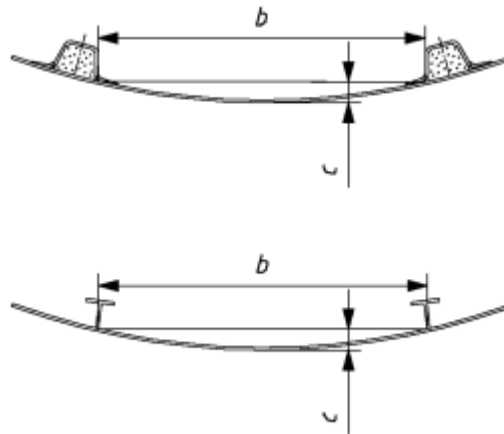


Ilustración 44: Variable c y b para factor de curvatura. Fuente: ISO 12215-5 (ISO12215-5, 2008)

Una vez definidos los factores de ajuste de presión procedemos al cálculo del espesor mínimo. El primer paso para la determinación del espesor mínimo es calcular la tensión de diseño. En el apartado 10.2.1 se especifica que la tensión de diseño σ_d para chapas de FRP de una sola capa será la mitad de la tensión de rotura σ_{uf} .

Material	Elemento estructural	Tensión de diseño σ_d N/mm ²
FRP de una sola capa	Todos los elementos	0,5 σ_{uf}

Ilustración 45: Tensión de diseño para materiales de FRP de una sola capa. Fuente: ISO 12215-5 (ISO12215-5, 2008)

El procedimiento de cálculo de esta tensión de rotura σ_{uf} se encuentra en el anexo C de la normativa (Propiedades y cálculos de los laminados de FRP) que describiremos a continuación.

El primer paso para la determinación de las propiedades mecánicas es seleccionar el método de determinación del nivel de evaluación de las propiedades mecánicas. La normativa propone tres metodologías donde dos de ellas evalúan directamente las propiedades a partir de ensayos y mediciones (EL-a y EL-b), y la tercera no hace mediciones explícitas, sino que se deduce de un grupo de tablas (EL-c). Estos valores propuestos por la tabla se multiplicarán por un factor de seguridad de 0,8.

Esta última metodología EL-c fue la seleccionada para calcular el contenido nominal de fibra ψ en masa y las propiedades mecánicas del laminado. El contenido nominal de fibra se calcula a partir de la siguiente tabla:

Tipo de capa de refuerzo	Laminado de fibra de vidrio. Contenido en masa de vidrio ψ		
	Moldeado abierto		Bolsa de vacío
	Superficie simple ^b	Superficie compleja ^b	
Mat proyectado (CSM)	0,30	0,25	(0,36)
Mat estratificado (WR) a la mano por contacto	0,30	0,25	(0,36)
Roving tejido (WR)	0,48	0,36	0,58
Combinación roving-mat ^a	0,46-0,18 R	0,35-0,11 R	0,56-0,22 R
Tejidos multidireccionales	0,50	0,38	0,60
Tejidos unidireccionales	0,55	0,41	0,66
Fibras diferentes de las de vidrio (corresponden a un contenido equivalente de vidrio en masa superior a 0,4, es decir, no son de CSM)			
Para las fibras de carbono El contenido de fibra en masa ψ que da el mismo contenido de fibra en volumen que los valores anteriores para el vidrio puede estimarse utilizando $\psi_{\text{carbono}} = 0,99 \psi_{\text{vidrio}}$ anterior - 0,08 (véase el ejemplo del capítulo C.3.3). Alternativamente se puede tomar el valor de Φ correspondiente a ψ_{vidrio} de la tabla C.4 b) y utilizar el mismo valor en la tabla C.5.			
Para las fibras de aramida El contenido de fibra en masa que da el mismo contenido de fibra en volumen que los valores anteriores para el vidrio puede estimarse utilizando $\psi_{\text{aramida}} = 0,95 \psi_{\text{vidrio}}$ anterior - 0,11.			
^a R = masa total del mat (kg/m ²) / masa total del vidrio en el laminado (mat y tejido roving) (kg/m ²).			
^b Una superficie "simple" es aquella en la que la impregnación y el secado de la resina son fáciles (por ejemplo las superficies grandes y accesibles como el casco, la cubierta y el fondo de la cabina de mando). Una superficie "compleja" es aquella en la que no son fáciles la impregnación y el secado de la resina (por ejemplo las brazolas altas, refuerzos profundos o moldeados en bandeja, etc.). La diferenciación entre unas y otras superficies corresponde al fabricante.			

Ilustración 46: Tabla contenido nominal de fibra en masa. Fuente: ISO 12215 -5 (ISO12215-5, 2008)

La embarcación proyectada se fabricará en una combinación MAT-Roving utilizado bolsa de vacío por lo que el contenido de masa nominal en fibra se calculará a partir de la siguiente ecuación:

$$\psi = 0,56 - 0,22R$$

Ecuación 21: Contenido nominal de fibra. Fuente: ISO 12215-5 (ISO12215-5, 2008)

Donde,

$$R = \frac{\text{masa total de mat}}{\text{masa total de vidrio en laminado (mat + roving)}}$$

Ecuación 22: Cálculo de R. Fuente: ISO 12215 - 5 (ISO12215-5, 2008)

Este valor de R no depende del panel o zona estudiada sino del material a utilizar en el laminado. En el caso nuestro, el laminado planteado se hará con capas de Mat 450 y un cuatriaxial HiMax FGE160 (HEXCEL, 2022) (0 45 90 -45). El valor de R para esta combinación es de 0,2195 y el contenido nominal de fibra en masa es de 0,5115.

Ya habiendo conocido el contenido nominal de fibra en masa, podemos calcular el valor de la resistencia de ruptura a la flexión. Este valor se obtiene a partir de la tabla de la ilustración 22 donde

se muestra la ecuación 23. Recordar que esta fórmula debemos multiplicarla por el factor de seguridad de 0,8.

$$\sigma_{uf} = 0,8 \times (502 \psi^2 + 107)$$

Ecuación 23: Tensión de rotura por flexión. Fuente: ISO 12215 – 5 (ISO12215-5, 2008)

Propiedad	Valores N/mm ²	
Mat laminado a mano (CSM), combinado roving/mat, tejido roving (WR) y refuerzos alternados (CP) – 0/90 ^a		
Resistencia de rotura por tracción, σ_{ut}	800 $\psi^2 - 80 \psi + 37$	
Resistencia de rotura por compresión, σ_{uc}	150 $\psi + 72$	
Resistencia de rotura por flexión, σ_{uf}	502 $\psi^2 + 107$	
Resistencia de rotura por cizalla en el plano (intralaminar), τ_u	80 $\psi + 38$	
Módulo elástico en el plano, E	38 000 $\psi - 5 000$	
Módulo de cizalla en el plano, G	1 700 $\psi + 2 240$	
Resistencia de cizalla interlaminar (fuera del plano), $\tau_{u \text{ Inter}}$	22,5 – 17,5 ψ	
Mat proyectado		
Resistencia de rotura por tracción, σ_{ut}	150 $\psi + 25$	
Resistencia de rotura por flexión, σ_{uf}	300 $\psi^2 + 107$	
Las otras propiedades para el mat proyectado deben obtenerse de las ecuaciones anteriores para el mat		
Reforzado uni-direccional (UD)		
Propiedad	Paralelo a las fibras	Perpendicular a las fibras
Resistencia de rotura por tracción, σ_{ut}	880 $\psi^2 + 140 \psi + 140$	42
Resistencia de rotura por compresión, σ_{uc}	250 $\psi + 190$	105
Módulo elástico en el plano, E	46 600 $\psi^2 + 7 200 \psi + 7 250$	48 600 $\psi^2 - 39 000 \psi + 12 500$
Módulo de cizalla en el plano, G	14 380 $\psi^2 - 10 560 \psi + 3 840$	
Resistencia de cizalla en el plano, τ_u	50	
Coefficiente de Poisson principal, ν_{12}	0,3	
^a Para una combinación de mat y roving, ψ puede ser el valor global. Véase el ejemplo del apartado C.3.2.		

Ilustración 47: Propiedades mecánicas del laminado de fibra de vidrio. Fuente: ISO 12215 -5 (ISO12215-5, 2008)

El valor obtenido de resistencia de rotura a flexión fue de 190,76 N/mm² y, consecuentemente, la tensión de diseño es de 95,18 N/mm².

Ya una vez definida la tensión de diseño, procedemos a calcular el espesor mínimo que se calcula según la ecuación 24 que se encuentra en el apartado 10.2.2 de la normativa.

$$t = b \times k_c \times \sqrt{\frac{P \times k_2}{1000 \times \sigma_d}}$$

Ecuación 24: Ecuación para el cálculo de espesor mínimo. Fuente: ISO 12215-5 (ISO12215-5, 2008)

Donde,

- b , es la dimensión pequeña del panel en milímetros
- k_c , es el factor de corrección de curvatura
- k_2 , es el factor de alargamiento del panel por resistencia a la flexión
- P , es la presión de diseño
- σ_d , es la tensión de diseño

Este valor de espesor mínimo se ha calculado en cada panel de la embarcación. Para la presión de diseño se ha utilizado la mayor entre la presión obtenida en modalidad desplazamiento y modalidad planeadora de cada panel. Adicionalmente, es importante destacar que para la presión de diseño de techo se han utilizado las fórmulas de cubierta en caso que por alguna razón se deba caminar sobre ella. Una vez calculado los espesores mínimos para cada panel de cada componente principal, entiéndase casco (fondo y costado), cubierta, estructura interna, superestructura y techo, se ha tomado el espesor mínimo más alto de cada uno. Tomando el valor más alto garantizaremos por defecto que el resto de la pieza también cumplirá con el espesor mínimo. Los valores obtenidos son los siguientes:

Componente principal	Espesor mínimo (mm)
Casco fondo	13,20
Casco costado	8,66
Cubierta	8,92
Estructura interna	7,02
Superestructura	6
Techo	6,30

Tabla 1: Espesores mínimos de laminación. Fuente: Elaboración propia

En el anexo B, se puede observar la discretización en paneles de cada componente principal y el espesor mínimo para cada uno.

3.2.2 Dimensionamiento de refuerzos

A pesar que la embarcación ya dispone de una estructura interna fabricada en una única pieza en molde que forma los refuerzos transversales y longitudinales principales, fue necesario reforzar ciertas áreas con refuerzos locales con el objetivo de subdividir el panel en paneles más pequeños. De esta forma no aumentaríamos considerablemente el espesor de laminación mínimo ya que afectaría el peso y coste de fabricación de la embarcación.

Los refuerzos se ubicaron entre los paneles 13 y 14 en el casco, entre los paneles 22 y 23, y, 29 y 30 en la cubierta, entre los paneles 41 y 42 de la superestructura y entre los paneles 43 y 44 del techo. En el anexo B se pueden observar los paneles mencionados.

3.2.2.1 Determinación de las propiedades mecánicas de los refuerzos

El primer paso es definir una serie de factores de ajuste. Estos factores se pueden encontrar en el apartado 11.2 de la normativa ISO 12215-5.

Factor de ajuste por curvatura de los refuerzos k_{CS}

Este factor es muy parecido al factor de corrección por curvatura de panel que vimos anteriormente. Este factor se calcula a partir de la siguiente tabla:

$\frac{c_u}{l_u}$	k_{CS}
0 a 0,03	1
0,03 a 0,18	1,1 – 3,33 (c_u/l_u)
> 0,18	0,5

Ilustración 48: Tabla para valores de K_{CS} . Fuente: ISO 12215-5. (ISO12215-5, 2008)

Donde C_u y l_u son las medidas que se ven en la siguiente ilustración:

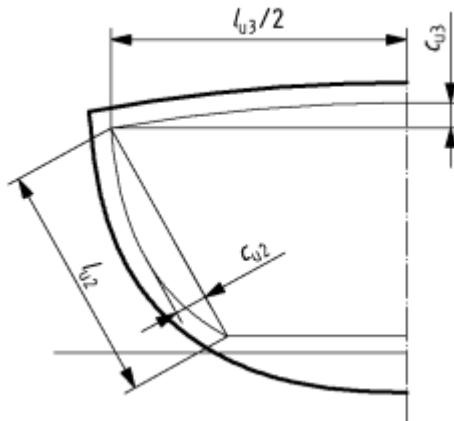


Ilustración 49: Medidas C_u y l_u Fuente: ISO 12215-5 (ISO12215-5, 2008)

Factor de superficie de cizalla de un refuerzo k_{SA}

Este factor se determina a partir de la tabla de a continuación.

Disposición del refuerzo	k_{SA}
Unido al costado	5
Otras disposiciones (flotante)	7,5

Ilustración 50: Tabla de factor de superficie de cizalla k_{SA} Fuente: ISO 12215-5 (ISO12215-5, 2008)

Una vez definidos los factores de ajustamiento, debemos definir las tensiones de diseño para los refuerzos. Estas tensiones vienen definidas por la siguiente tabla.

Material	Tensión de diseño en tracción y compresión σ_d N/mm ²	Tensión de diseño a la cizalla τ_d N/mm ²
Laminado FRP	0,5 σ_{ut} y 0,5 σ_{uc} ^a	0,5 τ_u
Aleaciones de aluminio	0,7 σ_{yw} ^b	0,4 σ_{yw} ^b
Acero	0,8 σ_y	0,45 σ_y
Cuadernas de madera laminada	0,45 σ_{uf} ^c	0,45 τ_u
Cuadernas de madera maciza	0,4 σ_{uf} ^c	0,4 τ_u
Cuadernas de contrachapado sobre los bordes	0,45 σ_{uf} ^c	0,45 τ_u
NOTA Estas tensiones de diseño se aplican también al costado asociado a los refuerzos, en función del material.		
^a Se utiliza σ_c cuando se considera que la tensión es por compresión (normalmente el ala superior del refuerzo) y σ cuando se considera que la tensión es por tracción (normalmente las chapas del costado), se tienen que hacer las dos verificaciones.		
^b Para los refuerzos soldados. Si los refuerzos de aluminio no están soldados, es decir están remachados, encolados, etc., se deben utilizar las propiedades de los no soldados.		
^c Deben tomarse en la tabla E.1 los valores de σ_{uf} para los refuerzos de madera laminada y los de σ_{uf} para la madera maciza. Para el contrachapado no se debe tomar σ_{uf} en la tabla E.2, sino en las tablas E.3 o E.6.		

Ilustración 51: Tabla para la determinación de la tensión de diseño en los refuerzos. Fuente: ISO 12215-5 (ISO12215-5, 2008)

Como nuestros refuerzos se harán en laminado de FRP, la tensión de diseño a tracción, compresión y a la cizalla se calcularán con las siguientes fórmulas. Hay que recordar que la resistencia a rotura a tracción, compresión y a rotura por cizalla la encontramos en la tabla de la ilustración 22.

$$\sigma_{DT} = 0.5 \times 0.8 \times (502 \psi^2 + 107)$$

Ecuación 25: Tensión de diseño a tracción de refuerzos. Fuente: ISO 12215-5 (ISO12215-5, 2008)

$$\sigma_{DC} = 0.5 \times 0.8 \times (150 \psi + 72)$$

Ecuación 26: Tensión de diseño a compresión de refuerzos. Fuente: ISO 12215-5 (ISO12215-5, 2008)

$$\tau_{DC} = 0.5 \times 0.8 \times (80 \psi + 38)$$

Ecuación 27: Tensión de diseño a cizalla de refuerzos. Fuente: ISO 12215-5 (ISO12215-5, 2008)

Como estos refuerzos se laminarán con la misma combinación MAT-cuatriaxial, el valor de contenido nominal de fibra es el mismo. Los resultados de las ecuaciones son 163,64 N/mm², 119 N/mm² y 63,15 N/mm² respectivamente. Para la tensión de diseño σ_D se ha tomado el mayor entre los dos valores.

El siguiente paso es el cálculo de los requisitos mínimos de ciertas propiedades de los refuerzos hechos con materiales similares. En el apartado 11.4 podemos encontrar cómo calcular estas propiedades.

El primero de estos requisitos es la superficie del alma A_W y el módulo de inercia mínimo SM de refuerzos. Estos se calculan a través de las siguientes fórmulas:

$$A_W = \frac{K_{SA} \times P \times s \times l_U}{\tau_D} 10^{-6} \text{ cm}^2$$

Ecuación 28: Superficie del alma A_W . Fuente: ISO 12215-5 (ISO12215-5, 2008)

Donde,

- K_{SA} es el factor de superficie de cizalla
- P es la presión de diseño
- S es la separación entre refuerzos en mm.
- l_U es la longitud del refuerzo en mm.
- τ_D es la tensión de cizalla de refuerzo en N/mm²

$$SM = \frac{83.33 \times k_{CS} \times P \times S \times l_U}{\sigma_D} 10^{-6} \text{ cm}^3$$

Ecuación 29: Módulo de inercia mínimo SM. Fuente: ISO 12215-5 (ISO12215-5, 2008)

Donde P , S y l_U son los mismos parámetros definidos en la ecuación anterior y:

- k_{CS} es el factor de ajustamiento por curvatura del refuerzo
- σ_D es la tensión de diseño a tracción o compresión de refuerzo en N/mm²

El otro requisito es el cálculo del segundo momento de área. La fórmula para calcularlo se puede encontrar en el apartado 11.4.2 y se calcula con la siguiente fórmula:

$$I = \frac{26 \times k_{CS}^{1.5} \times P \times s \times l_U^3}{k_{1S} \times E_{tc}} 10^{-11} \text{ cm}^4$$

Ecuación 30: Segundo momento de área mínimo. Fuente: ISO 12215-5 (ISO12215-5, 2008)

Donde muchos de los parámetros ya se han definido y los nuevos son:

- k_{1S} se refiere al factor de deflexión para los refuerzos y tiene un valor de 0.05

- E_{tc} es la media de los módulos de elasticidad en tracción y compresión del material. La fórmula para calcular el módulo de elasticidad se puede encontrar en la tabla de la ilustración 22.

$$E_{tc} = 0.8 \times (38000 \psi - 5000) \text{ N/mm}^2$$

Ecuación 31: Módulo de elasticidad. Fuente: ISO 12215-5 (ISO12215-5, 2008)

Los resultados de estos requerimientos mínimos se resumen en la siguiente tabla. Se ha calculado el refuerzo adyacente a cada panel y posteriormente, para seleccionarlo de la tabla como veremos en los próximos capítulos, seleccionaremos el refuerzo que cumpla con los requisitos mínimos de ambos paneles.

Panel	Superficie del alma (cm ²)	Módulo de inercia SM (cm ³)	Segundo momento de área I (cm ⁴)
13	5.05	39.23	20.94
14	7.47	59.22	32.24
22	4.13	69.02	79.22
23	2.10	8.24	2.22
29	1.42	15.67	11.84
30	2.27	39.57	47.45
41	0.78	3.83	1.34
42	1.73	13.87	7.76
43 L.	1.22	12.06	8.20
43 S.	1.22	7.84	3.46
44 L.	1.83	15.49	9.02
44 S.	1.83	20.52	15.85

Tabla 2: Requisitos mínimos de refuerzos. Fuente: Elaboración propia

3.2.3 Secuencia de laminado

3.2.3.1 Secuencia de laminado de componentes principales

Una vez definido los espesores y propiedades mínimas que deben cumplir los laminados de los diferentes componentes de la embarcación procedemos a definir la secuencia de laminado de cada uno de ellos.

Como se mencionó anteriormente, la secuencia de laminado se hará con una combinación de MAT y cuatriaxial. El MAT que se va a utilizar es un MAT 450 que significa que cada capa de MAT tiene 450 gr. de fibra por cada metro cuadrado. En el caso del cuatriaxial, se ha seleccionado un cuatriaxial de la marca HEXCEL. El modelo seleccionado es el HiMax FGE160 (HEXCEL, 2022). Este cuatriaxial consiste en 4 láminas de roving orientadas en la siguiente secuencia (0 -45 90 45). Cada capa tiene un peso por metro cuadrado de alrededor de 400 gr. para un total de 1613 gr/m².

El objetivo de seleccionar esta combinación de MAT y cuatriaxial es principalmente obtener un material lo más isotrópico posible, es decir, que las propiedades sean las más parecidas posible en todas las direcciones. Y nos preguntamos, ¿por qué queremos un material isotrópico? Queremos

diseñar un material isotrópico ya que resulta muy difícil modelar los esfuerzos que actúan sobre la estructura ya que varían en términos de ubicación, dirección e intensidad. La mejor aproximación para este caso es diseñar un material isotrópico y asumir el peor escenario.

Otro punto importante es la cantidad de resina que hay en el laminado. Recordemos que un laminado está compuesto por refuerzo y matriz, donde las fibras hacen de refuerzo y la resina de matriz. El porcentaje de resina en el laminado varía entre un 40% y un 60%, y este porcentaje depende de diversos factores como el método de fabricación, el tipo de fibra, etc.

La normativa ofrece un procedimiento para calcular el espesor de laminación de un laminado de una sola capa que es nuestro caso, sin embargo, nosotros utilizaremos el programa ComposeIT de Bureau Veritas para calcularlo. A continuación, describimos el procedimiento. Seguiremos el árbol de ComposeIT donde rellenaremos la información necesaria.

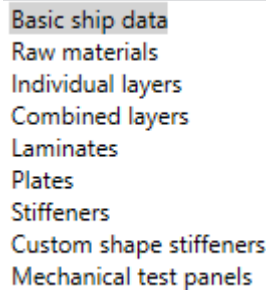


Ilustración 52: Árbol de ComposeIT. Fuente: ComposeIT.

En la primera pestaña que encontramos identificamos el proyecto y definimos la normativa a aplicar. En nuestro caso, está última no se usará ya que solo usaremos el programa para calcular los espesores de laminación y no hacer el estudio de resistencia estructural.

Ship

Register number: Creation date: 20/01/2022 Comments:

Ship name: 42 CC Expert name: Francisco Seijo

Shipyard: UPC

Main data

Rule length: 13.000 m

Applied rule: NR500 - Rules for the certification and classification of yachts

Applied version: June 2021 (NR546 September 2021)

Ilustración 53: Información básica de proyecto. Fuente: ComposeIT.

En la segunda pestaña se muestran las propiedades de ciertos componentes que aparecen por defecto en el programa. En la pestaña de resina disponemos de tres tipos de resina: poliéster, viniléster y epoxy. De la misma forma encontraremos para la fibra, materiales de núcleo y cedro rojo. Nosotros trabajaremos resina viniléster y fibra de vidrio tipo E.

Name	Density	E (MPa)	G (MPa)	η	σ_{br} (MPa)	τ_{br} (MPa)
Polyester	1.20	3550	1350	0.38	55	50
Vinylester	1.10	3350	1400	0.26	75	65
Epoxy	1.25	3100	1500	0.39	75	80

Ilustración 54: Ventana de tipos de resina. Fuente: ComposeIT.

Name	Density	Ef0 (MPa)	Ef90 (MPa)	G (MPa)	η
E Glass	2.57	73100	73100	30000	0.24
R Glass	2.52	86000	86000	34600	0.20
HS Carbon	1.79	238000	15000	50000	0.30
IM Carbon	1.75	350000	10000	35000	0.32
HM Carbon	1.88	410000	13800	27000	0.35
Para-Aramid	1.45	129000	5400	12000	0.38

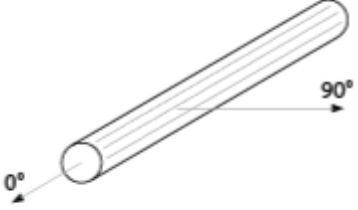


Ilustración 55: Ventana de tipos de fibra. Fuente: ComposeIT.

En la tercera pestaña definimos capas individuales. Los parámetros que definir son el tipo de resina a utilizar, el porcentaje de fibra y el peso de la tela por metro cuadrado. En nuestro caso definiremos la capa de MAT450 y dos unidireccionales a partir de los cuales se construirá el cuatriaxial. Para la capa de MAT definimos la resina viniléster, un 40% de porcentaje de fibra y un peso por metro cuadrado de 450gr/m². En el caso de los unidireccionales, definimos la resina viniléster, un porcentaje de fibra del 60% y un peso por metro cuadrado de 402 y 401 gr/m². Definiendo estos parámetros, el programa automáticamente define las propiedades mecánicas de cada capa.

Name	Fibre	Resin	% of fibre	given in	Mass/m ² of fibre (g/m ²)	Mass/m ² of resin (g/m ²)	Mass/m ² (g/m ²)	Thickness (mm)	Density	Elastic coefficients					Breaking stresses (MPa)								
										E1 (MPa)	E2 (MPa)	G12 (MPa)	G13 (MPa)	G23 (MPa)	v12	v21	$\sigma_1 T$	$\sigma_1 C$	$\sigma_2 T$	$\sigma_2 C$	τ_{12}	τ_{1L1}	τ_{1L2}
Mat450 @40%(M) E Glass	E Glass	Vinylester	40.00	Mass	450.00	675.00	1125.00	0.789	1.426	9587	9587	3687	1329	1329	0.300	0.300	133.74	133.74	133.74	133.74	66.37	25.72	25.72

Ilustración 56: Propiedades del MAT450. Fuente: ComposeIT.

Name	Fibre	Resin	% of fibre	given in	Mass/m ² of fibre (g/m ²)	Mass/m ² of resin (g/m ²)	Mass/m ² (g/m ²)	Thickness (mm)	Density	Elastic coefficients					Breaking stresses (MPa)								
										E1 (MPa)	E2 (MPa)	G12 (MPa)	G13 (MPa)	G23 (MPa)	v12	v21	σ1 T	σ1 C	σ2 T	σ2 C	τ12	τ11	τ12
UD402 @60%(M) E Glass V	E Glass	Vinylester	60.00	Mass	402.00	268.00	670.00	0.400	1.675	30622	5829	2654	2654	1858	0.226	0.043	744.11	496.08	27.80	81.31	42.99	41.80	42.99
UD401 @60%(M) E Glass V	E Glass	Vinylester	60.00	Mass	401.00	267.33	668.33	0.399	1.675	30622	5829	2654	2654	1858	0.226	0.043	744.11	496.08	27.80	81.31	42.99	41.80	42.99

Ilustración 57: Propiedades del unidireccional. Fuente: CompositeIT.

En la cuarta pestaña se definen las capas combinadas. En este caso definiremos el cuatriaxial que utilizaremos en el laminado. Crearemos la secuencia del cuatriaxial con los unidireccionales definidos en la pestaña anterior y posicionándolos en el ángulo que corresponde (0 -45 90 45). Una vez definidos, el programa nos entrega las propiedades de la capa combinada.

The screenshot shows the 'Combined layers' panel for 'HiMax™ FGE160'. The layer definition table is as follows:

#	Layer label	Angle (°)	Thickness (mm)
1	UD402 @60%(M) E Glass Vinylester	0.00	0.40
2	UD401 @60%(M) E Glass Vinylester	-45.00	0.40
3	UD402 @60%(M) E Glass Vinylester	90.00	0.40
4	UD401 @60%(M) E Glass Vinylester	45.00	0.40

Ilustración 58: Definición del cuatriaxial. Fuente: CompositeIT

The screenshot shows the 'Laminate results' panel with the following data:

Display:	Global results	
Thickness:	1.60 mm	Weight: 2.677 kg/m ²
Fiber weight:	1.606 kg/m ²	Resin weight: 1.071 kg/m ²
Ex:	10218 MPa	Vx: 0.515 mm
Ey:	12272 MPa	Vy: 0.907 mm
Gxy:	4587 MPa	[EI]x: 4.543E+3 N.mm ² /mm
vx:	0.276	[EI]y: 2.654E+3 N.mm ² /mm
vy:	0.276	Density: 1.675 g/cm ³

Buttons: Show rigidity matrixes...

Ilustración 59: Propiedades del cuatriaxial. Fuente: CompositeIT

Luego, en la última pestaña, definiremos los laminados de cada parte de la embarcación. Combinaremos capas de MAT450 y cuatriaxial HiMax™FGE160 hasta alcanzar o superar el espesor mínimo que exige la normativa. En esta pestaña debemos definir el proceso de fabricación a utilizar, en este caso, infusión. A continuación, mostraremos una captura de los resultados obtenidos para cada parte y una tabla resumen de la cantidad de capas MAT450/ HiMax™FGE160 para alcanzar el espesor mínimo.

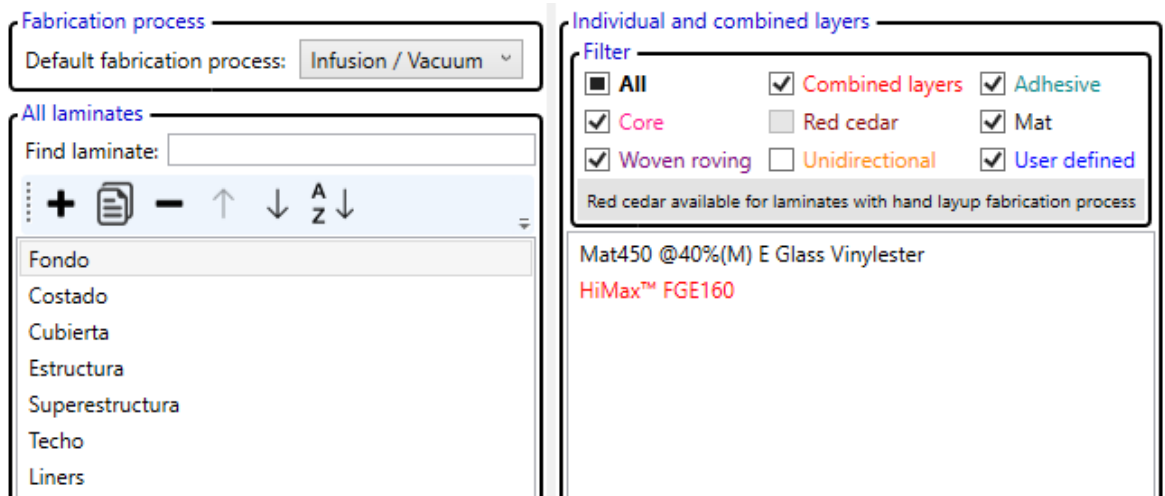


Ilustración 60: Definición de laminados. Fuente: ComposeIT

Laminate

Label: Fondo

Fabrication process: Infusion / Vacuum

[-] [↑] [↓] [↺] [↻] -45° 0° 45° 90°

#	Layer label	Angle (°)	Thickness (mm)
1	Mat450 @40%(M) E Glass Vinylester		0.79
2	UD402 @60%(M) E Glass Vinylester	0.00	0.40
3	UD401 @60%(M) E Glass Vinylester	-45.00	0.40
4	UD402 @60%(M) E Glass Vinylester	90.00	0.40
5	UD401 @60%(M) E Glass Vinylester	45.00	0.40
6	Mat450 @40%(M) E Glass Vinylester		0.79
7	UD402 @60%(M) E Glass Vinylester	0.00	0.40
8	UD401 @60%(M) E Glass Vinylester	-45.00	0.40
9	UD402 @60%(M) E Glass Vinylester	90.00	0.40
10	UD401 @60%(M) E Glass Vinylester	45.00	0.40
11	Mat450 @40%(M) E Glass Vinylester		0.79
12	UD402 @60%(M) E Glass Vinylester	0.00	0.40
13	UD401 @60%(M) E Glass Vinylester	-45.00	0.40
14	UD402 @60%(M) E Glass Vinylester	90.00	0.40
15	UD401 @60%(M) E Glass Vinylester	45.00	0.40
16	Mat450 @40%(M) E Glass Vinylester		0.79
17	UD402 @60%(M) E Glass Vinylester	0.00	0.40
18	UD401 @60%(M) E Glass Vinylester	-45.00	0.40
19	UD402 @60%(M) E Glass Vinylester	90.00	0.40
20	UD401 @60%(M) E Glass Vinylester	45.00	0.40
21	Mat450 @40%(M) E Glass Vinylester		0.79
22	UD402 @60%(M) E Glass Vinylester	0.00	0.40
23	UD401 @60%(M) E Glass Vinylester	-45.00	0.40

Laminate results

Display: Global results

Thickness: 14.32 mm Weight: 22.810 kg/m²

Fiber weight: 12.336 kg/m² Resin weight: 10.474 kg/m²

Ex: 12728 MPa Vx: 7.024 mm

Ey: 12708 MPa Vy: 7.309 mm

Gxy: 4948 MPa [EI]x: 3.095E+6 N.mm²/mm

vx: 0.282 [EI]y: 3.107E+6 N.mm²/mm

vy: 0.282 Density: 1.593 g/cm³

Show rigidity matrixes...

Ilustración 61: Laminado de fondo. Fuente: CompositeIT

Laminate

Label: Costado

Fabrication process: Infusion / Vacuum

[-] [↑] [↓] [↺] [↻] -45° 0° 45° 90°

#	Layer label	Angle (°)	Thickness (mm)
1	Mat450 @40%(M) E Glass Vinylester		0.79
2	UD402 @60%(M) E Glass Vinylester	0.00	0.40
3	UD401 @60%(M) E Glass Vinylester	-45.00	0.40
4	UD402 @60%(M) E Glass Vinylester	90.00	0.40
5	UD401 @60%(M) E Glass Vinylester	45.00	0.40
6	Mat450 @40%(M) E Glass Vinylester		0.79
7	UD402 @60%(M) E Glass Vinylester	0.00	0.40
8	UD401 @60%(M) E Glass Vinylester	-45.00	0.40
9	UD402 @60%(M) E Glass Vinylester	90.00	0.40
10	UD401 @60%(M) E Glass Vinylester	45.00	0.40
11	Mat450 @40%(M) E Glass Vinylester		0.79
12	UD402 @60%(M) E Glass Vinylester	0.00	0.40
13	UD401 @60%(M) E Glass Vinylester	-45.00	0.40
14	UD402 @60%(M) E Glass Vinylester	90.00	0.40
15	UD401 @60%(M) E Glass Vinylester	45.00	0.40
16	Mat450 @40%(M) E Glass Vinylester		0.79
17	UD402 @60%(M) E Glass Vinylester	0.00	0.40
18	UD401 @60%(M) E Glass Vinylester	-45.00	0.40
19	UD402 @60%(M) E Glass Vinylester	90.00	0.40
20	UD401 @60%(M) E Glass Vinylester	45.00	0.40

Laminate results

Display: Global results

Thickness: 9.55 mm Weight: 15.207 kg/m²

Fiber weight: 8.224 kg/m² Resin weight: 6.983 kg/m²

Ex: 12717 MPa Vx: 4.637 mm

Ey: 12672 MPa Vy: 4.922 mm

Gxy: 4931 MPa [E]x: 9.085E+5 N.mm²/mm

vx: 0.282 [E]y: 9.167E+5 N.mm²/mm

vy: 0.282 Density: 1.593 g/cm³

Show rigidity matrixes...

Ilustración 62: Laminado de costado. Fuente: ComposeIT

Laminate

Label:

Fabrication process:

[-] [↑] [↓] [↺] [↻] -45° 0° 45° 90°

#	Layer label	Angle (°)	Thickness (mm)
1	Mat450 @40%(M) E Glass Vinylester		0.79
2	UD402 @60%(M) E Glass Vinylester	0.00	0.40
3	UD401 @60%(M) E Glass Vinylester	-45.00	0.40
4	UD402 @60%(M) E Glass Vinylester	90.00	0.40
5	UD401 @60%(M) E Glass Vinylester	45.00	0.40
6	Mat450 @40%(M) E Glass Vinylester		0.79
7	UD402 @60%(M) E Glass Vinylester	0.00	0.40
8	UD401 @60%(M) E Glass Vinylester	-45.00	0.40
9	UD402 @60%(M) E Glass Vinylester	90.00	0.40
10	UD401 @60%(M) E Glass Vinylester	45.00	0.40
11	Mat450 @40%(M) E Glass Vinylester		0.79
12	UD402 @60%(M) E Glass Vinylester	0.00	0.40
13	UD401 @60%(M) E Glass Vinylester	-45.00	0.40
14	UD402 @60%(M) E Glass Vinylester	90.00	0.40
15	UD401 @60%(M) E Glass Vinylester	45.00	0.40
16	Mat450 @40%(M) E Glass Vinylester		0.79
17	UD402 @60%(M) E Glass Vinylester	0.00	0.40
18	UD401 @60%(M) E Glass Vinylester	-45.00	0.40
19	UD402 @60%(M) E Glass Vinylester	90.00	0.40
20	UD401 @60%(M) E Glass Vinylester	45.00	0.40

Laminate results

Display:

Thickness: mm Weight: kg/m²

Fiber weight: kg/m² Resin weight: kg/m²

Ex: MPa Vx: mm

Ey: MPa Vy: mm

Gxy: MPa [E]x: N.mm²/mm

vx: [E]y: N.mm²/mm

vy: Density: g/cm³

Ilustración 63: Laminado de cubierta. Fuente: ComposeIT

Laminate

Label: Estructura

Fabrication process: Infusion / Vacuum

[-] [↑] [↓] [↺] [↻] -45° 0° 45° 90°

#	Layer label	Angle (°)	Thickness (mm)
1	Mat450 @40%(M) E Glass Vinylester		0.79
2	UD402 @60%(M) E Glass Vinylester	0.00	0.40
3	UD401 @60%(M) E Glass Vinylester	-45.00	0.40
4	UD402 @60%(M) E Glass Vinylester	90.00	0.40
5	UD401 @60%(M) E Glass Vinylester	45.00	0.40
6	Mat450 @40%(M) E Glass Vinylester		0.79
7	UD402 @60%(M) E Glass Vinylester	0.00	0.40
8	UD401 @60%(M) E Glass Vinylester	-45.00	0.40
9	UD402 @60%(M) E Glass Vinylester	90.00	0.40
10	UD401 @60%(M) E Glass Vinylester	45.00	0.40
11	Mat450 @40%(M) E Glass Vinylester		0.79
12	UD402 @60%(M) E Glass Vinylester	0.00	0.40
13	UD401 @60%(M) E Glass Vinylester	-45.00	0.40
14	UD402 @60%(M) E Glass Vinylester	90.00	0.40
15	UD401 @60%(M) E Glass Vinylester	45.00	0.40

Laminate results

Display: Global results

Thickness: 7.16 mm Weight: 11.405 kg/m²

Fiber weight: 6.168 kg/m² Resin weight: 5.237 kg/m²

Ex: 12702 MPa Vx: 3.443 mm

Ey: 12623 MPa Vy: 3.729 mm

Gxy: 4908 MPa [E]x: 3.782E+5 N.mm²/mm

vx: 0.282 [E]y: 3.844E+5 N.mm²/mm

vy: 0.282 Density: 1.593 g/cm³

Show rigidity matrixes...

Ilustración 64: Laminado de estructura interna. Fuente: CompositT

Laminate

Label: Superestructura

Fabrication process: Infusion / Vacuum

[-] [↑] [↓] [↺] [↻] -45° 0° 45° 90°

#	Layer label	Angle (°)	Thickness (mm)
1	Mat450 @40%(M) E Glass Vinylester		0.79
2	UD402 @60%(M) E Glass Vinylester	0.00	0.40
3	UD401 @60%(M) E Glass Vinylester	-45.00	0.40
4	UD402 @60%(M) E Glass Vinylester	90.00	0.40
5	UD401 @60%(M) E Glass Vinylester	45.00	0.40
6	Mat450 @40%(M) E Glass Vinylester		0.79
7	UD402 @60%(M) E Glass Vinylester	0.00	0.40
8	UD401 @60%(M) E Glass Vinylester	-45.00	0.40
9	UD402 @60%(M) E Glass Vinylester	90.00	0.40
10	UD401 @60%(M) E Glass Vinylester	45.00	0.40
11	Mat450 @40%(M) E Glass Vinylester		0.79
12	UD402 @60%(M) E Glass Vinylester	0.00	0.40
13	UD401 @60%(M) E Glass Vinylester	-45.00	0.40
14	UD402 @60%(M) E Glass Vinylester	90.00	0.40
15	UD401 @60%(M) E Glass Vinylester	45.00	0.40

Laminate results

Display: Global results

Thickness: 7.16 mm Weight: 11.405 kg/m²

Fiber weight: 6.168 kg/m² Resin weight: 5.237 kg/m²

Ex: 12702 MPa Vx: 3.443 mm

Ey: 12623 MPa Vy: 3.729 mm

Gxy: 4908 MPa [E]x: 3.782E+5 N.mm²/mm

vx: 0.282 [E]y: 3.844E+5 N.mm²/mm

vy: 0.282 Density: 1.593 g/cm³

Show rigidity matrixes...

Ilustración 65: Laminado de superestructura. Fuente: CompositeIT

Laminate

Label:

Fabrication process:

[-] [↑] [↓] [↺] [↻] -45° 0° 45° 90°

#	Layer label	Angle (°)	Thickness (mm)
1	Mat450 @40%(M) E Glass Vinylester		0.79
2	UD402 @60%(M) E Glass Vinylester	0.00	0.40
3	UD401 @60%(M) E Glass Vinylester	-45.00	0.40
4	UD402 @60%(M) E Glass Vinylester	90.00	0.40
5	UD401 @60%(M) E Glass Vinylester	45.00	0.40
6	Mat450 @40%(M) E Glass Vinylester		0.79
7	UD402 @60%(M) E Glass Vinylester	0.00	0.40
8	UD401 @60%(M) E Glass Vinylester	-45.00	0.40
9	UD402 @60%(M) E Glass Vinylester	90.00	0.40
10	UD401 @60%(M) E Glass Vinylester	45.00	0.40
11	Mat450 @40%(M) E Glass Vinylester		0.79
12	UD402 @60%(M) E Glass Vinylester	0.00	0.40
13	UD401 @60%(M) E Glass Vinylester	-45.00	0.40
14	UD402 @60%(M) E Glass Vinylester	90.00	0.40
15	UD401 @60%(M) E Glass Vinylester	45.00	0.40

Laminate results

Display:

Thickness: mm Weight: kg/m²

Fiber weight: kg/m² Resin weight: kg/m²

Ex: MPa Vx: mm

Ey: MPa Vy: mm

Gxy: MPa [E]x: N.mm²/mm

vx: [E]y: N.mm²/mm

vy: Density: g/cm³

Ilustración 66: Laminado de techo. Fuente: CompositeT

Laminate

Label:

Fabrication process:

[-] [↑] [↓] [↺] [↻] -45° 0° 45° 90°

#	Layer label	Angle (°)	Thickness (mm)
1	Mat450 @40%(M) E Glass Vinylester		0.79
2	UD402 @60%(M) E Glass Vinylester	0.00	0.40
3	UD401 @60%(M) E Glass Vinylester	-45.00	0.40
4	UD402 @60%(M) E Glass Vinylester	90.00	0.40
5	UD401 @60%(M) E Glass Vinylester	45.00	0.40
6	Mat450 @40%(M) E Glass Vinylester		0.79
7	UD402 @60%(M) E Glass Vinylester	0.00	0.40
8	UD401 @60%(M) E Glass Vinylester	-45.00	0.40
9	UD402 @60%(M) E Glass Vinylester	90.00	0.40
10	UD401 @60%(M) E Glass Vinylester	45.00	0.40

Laminate results

Display:

Thickness: mm Weight: kg/m²

Fiber weight: kg/m² Resin weight: kg/m²

Ex: MPa Vx: mm

Ey: MPa Vy: mm

Gxy: MPa [E]x: N.mm²/mm

vx: [E]y: N.mm²/mm

vy: Density: g/cm³

Ilustración 67: Laminado de liners. Fuente: ComposeIT

Parte	# de capas MAT/ HiMax™FGE160	Espesor final (mm)
Fondo	6	14,32
Costado	4	9,55
Cubierta	4	9,55
Estructura	3	7,16
Superestructura	3	7,16
Techo	3	7,16
Liners (piezas varias)	2	4,77

Tabla 3: Espesores finales de laminado. Fuente: Elaboración propia

Es importante destacar que estos son los espesores del laminado estructural. Sin embargo, en proceso de fabricación hay que agregar las capas de gelcoat y dos capas de velo (MAT con un peso de 40gr/m²) que tiene permite que la pieza tenga un acabado uniforme.

3.2.3.2 Dimensionamiento de refuerzo

Recordamos que en el apartado 3.2.2 calculamos los requerimientos mínimos de los refuerzos y ahora debemos seleccionar el perfil apropiado que cumpla con todos ellos. Según la normativa, la selección de estos refuerzos se hace a partir de unas tablas que podemos encontrar en el anexo G de la normativa donde encontramos diferentes tipos de refuerzos. En nuestro caso hemos seleccionado los refuerzos laminados a base de fibra de vidrio por la misma naturaleza del proyecto.

Tenemos tres opciones de refuerzos: los sombreros de copa achatados, los sombreros de copa cuadrada y los sombreros de copa altos. En este proyecto hemos seleccionado los sombreros de copa cuadrados.

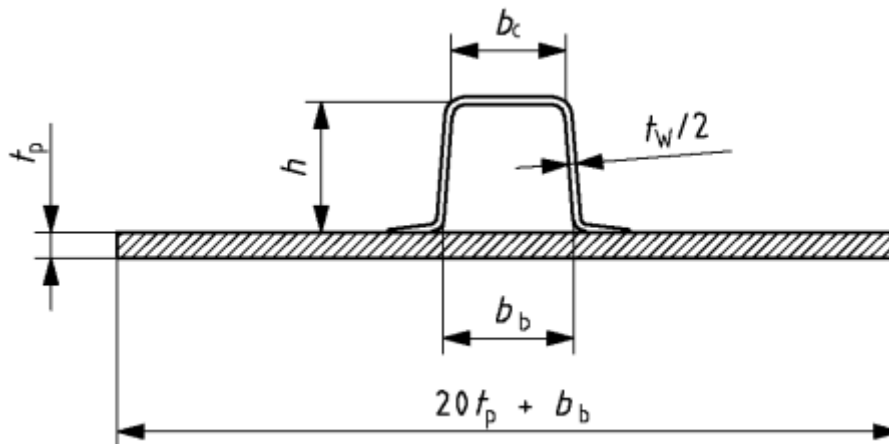


Ilustración 68: Refuerzo de sombrero de copa cuadrado. Fuente: ISO 12215-5 (ISO12215-5, 2008)

Para seleccionar el refuerzo apropiado, simplemente seleccionamos de la tabla aquel que cumpla simultáneamente con los tres requisitos mínimo de superficie de alma, segundo momento de área y módulo de inercia.

Dimensiones de las formas			Espesor del costado t_p mm	Chapa asociada $20 t_p + b_b$ mm	Peso del vidrio de refuerzo w_r kg/m ²	Propiedades geométricas		
h mm	b_b mm	b_c mm				SM_{min} cm ³	A_w cm ²	I_{NA} cm ⁴
25	25	20	5	125	0,600	1,5	0,7	4
			10	225	0,600	2,2	0,7	7
			15	325	0,600	4,6	0,7	15
40	40	35	5	140	0,600	3,6	1,1	14
			10	240	0,600	4,4	1,1	20
			15	340	0,600	6,3	1,1	30
50	50	45	5	150	0,900	8,2	2,1	36
			10	250	0,900	9,5	2,1	50
			15	350	0,900	11,5	2,1	66
60	60	50	5	160	1,200	14,5	3,4	72
			10	260	1,200	16,6	3,4	101
			15	360	1,200	18,9	3,4	126
75	75	65	5	175	1,200	22,8	4,2	135
			10	275	1,200	25,6	4,2	187
			15	375	1,200	28,2	4,2	225
100	100	85	5	200	1,800	56,2	8,4	391
			10	300	1,800	63,7	8,4	567
			15	400	1,800	68,6	8,4	683
125	125	105	5	225	2,100	98,3	12,3	798
			10	325	2,100	111,7	12,3	1 169
			15	425	2,100	119,6	12,3	1 414
150	150	125	5	250	2,700	172,5	18,9	1 557
			10	350	2,700	198,0	18,9	2 309
			15	450	2,700	212,6	18,9	2 845

Ilustración 69: Tabla de selección de refuerzo de sobrero de copa. Fuente ISO 12215-5 (ISO12215-5, 2008)

Recordemos la tabla 2, a continuación, y agregaremos la columna del refuerzo con sus dimensiones $h \times b_b \times b_c \times t_w$

Panel	Superficie del alma mínima (cm ²)	Módulo de inercia SM mínima (cm ³)	Segundo momento de área I mínima (cm ⁴)	Refuerzo de copa cuadrado $h \times b_b \times b_c \times t_w$
13	5,05	39,23	20,94	100 x 100 x 85 x 5
14	7,47	59,22	32,24	100 x 100 x 85 x 10
22	4,13	69,02	79,22	125 x 125 x 105 x 5
23	2,10	8,24	2,22	50 x 50 x 45 x 10
29	1,42	15,67	11,84	60 x 60 x 50 x 10
30	2,27	39,57	47,45	100 x 100 x 85 x 5
41	0,78	3,83	1,34	40 x 40 x 35 x 10
42	1,73	13,87	7,76	60 x 60 x 50 x 5

43 L.	1,22	12,06	8,20	60 x 60 x 50 x 5
43 S.	1,22	7,84	3,46	50 x 50 x 45 x 5
44 L.	1,83	15,49	9,02	60 x 60 x 50 x 10
44 S.	1,83	20,52	15,85	75 x 75 x 65 x 5

Tabla 4: Selección de espesores. Fuente: Elaboración propia.

Como se mencionó anteriormente, el refuerzo que comparten dos paneles se ha calculado con cada una de las presiones y se ha dimensionado en función. Se seleccionará el que cumpla ambos requerimientos simultáneamente.

En cuanto a la secuencia de laminado de los refuerzos, vemos que tenemos refuerzos de 5 y 10 mm de espesor.

Para los refuerzos de 5 mm tendremos una secuencia de Mat450 – Cuatriaxial – Mat450 – Cuatriaxial – Mat 450 para un espesor total de 5,56 mm mientras que para los refuerzos de 10 mm tendremos una secuencia de Mat450 – Cuatriaxial – Mat450 – Cuatriaxial – Mat450 – Cuatriaxial – Mat 450 – Cuatriaxial – Mat 450 para un espesor total de 10,34 mm

Laminate

Label: Refuerzo de 5mm

Fabrication process: Infusion / Vacuum

[-] [↑] [↓] [↺] [↻] -45° 0° 45° 90°

#	Layer label	Angle (°)	Thickness (mm)
1	Mat450 @40%(M) E Glass Vinylester		0.79
2	UD402 @60%(M) E Glass Vinylester	0.00	0.40
3	UD401 @60%(M) E Glass Vinylester	-45.00	0.40
4	UD402 @60%(M) E Glass Vinylester	90.00	0.40
5	UD401 @60%(M) E Glass Vinylester	45.00	0.40
6	Mat450 @40%(M) E Glass Vinylester		0.79
7	UD402 @60%(M) E Glass Vinylester	0.00	0.40
8	UD401 @60%(M) E Glass Vinylester	-45.00	0.40
9	UD402 @60%(M) E Glass Vinylester	90.00	0.40
10	UD401 @60%(M) E Glass Vinylester	45.00	0.40
11	Mat450 @40%(M) E Glass Vinylester		0.79

Laminate results

Display: Global results

Thickness: 5.56 mm Weight: 8.728 kg/m²

Fiber weight: 4.562 kg/m² Resin weight: 4.166 kg/m²

Ex: 12146 MPa Vx: 2.599 mm

Ey: 12225 MPa Vy: 2.850 mm

Gxy: 4747 MPa [E]x: 1.631E+5 N.mm²/mm

vx: 0.284 [E]y: 1.583E+5 N.mm²/mm

vy: 0.284 Density: 1.569 g/cm³

Show rigidity matrixes...

Ilustración 70: Secuencia de laminación refuerzo de 5mm. Fuente: CompositeT

Laminate

Label:

Fabrication process:

#	Layer label	Angle (°)	Thickness (mm)
1	Mat450 @40%(M) E Glass Vinylester		0.79
2	UD402 @60%(M) E Glass Vinylester	0.00	0.40
3	UD401 @60%(M) E Glass Vinylester	-45.00	0.40
4	UD402 @60%(M) E Glass Vinylester	90.00	0.40
5	UD401 @60%(M) E Glass Vinylester	45.00	0.40
6	Mat450 @40%(M) E Glass Vinylester		0.79
7	UD402 @60%(M) E Glass Vinylester	0.00	0.40
8	UD401 @60%(M) E Glass Vinylester	-45.00	0.40
9	UD402 @60%(M) E Glass Vinylester	90.00	0.40
10	UD401 @60%(M) E Glass Vinylester	45.00	0.40
11	Mat450 @40%(M) E Glass Vinylester		0.79
12	UD402 @60%(M) E Glass Vinylester	0.00	0.40
13	UD401 @60%(M) E Glass Vinylester	-45.00	0.40
14	UD402 @60%(M) E Glass Vinylester	90.00	0.40

Laminate results

Display:

Thickness: mm Weight: kg/m²

Fiber weight: kg/m² Resin weight: kg/m²

Ex: MPa Vx: mm

Ey: MPa Vy: mm

Gxy: MPa [E]x: N.mm²/mm

vx: [E]y: N.mm²/mm

vy: Density: g/cm³

Ilustración 71: Secuencia de laminación refuerzo de 10 mm. Fuente: CompositT

3.2.4 Verificación adicional de cargas en espejo de popa

Un análisis que es importante mencionar es la verificación del espejo de popa por las cargas inducidas por los motores fuera de borda. La norma ISO12215-5 en su versión 2020, en el anexo K, propone una metodología para la estimación de las fuerzas horizontales, verticales y momentos generado por los motores instalados en el espejo de popa. Adicionalmente, sugiere tres casos de carga bajo los cuales debe realizarse el análisis. En la figura de a continuación podemos observar la tabla de la normativa donde se definen las cargas y los casos de carga.

Tabla K.1 - Fuerzas y momentos de diseño para espejos de motores fuera-borda

Fórmula	Descripción		
$F_x = C_{OB} \times 0,42 P^{0,7}$	Fuerza hacia delante paralela a la quilla, un motor (kN)		
$F_z = C_{OB} \times 0,10 m_m$	Fuerza vertical perpendicular a la quilla, un motor (kN)		
$M_y = C_{OB} \times 0,36 P^{0,7}$	Momento en el eje de rotación debido a la masa y las fuerzas de propulsión, un motor (kN)		
Variables			
$C_{OB} = 15,6 \times (50 - \beta) \times \frac{\sqrt{P_{TOT} \times B_C^2}}{m_{ST} \cdot 1,333}$	El factor de potencia se basa en la relación potencia/peso y en la aceleración vertical		
m_m	masa de un motor fuera borda, según la Norma ISO 12217-1 (kg);		
m_{ST}	masa de la embarcación en condiciones de pruebas de mar (g) = $m_{LC} + 150$ kg (m_{LC} (kg) es la masa de la embarcación en rosca, como se define en la Norma ISO 12217);		
P	potencia de un motor (kW);		
P_{TOT}	potencia total del motor (kW);		
B_C	manga en el pantoque en la zona del espejo, según la Norma ISO 8666 (m);		
β	astilla muerta en la zona del espejo, según la Norma ISO 8666 (grados).		
Cargas y momentos, sistema de coordenadas descritos en la figura K.1			
Casos de cargas	F_x	F_z	M_y
I Simula la situación donde la embarcación en el aire cae sobre la cresta de la ola siguiente, y la gravedad del motor fuera borda induce una fuerza hacia atrás sobre el espejo.	NR	F_z	$0,7 M_y$
II Simula la situación donde la embarcación en el aire cae sobre el valle de la ola siguiente, y la embarcación se ralentiza al tiempo que la propulsión actúa simultáneamente hacia delante.	$0,5 F_x$	F_z	M_y
III Simula la situación tras el impacto de una ola, cuando la propulsión actúa a plena fuerza.	F_x	NR	$0,5 M_y$
Para una embarcación provista de asientos para mitigar los golpes, las fuerzas F_x , F_z y el momento M_y deben multiplicarse por un factor 1,2.			
NOTA Los datos anteriores se han obtenido de una campaña de ensayos realizada por VTT (Finlandia), véase la referencia [15] en la bibliografía.			

Ilustración 72: Tabla de fuerzas y momentos de diseño para espejos de popa. Fuente: ISO12215-5

A continuación, una tabla donde se muestran los resultados de fuerzas y momentos:

Fuerza paralela a la quilla	F_x (KN)	22
Fuerza perpendicular a la quilla	F_y (KN)	57
Momento en el eje de rotación	M_y (KN*m)	18

Tabla 5: Fuerzas y momentos de diseño en espejo de popa. Fuente: Elaboración propia.

Lo recomendable para este análisis es realizar un modelo de elementos finitos, que actualmente no forma parte del alcance de este proyecto, donde se defina el esquema de laminación obtenido de los cálculos anteriores, las condiciones de contorno y las fuerzas y momentos para cada uno de los tres casos de carga que establece la normativa. De esta manera podemos verificar que el espejo de popa es capaz de soportar las cargas generadas por los motores fuera de borda.

CAPÍTULO 4: PESOS Y CENTRO DE GRAVEDAD

Antes de proceder con el estudio de estabilidad según la normativa ISO 12217, necesitaremos conocer el centro de gravedad de la embarcación en cada una de las condiciones de carga para las cuales se evaluarán cada uno de los criterios de estabilidad. Primero calcularemos el peso en rosca de la embarcación y su correspondiente centro de gravedad, y luego calcularemos el centro de gravedad de cada una de las condiciones con la ayuda del programa Maxsurf Stability.

4.1 Peso en rosca

EL peso en rosca, según la ISO 12217, se define como la embarcación en la condición de vacía definida en el apartado 3.4.1, más el equipo estándar definido en el apartado 3.5.12. A continuación, observaremos una tabla con cada uno de los componentes:

	Area (m2)	Peso/m2	M (kg)	X (m)	Y (m)	Z (m)	MX (kg*m)	MY (kg*m)	MZ (kg*m)
Casco									
Laminado de fondo	29.73	22.81	678.18	-	4.32	0.40	-	2,929.76	271.27
Laminados de costado	23.88	15.21	363.19	-	6.42	1.24	-	2,331.69	450.36
Estructura interna	41.43	11.41	472.72	-	4.00	0.80	-	1,890.86	378.17
Tanque									
Tanque de combustible	14.69	2.70	39.66	-	4.10	0.66	-	162.61	26.22
Tanque de agua dulce	2.60	2.70	7.01	-	0.96	0.82	-	6.71	5.71
Tanque diesel	0.92	2.70	2.47	0.58	1.69	0.47	1.44	4.18	1.17
Tanque de desechos	0.90	2.70	2.42	0.58	5.62	0.48	1.41	13.61	1.16
Cubierta									
Piso	24.28	15.21	369.30		4.35	1.28	-	1,606.46	472.71
Borda	32.88	15.21	500.07		5.65	1.81	-	2,825.37	905.12
Asiento de proa	7.31	7.06	51.63		9.26	1.90	-	478.09	98.10
Asiento de popa	7.91	7.06	55.85		0.98	1.54	-	54.96	86.02
Tapicería de proa	1.01	3.00	3.04		9.73	1.90	-	29.63	5.79
Tapicería de popa	0.84	3.00	2.51		1.26	1.51	-	3.17	3.80
Mesa de proa	0.47	7.06	3.35		9.38	1.46	-	31.40	4.89
Superestructura									
Liner de instrumentación	1.87	7.06	13.18		4.77	2.00	-	62.89	26.37
Consola central	14.95	11.41	170.61		6.24	2.02	-	1,064.59	344.63
Tapicería tomasol	2.59	3.00	7.78		6.90	2.27	-	53.71	17.69
Tapicería asiento	0.38	3.00	1.13		8.13	1.82	-	9.21	2.06
Techo									
Pieza de fibra de vidrio	18.01	11.41	205.46		4.11	3.42	-	844.45	702.68
Parabrisa	2.44	6.00	14.67		5.75	2.96	-	84.34	43.42
Estructura Techo	3.23	2.70	8.73		3.83	2.69	-	33.45	23.49
Primera fila de asientos									
Pieza de fibra de vidrio	2.89		-		3.92	1.71	-	-	-
Butacas			36.00		3.93	2.19	-	141.48	78.84
Segunda fila de asientos									

Pieza de fibra de vidrio	6.91	7.06	48.79		2.81	1.76	-	137.10	85.87
Butacas			36.00		2.93	2.39	-	105.48	86.04
Nevera			40.00		2.81	1.76	-	112.40	70.40
Camarote									
Liner interno	8.71	7.06	61.52	-	8.15	0.91	-	501.36	55.98
Muebles de madera	4.16	12.00	49.95	- 0.30	6.34	1.00	- 14.99	316.71	49.95
Piso	4.34	15.21	65.98		6.69	0.40	-	441.41	26.39
Tapicería	2.30	3.00	6.90		8.59	0.76	-	59.28	5.24
Microondas			3.00	0.50	6.67	1.13	1.50	20.01	3.39
Nevera			20.00	0.50	6.67	1.13	10.00	133.40	22.60
Liner de baño	3.44	7.06	24.31	0.09	5.95	1.35	2.24	144.67	32.82
Mueble de baño	2.08	12.00	24.98	0.09	5.95	1.35	2.30	148.61	33.72
Inodoro			28.00	0.49	5.50	0.62	13.66	154.00	17.42
Generador			160.00	- 0.26	1.69	0.57	- 41.28	270.40	90.88
Seakeeper			395.00		2.57	0.59	-	1,015.15	232.26
Motor estribor			432.00	0.72	- 0.63	0.85	311.04	- 272.16	367.63
Motor de Babor			432.00	- 0.72	- 0.63	0.85	-311.04	- 272.16	367.63
Motor central			432.00	-	- 0.63	0.85	-	- 272.16	367.63
Winch			20.00	-	10.59	1.09	-	211.80	21.80
Ancla + cadena			20.00	-	10.59	1.09	-	211.80	21.80
Baterías			112.00		3.92	1.71	-	439.04	191.52
							3.93	18,268.77	6,100.65
			5,421				0.00	3.37	1.13

Tabla 6: Pesos y centro de gravedad: Fuente: Elaboración propia.

En la tabla podemos observar el peso de cada uno de los elementos y su posición desde el punto más bajo de la perpendicular de popa.

Para conocer el peso de los elementos laminados hemos utilizado el peso por m² obtenido del programa ComposeIT y lo hemos multiplicado por la superficie total obtenida directamente del Rhinoceros. El peso de los otros componentes de ha estimado en función de experiencia y consultando directamente catálogos de fabricantes.

Una vez conocida la posición y el peso, utilizamos las siguientes fórmulas para estimar la posición del centro de gravedad.

$$X = \frac{\text{Peso} \times \text{Posición respecto espejo de popa}}{\text{Peso Rosca}} \quad (m)$$

$$Y = \frac{\text{Peso} \times \text{Posición respecto a la línea de crujía}}{\text{Peso Rosca}} \quad (m)$$

$$Z = \frac{\text{Peso} \times \text{Posición respecto a la quilla}}{\text{Peso Rosca}} \quad (m)$$

Ecuación 32: Ecuaciones de posición de centro de gravedad.

La posición del centro de gravedad para esta condición es:

X (transversal) = 0 metros

Y (longitudinal) = 3.37 metros

Z (vertical) = 1.13 metros

4.2 Peso muerto

En la condición de peso muerto se tiene en cuenta el peso en rosca más el peso asociado a líquidos como combustible, agua dulce y agua de desechos, el peso de la tripulación y el peso de las provisiones. A diferencia del peso en rosca, el peso muerto no es fijo y varía en función del nivel de llenado de los tanques, la cantidad de tripulantes, cantidad de provisiones, etc. La normativa define la condición de carga bajo la cual debe realizarse cada ensayo y, a continuación, definiremos cada una de las condiciones y los resultados de las hidrostáticas en cada condición.

4.2.1 Condición mínima operativa

En esta condición la embarcación está equipada en la condición en rosca con la tripulación mínima, que según la normativa son dos personas (150Kg), más las provisiones no comestibles y el equipo no incluido como equipo estándar. En cuanto a los tanques, en esta condición no se incluye los líquidos contenidos en los tanques principales de combustible, agua dulce y agua grises. A continuación, mostramos la definición de la condición mínima operativa y los resultados de las hidrostáticas.

	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
1	Rosca	1	5.450	5.450			3.370	0.000	1.130	0.000	User Spec
2	Tripulación	2	0.075	0.150			3.930	0.000	2.190	0.000	User Spec
3	Combustible	0%	1.560	0.000	2.081	0.000	4.131	0.000	0.227	0.000	Maximum
4	Diesel gen.	0%	0.042	0.000	0.050	0.000	1.697	0.542	0.324	0.000	Maximum
5	Agua dulce	0%	0.096	0.000	0.096	0.000	0.956	1.155	0.568	0.000	Maximum
6	Agua dulce	0%	0.096	0.000	0.096	0.000	0.956	-1.155	0.568	0.000	Maximum
7	Desechos	0%	0.046	0.000	0.051	0.000	5.605	0.574	0.317	0.000	Maximum
8	Total Loadc			5.600	2.374	0.000	3.385	0.000	1.158	0.000	
9	FS correctio								0.000		
10	VCG fluid								1.158		

Ilustración 73: Condición mínima operativa. Fuente: Maxsurf Stability

Condición mínima operativa - Intact		
1	Draft Amidships m	0.501
2	Displacement t	5.600
3	Heel deg	0.0
4	Draft at FP m	0.260
5	Draft at AP m	0.742
6	Draft at LCF m	0.596
7	Trim (+ve by stern)	0.482
8	WL Length m	9.302
9	Beam max extents	2.919
10	Wetted Area m ²	22.499
11	Waterpl. Area m ²	20.247
12	Prismatic coeff. (Cp)	0.582
13	Block coeff. (Cb)	0.346
14	Max Sect. area coef	0.617
15	Waterpl. area coeff.	0.746
16	LCB from zero pt. (3.355
17	LCF from zero pt. (+	3.639
18	KB m	0.431
19	KG fluid m	1.158
20	BMt m	2.048
21	BML m	19.586
22	GMt corrected m	1.319
23	GML m	18.858
24	KMt m	2.476
25	KML m	20.001
26	Immersion (TPc) ton	0.208
27	MTc tonne.m	0.088
28	RM at 1deg = GMT.	0.129
29	Max deck inclinatio	2.2993
30	Trim angle (+ve by s	2.2993

Ilustración 74: Hidrostáticas para condición mínima operativa. Fuente: Maxsurf Stability.

4.2.2 Condición de carga máxima

Esta condición está definida en el apartado 3.4.4 de la normativa. Entre los puntos a destacar de esta condición es que todos los tanques se encuentran a una capacidad del 95% de su capacidad máxima y que van todos los tripulantes que pueden recibir según diseño a un peso medio de 75Kg. Esta embarcación ha sido diseñada para recibir un máximo de 10 tripulantes por lo que los hemos incluido en la condición de carga y, adicionalmente, hemos definido una carga correspondiente de víveres de 150kg. A continuación, podemos encontrar la condición de carga y los resultados de las hidrostáticas.

	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
1	Rosca	1	5.450	5.450			3.370	0.000	1.130	0.000	User Spec
2	Pasajeros	10	0.075	0.750			3.930	0.000	2.190	0.000	User Spec
3	Viveres	1	0.150	0.150			3.370	0.000	1.130	0.000	User Spec
4	Combustible	95%	1.560	1.482	2.081	1.977	4.085	0.002	0.588	0.442	Maximum
5	Diesel gen.	95%	0.042	0.040	0.050	0.047	1.684	0.580	0.469	0.001	Maximum
6	Agua dulce	95%	0.096	0.092	0.096	0.092	0.956	1.155	0.796	0.004	Maximum
7	Agua dulce	95%	0.096	0.092	0.096	0.092	0.956	-1.155	0.796	0.004	Maximum
8	Desechos	95%	0.046	0.044	0.051	0.048	5.610	0.581	0.471	0.001	Maximum
9	Total Loadc			8.100	2.374	2.256	3.502	0.006	1.115	0.451	
10	FS correctio								0.056		
11	VCG fluid								1.170		

Ilustración 75: Condición de carga máxima. Fuente: Maxsurf Stability.

Condición de carga máxima - Intact		
1	Draft Amidships m	0.614
2	Displacement t	8.100
3	Heel deg	0.3
4	Draft at FP m	0.371
5	Draft at AP m	0.856
6	Draft at LCF m	0.700
7	Trim (+ve by stern)	0.485
8	WL Length m	9.652
9	Beam max extents	2.959
10	Wetted Area m ²	26.040
11	Waterpl. Area m ²	22.508
12	Prismatic coeff. (Cp)	0.608
13	Block coeff. (Cb)	0.397
14	Max Sect. area coef	0.673
15	Waterpl. area coeff.	0.788
16	LCB from zero pt. (3.478
17	LCF from zero pt. (+	3.871
18	KB m	0.498
19	KG fluid m	1.170
20	BMt m	1.719
21	BML m	16.463
22	GMt corrected m	1.047
23	GML m	15.790
24	KMt m	2.216
25	KML m	16.947
26	Immersion (TPc) ton	0.231
27	MTc tonne.m	0.107
28	RM at 1deg = GMT.	0.148
29	Max deck inclinatio	2.3365
30	Trim angle (+ve by s	2.3165

Ilustración 76: Hidrostáticas de condición de carga máxima. Fuente: Maxsurf Stability.

4.2.3 Condición de llegada en carga

Esta condición se define como la condición de carga máxima menos el 85% de la capacidad de los tanques de combustible, aceites y agua dulce, es decir, tanques al 10% de su capacidad, y menos el 90% de las provisiones comestibles. También incluye de la condición más desfavorable de estabilidad por lo que asumiremos que el tanque de desechos se encuentra a 95% de su capacidad. Al igual que en las condiciones anteriores, mostramos la condición de llegada en carga definida y los resultados de las hidrostáticas.

	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
1	Rosca	1	0.000	0.000			3.370	0.000	1.130	0.000	User Spec
2	Pasajeros	10	0.075	0.750			3.930	0.000	2.190	0.000	User Spec
3	Viveres	0.1	0.150	0.015			3.370	0.000	1.130	0.000	User Spec
4	Combustible	10%	1.560	0.156	2.081	0.208	3.685	0.004	0.907	0.442	Maximum
5	Diesel gen.	10%	0.042	0.004	0.050	0.005	1.536	0.581	0.602	0.001	Maximum
6	Agua dulce	10%	0.096	0.010	0.096	0.010	0.964	1.156	1.025	0.004	Maximum
7	Agua dulce	10%	0.096	0.010	0.096	0.010	0.964	-1.154	1.025	0.004	Maximum
8	Desechos	95%	0.046	0.044	0.051	0.048	5.605	0.581	0.487	0.001	Maximum
9	Total Loadc			0.989	2.374	0.281	3.890	0.029	1.866	0.451	
10	FS correctio								0.456		
11	VCG fluid								2.322		

Ilustración 77: Condición de llegada en carga. Fuente: Maxsurf Stability

Condición llegada en carga - Intact		
1	Draft Amidships m	0.544
2	Displacement t	6.439
3	Heel deg	0.2
4	Draft at FP m	0.312
5	Draft at AP m	0.775
6	Draft at LCF m	0.631
7	Trim (+ve by stern)	0.463
8	WL Length m	9.447
9	Beam max extents	2.929
10	Wetted Area m ²	23.910
11	Waterpl. Area m ²	21.259
12	Prismatic coeff. (Cp)	0.598
13	Block coeff. (Cb)	0.368
14	Max Sect. area coef	0.637
15	Waterpl. area coeff.	0.768
16	LCB from zero pt. (3.428
17	LCF from zero pt. (+	3.746
18	KB m	0.453
19	KG fluid m	1.296
20	BMt m	1.956
21	BML m	18.481
22	GMt corrected m	1.113
23	GML m	17.638
24	KMt m	2.408
25	KML m	18.920
26	Immersion (TPc) ton	0.218
27	MTc tonne.m	0.095
28	RM at 1deg = GMt.	0.125
29	Max deck inclinatio	2.2201
30	Trim angle (+ve by s	2.2098

Ilustración 78: Hidrostáticas de condición de llegada en carga. Fuente: Maxsurf Stability.

CAPÍTULO 5: ESTUDIO DE ESTABILIDAD

El estudio de estabilidad se realizará siguiendo lo establecido en la normativa *ISO 12217-1. Pequeñas embarcaciones. Evaluación y clasificación de la estabilidad y la flotabilidad. Parte 1: Embarcaciones no propulsadas a vela de eslora igual o superior a 6 m.* (ISO12217-1, 2017).

La normativa exige una serie de ensayos a realizar en función de la categoría de diseño y las cubiertas o protecciones. Este grupo de ensayos se agrupan en la siguiente tabla

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

Ilustración 79: Tabla 1 de ensayos a realizar para verificación de la estabilidad. Fuente: ISO 12217-1 (ISO12217-1, 2017)

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

Ilustración 80: Tabla 2 de ensayos a realizar para verificación de la estabilidad. Fuente: ISO 12217-1 (ISO12217-1, 2017)

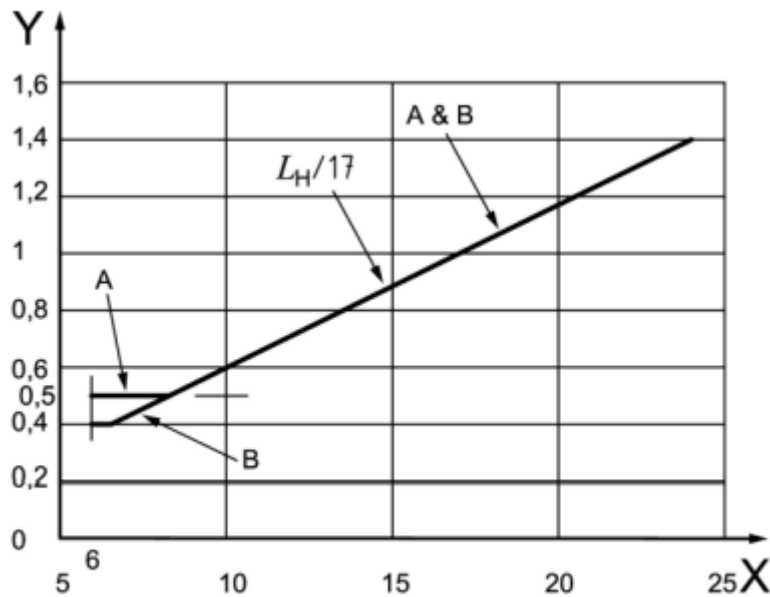
Teniendo en cuenta que la categoría de diseño de esta embarcación es A y que posee una cubierta completa (superestructura y cubierta estancas) según la definición en el apartado 3.1.6 de la normativa, verificaremos los ensayos establecidos en la primera columna de las tablas anteriores. Analizaremos cada uno de los ensayos en según la condición de carga que especifican.

5.1 Aberturas inundables

Este es el primer "ensayo" a revisar según la tabla vista anteriormente. Más que un ensayo, son detalles o requerimientos constructivos con el fin de evitar ingresos de agua a la embarcación. Algunos de estos requerimientos son la prohibición de instalación de escotillas o ventanas practicables con su parte inferior a una altura inferior a 0.2 metros por encima de la flotación en carga y que las válvulas de tomas de mar deben satisfacer la normativa ISO 9093-1 e ISO 9093-2 así como disponer de dispositivos que prevengan la entrada de agua a la embarcación cuando la válvula este abierta. Todos estos requerimientos del apartado 6.1.1 se cumplen en su cabalidad por la embarcación y podemos dar por satisfecho este ensayo.

5.2 Altura mínima de inundación

El objetivo de este ensayo es garantizar que la embarcación tenga un margen suficiente de francobordo en la confición de máxima carga. Esta altura mínima se determina a partir del gráfico de la ilustración 49. Como puede observarse, esta relación es lineal y va regida por la ecuación 32.



a) Categorías de diseño A y B

Ilustración 81: Gráfico para determina altura mínima. Fuente: ISO 12217-1 (ISO12217-1, 2017)

$$Y = \frac{L_H}{17}$$

Ecuación 33: Relación eslora - altura mínima de inundación. Fuente: ISO 12217-1 (ISO12217-1, 2017)

A pesar de que nuestra cubierta es estanca y toda el agua ingresada descarga directamente fuera de borda por desagües laterales con válvulas antirretorno, tomaremos la borda como el primer orificio inundable. En nuestro caso, para una eslora de 13 metros, la altura mínima de inundación es 0,76 metros que se cumple para la condición de máxima carga con una altura de 1,225 metros desde la línea de flotación hasta la borda.

5.3 Ángulo de inundación

Este requisito lo que busca es garantizar que existe margen suficiente de ángulo de escora antes de que pueda ingresar a la embarcación cantidades considerables de agua. Este ensayo debe evaluarse en las condiciones mínimas operacionales y la condición de llegada en carga. El requisito de ángulo de inundación va determinado por la siguiente tabla:

Categoría de diseño	Ángulo mínimo de inundación grados	
	Opciones 1 y 3 ^a , utilizar el que sea mayor	
A	$\phi_0 + 25$	30
B	$\phi_0 + 15$	25
a Véase la tabla 2.		

Ilustración 82: Ángulo mínimo de inundación. Fuente ISO 12217-1 (ISO12217-1, 2017)

Como en nuestro caso el ángulo de escora por compensación de pesos (calculado más adelante) es 7 grados y la normativa establece que se tome el mayor en ambos valores, tomaremos el valor de 32 grados como valor mínimo.

Ahora bien, según normativa tenemos dos métodos para calcular el ángulo de inundación que se especifican en el anexo C. Uno de ellos es un método aproximado, solo aconsejado para ángulo inferiores a 60 grados, y que utiliza la siguiente fórmula:

$$\Phi_D \tan^{-1}\left(\frac{Z_D}{y_D}\right)$$

Ecuación 34: Ángulo de inundación. Fuente: ISO 12217-1 (ISO12217-1, 2017)

Donde,

- Z_D es la altura de punto superior de inundación por encima de la línea de flotación, en este caso la borda.
- y_D es la distancia transversal desde el punto de inundación hasta la línea de crujía de la embarcación que es equivalente a la semi manga.

Para la condición de llegada en carga, el valor obtenido de ángulo de inundación es de 47 grados y para la condición mínima de operación es de 54 grados. Ambos valores son mayores al ángulo mínimo de inundación por lo que este ensayo se da por satisfecho.

5.4 Ensayo de compensación de pesos

El objetivo de este ensayo es verificar la reserva de estabilidad en caso de un movimiento de pesos por parte de la tripulación. El ángulo de escora máximo queda definido por la siguiente fórmula:

$$\Phi_{O(R)} = 11.5 + \frac{(24 - L_H)^3}{520}$$

Ecuación 35: Ángulo de escora máximo. Fuente: ISO 12217-1 (ISO12217-1, 2017)

En nuestro caso, para una eslora de 13 metros obtenemos un valor de escora máximo de 14 grados. Por las características de nuestra embarcación, el peor escenario de movimiento de pesos consistiría en trasladar todos los tripulantes a hacia algún lado, bien sea estribor o babor en la

condición de carga máxima. Evaluaremos esta situación de carga en el programa Maxsurf Stability y calcularemos el ángulo de escora resultante.

A continuación, observamos la condición definida y los valores de las hidrostáticas obtenidos.

	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
1	Lightship	1	5.450	5.450			3.370	0.000	1.130	0.000	User Spec
2	Trioulación	10	0.075	0.750			3.800	1.300	2.350	0.000	User Spec
3	Viveres	1	0.150	0.150			3.370	0.000	1.130	0.000	User Spec
4	Combustible	95%	1.560	1.482	2.081	1.977	4.103	0.000	0.588	0.442	Maximum
5	Diesel gen.	95%	0.042	0.040	0.050	0.047	1.690	0.580	0.469	0.001	Maximum
6	Agua dulce	95%	0.096	0.092	0.096	0.092	0.957	1.155	0.796	0.004	Maximum
7	Agua dulce	95%	0.096	0.092	0.096	0.092	0.957	-1.155	0.796	0.004	Maximum
8	Desechos	95%	0.035	0.033	0.038	0.036	5.615	0.581	0.514	0.001	Maximum
9	Lastre	0%	0.762	0.000	0.762	0.000	6.456	0.000	0.001	0.000	Maximum
10	Total Load			8.088	3.124	2.243	3.490	0.126	1.130	0.451	
11	FS correctio								0.056		
12	VCG fluid								1.186		

Ilustración 83: Condición compensación de pesos Fuente: Maxsurf Stability

Condición de compensación de pesos - Intact		
1	Draft Amidships m	0.606
2	Displacement t	8.088
3	Heel deg	7.6
4	Draft at FP m	0.346
5	Draft at AP m	0.865
6	Draft at LCF m	0.691
7	Trim (+ve by stern) m	0.519
8	WL Length m	9.606
9	Beam max extents on WL	2.974
10	Wetted Area m ²	26.087
11	Waterpl. Area m ²	21.128
12	Prismatic coeff. (Cp)	0.608
13	Block coeff. (Cb)	0.397
14	Max Sect. area coeff. (Cm)	0.824
15	Waterpl. area coeff. (Cwp)	0.740
16	LCB from zero pt. (+ve fwd)	3.460
17	LCF from zero pt. (+ve fwd)	3.950
18	KB m	0.512
19	KG fluid m	1.186
20	BMt m	1.488
21	BML m	15.060
22	GMt corrected m	0.807
23	GML m	14.379
24	KMt m	1.986
25	KML m	15.424
26	Immersion (TPc) tonne/cm	0.217
27	MTc tonne.m	0.099
28	RM at 1deg = GMt.Disp.sin(0.114
29	Max deck inclination deg	8.0259
30	Trim angle (+ve by stern) de	2.5272

Ilustración 84: Hidrostáticas para condición de compensación de pesos. Fuente: Maxsurf Stability.

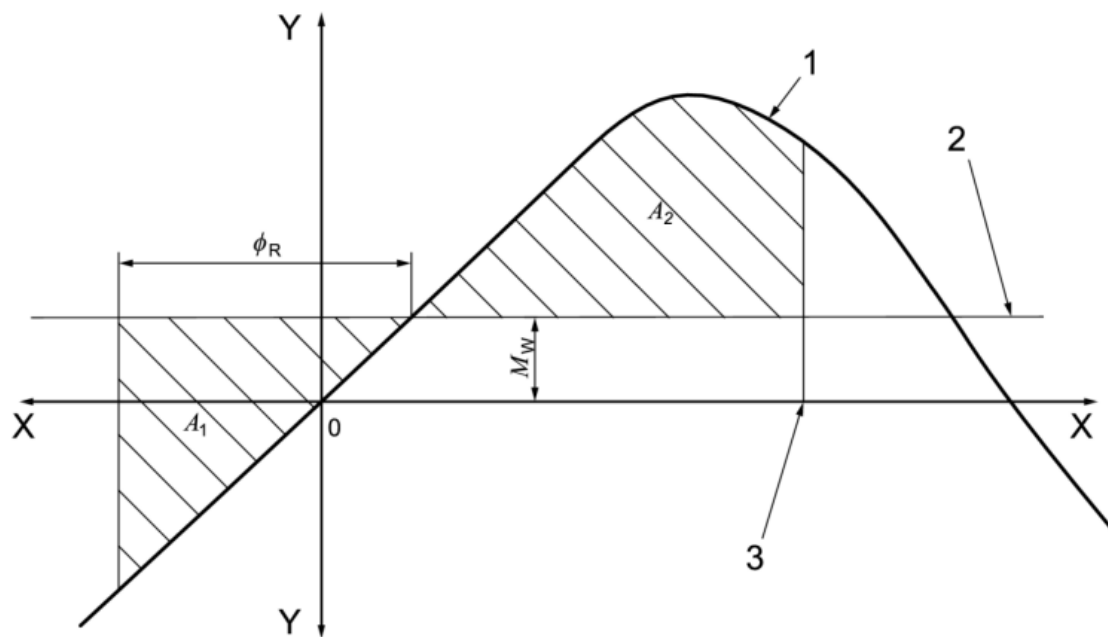
Como podemos observar, el ángulo de escora en esta condición es de 7,6 grados, valor por debajo de los 14 grados límites que define la normativa.

5.5 Resistencia a las olas y viento

Este ensayo busca evaluar la estabilidad de la embarcación bajo la acción del viento y las olas bajo la condición mínima operativa y la condición de llegada en carga. Para este ensayo utilizaremos Maxsurf Stability donde están predefinidos estos criterios y, simplemente definiendo ciertos parámetros, conocemos si pasa o no pasa estos ensayos.

5.5.1 Balance transversal debido a las olas y el viento

En líneas generales, para satisfacer este ensayo el área A_2 mostrado en la ilustración 59 debe ser mayor al área A_1 . Los detalles del cálculo del momento escorante producido por el viento y los ángulos límites de ensayo podemos encontrarlos en el apartado 6.3.3 de la normativa.



Leyenda

- X Ángulo de escora (grados)
- Y Momento del par de adrizamiento o de escora (kN·m)
- 1 Momento del par de adrizamiento (kN·m)
- 2 Momento de escora debido al viento (kN·m)
- 3 ϕ_{A2} = el menor valor de ϕ_{DA} o 50° el segundo ángulo de equilibrio a la escora debido al viento

Ilustración 85: Resistencia al balance debido a las olas y viento. Fuente ISO 12217-1 (ISO12217-1, 2017)

Ya conocido en qué consiste el ensayo nos vamos a Maxsurf Stability y seleccionamos criterio a utilizar. En la ilustración 60 puede observarse la ventana de selección de criterio. Luego encontraremos los resultados de las pruebas en ambas condiciones de carga.

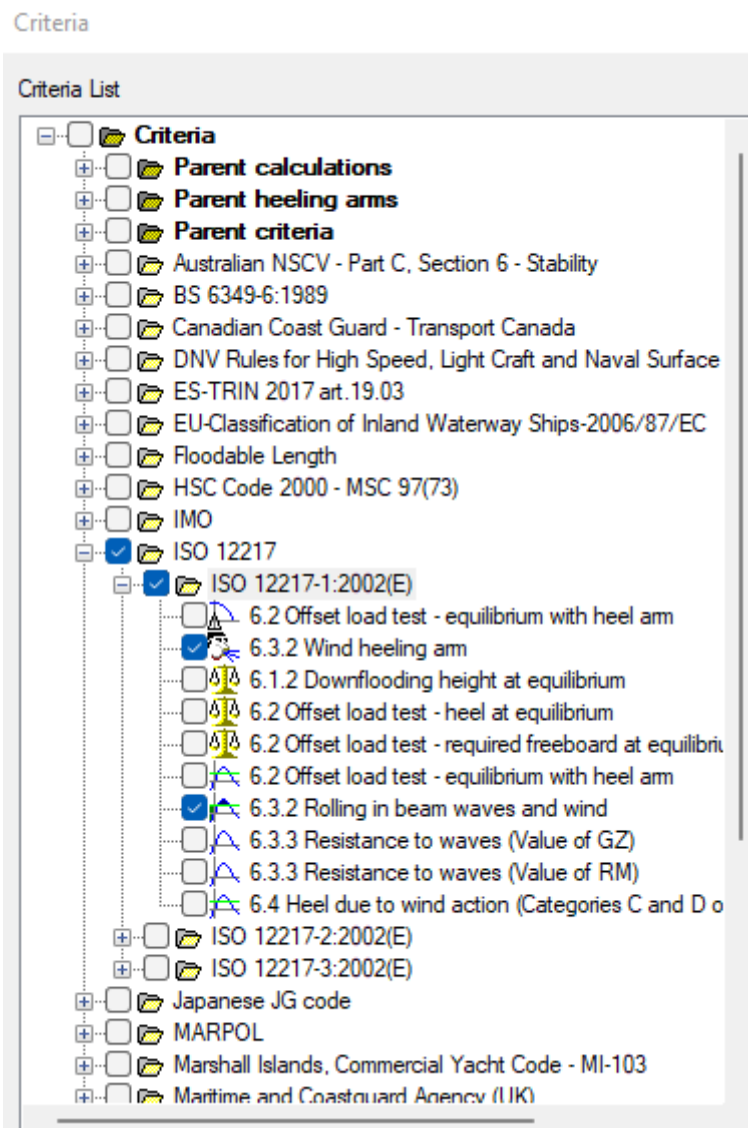


Ilustración 86: Ventana de selección de criterio a utilizar. Fuente: Maxsurf Stability

Large Angle Stability - Condición mínima operativa - Intact							
	Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
1	ISO 12217-1	6.3.2 Rolling in beam waves and wind				Pass	
2		6.3.2 Wind heeling arm (steady)					
3		Area1 integrated from the greater of					
4		angle of equilibrium (with heel arm)	10.6	deg	10.6		
5		to the lesser of					
6		spec. heel angle	50.0	deg	50.0		
7		Area2 integrated to the lesser of					
8		roll back angle from equilibrium (with heel arm)	-30.0 (40.6)	deg	40.6		
9		Area1 / Area2 shall be greater than (>)	100.00	%	143.04	Pass	+43.04
10		Intermediate values					
11		Equilibrium angle with heel arm		deg	10.6		
12		Area1 (under GZ), from 10.6 to 50.0 deg.		m.deg	11.7895		
13		Area1 (under HA), from 10.6 to 50.0 deg.		m.deg	7.7287		
14		Area1, from 10.6 to 50.0 deg.		m.deg	4.0608		
15		Area2 (under GZ), from 40.6 to 10.6 deg.		m.deg	-8.7247		
16		Area2 (under HA), from 40.6 to 10.6 deg.		m.deg	-5.8859		
17		Area2, from 40.6 to 10.6 deg.		m.deg	2.8388		
18							

Ilustración 87: Resultados en condición mínima operativa. Fuente: Maxsurf Stability.

Large Angle Stability - Condición llegada en carga - Intact							
	Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
1	ISO 12217-1	6.3.2 Wind heeling arm					
2		Wind arm = $a \cdot v^2 \cdot A \cdot (h - H) / (g \cdot disp.) \cdot \cos^n(\phi)$					
3		constant: a (0.5 rho_air Cd) =	0.0003	tonne/m³			
4		wind velocity: v =	54.428	kn			
5		approx. area centroid height: h = A/Lwl + TmidWL	2.613	m			
6		total area: A =	19.500	m²			
7		H = mean draft / 2	0.274	m			
8		cosine power: n =	0				
9		gust ratio	1				
10		Intermediate values					
11		Heel arm amplitude		m	0.170		
12							
13	ISO 12217-1	6.3.2 Rolling in beam waves and wind				Pass	
14		6.3.2 Wind heeling arm (steady)					
15		Area1 integrated from the greater of					
16		angle of equilibrium (with heel arm)	11.3	deg	11.3		
17		to the lesser of					
18		spec. heel angle	50.0	deg	50.0		
19		Area2 integrated to the lesser of					
20		roll back angle from equilibrium (with heel arm)	-30.0 (41.3)	deg	41.3		
21		Area1 / Area2 shall be greater than (>)	100.00	%	123.25	Pass	+23.25
22		Intermediate values					
23		Equilibrium angle with heel arm		deg	11.3		
24		Area1 (under GZ), from 11.3 to 50.0 deg.		m.deg	8.5879		
25		Area1 (under HA), from 11.3 to 50.0 deg.		m.deg	6.5654		
26		Area1, from 11.3 to 50.0 deg.		m.deg	2.0226		
27		Area2 (under GZ), from 41.3 to 11.3 deg.		m.deg	-6.7369		
28		Area2 (under HA), from 41.3 to 11.3 deg.		m.deg	-5.0958		
29		Area2, from 41.3 to 11.3 deg.		m.deg	1.6411		
30							

Ilustración 88: Resultados en condición de llegada en carga. Fuente: Maxsurf Stability.

Como puede observarse, en ambas condiciones los ensayos han sido superados satisfactoriamente.

5.5.2 Resistencia a las olas

En este ensayo la curva de brazos de par adrizante debe satisfacer dos condiciones cuando el momento máximo ocurre con un ángulo de escora de 30° o más; nuestro caso de aplicación. Las condiciones son las siguientes:

- El momento del par de adrizamiento con 30° no debe ser menor de 25KN·m para la categoría de diseño A.
- El brazo de palanca del par de adrizamiento a 30° no debe ser menor de 0,2m.

Al igual que en el ensayo anterior, definiremos los criterios en el Maxsurf Stability y analizaremos ambas situaciones de carga.

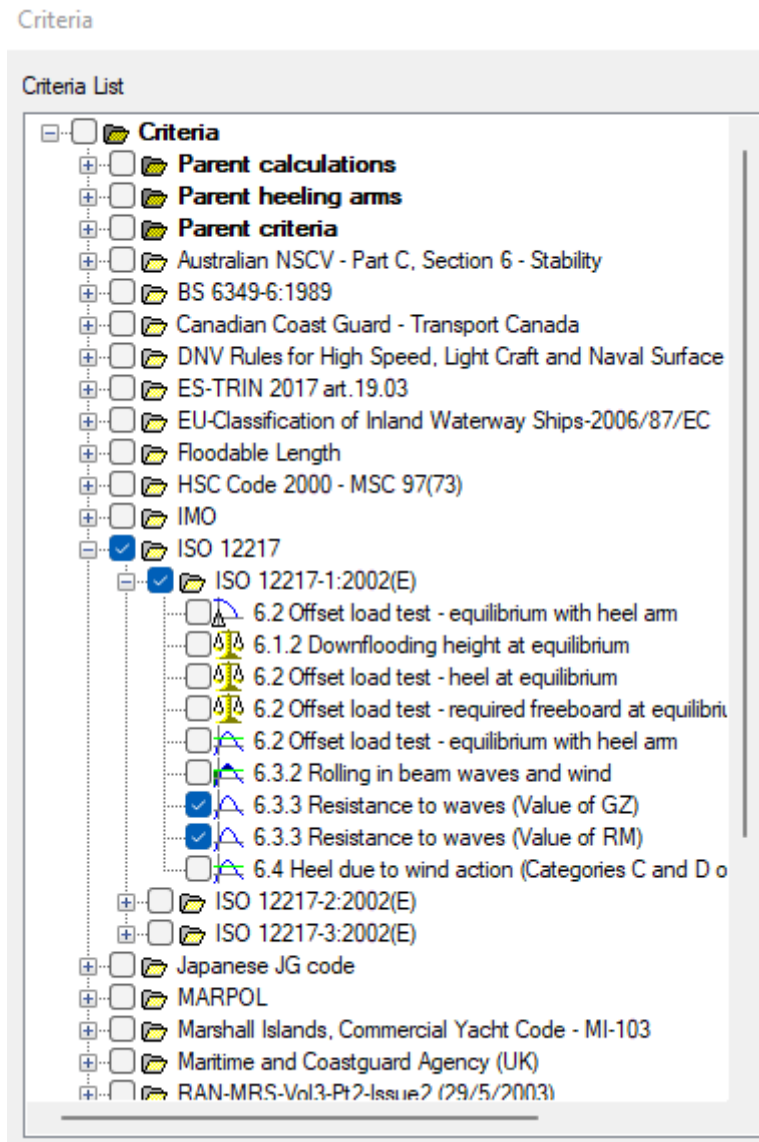


Ilustración 89: Criterio de resistencia a las olas. Fuente: Maxsurf Stability.

Una vez ejecutado el análisis, se obtuvo que la condición de brazo adrizante mínimo ($GZ > 0,2m$) es satisfecha en ambas condiciones, sin embargo, el momento adrizante mínimo ($RM > 25kN\cdot m$) no se satisface. A continuación, podemos observar los resultados.

Large Angle Stability - Condición mínima operativa - Intact							
	Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
1	ISO 12217-1	6.3.3 Resistance to waves (Value of GZ)				Pass	
2		heel angle at which required GZ is constant	30.0	deg			
3		required value of GZ at this angle is	0.200	m			
4		limited by first flooding angle of the DownfloodingPoint	n/a	deg			
5		GZ at 30.0 deg shall be greater than (>)	0.200	m	0.363	Pass	+81.50
6		Intermediate values					
7		angle at which max. GZ occurs		deg	41.8		
8							
9	ISO 12217-1	6.3.3 Resistance to waves (Value of RM)				Fail	
10		heel angle at which required RM is constant	30.0	deg			
11		required value of RM at this angle is	25000.000	N.m			
12		limited by first GZ peak angle	41.8	deg	41.8		
13		RM at 30.0 deg shall not be less than (>=)	25000.000	N.m	22803.794	Fail	-8.78
14		Intermediate values					
15		angle at which max. GZ occurs		deg	41.8		
16							

Ilustración 90: GZ y RM para condición mínima de operación. Fuente: Maxsurf Stability.

Large Angle Stability - Condición llegada en carga - Intact							
	Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
1	ISO 12217-1	6.3.3 Resistance to waves (Value of GZ)				Pass	
2		heel angle at which required GZ is constant	30.0	deg			
3		required value of GZ at this angle is	0.200	m			
4		limited by first flooding angle of the DownfloodingPoint	n/a	deg			
5		GZ at 30.0 deg shall be greater than (>)	0.200	m	0.296	Pass	+48.00
6		Intermediate values					
7		angle at which max. GZ occurs		deg	42.3		
8							
9	ISO 12217-1	6.3.3 Resistance to waves (Value of RM)				Fail	
10		heel angle at which required RM is constant	30.0	deg			
11		required value of RM at this angle is	25000.000	N.m			
12		limited by first GZ peak angle	42.3	deg	42.3		
13		RM at 30.0 deg shall not be less than (>=)	25000.000	N.m	21244.043	Fail	-15.02
14		Intermediate values					
15		angle at which max. GZ occurs		deg	42.3		
16							

Ilustración 91: GZ y RM para condición de llegada en carga. Fuente: Maxsurf Stability.

Esto ha ocurrido ya que, en ambas condiciones, al estar los tanques tan vacíos, el centro de gravedad sube ocasionando una reducción en la estabilidad del barco. Para poder solucionar este problema se ha propuesto instalar un tanque de lastre debajo del suelo del camarote. De esta forma, bajando el centro de gravedad de la embarcación aumentamos el brazo adrizante GZ y aumentamos el calado de la embarcación que se traduce en mayor desplazamiento, y consecuentemente, mayor empuje. Ambos contribuyen al aumento del momento adrizante. A continuación, se puede observar la ubicación del tanque definido, a proa del tanque de combustible, y los resultados obtenidos en ambas situaciones de carga.

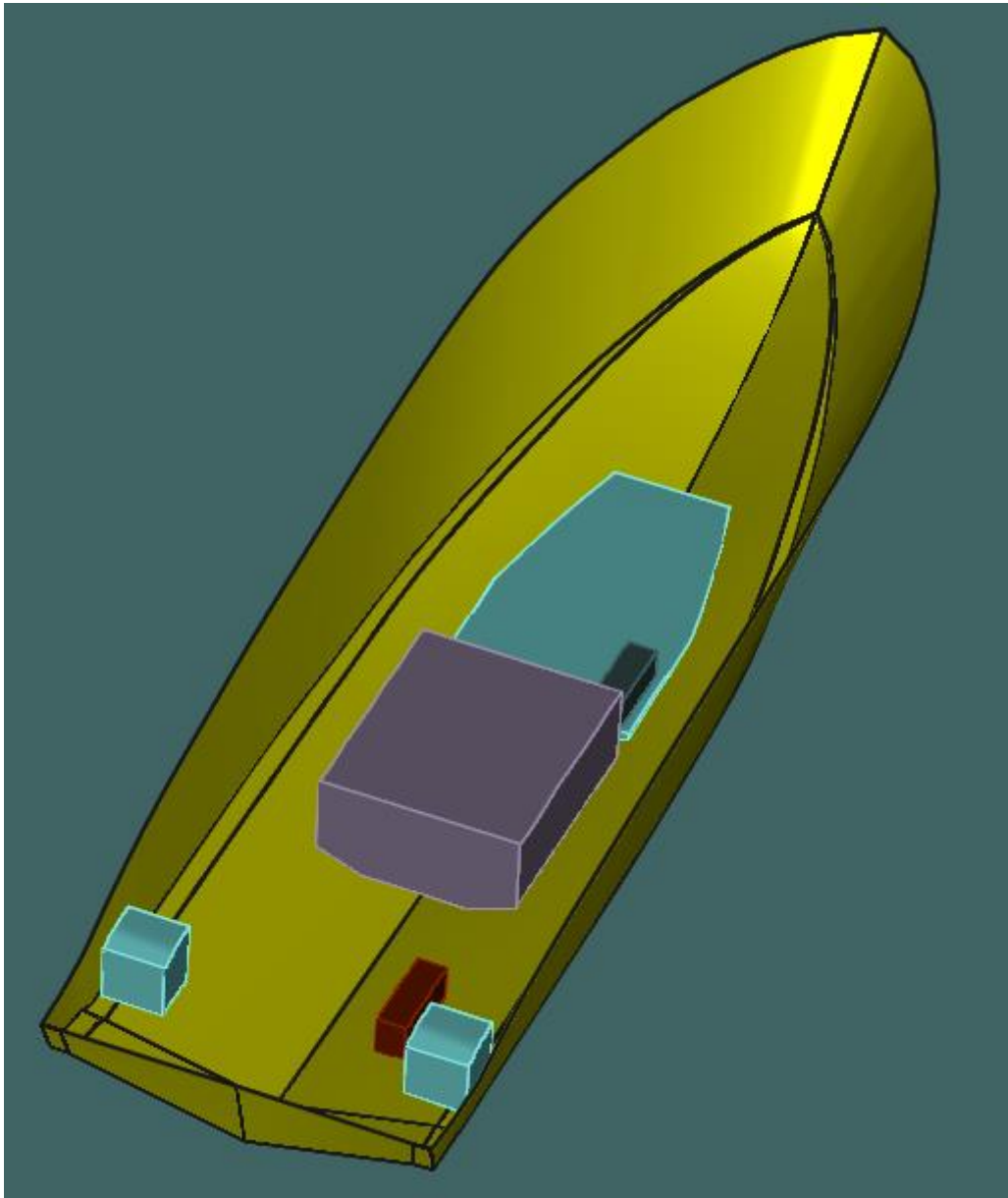


Ilustración 92: Ubicación tanque de lastre. Fuente: Maxsurf Stability

Large Angle Stability - Condición mínima operativa - Intact							
	Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
1	ISO 12217-1	6.3.3 Resistance to waves (Value of GZ)				Pass	
2		heel angle at which required GZ is constant	30.0	deg			
3		required value of GZ at this angle is	0.200	m			
4		limited by first flooding angle of the DownfloodingPoint	n/a	deg			
5		GZ at 30.0 deg shall be greater than (>)	0.200	m	0.399	Pass	+99.50
6		Intermediate values					
7		angle at which max. GZ occurs		deg	46.3		
8							
9	ISO 12217-1	6.3.3 Resistance to waves (Value of RM)				Pass	
10		heel angle at which required RM is constant	30.0	deg			
11		required value of RM at this angle is	25000.000	N.m			
12		limited by first GZ peak angle	46.3	deg	46.3		
13		RM at 30.0 deg shall not be less than (>=)	25000.000	N.m	28010.499	Pass	+12.04
14		Intermediate values					
15		angle at which max. GZ occurs		deg	46.3		
16							

Ilustración 93: GZ y RM para condición mínima de operación con tanque de lastre. Fuente: Maxsurf Stability.

Large Angle Stability - Condición llegada en carga - Intact							
	Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
1	ISO 12217-1	6.3.3 Resistance to waves (Value of GZ)				Pass	
2		heel angle at which required GZ is constant	30.0	deg			
3		required value of GZ at this angle is	0.200	m			
4		limited by first flooding angle of the DownfloodingPoint	n/a	deg			
5		GZ at 30.0 deg shall be greater than (>)	0.200	m	0.320	Pass	+60.00
6		Intermediate values					
7		angle at which max. GZ occurs		deg	40.0		
8							
9	ISO 12217-1	6.3.3 Resistance to waves (Value of RM)				Pass	
10		heel angle at which required RM is constant	30.0	deg			
11		required value of RM at this angle is	25000.000	N.m			
12		limited by first GZ peak angle	40.0	deg	40.0		
13		RM at 30.0 deg shall not be less than (>=)	25000.000	N.m	25373.244	Pass	+1.49
14		Intermediate values					
15		angle at which max. GZ occurs		deg	40.0		
16							

Ilustración 94: GZ y RM para condición de llegada en carga con tanque de lastre. Fuente: Maxsurf Stability.

Como se puede observar, ahora en ambas condiciones los resultados son satisfactorios. Es importante recordar que esta embarcación lleva instalado un giroscopio cuyo objetivo es mejorar el confort en la embarcación y asistir en la estabilidad en condiciones desfavorables de mar por lo que, en teoría, el tanque de lastre no será necesario llenarse en estas condiciones de carga. Sin embargo, este tanque ha decidido instalarse ya que, en caso de fallo del giroscopio, la estabilidad de la embarcación no debe verse comprometida. Si este equipo llegase a fallar, el tanque de lastre debe llenarse en su total capacidad para que la estabilidad de la embarcación no se vea comprometida.

Por último, dejamos el gráfico de brazos adrizantes GZ en ambos casos.

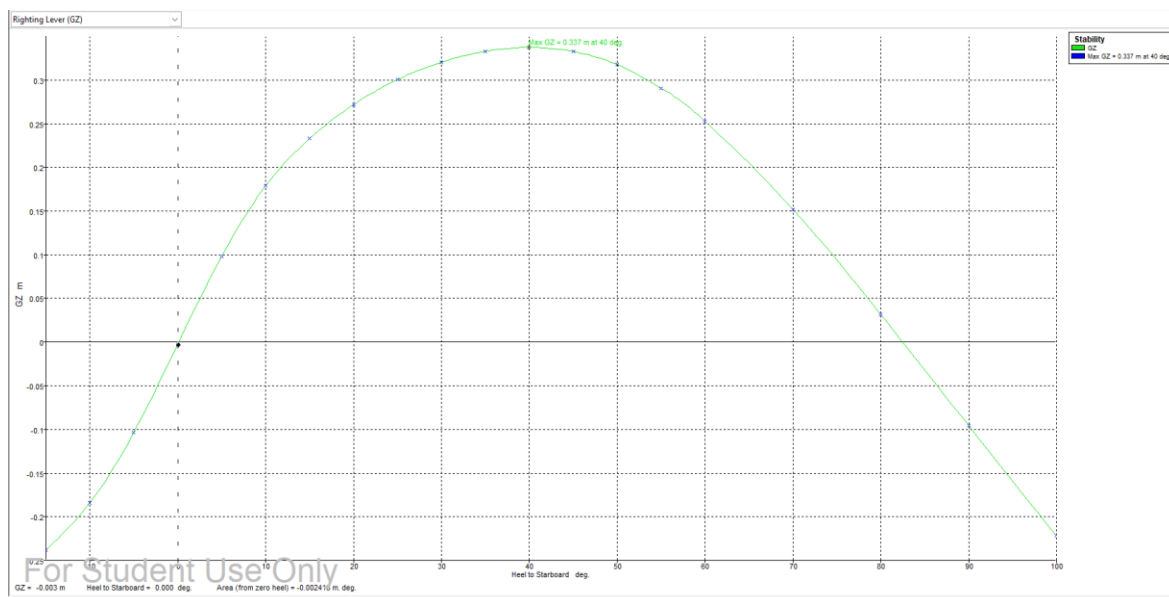


Ilustración 95: Curva de brazos adrizantes para condición de llegada en carga. Fuente: Maxsurf Stability.

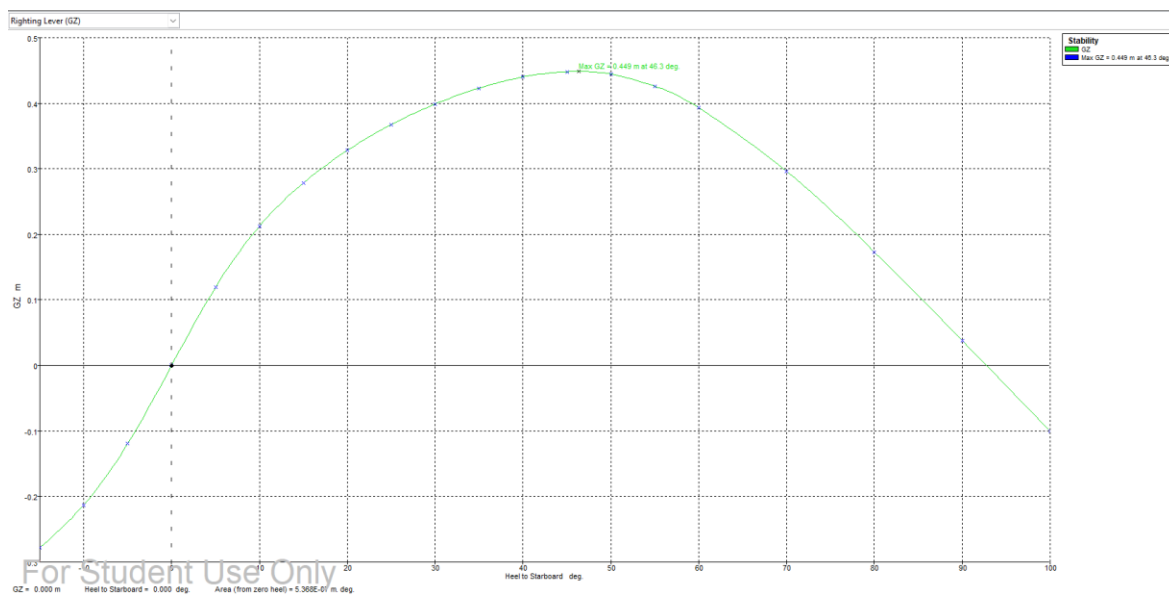


Ilustración 96: Curva de brazos adrizantes para condición mínima de operación. Fuente: Maxsurf Stability.

5.6 Tamaño de los nichos

Este requisito aplica únicamente a las embarcaciones para las que el franco bordo mínimo hasta el borde del nicho no sea superior a la altura mínima de inundación. El único nicho que no cumple la altura mínima es el nicho del espejo de popa donde van ubicados los motores, sin embargo, este nicho queda excluido del estudio porque la profundidad del nicho es inferior al 3% del ancho máximo como se especifica en el apartado 3.5.1 b.

5.7 Multicascos habitables

El camarote de la embarcación proyectada no cumple con los requisitos de embarcación habitable según el apartado 3.1.8 de la normativa por lo que este ensayo no es aplicable.

CAPÍTULO 6: ESTUDIO ECONÓMICO

En el presente capítulo se estimarán los costes de la embarcación. Recordemos que una estructura de costes se divide principalmente en dos: costes fijos y costes variables. Los costes fijos son aquellos que siempre existirán independientemente del volumen de producción como gastos de alquiler, administración etc. mientras que los variables sí va ligados al volumen de producción como los materiales de construcción. Nos enfocaremos en calcular las principales partidas de los costes variables y lo desglosaremos en los siguiente:

- Costes asociados a la mano de obra; horas hombres (HH).
- Costes asociados a los materiales de fabricación, desglosando este dos:
 - o Coste asociado a los materiales de fabricación de los elementos de fibra de vidrio (casco, cubierta, estructura interna, techo y piezas)
 - o Coste a asociado a los elementos y equipos que van instalados en la embarcación

6.1 Coste asociado a la mano de obra

Hemos partido de las siguientes premisas para la estimación de esta partida:

- Semanas de 40 horas de trabajo
- Coste de hora hombre media de 30€

Se ha desglosado esta partida en 5 etapas principales del proceso de producción:

Etapa	Personas	Semanas (40h)	Total
Laminación y desmolde de casco	2	1	80
Laminación y desmolde de cubiertas	2	1	80
Laminación y desmolde de piezas	2	1	80
Unión casco-cubierta-piezas y detallado	4	1	160
Instalación de accesorios	10	4	1,600
		Sumatorio	2,000
		Coste	60,000€

Tabla 7: Resumen horas y precio mano de obra. Fuente: Elaboración propia.

Para fabricar esta embarcación necesitaremos alrededor de 2.000 horas que, a una tasa de 30€/h, nos da un valor de 60.000€ La estimación de estas horas se ha hecho a partir de experiencia, sin embargo, este valor puede variar en función de las condiciones y recursos de la empresa.

6.2 Coste asociado a los materiales de fabricación

6.2.1 Coste asociado a los materiales de fabricación de los elementos de fibra de vidrio

Para conocer este coste simplemente debemos conocer la cantidad de resina y la cantidad de fibra en kilos que se ha utilizado en el laminado. Luego multiplicamos este peso total el coste por kilo y obtenemos el coste total de la pieza. Debido a que el MAT y el cuatriaxial no tienen el mismo porcentaje de resina, 60% y 40% respectivamente, no podemos conocer directamente la cantidad de resina y fibra total y debemos desglosarlo.

Adicionalmente, aunque en el capítulo donde se definieron los laminados no se mencionó la capa de gelcoat por su poco aporte estructural, ahora si debemos calcularlo por su aporte en el coste total. Siguiendo el mismo procedimiento, conociendo el peso por metro cuadrado y su coste por kilo podremos determinar el coste total.

El primero paso consistió en conocer el peso por metro cuadrado de la resina para el método de infusión ya que los pesos por metro cuadrado del MAT y el cuatriaxial ya los sabemos por especificaciones del fabricante. El peso por metro cuadrado de la resina los deducimos a partir de la del peso total de la lámina y los porcentajes de resina.

	Mat450	HiMax FGE160	
Porcentaje de resina	60%	40%	
Peso de la lámina (Kg/m ²)	1.125	2.677	Sumatorio
Peso de resina (Kg/m ²)	0.675	1.071	1.746

Tabla 8: Peso de resina. Fuente: Elaboración propia.

Ahora debemos multiplicar los valores obtenidos por el número de capas (tabla 3) y por la superficie total para obtener la cantidad de cada componente por pieza. Los kilos de resina del MAT y del cuatriaxial los podemos sumar ya que es la misma resina la que se utiliza todo el laminado. Luego conociendo el precio por kg del MAT450, cuatriaxial y resina viniléster podemos obtener el coste total por pieza. A continuación, los resultados obtenidos:

	Fondo	Costado	Cubierta	Estructura	Superest.	Techo	Piezas
# de capas MAT/HiMax™FGE160	6	4	4	3	3	3	2
Peso del MAT450 (Kg/m ²)	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45
Peso del cuatriaxial (Kg/m ²)	1.61	1.61	1.61	1.61	1.61	1.61	1.61
Peso de resina (Kg/m ²)	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75
Peso de gelcoat (kg/m ²)	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60
Área de laminación (m ²)	29.73	23.88	24.28	41.43	18.51	18.00	15.58
Peso del MAT450 (Kg)	80.27	42.98	43.70	55.93	24.99	24.30	14.02
Peso del cuatriaxial (Kg)	286.48	153.41	155.97	199.61	89.18	86.72	50.05

Peso total de resina (Kg)	311.42	166.76	169.55	216.99	96.94	94.27	54.41
Peso total de gealcoat (kg)	17.84	14.33	14.57	24.86	11.11	10.80	9.35
Precio de MAT450 (€/Kg)	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
Precio de cuatriaxial (€/Kg)	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
Precio de resina (€/Kg)	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
Precio de gealcoat (€/Kg)	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
Precio total de MAT450 (€)	240.81	128.95	131.11	167.79	74.97	72.90	42.07
Precio total de cuatriaxial (€)	1,432.39	767.03	779.87	998.05	445.91	433.62	250.26
Precio total de resina (€)	1,868.49	1,000.55	1,017.31	1,301.91	581.67	565.64	326.46
Precio total de gealcoat (€)	89.19	71.64	72.84	124.29	55.53	54.00	46.75
Coste total de pieza	3,630.89	1,968.17	2,001.14	2,592.04	1,158.07	1,126.16	665.54

Tabla 9: Coste de material para fabricación de piezas en fibra de vidrio. Fuente: Elaboración propia.

El precio total de los materiales requeridos para fabricar las piezas de fibra de vidrio es de 9.811€. Este valor únicamente incluye el coste de fibra de vidrio y resina. Adicionalmente, hay que contemplar los materiales requeridos en el método de producción como mangueras, bolsas de vacío, etc.

6.2.2 Coste asociado a los elementos y equipos que van instalados en la embarcación

Una vez fabricadas las piezas de fibra de vidrio se procede al ensamblaje de la embarcación. Se ha realizado ha desglosado por área/sistema. A continuación, la tabla resumen:

Kit de aluminio	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Tanque combustible	1.00	3,500.00	3,500.00
Tanque de agua dulce	2.00	500.00	1,000.00
Tanque diésel	1.00	300.00	300.00
Tanque de desechos	1.00	300.00	300.00
Tanque de lastre	1.00	3,000.00	3,000.00
Estructura de techo	1.00	1,000.00	1,000.00
Sistema eléctrico			
Baterías	5.00	330.00	1,320.00
Panel de breakers/ fusibles	1.00	290.00	290.00
Cargador de baterías	1.00	1,110.00	1,110.00
Panel de interruptores	1.00	290.00	290.00
Cableado	1.00	1,500.00	1,500.00
Equipo de sonido	1.00	5,681.00	5,681.00
Iluminación	1.00	800.00	800.00
Master switch	3.00	51.00	153.00
Sistema de bombas			

Bombas de achique	2.00	50.00	100.00
Automático de achique	1.00	30.00	30.00
Bomba de lastre	1.00	300.00	300.00
Bombas de agua dulce	1.00	533.00	533.00
Tapicería			
Asientos de proa	1.00	1,000.00	1,000.00
Solarium de consola central	1.00	800.00	800.00
Butacas consola central	6.00	500.00	3,000.00
Asiento de popa	1.00	750.00	750.00
Asientos de camarote	1.00	1,000.00	1,000.00
Consola central			-
GPS	1.00	2,000.00	2,000.00
Radar	1.00	7,000.00	7,000.00
VHF	1.00	500.00	500.00
Parabrisa	1.00	400.00	400.00
Brújula	1.00	100.00	100.00
Volante	1.00	150.00	150.00
Otros			
Refrigeradores	3.00	1,300.00	3,900.00
Grill	1.00	400.00	400.00
WC	1.00	500.00	500.00
Herrajes	1.00	800.00	800.00
Aire acondicionado	1.00	4,000.00	4,000.00
Escotillas	2.00	250.00	500.00
Ancla	1.00	200.00	200.00
Winch	1.00	1,800.00	1,800.00
Cadena	1.00	100.00	100.00
Outriggers	1.00	800.00	800.00
Motores	3.00	60,000.00	180,000.00
Generador	1.00	13,000.00	13,000.00
Seakeeper	1.00	50,000.00	50,000.00
		Coste	293,907.00

Tabla 10: Coste de accesorios. Fuente: Elaboración propia.

El coste de cada uno de los componentes de ha hecho a partir de experiencia propia, junto con la consulta de páginas web de proveedores de componentes marino como lo son Vetus (Vetus, 2022) y Azimut Electronics (Azimut, 2022). Como se puede observar en la tabla, el coste total de esta partida es de 293.907€

A continuación, un cuadro resumen de las principales partidas del coste variable de fabricación de esta embarcación:

Partida	Coste
Coste de mano de obra	60,000
Coste material fibra vidrio y resina	9,810.99
Coste elementos y equipos	293,907.00
Total	363,718€

Tabla 11: Resumen costes total de la embarcación: Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO 7: SISTEMAS A BORDO

En el presente capítulo se describirán los sistemas instalados a bordo. Una embarcación de consola central del tamaño del de la proyectada cuenta con unos sistemas relativamente simples, sin embargo, es importante dimensionarlos correctamente y verificar que se cumplen todas las normativas correspondientes. A continuación, describiremos brevemente en qué consiste cada sistema y mencionaremos los elementos principales de cada uno.

7.1 Sistema de combustible

El sistema de combustible de esta embarcación consistirá en un tanque principal de aluminio con una capacidad de 2.000lts de combustible y de un tanque de generador de capacidad de 42lts. El tanque principal dispondrá de láminas longitudinales y transversales cuyo objetivo es mitigar los efectos de las superficies libres en los tanques. La embarcación dispondrá de dos tomas de llenado para el tanque principal, una por cada lado, y una única toma de llenado para el tanque del generador diésel. Adicionalmente, dispondrán de una serie de elementos para garantizar el cumplimiento de las normativas correspondientes. A continuación, podemos encontrar un esquema cortesía de Atwood (Atwood, 2022) donde se puede observar cada uno de los elementos.

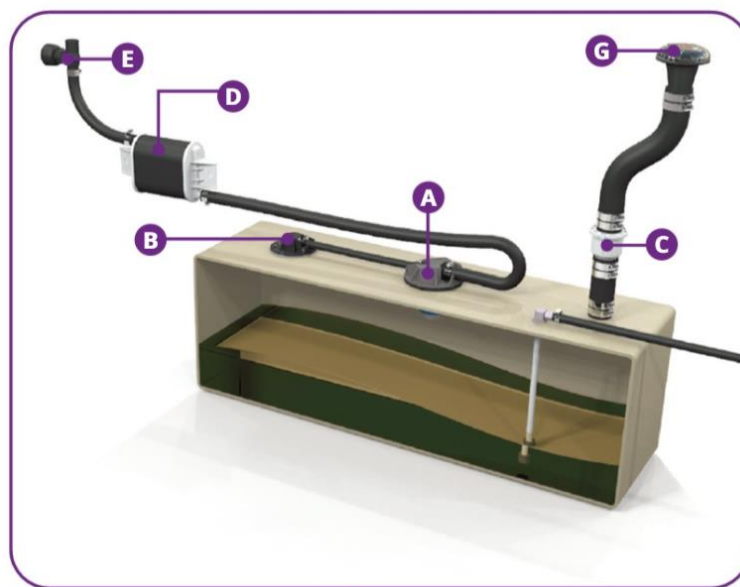


Ilustración 97: Esquema sistema de combustible. Fuente: Atwood (Atwood, 2022)

Donde,

- A es la válvula de ventilación de límite de combustible.
- B es la válvula auxiliar de ventilación.
- C es una válvula antirretorno.
- D es el filtro de carbono.
- E es el respiradero.
- G es la toma de llenado.

Esta configuración de sistema permite tener un grado alto de seguridad y simultáneamente cumplir los estándares de contaminación. El sistema funciona de la siguiente manera. Este empieza a llenarse y, cuando llega al nivel de la válvula de ventilación de límite de combustible, esta cierra. Al cerrar, aumenta la presión de la línea de llenado y salta la pistola de llenado. De esta forma se evita que el sistema se sobrellene y el combustible se derrame por el respiradero. Adicionalmente, el sistema está diseñado para siempre poder liberar los gases en caso que el nivel de combustible sea muy elevado y cierre la válvula A o el caso de escoras tanto estribor o babor ya que, en caso de escora al lado de la toma de llenado, actúa la válvula B y en caso de escoras al lado de la válvula B, la toma de llenado también dispone de una válvula de alivio. Bajo cualquier circunstancia el sistema está en la condición de liberar la presión de los gases generados por el combustible.

A continuación, se puede observar la ubicación del tanque de combustible principal (rojo) y del tanque para el generador diésel (naranja) en la embarcación.

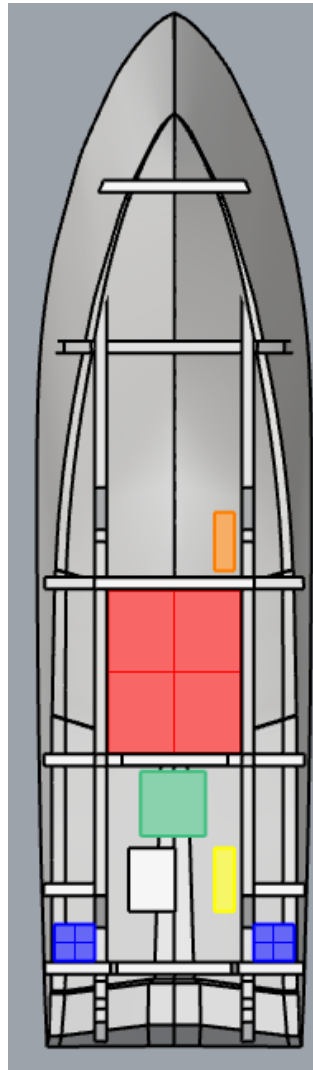


Ilustración 98: Disposición de tanques de combustibles. Fuente: Elaboración propia.

7.2 Sistema de achique

El sistema de achique estará compuesto por los siguientes componentes:

- Bomba de achique principal
- Bomba de achique secundaria
- Bomba de achique manual
- Sensor de nivel
- Filtro de sentina

Como se puede observar en la ilustración 72 el sistema consiste en dos bombas eléctricas de sentina con el sensor de nivel que las activa automáticamente. Adicionalmente, debe instalarse una bomba manual en caso de fallo eléctrico. Esta se instala en una de las descargas de las bombas. Con esta configuración conseguimos redundancia para garantizar que siempre hay algún método de achique.

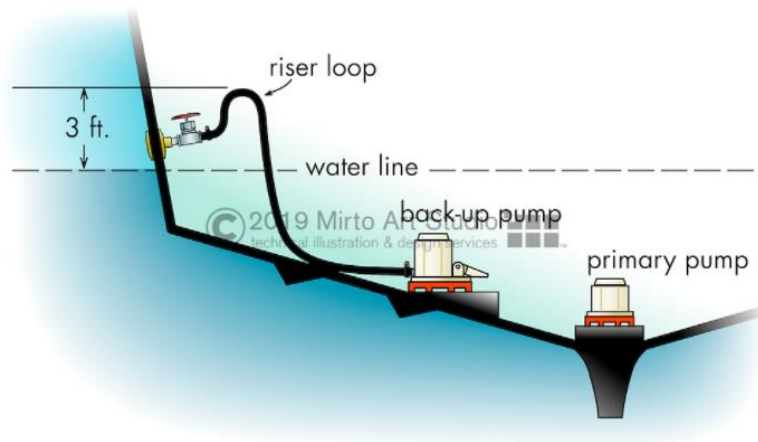


Ilustración 99: Esquema de sistema de achique. Fuente: MirtoArt (MirtoArt, 2022)

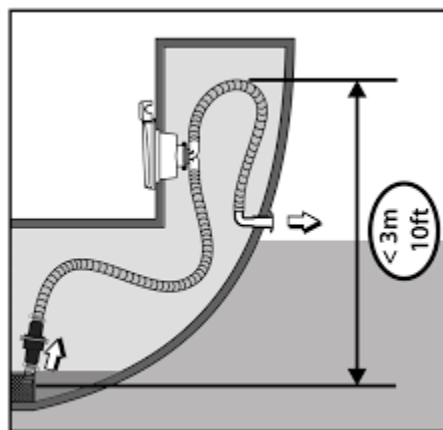


Ilustración 100: Bomba manual de achique. Fuente: SkyInternational (SkyInternational, 2022)

7.3 Sistema eléctrico

El sistema eléctrico de esta embarcación estará compuesto por un sistema de distribución de corriente alterna (AC) y un sistema de distribución de corriente continua (DC). Los principales consumidores de corriente son los elementos de corriente continua. Dispondrá de un generador y de dos bancos de baterías; uno de arranque y uno de servicio. El banco de baterías de arranque estará compuesto por tres baterías que alimentarán los motores principales y el generador, y el banco de baterías de servicio estará compuesto por dos baterías, uno para el consumo general de la embarcación y otra para el giroscopio. El sistema también dispondrá de un cargador de batería que, a través del generador, se podrán cargar los bancos de batería. A continuación, podemos observar un esquema con los principales componentes del sistema eléctrico:

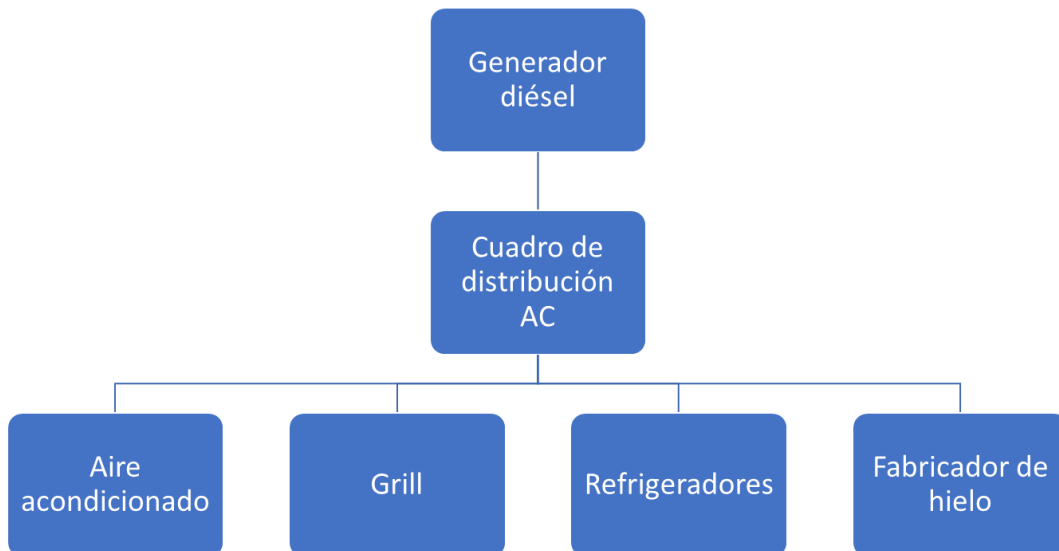


Ilustración 101: Sistema eléctrico AC. Fuente: Elaboración propia.

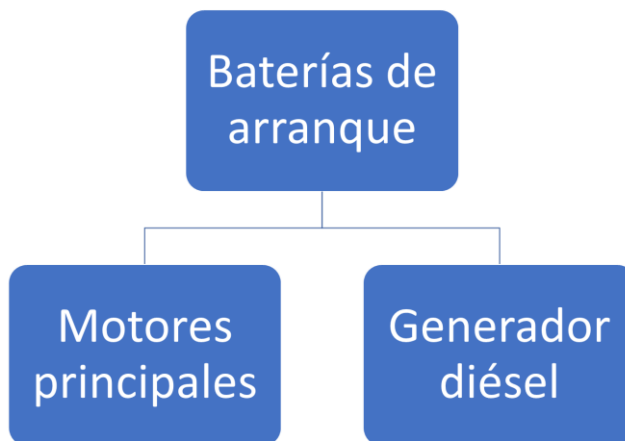


Ilustración 102: Sistema DC de baterías de arranque. Fuente: Elaboración propia.

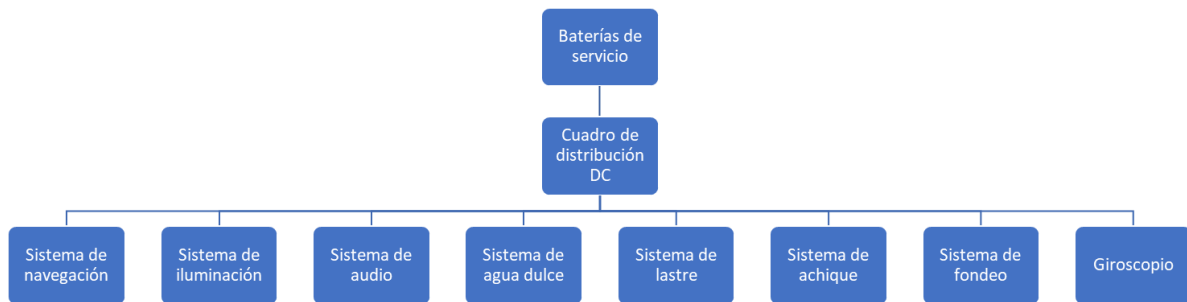


Ilustración 103: Sistema DC de baterías de servicio. Fuente: Elaboración propia.

7.4 Sistema de agua dulce

El sistema de agua dulce consiste en dos tanques de agua dulce de 96lts ubicados a estribor y babor en el área de popa simétricamente desde crujía. Los tanques están interconectados con el objetivo que el nivel de agua bajé simétricamente en ambos tanques y evitar escoras permanentes. Estos tanques alimentan una bomba de agua dulce que suministra el agua a cada uno de los puntos de consumo. A continuación, se puede observar en el modelo 3D, en azul, la ubicación de estos.

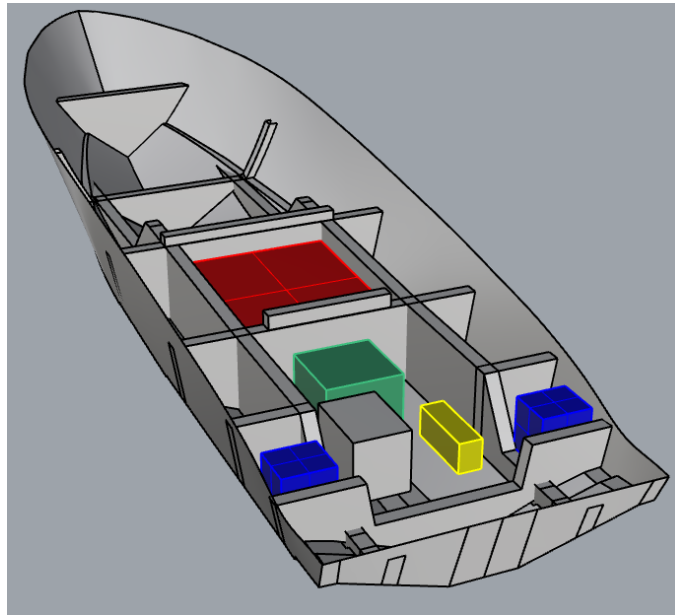


Ilustración 104: Disposición de tanques de agua dulce. Fuente: Elaboración propia.

7.5 Sistema de aguas negras

La embarcación diseñada no cuenta con grandes espacios de habitación ni varios aseos. Como se vio anteriormente, cuenta con un pequeño baño con un lavabo e inodoro. Por este motivo no se instalará un sistema de aguas negras. Se instalará un pequeño tanque de retención o "holding tank" donde el inodoro descargará directamente. Se instalará una toma de vaciado en el exterior para poder descargar el tanque una vez en puerto. El tanque se puede observar en la ilustración en color naranja.

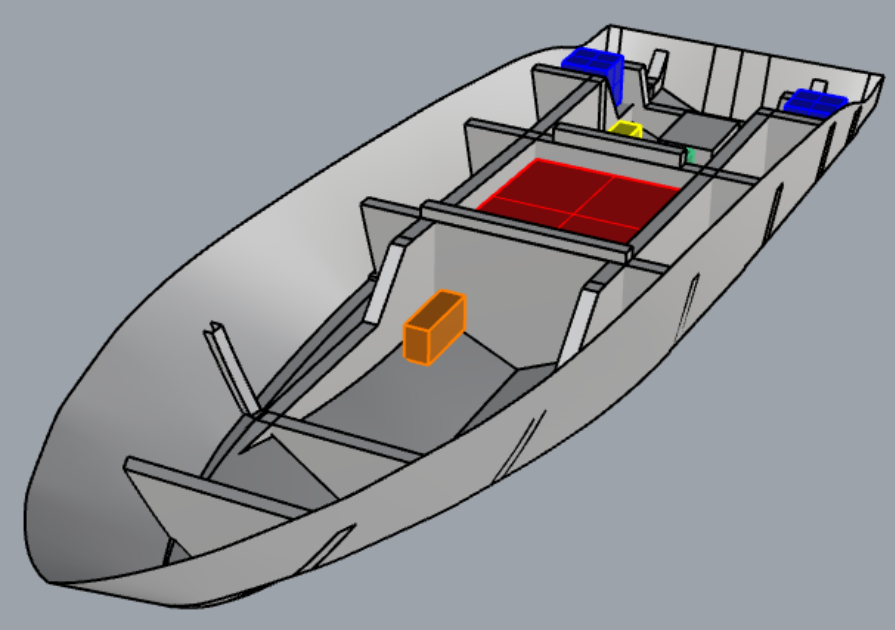


Ilustración 105: Disposición tanque de desechos. Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

Como se mencionó en la introducción, el principal objetivo de este proyecto era diseñar una embarcación con el objetivo de hacer crucero de día o "day cruising" por lo que el diseño debería estar enfocado a este tipo de uso y los requerimientos del cliente. Muchos fueron los retos encontrados a lo largo de estos meses de trabajo debido a que no solo era necesario satisfacer los requerimientos de este tipo de embarcaciones, sino también, como toda embarcación, deben satisfacerse una serie de normativas que garantizan que esta cumpla unos mínimos estándares de seguridad. Encontrar ese balance entre requerimientos del cliente y cumplimiento de normativa presentó uno de los principales retos de este proyecto. Adicionalmente, al ser una embarcación de 13 metros, cada espacio debía ser aprovechado al máximo garantizando siempre que la transición entre áreas fuera lo más fluida posible.

Después de varios meses de trabajo, se ha obtenido un resultado que cumple todos los requerimientos del proyecto en ambos ámbitos, tanto a nivel de prestaciones y requerimiento del cliente como a nivel de normativa. Se ha conseguido una embarcación que cuenta con amplios espacios y un conjunto de amenidades que permiten disfrutarla al máximo y, simultáneamente, se han logrado cumplir las normativas ISO12215-5 e ISO 12217 que son las que marcan los requerimientos para este tipo de embarcaciones de escantillonado y estabilidad respectivamente.

Por otro lado, se ha verificado de primera mano que cada punto de la espiral de diseño de Evans no es independiente y que están interconectados entre sí; cada modificación de algún aspecto afecta algún otro de manera directa o indirecta. Por esta razón, para lograr obtener un diseño definitivo y que cumpla con todas las especificaciones es necesario realizar varias vueltas a la espiral de diseño de Evans.

Desde un punto de vista más personal, hace más de cuatro años tome la decisión de venir a España para cursar este máster y aprender a diseñar desde cero una embarcación. Este proyecto ha sido el culmen de ese objetivo donde he podido conocer de primera mano ese proceso de diseño. Hay muchos aspectos que componen el proceso de diseño de una embarcación y que no se han podido incluir dentro de este trabajo por no formar parte del alcance, sin embargo, considero que lo desarrollado a lo largo de este trabajo me ha acercado a alcanzar ese objetivo inicial. Hoy en día tengo a la certeza que tengo las bases teóricas y las herramientas para iniciar un proceso de diseño de una embarcación. La experiencia y la curiosidad me permitirán en un futuro ampliar mis conocimientos de los diferentes aspectos del diseño naval y de esta forma convertirme en mejor profesional.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Atwood. (30 de marzo de 2022). *Atwood*. Obtenido de Atwood: <http://old.attwoodmarine.com/store/category/integrated-fuel/system-design>
- Azimut. (29 de Mayo de 2022). *Azimut Marine*. Obtenido de Azimut Marine: <https://www.azimutmarine.es/>
- HEXCEL. (12 de Marzo de 2022). *HEXCEL*. Obtenido de https://www.hexcel.com/user_area/content_media/raw/FGE160.pdf
- ISO12215-5. (2008). *Pequeñas embarcaciones - Contrucción de cascos y escantillones - Parte 5: Presiones de diseño, tensiones de diseño y determinación de escantillon*. Madrid: AENOR.
- ISO12217-1. (2017). *Pequeñas embarcaciones - Evaluación y clasificación de la estabilidad y flotabilidad - Parte 1: Embarcaciones no propulsadas a vela de eslora igual o superior a 6m*. Madrid: AENOR.
- Lars Larsson, R. E. (2014). *Principles of Yacht Design*. Londres: Bloomsbury.
- MirtoArt. (30 de marzo de 2022). *MirtoArt*. Obtenido de MirtoArt: <https://mirtoart.photoshelter.com/image/I00002Q4rUrLtSNc>
- SkyInternational. (30 de marzo de 2022). *SkyInternational*. Obtenido de SkyInternational: <http://www.sky-international.com/product/albin-manual-bilge-pump-flush-mount/>
- Teale, J. (2006). *Cómo diseñar un barco*. Madrid: TUTOR.
- Vetus. (29 de mayo de 2022). *Vetus*. Obtenido de Vetus: <https://vetusonline.com/english/>

ANEXOS

Anexo A: Base de datos de embarcaciones

Columna	Constructor	Model	LOA (foot)	B (foot)	T (inches)	Deadrise (deg)	Desplazamiento (lb)	Capacidad combustible (gallon)	Capacidad agua dulce (gallon)	Max HP
1	Hydrasports	Lujo	41	12	34	23	24000	614	40	
2	Scout	425 LXF	42	13	28	22	17000	500	66	1800
3	Yellowfin	42 Offshore	42	12			15000	571		
4	Valhalla	V-41	40	11	33	24	21000	557	49	1800
5	Everglades	395CC	42	12	32	25	16650	600	50	1275
6	Contender	44CB	43	12	27	22.7	19600	600	70	2000
7	buddy davis	42 CC	42	12	37	24	20100	600	60	
8	Tiara sport	43 LS	43	13	37	21	21800	400	60	
9	Pursuit	S482	43	13	36	22	23600	547	70	1700
10	bertram	39CC	40	13	34	22	22000	500	60	
11	ocean alexander	45 Divergence Sport	44	13	37		28900	607	100	1600
12	mystic powerboats	m4200	42	10			18000	300	44	
13	nortech	452	45	12			22000	460		
14	caymas	401 CC	39	11	27	22.5	17000	557	51	1800
15	frontrunner	39	39	11			18500	550		1800
16	blackwater	43 Sportfish	43	11	36	24	18000	788	80	1800
17	gradywhite	Canyon 456	45	14	30	21	24500	616		1800
18	regulator	41 CC	41	12	37	24	23500	600	60	1800
19	invincible	42 CC	42	11		22	16500	675		1800
20	seevee	390Z	39	11	26	22.5	12000	550	56	1800
21	seahunter	Tournament 45	45	12	26	24.5	21000	757	61	1800
22	midnight express	43 open	43	12	36	22	16000	450	75	2250
23	bahama	41 SCC	41	11	28	24	14000	580	65	1700
24	cigarrete	42 Auroris	42	11	34	20	18800	470	25	2250
25	jupiter	43 SF	43	12	43	24	18175	602	24	1800
26	fountain	43nx	43	12	30		19500	513	64	1800
27	deep impact	399 Sport	39	10	34	24	14500	430	58	1800
28	gulfcrosser	42	42	11				600		
29	century	4100 CC	41	12	31	23.5	18500	535	50	1800
30	MTI	V-42	42	11	30		15000	460	18	1800

Ilustración 106: Base de datos de embarcaciones de consola central. Fuente: Elaboración propia.

Anexo B: Escantillonado

En este anexo encontraremos capturas de pantallas de la hoja de cálculo utilizada para la determinación del escantillonado. Adicionalmente observaremos la discretización de paneles en cada componente de la embarcación.

B.1 Discretización de paneles para cálculo de escantillonado.

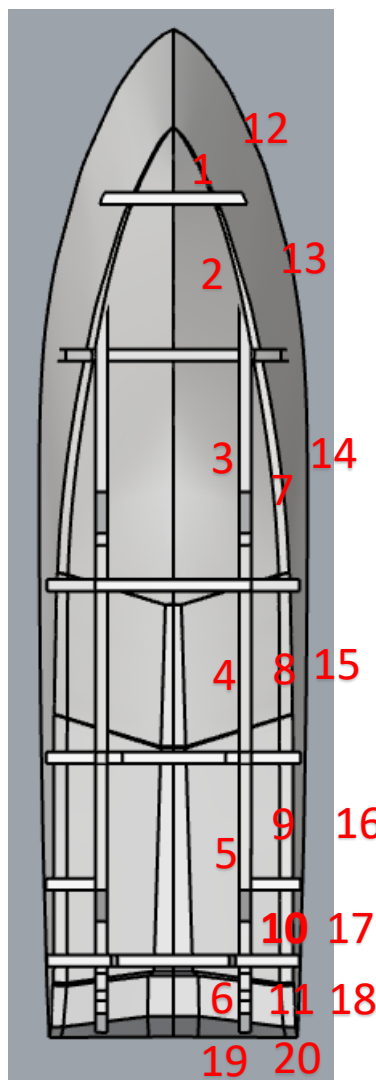


Ilustración 107: Discretización de paneles en casco. Fuente: Elaboración propia.

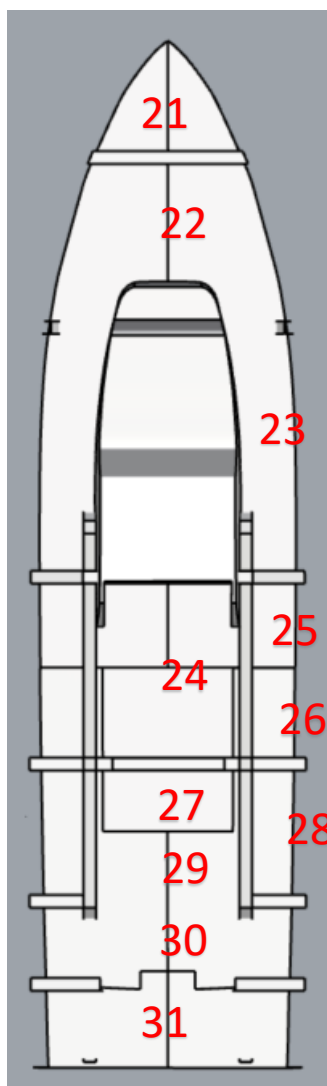


Ilustración 108: Discretización de paneles en cubierta. Fuente: Elaboración propia.

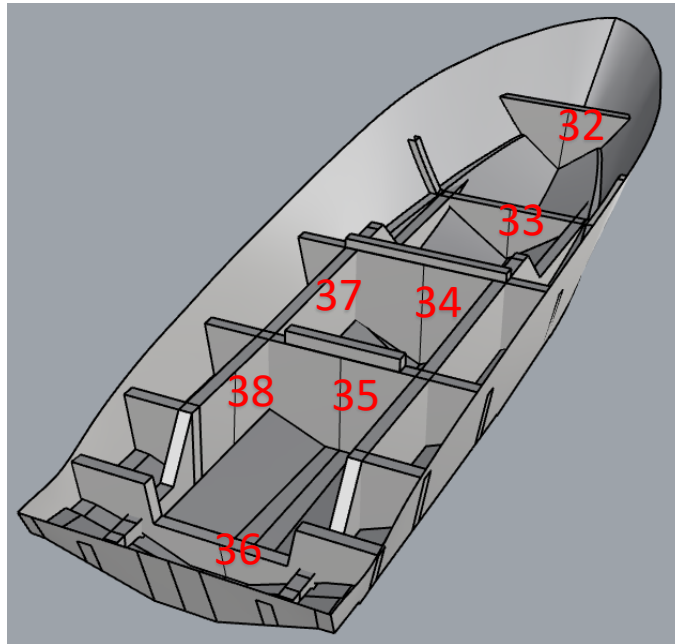


Ilustración 109: Discretización de paneles en estructura. Fuente: Elaboración propia.

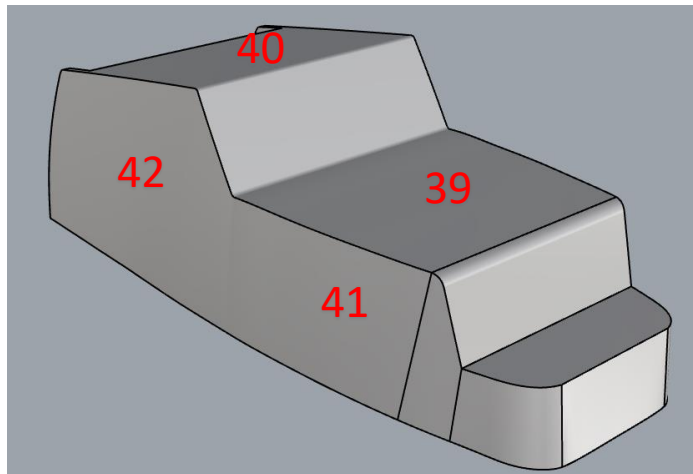


Ilustración 110: Discretización de paneles en superestructura. Fuente: Elaboración propia.

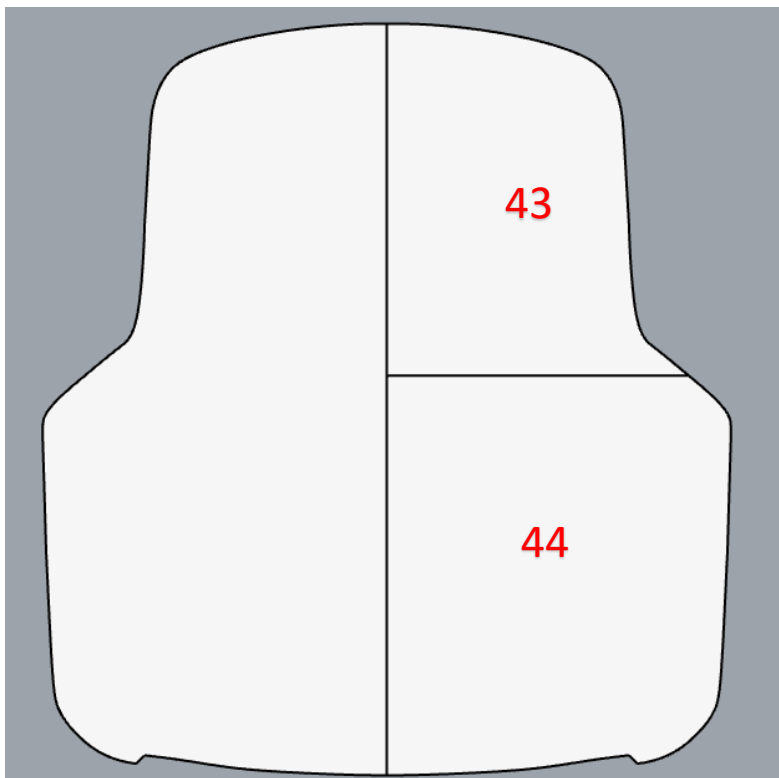


Ilustración 111: Discretización de paneles en techo. Fuente: Elaboración propia.

B.2 Capturas de la hoja de cálculo para la determinación de escantillonado.

DATOS BÁSICOS	
Categoría de diseño	A
Tipo embarcación	Motor
Velocidad máxima aguas tranq.	45 nudos
Masa en desplazamiento (m_{LDC})	10000 kg
Eslora (L_H)	13.0 m
Eslora en la flotación (L_{WL})	11.0 m
Manga en el pantoque (B_C)	2.8 m
Semiángulo diedro fondo (β)	25 °
Altura part. sup. casco sobre línea flotación (Z)	1.5 m
Factores de ajuste de presión	
Fact. categoría de diseño (k_{DC})	1
Fact. carga dinámica (n_{CG})	4.701

Ilustración 112: Datos básicos de la embarcación. Fuente: Elaboración propia.

DATOS PANEL													
FRP DE UNA SOLA CAPA													
Dimensiones	Fondo												Fondo
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	19	20
Dimensión mayor panel (l) mm	913	1790	2608	1932	2283	825	2627	1933	1370	773	687	821	551
Dimensión menor panel (b) mm	562	962	858	836	826	630	379	528	525	525	561	736	478
Area de diseño	0.513	1.722	2.238	1.615	1.886	0.520	0.996	1.021	0.719	0.406	0.385	0.604	0.263
Posición panel (x) desde popa	10.000	8.764	6.531	4.110	1.875	0.293	6.298	4.091	2.329	1.117	0.241	0.000	0.000
x/L _{WL}	0.909	0.797	0.594	0.374	0.170	0.027	0.573	0.372	0.212	0.102	0.022	0.000	0.000
Altura centro panel (h)	0.267	-0.068	-0.395	-0.440	-0.420	-0.350	-0.044	-0.112	-0.116	-0.012	-0.049	-0.005	0.140
Altura centro panel (h)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.14
Fact. longitud. distr. presión (k _l)	1.000	1.000	0.998	0.919	0.846	0.795	0.990	0.918	0.861	0.821	0.793	0.785	0.785
formula 1 x/LWL <= 0.6	1.111	1.070	0.998	0.919	0.846	0.795	0.990	0.918	0.861	0.821	0.793	0.785	0.785
formula 2 x/LWL > 0.6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Fact. reducción de presión mod. Plan. (k _{AR})	0.486	0.338	0.332	0.345	0.339	0.484	0.541	0.444	0.445	0.522	0.530	0.463	0.594
Fact. reducción de presión mod. Desp. (k _{AR})	0.486	0.338	0.332	0.345	0.339	0.484	0.541	0.444	0.445	0.522	0.530	0.463	0.594
Valor segun formula mod. Plan. (4)	0.486	0.338	0.332	0.345	0.339	0.484	0.541	0.444	0.445	0.522	0.530	0.463	0.594
Valor segun formula mod. Despl. (4)	0.486	0.338	0.332	0.345	0.339	0.484	0.541	0.444	0.445	0.522	0.530	0.463	0.594
Area de diseño máxima	0.790	2.314	1.840	1.747	1.706	0.992	0.359	0.697	0.689	0.689	0.787	1.354	0.571
Fact. estructural elemento mod. Plan. (k _R)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Fact. estructural elemento mod. desp. (k _R)	1.33	1.21	1.24	1.25	1.25	1.31	1.39	1.34	1.34	1.34	1.33	1.28	1.36
Valor máximo k _{AR}	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Valor mínimo k _{AR}	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
Fact. reducción presión costado (k ₂)	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.907
Fact. reducción presión para superestructuras (k _{sup})													
PRESIONES DE DISEÑO EMBARCACIONES A MOTOR													
Presión en los fondos - Modalidad desplazamiento													
P_{BMD}	34.113	23.723	23.202	22.222	20.130	27.002	37.595	28.576	26.882	30.065	29.473	25.499	32.712
Formula (7)	34.113	23.723	23.202	22.222	20.130	27.002	37.595	28.576	26.882	30.065	29.473	25.499	32.712
P _{DM} BASE	70.143	70.143	70.143	70.143	70.143	70.143	70.143	70.143	70.143	70.143	70.143	70.143	70.143
P _{DM} MIN	19.302	19.302	19.302	19.302	19.302	19.302	19.302	19.302	19.302	19.302	19.302	19.302	19.302
Presión en los costado - Modalidad desplazamiento													
P_{BMD}													
Formula (12)													
P _{DM} BASE													
P _{DM} MIN													
Presión en los fondos - Modalidad planeadora													
P_{BMP}	90.019	62.602	61.227	58.641	53.120	71.253	99.206	75.407	70.937	79.335	77.775	67.286	86.322
Formula (10)	90.019	62.602	61.227	58.641	53.120	71.253	99.206	75.407	70.937	79.335	77.775	67.286	86.322
P _{BM} BASE	185.095	185.095	185.095	185.095	185.095	185.095	185.095	185.095	185.095	185.095	185.095	185.095	185.095
P _{BM} MIN	19.302	19.302	19.302	19.302	19.302	19.302	19.302	19.302	19.302	19.302	19.302	19.302	19.302
Presión en los costado - Modalidad planeadora													
P_{BMP}													
Formula (14)													
P _{DM} BASE													
P _{DM} MIN													
Presión de cubierta													
P_{DM}													
Formula (15)													
P _{DM} BASE													
P _{DM} MIN													
Presión de superestructura													
P_{sup}													
Formula (18)													
P _{DM} BASE													
P _{DM} MIN													
Presión de diseño en paneles	90.019	62.602	61.227	58.641	53.120	71.253	99.206	75.407	70.937	79.335	77.775	67.286	86.322
Verificación panel de fondo "muy grande"													
Area panel	0.513	1.722	2.238	1.615	1.886	0.520	0.996	1.021	0.719	0.406	0.385	0.604	0.263
0.3 L _{WL} x B _{WL}	9.24	9.24	9.24	9.24	9.24	9.24	9.24	9.24	9.24	9.24	9.24	9.24	9.24

Ilustración 113: Presiones de diseño zona de fondo. Fuente: Elaboración propia.

DATOS PANEL							
FRP DE UNA SOLA CAPA							
Dimensiones	Costado						
	12	13	14	15	16	17	18
Dimensión mayor panel (l) mm	2326	1759	2612	1926	1384	807	851
Dimensión menor panel (b) mm	1213	1208	1232	1096	914	712	440
Area de diseño	2.821	2.125	3.218	2.111	1.265	0.575	0.374
Posición panel (x) desde popa	10.600	8.814	6.525	4.131	2.351	1.140	0.229
x/LWL	0.964	0.801	0.593	0.376	0.214	0.104	0.021
Altura centro panel (h)	0.964	0.765	0.591	0.469	0.363	0.244	0.156
Altura centro panel (h)	0.964	0.765	0.591	0.469	0.363	0.244	0.156
Fact. longitud. distr. presión (k _L)	1.000	1.000	0.998	0.920	0.862	0.822	0.793
formula 1 x/LWL <= 0.6	1.130	1.072	0.998	0.920	0.862	0.822	0.793
formula 2 x/LWL > 0.6	1	1	1	1	1	1	1
Fact. reducción de presión mod. Plan. (k _{AR})	0.292	0.318	0.280	0.318	0.371	0.470	0.535
Fact. reducción de presión mod. Desp. (k _{AR})	0.292	0.318	0.280	0.318	0.371	0.470	0.535
Valor segun formula mod. Plan. (4)	0.292	0.318	0.280	0.318	0.371	0.470	0.535
Valor segun formula mod. Despl. (4)	0.292	0.318	0.280	0.318	0.371	0.470	0.535
Area de diseño máxima	3.678	3.648	3.795	3.003	2.088	1.267	0.484
Fact. estructural elemento mod. Plan. (k _R)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Fact. estructural elemento mod. desp. (k _R)	1.14	1.14	1.13	1.17	1.23	1.29	1.37
Valor máximo k _{AR}	1	1	1	1	1	1	1
Valor mínimo k _{AR}	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
Fact. reducción presión costado (k _Z)	0.357	0.490	0.606	0.687	0.758	0.837	0.896
Fact. reducción presión para superestructuras (k _{sup})							
PRESIONES DE DISEÑO EMBARCACIONES A MOTOR							
Presión en los fondos - Modalidad desplazamiento							
P_{BMD}							
Formula (7)							
P _{BM} BASE	70.143	70.143	70.143	70.143	70.143	70.143	70.143
P _{BM} MIN							
Presión en los costado - Modalidad desplazamiento							
P_{BMD}							
Formula (12)	10.768	13.902	13.921	15.794	18.423	23.861	27.438
P _{DM} BASE	18.450	18.450	18.450	18.450	18.450	18.450	18.450
P _{DM} MIN	9.900	9.900	9.900	9.900	9.900	9.900	9.900
Presión en los fondos - Modalidad planeadora							
P_{BMP}							
Formula (10)							
P _{BM} BASE	185.095	185.095	185.095	185.095	185.095	185.095	185.095
P _{BM} MIN							
Presión en los costado - Modalidad planeadora							
P_{BMP}							
Formula (14)	9.900	10.188	9.900	10.994	12.640	16.136	18.377
P _{DM} BASE	18.450	18.450	18.450	18.450	18.450	18.450	18.450
P _{DM} MIN	9.900	9.900	9.900	9.900	9.900	9.900	9.900
Presión de cubierta							
P_{DM}							
Formula (15)							
P _{DM} BASE							
P _{DM} MIN							
Presión de superestructura							
P_ssup							
Formula (18)							
P _{DM} BASE							
P _{DM} MIN							
Presión de diseño en paneles	10.768	13.902	13.921	15.794	18.423	23.861	27.438
Verificación panel de fondo "muy grande"	0	0	0	0	0	0	0
Area panel	2.821	2.125	3.218	2.111	1.265	0.575	0.374
0.3 L _{WL} x B _{WL}	9.24	9.24	9.24	9.24	9.24	9.24	9.24

Ilustración 114: Presiones de diseño zona de costado. Fuente: Elaboración propia.

Dimensiones	Cubierta										
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Dimensión mayor panel (l) mm	1620	2598	2757	2049	983	1037	1025	1507	1710	2714	3064
Dimensión menor panel (b) mm	1282	1868	610	1427	541	1058	737	502	759	915	916
Area de diseño	2.077	4.853	1.682	2.924	0.532	1.097	0.755	0.757	1.298	2.483	2.807
Posición panel (x) desde popa	10.472	9.091	6.780	4.382	4.890	3.866	2.967	2.588	2.355	1.389	0.458
x/LWL	0.952	0.826	0.616	0.398	0.445	0.351	0.270	0.235	0.214	0.126	0.042
Altura centro panel (h)	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
Altura centro panel (h)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fact. longitud. distr. presión (k _L)	1.000	1.000	1.000	0.928	0.944	0.911	0.882	0.869	0.862	0.830	0.800
formula 1 x/LWL <= 0.6	1.126	1.081	1.006	0.928	0.944	0.911	0.882	0.869	0.862	0.830	0.800
formula 2 x/LWL > 0.6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Fact. reducción de presión mod. Plan. (k _{AR})	0.320	0.250	0.407	0.289	0.481	0.387	0.433	0.457	0.368	0.319	0.319
Fact. reducción de presión mod. Desp. (k _{AR})	0.320	0.250	0.407	0.289	0.481	0.387	0.433	0.457	0.368	0.319	0.319
Valor segun formula mod. Plan. (4)	0.320	0.248	0.407	0.289	0.481	0.387	0.433	0.457	0.368	0.319	0.319
Valor segun formula mod. Despl. (4)	0.320	0.233	0.407	0.289	0.481	0.387	0.433	0.457	0.368	0.319	0.319
Area de diseño máxima	4.109	8.724	0.930	5.091	0.732	2.798	1.358	0.630	1.440	2.093	2.098
Fact. estructural elemento mod. Plan. (k _R)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Fact. estructural elemento mod. desp. (k _R)	1.12	0.94	1.32	1.07	1.34	1.18	1.28	1.35	1.27	1.23	1.23
Valor máximo k _{AR}	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Valor mínimo k _{AR}	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
Fact. reducción presión costado (k _Z)	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Fact. reducción presión para superestructuras (k _{sup})											
PRESIONES DE DISEÑO EMBARCACIONES A MOTOR											
Presión en los fondos - Modalidad desplazamiento											
P_{BMD}											
Formula (7)											
P _{BM} BASE											
P _{BM} MIN											
Presión en los costado - Modalidad desplazamiento											
P_{BMD}											
Formula (12)											
P _{DM} BASE											
P _{SM} MIN											
Presión en los fondos - Modalidad planeadora											
P_{BMP}											
Formula (10)											
P _{BM} BASE											
P _{BM} MIN											
Presión en los costado - Modalidad planeadora											
P_{BMP}											
Formula (14)											
P _{DM} BASE											
P _{SM} MIN											
Presión de cubierta											
P_{DM}	5.899	5.000	7.506	5.000	8.383	6.508	7.045	7.335	5.853	5.000	5.000
Formula (15)	5.899	4.613	7.506	4.939	8.383	6.508	7.045	7.335	5.853	4.886	4.705
P _{DM} BASE	18.450	18.450	18.450	18.450	18.450	18.450	18.450	18.450	18.450	18.450	18.450
P _{DM} MIN	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000
Presión de superestructura											
P_{sup}											
Formula (18)											
P _{DM} BASE											
P _{DM} MIN											
Presión de diseño en paneles	5.899	5.000	7.506	5.000	8.383	6.508	7.045	7.335	5.853	5.000	5.000
Verificación panel de fondo "muy grande"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Area panel	2.077	4.853	1.682	2.924	0.532	1.097	0.755	0.757	1.298	2.483	2.807
0.3 L _{WL} x B _{WL}	9.24	9.24	9.24	9.24	9.24	9.24	9.24	9.24	9.24	9.24	9.24

Ilustración 115: Presiones de diseño de zona de cubierta. Fuente: Elaboración propia.

DATOS PANEL							
FRP DE UNA SOLA CAPA							
Dimensiones	Estructura						
	32	33	34	35	36	37	38
Dimensión mayor panel (l) mm	1756	1800	1568	1568	1328	1928	1367
Dimensión menor panel (b) mm	869	671	1228	1067	335	800	800
Area de diseño	1.526	1.208	1.926	1.673	0.445	1.542	1.094
Posición panel (x) desde popa							
x/LWL							
Altura centro panel (h)							
Altura centro panel (h)							
Fact. longitud. distr. presión (k _L)							
formula 1 x/LWL <= 0.6							
formula 2 x/LWL > 0.6							
Fact. reducción de presión mod. Plan. (k _{AR})							
Fact. reducción de presión mod. Desp. (k _{AR})							
Valor segun formula mod. Plan. (4)							
Valor segun formula mod. Despl. (4)							
Area de diseño máxima							
Fact. estructural elemento mod. Plan. (k _R)							
Fact. estructural elemento mod. desp. (k _R)							
Valor máximo k _{AR}							
Valor mínimo k _{AR}							
Fact. reducción presión costado (k _Z)							
Fact. reducción presión para superestructuras (k _{sup})							
PRESIONES DE DISEÑO EMBARCACIONES A MOTOR							
Presión en los fondos - Modalidad desplazamiento							
P _{BMD}							
Formula (7)							
P _{BM} BASE							
P _{BM} MIN							
Presión en los costado - Modalidad desplazamiento							
P _{BMD}							
Formula (12)							
P _{DM} BASE							
P _{SM} MIN							
Presión en los fondos - Modalidad planeadora							
P _{BMP}							
Formula (10)							
P _{BM} BASE							
P _{BM} MIN							
Presión en los costado - Modalidad planeadora							
P _{BMP}							
Formula (14)							
P _{DM} BASE							
P _{SM} MIN							
Presion de cubierta							
P _{DM}							
Formula (15)							
P _{DM} BASE							
P _{DM} MIN							
Presion de superestructura							
P _{sup}							
Formula (18)							
P _{DM} BASE							
P _{DM} MIN							
Presión de diseño en paneles							
	5.793	4.473	8.187	7.113	2.233	5.333	5.333
Verificación panel de fondo "muy grande"							
	0	0	0	0	0	0	0
Area panel	1.526	1.208	1.926	1.673	0.445	1.542	1.094
0.3 L _{WL} X B _{WL}	9.24	9.24	9.24	9.24	9.24	9.24	9.24

Ilustración 116: Presiones de diseño zona de estructura. Fuente: Elaboración propia.

ESCANTILLONADO PANEL FRP													
FRP DE UNA SOLA CAPA													
Datos Panel	Fondo											Fondo	
Numero de panel	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	19	20
Dimensión mayor panel (l)	913	1790	2608	1932	2283	825	2627	1933	1370	773	687	821	551
Dimensión menor panel (b)	562	962	858	836	826	630	379	528	525	525	561	736	478
Area de diseño	0.513106	1.72198	2.237664	1.615152	1.885758	0.51975	0.995633	1.020624	0.71925	0.405825	0.385407	0.604256	0.263378
l/b	1.625	1.861	3.040	2.311	2.764	1.310	6.931	3.661	2.610	1.472	1.225	1.115	1.153
Presión diseño del panel (P)	90.02	62.60	61.23	58.64	53.12	71.25	99.21	75.41	70.94	79.33	77.77	67.29	86.32
Factores de Ajuste													
Factor deformación por flexión (k ₁)	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Factor alargamiento resistencia flexión (k ₂)	0.282	0.287	0.287	0.288	0.290	0.285	0.281	0.284	0.285	0.283	0.284	0.286	0.282
Factor alargamiento rigidez flexión (k ₃)	0.027	0.027	0.027	0.027	0.027	0.027	0.027	0.027	0.027	0.027	0.027	0.027	0.027
Factor corrección por curvatura (k _c)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Máximo cortante y flector													
Esfuerzo cortante (Fd)	22.14	27.49	25.90	22.70	21.63	17.80	18.80	19.91	18.36	17.49	16.69	17.95	15.25
k _{SHC}	0.438	0.457	tabla	tabla	tabla	0.397	tabla	tabla	tabla	0.420	0.383	0.363	0.370
Momento de flexión (Md)	1336.125	2768.496	2156.524	1965.669	1748.652	1342.501	667.2654	995.305	928.3559	1032.944	1157.276	1735.18	928.4006
Escantillonado del panel													
Panel fibra de vidrio E													
Numero de capas	4	6	5	5	5	4	3	4	4	4	4	5	4
MAT	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450
ROV	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400
Cantidad fibra de vidrio (w)	8.2	12.3	10.25	10.25	10.25	8.2	6.15	8.2	8.2	8.2	8.2	10.25	8.2
R	0.219512	0.219512	0.219512	0.219512	0.219512	0.219512	0.219512	0.219512	0.219512	0.219512	0.219512	0.219512	0.219512
Contenido en masa de vidrio (ψ)	0.511707	0.511707	0.511707	0.511707	0.511707	0.511707	0.511707	0.511707	0.511707	0.511707	0.511707	0.511707	0.511707
Tabla C.4.a para metodo evaluación EL-c													
Resistencia rotura tracción (σ _{ut})	163.64	163.64	163.64	163.64	163.64	163.64	163.64	163.64	163.64	163.64	163.64	163.64	163.64
Resistencia rotura compresión (σ _{uc})	119.00	119.00	119.00	119.00	119.00	119.00	119.00	119.00	119.00	119.00	119.00	119.00	119.00
Resistencia rotura flexión (σ _{uf})	190.76	190.76	190.76	190.76	190.76	190.76	190.76	190.76	190.76	190.76	190.76	190.76	190.76
Resistencia cizalla en el plano (τ _u)	63.15	63.15	63.15	63.15	63.15	63.15	63.15	63.15	63.15	63.15	63.15	63.15	63.15
Módulo elástico en el plano (E)	11555.90	11555.90	11555.90	11555.90	11555.90	11555.90	11555.90	11555.90	11555.90	11555.90	11555.90	11555.90	11555.90
Módulo cizalla en el plano (G)	2487.92	2487.92	2487.92	2487.92	2487.92	2487.92	2487.92	2487.92	2487.92	2487.92	2487.92	2487.92	2487.92
Resistencia cizalla interlaminar (τ _{uinter})	10.84	10.84	10.84	10.84	10.84	10.84	10.84	10.84	10.84	10.84	10.84	10.84	10.84
Tensión de diseño	95.37835	95.37835	95.37835	95.37835	95.37835	95.37835	95.37835	95.37835	95.37835	95.37835	95.37835	95.37835	95.37835
Espesor mínimo	9.17	13.20	11.65	11.12	10.49	9.19	6.48	7.91	7.64	8.06	8.53	10.45	7.64
	13.20												
Espesor laminado (según fórmula ISO)	9.72	14.59	12.15	12.15	12.15	9.72	7.29	9.72	9.72	9.72	9.72	12.15	9.72
	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple

Ilustración 118: Espesor mínimo para zona de fondo. Fuente: Elaboración propia.

ESCANTILLONADO PANEL FRP							
FRP DE UNA SOLA CAPA							
Datos Panel	Costado						
	12	13	14	15	16	17	18
Numero de panel	12	13	14	15	16	17	18
Dimensión mayor panel (l)	2326	1759	2612	1926	1384	807	851
Dimensión menor panel (b)	1213	1208	1232	1096	914	712	440
Area de diseño	2.821438	2.124872	3.217984	2.110896	1.264976	0.574584	0.37444
l/b	1.918	1.456	2.120	1.757	1.514	1.133	1.934
Presión diseño del panel (P)	10.77	13.90	13.92	15.79	18.42	23.86	27.44
Factores de Ajuste							
Factor deformación por flexión (k₁)	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Factor alargamiento resistencia flexión (k₂)	0.357	0.339	0.339	0.331	0.323	0.312	0.306
Factor alargamiento rigidez flexión (k₃)	0.028	0.028	0.028	0.028	0.028	0.027	0.027
Factor corrección por curvatura (k_c)	1	1	1	1	1	1	1
Máximo cortante y flector							
Esfuerzo cortante (Fd)	6.00	7.02	7.94	7.78	7.16	6.22	5.56
k_{SHC}	0.460	0.418	tabla	0.449	0.425	0.366	0.460
Momento de flexión (Md)	942.8328	1145.858	1193.203	1047.253	828.493	628.0314	271.2417
Escantillonado del panel							
Panel fibra de vidrio E							
Número de capas	4	4	4	4	4	3	2
MAT	450	450	450	450	450	450	450
ROV	400	400	400	400	400	400	400
Cantidad fibra de vidrio (w)	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	6.15	4.1
R	0.219512	0.219512	0.219512	0.219512	0.219512	0.219512	0.219512
Contenido en masa de vidrio (ψ)	0.511707	0.511707	0.511707	0.511707	0.511707	0.511707	0.511707
Tabla C.4.a para metodo evaluación EL-c							
Resistencia rotura tracción (σ_{ut})	163.64	163.64	163.64	163.64	163.64	163.64	163.64
Resistencia rotura compresión (σ_{uc})	119.00	119.00	119.00	119.00	119.00	119.00	119.00
Resistencia rotura flexión (σ_{uf})	190.76	190.76	190.76	190.76	190.76	190.76	190.76
Resistencia cizalla en el plano (τ_u)	63.15	63.15	63.15	63.15	63.15	63.15	63.15
Módulo elástico en el plano (E)	11555.90	11555.90	11555.90	11555.90	11555.90	11555.90	11555.90
Módulo cizalla en el plano (G)	2487.92	2487.92	2487.92	2487.92	2487.92	2487.92	2487.92
Resistencia cizalla interlaminar (τ_{u inter})	10.84	10.84	10.84	10.84	10.84	10.84	10.84
Tensión de diseño	95.37835	95.37835	95.37835	95.37835	95.37835	95.37835	95.37835
Espesor mínimo	7.70	8.49	8.66	8.12	7.22	6.29	4.13
	8.66						
Espesor laminado (según fórmula ISO)	9.72	9.72	9.72	9.72	9.72	7.29	4.86
	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple

Ilustración 119: Espesor mínimo para zona de costado. Fuente: Elaboración propia.

ESCANTILLONADO PANEL FRP											
FRP DE UNA SOLA CAPA											
Datos Panel	Cubierta										
Numero de panel	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Dimensión mayor panel (l)	1620	2598	2757	2049	983	1037	1025	1507	1710	2714	3064
Dimensión menor panel (b)	1282	1868	610	1427	541	1058	737	502	759	915	916
Area de diseño	2.07684	4.853064	1.68177	2.923923	0.531803	1.097146	0.755425	0.756514	1.29789	2.48331	2.806624
l/b	1.264	1.391	4.520	1.436	1.817	0.980	1.391	3.002	2.253	2.966	3.345
Presión diseño del panel (P)	5.90	5.00	7.51	5.00	8.38	6.51	7.04	7.33	5.85	5.00	5.00
Factores de Ajuste											
Factor deformación por flexión (k_1)	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Factor alargamiento resistencia flexión (k_2)	0.416	0.435	0.390	0.435	0.379	0.405	0.396	0.392	0.417	0.435	0.435
Factor alargamiento rigidez flexión (k_3)	0.029	0.029	0.028	0.029	0.028	0.028	0.028	0.028	0.029	0.029	0.029
Factor corrección por curvatura (k_c)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Máximo cortante y flector											
Esfuerzo cortante (Fd)	2.94	3.82	2.29	2.96	2.06	2.30	2.12	1.82	2.09	2.26	2.29
k_{SHC}	0.389	0.409	tabla	0.415	0.454	0.335	0.409	tabla	tabla	tabla	tabla
Momento de flexión (Md)	671.6673	1265.424	181.332	738.4654	154.8592	491.2497	252.6052	120.729	234.1119	303.6158	304.2798
Escantillonado del panel											
Panel fibra de vidrio E											
Número de capas	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3
MAT	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450
ROV	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400
Cantidad fibra de vidrio (w)	8.2	8.2	6.15	6.15	6.15	6.15	6.15	6.15	6.15	6.15	6.15
R	0.219512	0.219512	0.219512	0.219512	0.219512	0.219512	0.219512	0.219512	0.219512	0.219512	0.219512
Contenido en masa de vidrio (ψ)	0.511707	0.511707	0.511707	0.511707	0.511707	0.511707	0.511707	0.511707	0.511707	0.511707	0.511707
Tabla C.4.a para metodo evaluación EL-c											
Resistencia rotura tracción (σ_{ut})	163.64	163.64	163.64	163.64	163.64	163.64	163.64	163.64	163.64	163.64	163.64
Resistencia rotura compresión (σ_{uc})	119.00	119.00	119.00	119.00	119.00	119.00	119.00	119.00	119.00	119.00	119.00
Resistencia rotura flexión (σ_{uf})	190.76	190.76	190.76	190.76	190.76	190.76	190.76	190.76	190.76	190.76	190.76
Resistencia cizalla en el plano (τ_u)	63.15	63.15	63.15	63.15	63.15	63.15	63.15	63.15	63.15	63.15	63.15
Módulo elástico en el plano (E)	11555.90	11555.90	11555.90	11555.90	11555.90	11555.90	11555.90	11555.90	11555.90	11555.90	11555.90
Módulo cizalla en el plano (G)	2487.92	2487.92	2487.92	2487.92	2487.92	2487.92	2487.92	2487.92	2487.92	2487.92	2487.92
Resistencia cizalla interlaminar (τ_{uinter})	10.84	10.84	10.84	10.84	10.84	10.84	10.84	10.84	10.84	10.84	10.84
Tensión de diseño	95.37835	95.37835	95.37835	95.37835	95.37835	95.37835	95.37835	95.37835	95.37835	95.37835	95.37835
Espesor mínimo	6.50	8.92	3.38	6.82	3.12	5.56	3.99	2.76	3.84	4.37	4.38
8.92											
Espesor laminado (según fórmula ISO)	9.72	9.72	7.29	7.29	7.29	7.29	7.29	7.29	7.29	7.29	7.29
	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple

Ilustración 120: Espesor mínimo para zona de cubierta. Fuente: Elaboración propia.

ESCANTILLONADO PANEL FRP							
FRP DE UNA SOLA CAPA							
Datos Panel	Estructura						
	32	33	34	35	36	37	38
Numero de panel	32	33	34	35	36	37	38
Dimensión mayor panel (l)	1756	1800	1568	1568	1328	1928	1367
Dimensión menor panel (b)	869	671	1228	1067	335	800	800
Area de diseño	1.525964	1.2078	1.925504	1.673056	0.44488	1.5424	1.0936
l/b	2.021	2.683	1.277	1.470	3.964	2.410	1.709
Presión diseño del panel (P)	5.79	4.47	8.19	7.11	2.23	5.33	5.33
Factores de Ajuste							
Factor deformación por flexión (k₁)	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Factor alargamiento resistencia flexión (k₂)	0.418	0.449	0.381	0.395	0.505	0.427	0.427
Factor alargamiento rigidez flexión (k₃)	0.029	0.029	0.028	0.028	0.029	0.029	0.029
Factor corrección por curvatura (k_c)	1	1	1	1	1	1	1
Máximo cortante y flector							
Esfuerzo cortante (Fd)	2.52	1.50	5.03	3.79	0.37	2.13	2.13
k_{SHC}	tabla	tabla	0.391	0.420	tabla	tabla	0.445
Momento de flexión (Md)	304.6073	150.5972	783.8607	533.2578	21.09531	243.1752	243.1752
Escantillonado del panel							
Panel fibra de vidrio E							
Número de capas	3	3	3	3	3	3	3
MAT	450	450	450	450	450	450	450
ROV	400	400	400	400	400	400	400
Cantidad fibra de vidrio (w)	6.15	6.15	6.15	6.15	6.15	6.15	6.15
R	0.219512	0.219512	0.219512	0.219512	0.219512	0.219512	0.219512
Contenido en masa de vidrio (ψ)	0.511707	0.511707	0.511707	0.511707	0.511707	0.511707	0.511707
Tabla C.4.a para metodo evaluación EL-c							
Resistencia rotura tracción (σ_{ut})	163.64	163.64	163.64	163.64	163.64	163.64	163.64
Resistencia rotura compresión (σ_{uc})	119.00	119.00	119.00	119.00	119.00	119.00	119.00
Resistencia rotura flexión (σ_{uf})	190.76	190.76	190.76	190.76	190.76	190.76	190.76
Resistencia cizalla en el plano (τ_u)	63.15	63.15	63.15	63.15	63.15	63.15	63.15
Módulo elástico en el plano (E)	11555.90	11555.90	11555.90	11555.90	11555.90	11555.90	11555.90
Módulo cizalla en el plano (G)	2487.92	2487.92	2487.92	2487.92	2487.92	2487.92	2487.92
Resistencia cizalla interlaminar (τ_{u inter})	10.84	10.84	10.84	10.84	10.84	10.84	10.84
Tensión de diseño	95.37835	95.37835	95.37835	95.37835	95.37835	95.37835	95.37835
Espesor mínimo	4.38	3.08	7.02	5.79	1.15	3.91	3.91
	7.02						
Espesor laminado (según fórmula ISO)	7.29	7.29	7.29	7.29	7.29	7.29	7.29
	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple

Ilustración 121: Espesor mínimo para zona de superestructura. Fuente: Elaboración propia.

ESCANTILLONADO PANEL FRP						
FRP DE UNA SOLA CAPA						
Datos Panel	Superestructura				Techo	
Numero de panel	39	40	41	42	43	44
Dimensión mayor panel (l)	1500	1480	1255	1736	1539	1748
Dimensión menor panel (b)	1250	1166	780	1257	1000	1319
Area de diseño	1.875	1.72568	0.9789	2.182152	1.539	2.305612
l/b	1.200	1.269	1.609	1.381	1.539	1.325
Presión diseño del panel (P)	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
Factores de Ajuste						
Factor deformación por flexión (k₁)	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Factor alargamiento resistencia flexión (k₂)	0.435	0.435	0.435	0.435	0.435	0.435
Factor alargamiento rigidez flexión (k₃)	0.029	0.029	0.029	0.029	0.029	0.029
Factor corrección por curvatura (k_c)	1	1	1	1	1	1
Máximo cortante y flector						
Esfuerzo cortante (Fd)	3.13	2.92	1.95	3.14	2.50	3.30
k_{SHC}	0.378	0.390	0.436	0.407	0.428	0.399
Momento de flexión (Md)	566.6335	493.0368	220.6335	572.9975	362.6454	630.9164
Escantillonado del panel						
Panel fibra de vidrio E						
Número de capas	3	3	3	3	3	3
MAT	450	450	450	450	450	450
ROV	400	400	400	400	400	400
Cantidad fibra de vidrio (w)	6.15	6.15	6.15	6.15	6.15	6.15
R	0.219512	0.219512	0.219512	0.219512	0.219512	0.219512
Contenido en masa de vidrio (ψ)	0.511707	0.511707	0.511707	0.511707	0.511707	0.511707
Tabla C.4.a para metodo evaluación EL-c						
Resistencia rotura tracción (σ_{ut})	163.64	163.64	163.64	163.64	163.64	163.64
Resistencia rotura compresión (σ_{uc})	119.00	119.00	119.00	119.00	119.00	119.00
Resistencia rotura flexión (σ_{uf})	190.76	190.76	190.76	190.76	190.76	190.76
Resistencia cizalla en el plano (τ_u)	63.15	63.15	63.15	63.15	63.15	63.15
Módulo elástico en el plano (E)	11555.90	11555.90	11555.90	11555.90	11555.90	11555.90
Módulo cizalla en el plano (G)	2487.92	2487.92	2487.92	2487.92	2487.92	2487.92
Resistencia cizalla interlaminar (τ_{uinter})	10.84	10.84	10.84	10.84	10.84	10.84
Tensión de diseño	95.37835	95.37835	95.37835	95.37835	95.37835	95.37835
Espesor mínimo	5.97	5.57	3.73	6.00	4.78	6.30
	6.00				6.30	
Espesor laminado (según fórmula ISO)	7.29	7.29	7.29	7.29	7.29	7.29
	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple

Ilustración 122: Espesor mínimo para zona de superestructura y techo. Fuente: Elaboración propia.

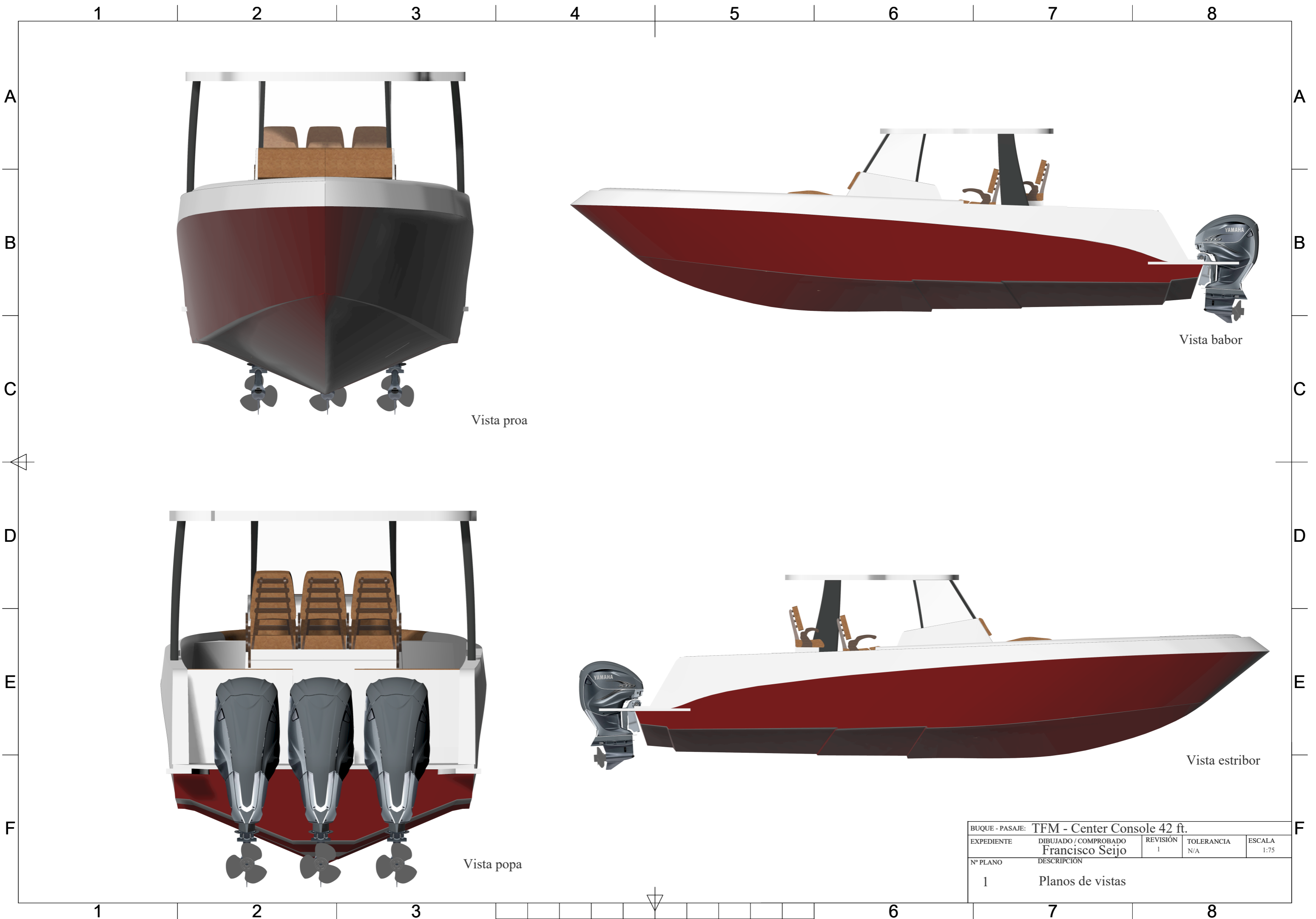
Datos Panel	Casco		Cubierta			
	13	14	22	23	29	30
Dimensión mayor panel (l)	1759	2612	2598	2757	1710	2714
Dimensión menor panel (b)	1208	1232	1868	610	759	915
Area de diseño	2.124872	3.217984	4.853064	1.68177	1.29789	2.48331
l/b	1.456126	2.12013	1.390792	4.519672	2.252964	2.96612
Presión diseño del panel (P)	13.90	13.92	5.00	7.51	5.85	5.00
Resistencias material (se toman las del panel)						
Resistencia rotura tracción (σ_{ut})	163.64	163.64	163.64	163.64	163.64	163.64
Resistencia rotura compresión (σ_{uc})	119.00	119.00	119.00	119.00	119.00	119.00
Resistencia cizalla en el plano (τ_u)	63.15	63.15	63.15	63.15	63.15	63.15
Módulo de elasticidad (E)	11555.90	11555.90	11555.90	11555.90	11555.90	11555.90
Tensión diseño tracción/compresión (σ_d)	81.82	81.82	81.82	81.82	81.82	81.82
Tensión diseño cizalla (τ_d)	31.57	31.57	31.57	31.57	31.57	31.57
Factores de Ajuste						
Fact. ajuste por curvatura (k_{CS})	1	1	1	1	1	1
Fact. Ajuste por superficie de cizalla (k_{SA})	5	5	5	5	5	5
Factor de deflexión (flecha admisible) (K_{1S})	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Dimensiones refuerzo						
Longitud refuerzo (l_w)	1208	1232	2598	610	1710	2714
Separación refuerzo (s)	1899	2752	2008	2897	899	1055
Espesor del panel (t_p)	9.72	9.72	9.72	7.29	7.29	7.29
Superficie del alma (A_w)	5.05	7.47	4.13	2.10	1.42	2.27
Módulo de inercia mínimo (SM)	39.23	59.22	69.02	8.24	15.67	39.57
Segundo momento de área (I)	20.94	32.24	79.22	2.22	11.84	47.45

Ilustración 123: Requerimientos mínimos de refuerzos en casco y cubierta. Fuente: Elaboración propia.

Datos Panel	Superestructura		Techo			
	41	42	43 larga	43 corta	44 corta	44 larga
Dimensión mayor panel (l)	1255	1736	1539	1539	1748	1748
Dimensión menor panel (b)	780	1257	1000	1000	1319	1319
Area de diseño	0.9789	2.182152	1.539	1.539	2.305612	2.305612
l/b	1.608974	1.381066	1.539	1.539	1.325246	1.325246
Presión diseño del panel (P)	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
Resistencias material (se toman las del panel)						
Resistencia rotura tracción (σ_{ut})	163.64	163.64	163.64	163.64	163.64	163.64
Resistencia rotura compresión (σ_{uc})	119.00	119.00	119.00	119.00	119.00	119.00
Resistencia cizalla en el plano (τ_u)	63.15	63.15	63.15	63.15	63.15	63.15
Módulo de elasticidad (E)	11555.90	11555.90	11555.90	11555.90	11555.90	11555.90
Tensión diseño tracción/compresión (σ_d)	81.82	81.82	81.82	81.82	81.82	81.82
Tensión diseño cizalla (τ_d)	31.57	31.57	31.57	31.57	31.57	31.57
Factores de Ajuste						
Fact. ajuste por curvatura (k_{cs})	1	1	1	1	1	1
Fact. Ajuste por superficie de cizalla (k_{SA})	5	5	5	5	5	5
Factor de deflexión (flecha admisible) (K_{1S})	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Dimensiones refuerzo						
Longitud refuerzo (l_u)	780	1257	1539	1000	1319	1748
Separación refuerzo (s)	1255	1736	1000	1539	1748	1319
Espesor del panel (t_p)	7.29	7.29	7.29	7.29	7.29	7.29
Superficie del alma (A_w)	0.78	1.73	1.22	1.22	1.83	1.83
Módulo de inercia mínimo (SM)	3.89	13.97	12.06	7.84	15.49	20.52
Segundo momento de área (I)	1.34	7.76	8.20	3.46	9.02	15.85

Ilustración 124: Requerimientos mínimos de refuerzos en superestructura y techo. Fuente: Elaboración propia.

Anexo C: Planos



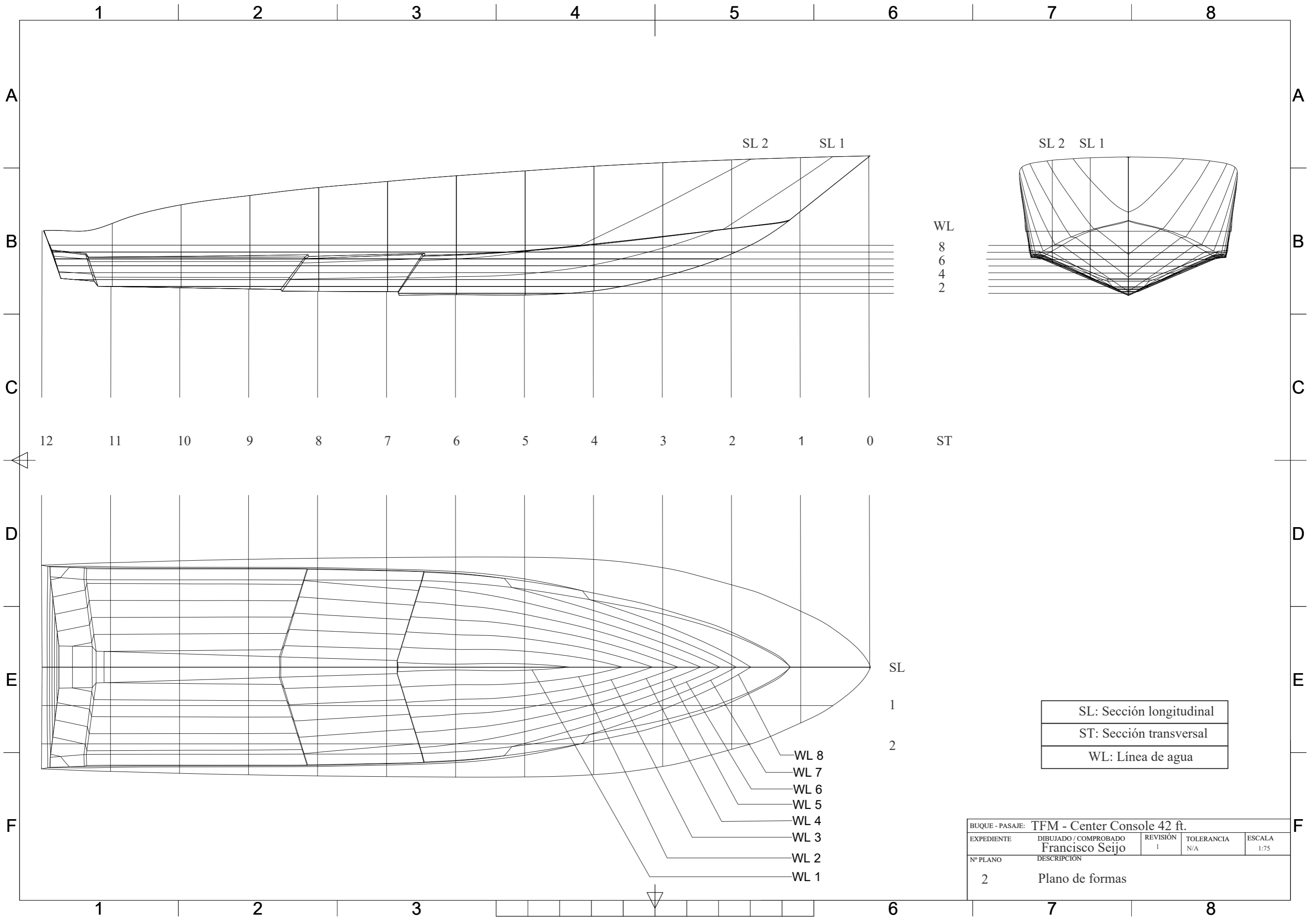
Vista proa

Vista babor

Vista popa

Vista estribor

BUQUE - PASAJE: TFM - Center Console 42 ft.				
EXPEDIENTE	DIBUJADO / COMPROBADO	REVISIÓN	TOLERANCIA	ESCALA
	Francisco Seijo	1	N/A	1:75
Nº PLANO		DESCRIPCIÓN		
1		Planos de vistas		



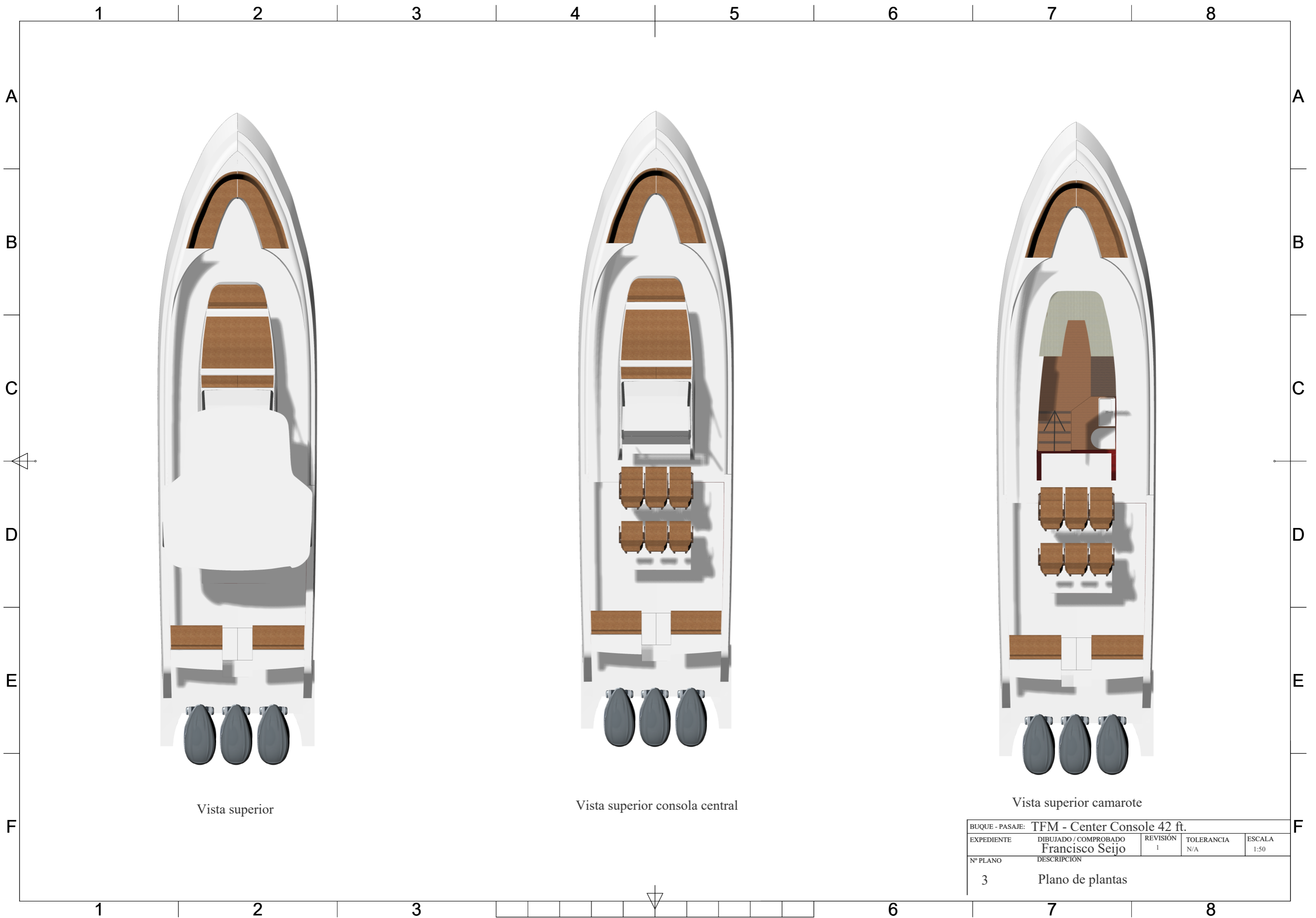
WL
8
6
4
2

ST

SL
1
2

SL: Sección longitudinal
ST: Sección transversal
WL: Línea de agua

BUQUE - PASAJE: TFM - Center Console 42 ft.				
EXPEDIENTE	DIBUJADO / COMPROBADO Francisco Seijo	REVISIÓN 1	TOLERANCIA N/A	ESCALA 1:75
Nº PLANO	DESCRIPCIÓN			
2	Plano de formas			

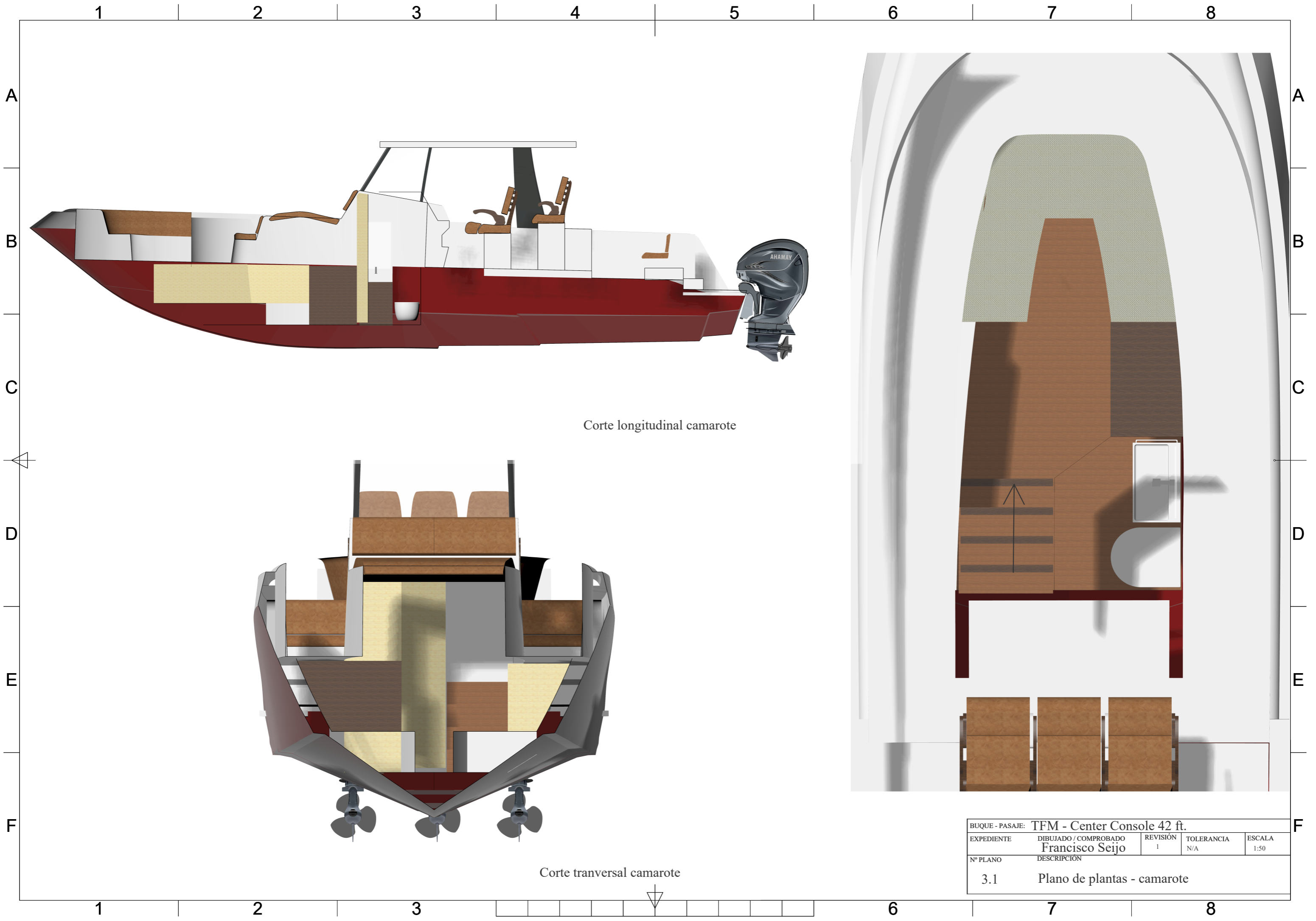


Vista superior

Vista superior consola central

Vista superior camarote

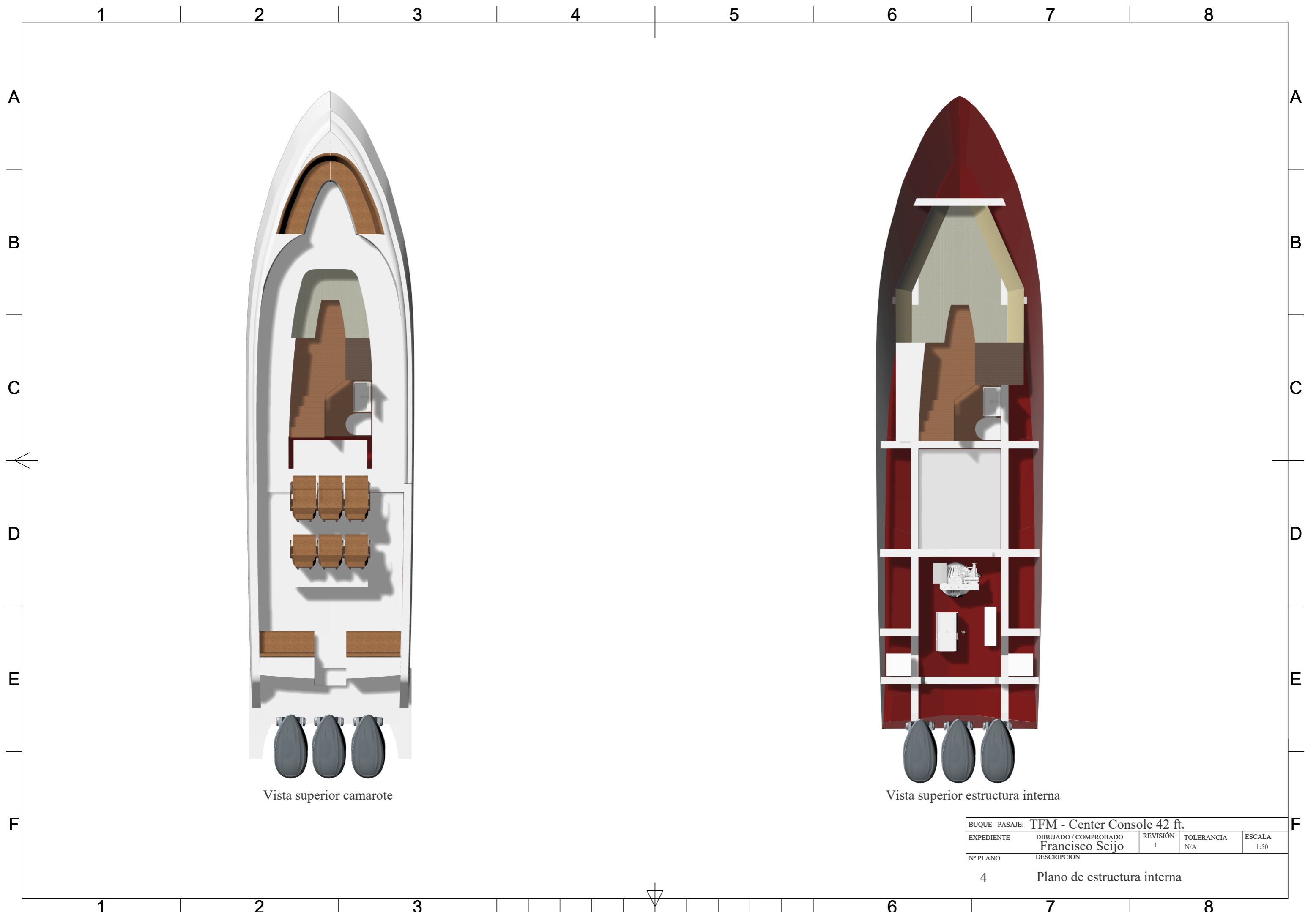
BUQUE - PASAJE: TFM - Center Console 42 ft.				
EXPEDIENTE	DIBUJADO / COMPROBADO	REVISIÓN	TOLERANCIA	ESCALA
	Francisco Seijo	1	N/A	1:50
Nº PLANO	DESCRIPCIÓN			
3	Plano de plantas			



Corte longitudinal camarote

Corte transversal camarote

BUQUE - PASAJE: TFM - Center Console 42 ft.				
EXPEDIENTE	DIBUJADO / COMPROBADO	REVISIÓN	TOLERANCIA	ESCALA
	Francisco Seijo	1	N/A	1:50
Nº PLANO	DESCRIPCIÓN			
3.1	Plano de plantas - camarote			



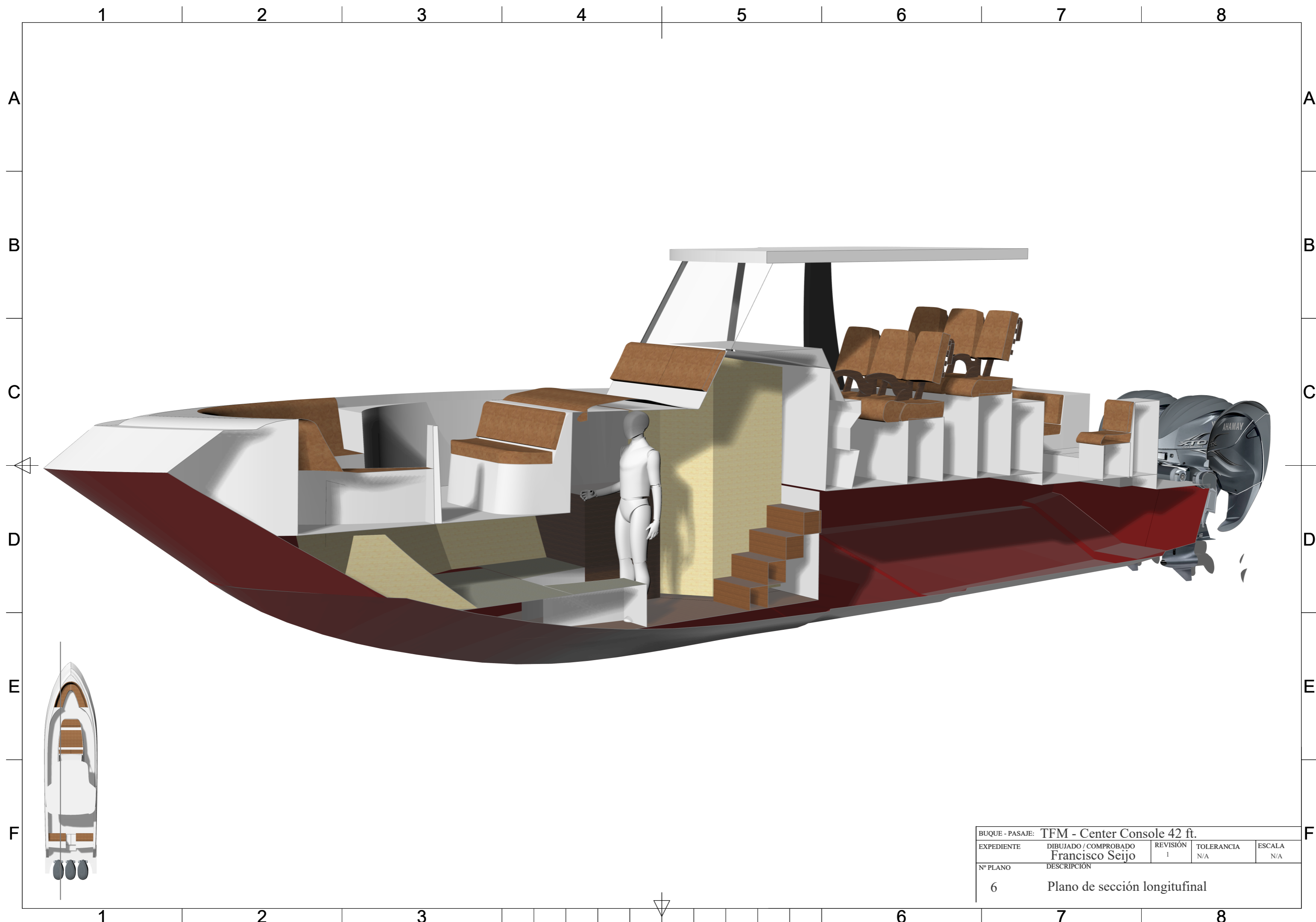
Vista superior camarote

Vista superior estructura interna

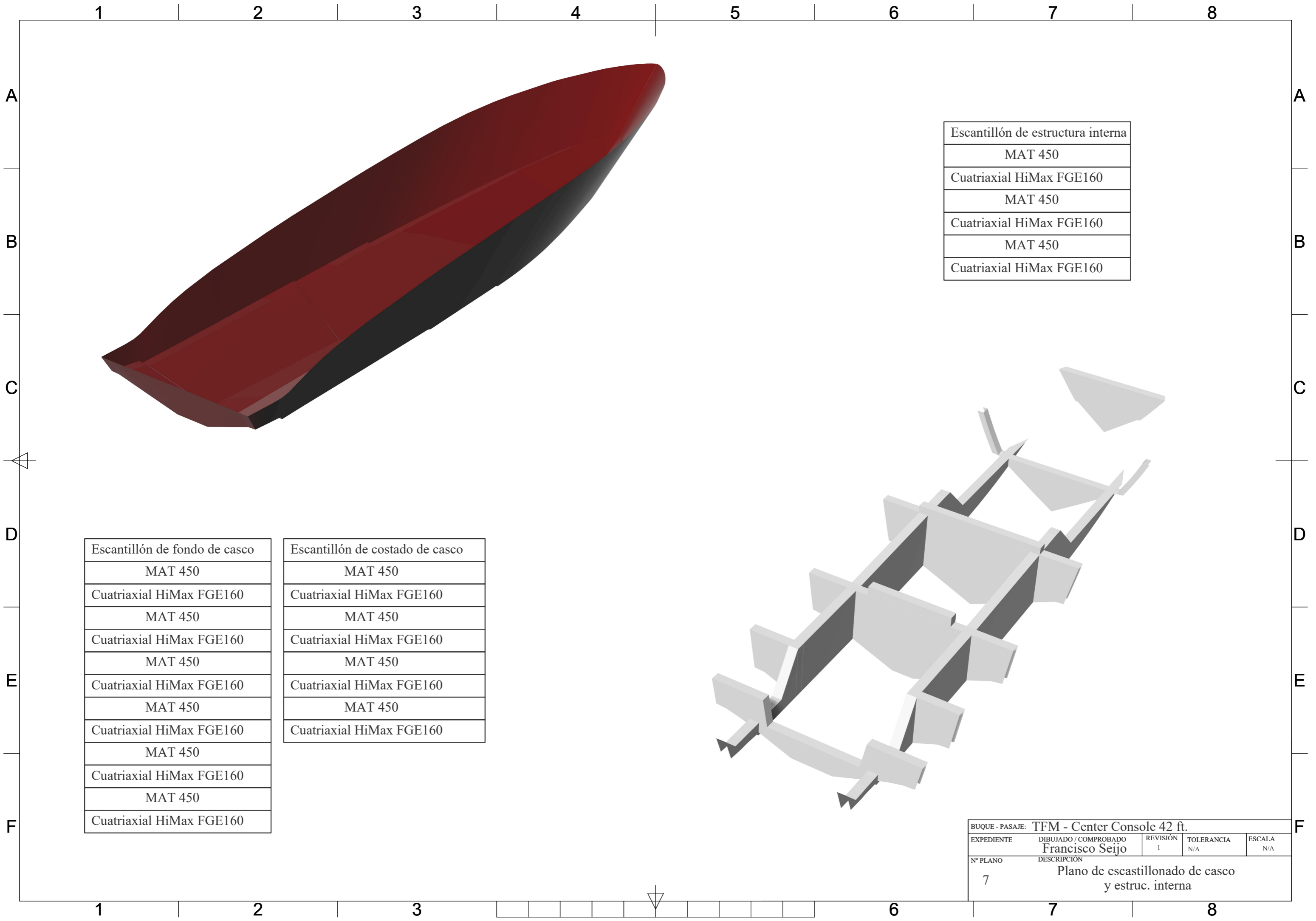
BUQUE - PASAJE: TFM - Center Console 42 ft.				
EXPEDIENTE	DIBUJADO / COMPROBADO	REVISIÓN	TOLERANCIA	ESCALA
	Francisco Seijo	1	N/A	1:50
Nº PLANO	DESCRIPCIÓN			
4	Plano de estructura interna			



BUQUE - PASAJE: TFM - Center Console 42 ft.				
EXPEDIENTE	DIBUJADO / COMPROBADO	REVISIÓN	TOLERANCIA	ESCALA
	Francisco Seijo	1	N/A	1:75
Nº PLANO	DESCRIPCIÓN			
5	Plano de cortes transversales			



BUQUE - PASAJE: TFM - Center Console 42 ft.				
EXPEDIENTE	DIBUJADO / COMPROBADO	REVISIÓN	TOLERANCIA	ESCALA
	Francisco Seijo	1	N/A	N/A
Nº PLANO	DESCRIPCIÓN			
6	Plano de sección longitudinal			

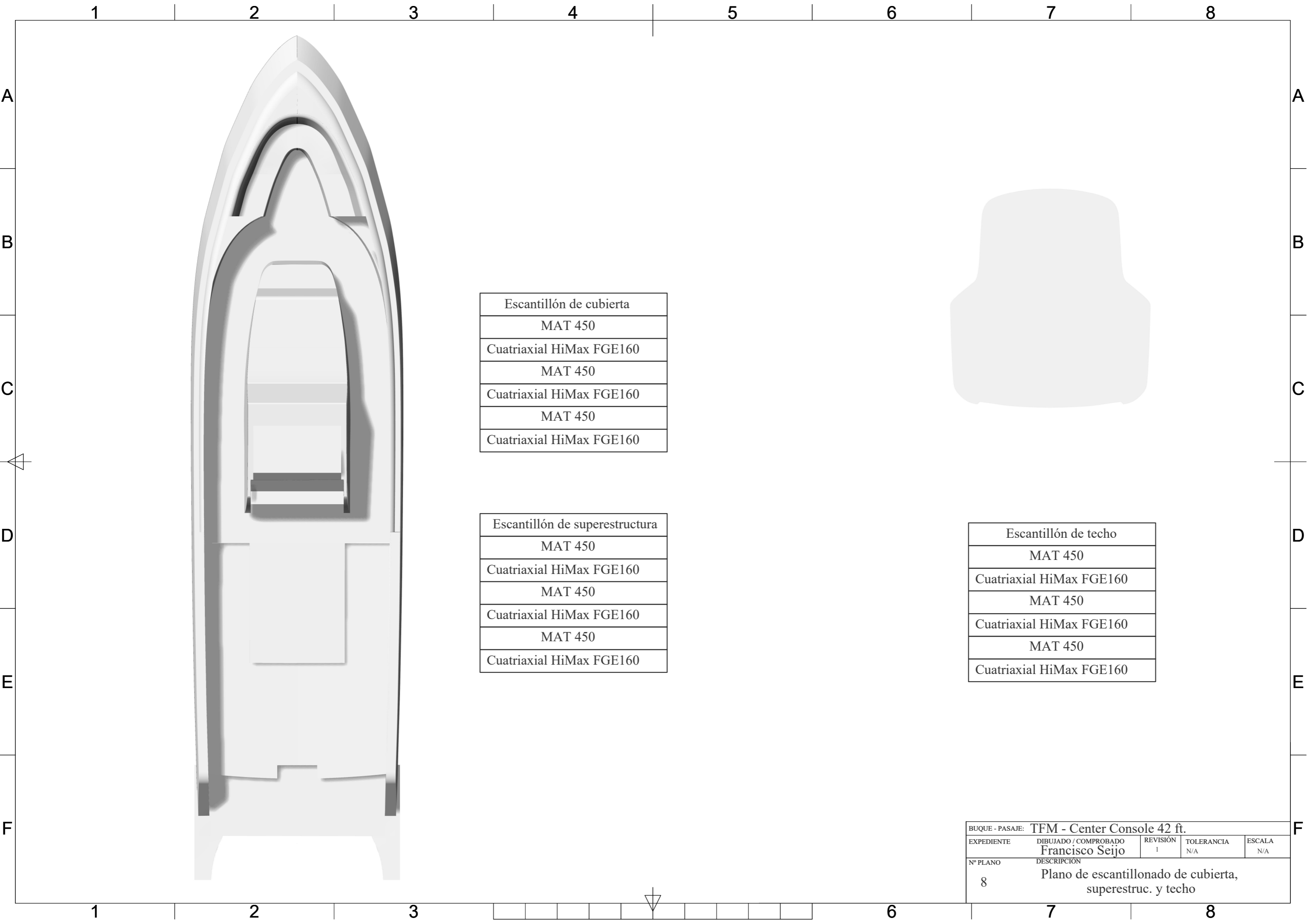


Escantillón de fondo de casco
MAT 450
Cuatriaxial HiMax FGE160
MAT 450
Cuatriaxial HiMax FGE160
MAT 450
Cuatriaxial HiMax FGE160
MAT 450
Cuatriaxial HiMax FGE160
MAT 450
Cuatriaxial HiMax FGE160
MAT 450
Cuatriaxial HiMax FGE160

Escantillón de costado de casco
MAT 450
Cuatriaxial HiMax FGE160
MAT 450
Cuatriaxial HiMax FGE160
MAT 450
Cuatriaxial HiMax FGE160
MAT 450
Cuatriaxial HiMax FGE160

Escantillón de estructura interna
MAT 450
Cuatriaxial HiMax FGE160
MAT 450
Cuatriaxial HiMax FGE160
MAT 450
Cuatriaxial HiMax FGE160

BUQUE - PASAJE: TFM - Center Console 42 ft.				
EXPEDIENTE	DIBUJADO / COMPROBADO	REVISIÓN	TOLERANCIA	ESCALA
	Francisco Seijo	1	N/A	N/A
Nº PLANO	DESCRIPCIÓN			
7	Plano de escantillonado de casco y estruc. interna			



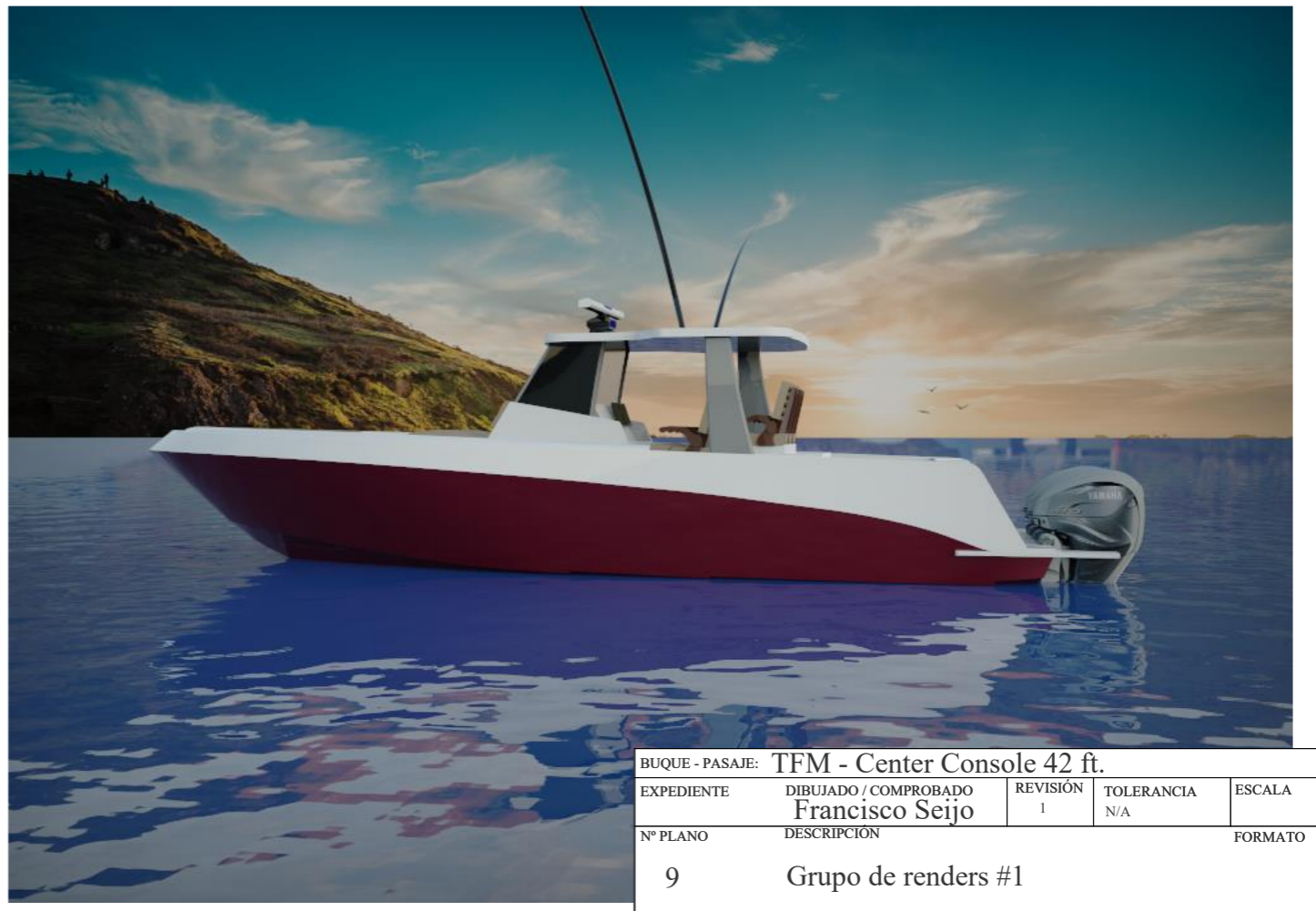
Escantillón de cubierta
MAT 450
Cuatriaxial HiMax FGE160
MAT 450
Cuatriaxial HiMax FGE160
MAT 450
Cuatriaxial HiMax FGE160

Escantillón de superestructura
MAT 450
Cuatriaxial HiMax FGE160
MAT 450
Cuatriaxial HiMax FGE160
MAT 450
Cuatriaxial HiMax FGE160

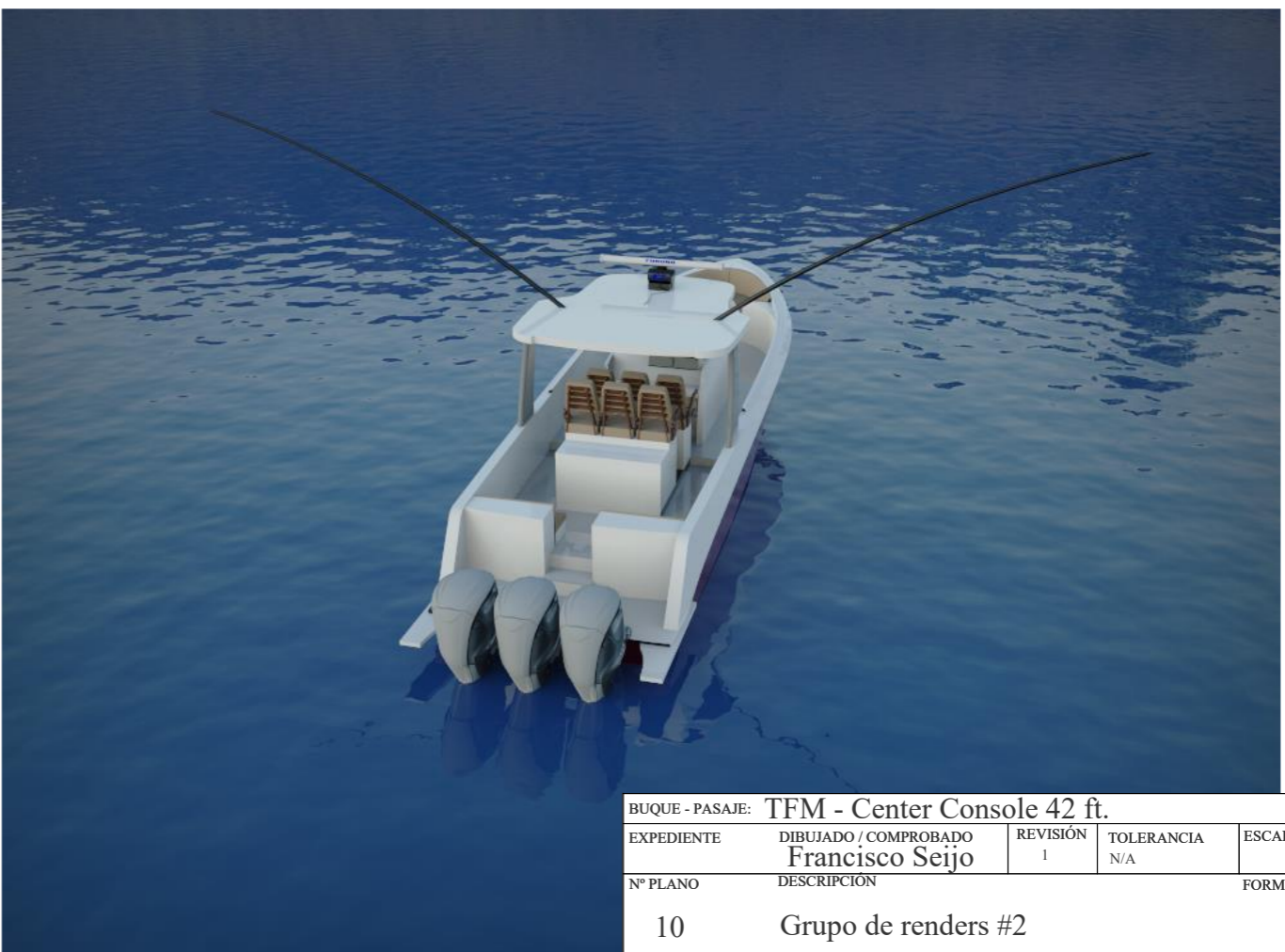


Escantillón de techo
MAT 450
Cuatriaxial HiMax FGE160
MAT 450
Cuatriaxial HiMax FGE160
MAT 450
Cuatriaxial HiMax FGE160

BUQUE - PASAJE: TFM - Center Console 42 ft.				
EXPEDIENTE	DIBUJADO / COMPROBADO	REVISIÓN	TOLERANCIA	ESCALA
	Francisco Seijo	1	N/A	N/A
Nº PLANO	DESCRIPCIÓN			
8	Plano de escantillonado de cubierta, superestruc. y techo			



BUQUE - PASAJE: TFM - Center Console 42 ft.				
EXPEDIENTE	DIBUJADO / COMPROBADO	REVISIÓN	TOLERANCIA	ESCALA
	Francisco Seijo	1	N/A	
Nº PLANO	DESCRIPCIÓN	FORMATO		
9	Grupo de renders #1			



BUQUE - PASAJE: TFM - Center Console 42 ft.				
EXPEDIENTE	DIBUJADO / COMPROBADO	REVISIÓN	TOLERANCIA	ESCALA
	Francisco Seijo	1	N/A	
Nº PLANO	DESCRIPCIÓN	FORMATO		
10	Grupo de renders #2			