

# Diseño de una Embarcación de Recreo de 14 metros de eslora

Treball Final de Grau



Facultat de Nàutica de Barcelona  
Universitat Politècnica de Catalunya

Treball realitzat per:  
**Eduard Ros Bautista**

Dirigit per:  
**Doctora Inma Ortigosa**

GESTN

Barcelona, 01/09/2019

Departament de Ciència i Enginyeria Nàutiques



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA  
BARCELONATECH

Facultat de Nàutica de Barcelona







## Agradecimientos

A la Doctora Inma Ortigosa por su tutela y seguimiento a lo largo del proyecto.

A mis familiares y amigos que siempre me han apoyado, desde el momento en que empecé el grado hasta hoy y lo seguirán haciendo.



## Resumen

El objetivo de este proyecto es el de diseñar una embarcación que tenga una eslora de 14 metros. Se trata de una embarcación de recreo, por tanto su diseño deberá estar dirigido hacia un público que busca principalmente la comodidad.

La embarcación se pretende diseñar siguiendo la normativa internacional ISO, para ello se utilizará una gran variedad de programas de ámbito naval, pero también otros más genéricos como Word o Excel, este último de gran importancia para el proyecto. El diseño de una embarcación se basa en ir probando diferentes variables hasta conseguir un resultado fiable, a este proceso se le da el nombre de “espiral de diseño” y se utiliza para diseñar cualquier tipo de embarcación, desde pequeños veleros a enormes petroleros.

## Abstract

The aim of this project is to design a boat that will have a length of fourteen meters. This boat will be designed to develop a pleasure function, this means that it should have a stylish forms and must to be accessible and easy to drive for the crew.

The boat will be designed following some regulations, the main important regulations this work will contain are the UNE-EN ISO from the International Organization for Standardization .

There are a lot of programs for do the design of the boats, but normally they are expensive and complicate. This project will use cheap and simple programs. The Microsoft programs like Word or Excel, will be useful for do a large number of tasks and the redaction of the final document, also for design the forms of the boat and calculate all the things that are necessary, Maxsurf and Rhinoceros will be the most relevant programs that will be use in this project.

The concept of “Design Spiral” will be the one that will guide the project, this is because is the most common tool to develop any project of engineering.



## Tabla de Contenidos

<b>AGRADECIMIENTOS</b>	<b>iii</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>vi</b>
<b>TABLA DE CONTENIDOS</b>	<b>vii</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b>	<b>x</b>
<b>LISTA DE TABLAS</b>	<b>xii</b>
<b>LISTA DE ECUACIONES</b>	<b>xiii</b>
<b>LISTA DE ILUSTRACIONES</b>	<b>xiv</b>
<b>CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS</b>	<b>1</b>
1.1 INTRODUCCIÓN	1
1.2 OBJETIVOS	1
<b>CAPÍTULO 2. DIMENSIONAMIENTO BÁSICO DE LA EMBARCACIÓN</b>	<b>3</b>
2.1 PROCEDIMIENTO SEGUIDO	3
2.1.1 BASE DE DATOS	3
2.1.2 REGRESIONES LINEALES	4
2.2 REGRESIONES OBTENIDAS	5
2.2.1 RELACIÓN ESLORA TOTAL - MANGA	5
2.2.2 RELACIÓN ESLORA TOTAL – CALADO	6
2.2.3 RELACIÓN ESLORA TOTAL – PUNTAL	7
2.2.4 RELACIÓN ESLORA TOTAL – ESLORA DE FLOTACIÓN	8
2.2.5 RELACIÓN ESLORA TOTAL – DESPLAZAMIENTO	9
2.2.6 RELACIÓN ESLORA TOTAL – POTENCIA	10
2.3 RESULTADOS DEL DIMENSIONAMIENTO BÁSICO	11
<b>CAPÍTULO 3. DISEÑO DE FORMAS</b>	<b>13</b>
3.1 SELECCIÓN DE LAS FORMAS	13
3.2 EL PLANEADO	14
3.3 FORMAS DEL CASCO	17
3.4 GENERACIÓN DE FORMAS MEDIANTE <i>MAXSURF MODELER</i>	19
<b>CAPÍTULO 4. RESISTENCIA AL AVANCE Y SELECCIÓN DEL SISTEMA PROPULSIVO</b>	<b>23</b>
4.1 RESISTENCIA AL AVANCE	23
4.1.1 MÉTODO SAVITSKY	23

4.1.2 CÁLCULO DE LA RESISTENCIA AL AVANCE MEDIANTE <i>MAXSURF RESISTANCE</i>	23
4.1.3 RESULTADOS AL CÁLCULO DE LA RESISTENCIA AL AVANCE MEDIANTE <i>MAXSURF RESISTANCE</i>	24
4.1.4 AJUSTES DE LA POTENCIA REQUERIDA	28
<b>4.2 SELECCIÓN DEL SISTEMA PROPULSIVO</b>	<b>29</b>
4.2.1 SISTEMA POD	29
4.2.2 VOLVO PENTA IPS 600	30
4.2.3 CONSUMO DE COMBUSTIBLE	31
<b>CAPÍTULO 5. DISEÑO ESTRUCTURAL Y CÁLCULO DEL ESCANTILLONADO</b>	<b>33</b>
<b>5.1 DISEÑO ESTRUCTURAL</b>	<b>33</b>
<b>5.2 DISPOSICIÓN ESTRUCTURAL TRANSVERSAL</b>	<b>35</b>
<b>5.3 DISPOSICIÓN ESTRUCTURAL LONGITUDINAL</b>	<b>36</b>
<b>5.4 CÁLCULO DEL ESCANTILLONADO</b>	<b>37</b>
5.4.1 CÁLCULO DEL ESPESOR MÍNIMO DE LAS CHAPAS O FORRO.	38
5.4.1.1 FACTORES DE AJUSTE DE LA PRESIÓN	39
5.4.1.2 PRESIONES DE DISEÑO	43
5.4.1.3 CÁLCULO DEL ESPESOR MÍNIMO REQUERIDO	45
5.4.2 REQUISITOS DE LOS ELEMENTOS DE REFUERZO	52
5.4.3 PROCESO DE LAMINADO	60
<b>CAPÍTULO 6. EQUIPOS Y SISTEMA ELÉCTRICO</b>	<b>67</b>
<b>6.1 EQUIPOS</b>	<b>67</b>
6.1.1 EQUIPOS DE SEGURIDAD	68
6.1.2 EQUIPOS DE GOBIERNO	69
6.1.3 EQUIPO DE FONDEO	70
6.1.4 EQUIPO LUMÍNICO	70
6.1.5 EQUIPOS DE RADIOCOMUNICACIONES	71
6.1.6 EQUIPOS DE ACHIQUE	71
<b>7.2 SISTEMA ELÉCTRICO</b>	<b>71</b>
<b>CAPÍTULO 7. CÁLCULO DE PESOS</b>	<b>75</b>
<b>7.1 PESO EN ROSCA</b>	<b>75</b>
<b>7.2 PESO MUERTO</b>	<b>80</b>
7.2.1 SALIDA DE PUERTO	80
7.2.2 ENTRADA A PUERTO	81

<b>CAPÍTULO 8. ESTABILIDAD</b>	<b>83</b>
<b>8.1 CONDICIÓN DE CARGA: SALIDA DE PUERTO</b>	<b>84</b>
8.1.1 ABERTURAS DE INUNDACIÓN	85
8.1.2 ALTURA DE INUNDACIÓN	85
8.1.3 ENSAYO DE COMPENSACIÓN DE CARGAS	86
8.1.4 ESCORA DEBIDA AL VIENTO	87
8.1.5 TAMAÑO DE LOS NICHOS	87
8.1.6 DETECCIÓN Y ACHIQUE DEL AGUA	88
8.1.7 ESTABILIDAD ESTÁTICA	88
<b>8.2 CONDICIÓN DE CARGA: ENTRADA A PUERTO</b>	<b>89</b>
8.2.1 ABERTURAS DE INUNDACIÓN	90
8.2.2 ALTURA DE INUNDACIÓN	90
8.2.3 ENSAYO DE COMPENSACIÓN DE CARGAS	90
8.2.4 ESCORA DEBIDA AL VIENTO	91
8.2.5 TAMAÑO DE LOS NICHOS	91
8.2.6 DETECCIÓN Y ACHIQUE DEL AGUA	91
8.2.7 ESTABILIDAD ESTÁTICA	92
<b>8.3 MODO DE EMPLEO DE <i>MAXSURF STABILITY</i></b>	<b>92</b>
<b>CAPÍTULO 9. COSTE ECONÓMICO DE LA EMBARCACIÓN</b>	<b>95</b>
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>99</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>101</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>103</b>
<b>ANEXO I. BASE DE DATOS</b>	<b>103</b>
<b>ANEXO II. PLANO DE FORMAS</b>	<b>104</b>
<b>ANEXO III. DATOS DE LOS MOTORES</b>	<b>106</b>
<b>ANEXO IV. PLANO DE LA DISTRIBUCIÓN GENERAL</b>	<b>107</b>
<b>ANEXO V. ESCANTILLONADO</b>	<b>109</b>
<b>ANEXO VI. TENSIONES DE DISEÑO</b>	<b>127</b>
<b>ANEXO VII. LAMINADO</b>	<b>128</b>
<b>ANEXO VIII. BALANCE ELÉCTRICO</b>	<b>129</b>
<b>ANEXO IX. ESQUEMA ELÉCTRICO</b>	<b>130</b>
<b>ANEXO X. CÁLCULO DE LOS PESOS</b>	<b>130</b>

## Lista de Figuras

Figura 1. Distribución de las componentes hidrostáticas e hidrodinámicas en función del número de Froude para el régimen de planeo. Fuente: <i>Principles of Yacht Design</i> .....	15
Figura 2. Distribución de la presión y velocidad bajo una placa plana en régimen de planeo. Fuente: <i>Principles of Yacht Design</i> .....	16
Figura 3. Fuerzas sobre una superficie plana en régimen de planeo. Fuente: <i>Principles of Yacht Design</i> .....	16
Figura 4. Astilla Muerta. Fuente: <i>Nomenclatura de la Estructura del Buque</i> .....	17
Figura 5. Fuerzas y Presiones de Empuje sobre un Casco con Formas en "V". Fuente: <i>Principles of Yacht Design</i> .....	18
Figura 6. Fuerzas que experimenta un casco en régimen de planeo. Fuente: <i>Principles of Yacht Design</i> .....	18
Figura 7. Sección de un Spray Rail. Fuente: <i>Principles of Yacht Design</i> .....	19
Figura 8. Ayuda en la Generación de Formas. Fuente: <i>MaxSurf Modeler</i> .....	20
Figura 9. Formas Generadas por MaxSurf. Fuente: <i>MaxSurf Modeler</i> .....	20
Figura 10. Selección del Origen, punto (0,0). Fuente: <i>MaxSurf Modeler</i> .....	21
Figura 11. Puntos de Control de las Superficies. Fuente: <i>MaxSurf Modeler</i> .....	21
Figura 12. Selección del Método Savitsky .....	24
Figura 13. Sistema POD. Fuente: <i>Volvo Penta</i> .....	29
Figura 14. Control Electrónico de la Embarcación o EVC. Fuente: <i>Volvo Penta</i> .....	30
Figura 15. Volvo Penta IPS 600. Fuente: <i>Volvo Penta</i> .....	31
Figura 16. Datos específicos del consumo del Volvo Penta IPS 600. Fuente: <i>Volvo Penta</i> .....	32
Figura 17. Embarcación con Estructura Longitudinal. Fuente: ISO 12215-6:2019 .....	34
Figura 18. Embarcación con Estructura Transversal. Fuente: ISO 12215-6:2019 .....	35
Figura 19. Disposición en 3D de los refuerzos transversales, en roja las cuadernas y en naranja los mamparos. ....	36
Figura 20. Especificaciones de los refuerzos del motor, ANEXO III. Fuente: <i>Volvo Penta</i> .....	36
Figura 21. Disposición en 3D de los palmerajes .....	37
Figura 22. Disposición 2D, en cian la quilla, en rojo longitudinales en los pantoques y en magenta y azul los requeridos por Volvo Penta.....	37
Figura 23. Croquis explicatorio de las dimensiones. Fuente: ISO 12215-5:2019 .....	38
Figura 24. Valores de KDC según la Categoría de Diseño. Fuente: ISO 12215-5:2019 .....	39
Figura 25. Medición de BC/2, en verde la forma del casco. ....	40
Figura 26. Medición de $\beta_{0,4}$ , en verde la forma del casco. ....	40
Figura 27. Valores mínimo de KAR. Fuente: ISO 12215-5:2019.....	42
Figura 28. Valores de KSUP para Superestructuras y casetas. Fuente: ISO 12215-5:2019 .....	43
Figura 29. Presión en los Fondos. Fuente: ISO 12215-5:2019 .....	43
Figura 30. Valores de K2 en función del alargamiento l/b para los panes isotrópicos. Fuente: ISO 12215-5:2019 .....	45
Figura 31. Medición de una curvatura convexa, donde c es el abombamiento. Fuente: ISO 12215-5:2019.....	46
Figura 32. Factor de corrección de la curvatura. Fuente: ISO 12215-5:2019 .....	46
Figura 33. Tensión de diseño de las chapas FRP a una sola capa. Fuente: ISO 12215-5:2019 .....	46
Figura 34. Método de determinación del nivel de las propiedades mecánicas. Fuente: ISO 12215-5:2019 .....	47
Figura 35. Contenido nominal de fibra en masa. Fuente: ISO 12215-5:2019 .....	48
Figura 36. Propiedades mecánicas del laminado de fibra de vidrio E. Fuente: ISO 12215-5:2019 .....	49
Figura 37. Valores calculados de t/w en función del contenido de fibra en masa. Fuente: ISO 12215-5:2019 .....	51
Figura 38. Valores del factor de ajuste de la curvatura de los refuerzos KCS. Fuente: ISO 12215-5:2019 .....	53
Figura 39. Valores del factor de superficie de cizalla. Fuente: ISO 12215-5:2019 .....	53
Figura 40. Tensiones de diseño de los refuerzos. Fuente: ISO12215-5:2019 .....	54
Figura 41. Esquema de un sombrero de copa cuadrado. Fuente: ISO 12215-5:2019.....	56
Figura 42. Propiedades de los sombreros de copa cuadrados. Fuente: ISO 12215-5:2019 .....	57
Figura 43. Pantoque Vivo. Fuente: ISO12215-5:2019.....	58
Figura 44. Propiedades de los Pantoques Vivos. Fuente: ISO 12215-5:2019 .....	58
Figura 45. Esquema de un sombrero de copa alto. Fuente: ISO 12215-5:2019 .....	59
Figura 46. Propiedades de los refuerzos de copa altos. Fuente: ISO 12215-5:2019.....	59
Figura 47. Zonas de Navegación. Fuente: Escola Port .....	67
Figura 48. Ejemplo de la colocación de una balsa salvavidas en cubierta. Fuente: NauticExpo .....	69
Figura 49. Esquema luces para embarcación mayor de 12 metros de eslora e inferior de 50. Fuente: EscolaPort.....	71
Figura 50. Bateria ES1600. Fuente: Eurobateria .....	73
Figura 51. Bateria ES1200. Fuente: Eurobateria.....	73
Figura 52. Ensayos a realizar. Fuente: ISO 12217-1:2017.....	83
Figura 53. Cálculo del Equilibrio a Plena Carga .....	84
Figura 54. Altura de inundación requerida para la categoría de diseño C. Fuente: ISO 12217-1:2017 .....	86

Figura 55. Margen de franco bordo mínimo. Fuente: ISO 12217-1.....	86
Figura 56. Cálculo del Equilibrio a Mínima Carga .....	89
Figura 57. Pesos en MaxSurf Stability .....	92
Figura 58. Tanques de combustible, agua dulce y aguas grises.....	93
Figura 59. Pesos Totales en MaxSurf Stability.....	93
Figura 60. Cálculos y Verificaciones en MaxSurf Stability .....	93

## Lista de Tablas

Tabla 1. Dimensionamiento Básico a partir de las Regresiones Lineales.....	11
Tabla 2. Hidroestáticas. Fuente: <i>MaxSurf Modeler</i> .....	22
Tabla 3. Resultados <i>Método Savitsky</i> .....	27
Tabla 4. Espesores mínimos requeridos.....	51
Tabla 5. Espesores mínimos y masa de fibra por metro cuadrado.....	52
Tabla 6. Requisitos mínimos de los refuerzos. Fuente: SIO 12215-5:2019.....	56
Tabla 7. Espesores definitivos del casco. Fuente: ISO 12215-5:2019 .....	61
Tabla 8. Laminado Chapas del Fondo.....	62
Tabla 9. Laminado Chapas del Costado.....	63
Tabla 10. Laminado Chapas de Cubierta .....	64
Tabla 11. Laminado Suelo Interior .....	65
Tabla 12. Laminado Mamparos.....	66
Tabla 13. Relación entre las Categorías de Diseño y las Zonas de Navegación. Fuente: Orden FOM/1144/2003.....	68
Tabla 14. Extintores en Función de la Eslora. Fuente: Orden FOM/1144/2003 .....	68
Tabla 15. Extintores en Función de la Potencia. Fuente: Orden FOM/1144/2003.....	69
Tabla 16. Relación eslora con las propiedades del ancla y la cadena. Fuente: Orden FOM/1144/2003 .....	70
Tabla 17. Balance Eléctrico .....	72
Tabla 18. Dimensionamiento de las Baterías .....	72
Tabla 19. Peso en Rosca en el Habitáculo .....	75
Tabla 20. Peso en Rosca en Electrónica .....	76
Tabla 21. Peso en Rosca de la Motorización .....	76
Tabla 22. Peso en Rosca del Forro .....	76
Tabla 23. Cálculo del peso de los laminados .....	76
Tabla 24. Peso del Parabrisas.....	76
Tabla 25. Peso en Rosca de los Refuerzos Transversales .....	77
Tabla 26. Cálculo del peso de los Mamparos .....	77
Tabla 27. Cálculo del peso de las Cuadernas.....	77
Tabla 28. Peso en Rosca de los Refuerzos Longitudinales.....	78
Tabla 29. Cálculo del peso de los Refuerzos Longitudinales.....	78
Tabla 30. Cálculo del peso de los refuerzos requeridos por los motores .....	78
Tabla 31. Peso en Rosca de los Elementos de Seguridad .....	78
Tabla 32. Peso en Rosca de los Elementos de Amarre .....	79
Tabla 33. Peso en Rosca de los Útiles.....	79
Tabla 34. Peso en Rosca del Mobiliario.....	79
Tabla 35. Peso en Rosca Total y Peso en Rosca Total más el 10%.....	80
Tabla 36. Peso de los Tanques en Condición de Salida de Puerto.....	80
Tabla 37. Peso de las Persona y sus Pertrechos en Condición de Salida de Puerto.....	81
Tabla 38. Peso Muerto en Condición de Salida de Puerto .....	81
Tabla 39. Peso de los Tanques en Condición de Entrada a Puerto .....	81
Tabla 40. Peso de las Persona y sus Pertrechos en Condición de Entrada Puerto.....	81
Tabla 41. Peso Muerto en Condición de Entrada Puerto .....	82
Tabla 42. Peso en Rosca Total y Peso en Rosca Total más el 10%.....	84
Tabla 43. Peso Muerto en Condición de Salida de Puerto .....	84
Tabla 44. Peso Total en Condición de Salida de Puerto .....	84
Tabla 45. Hidrostáticas en Equilibrio a Plena Carga .....	85
Tabla 46. Peso en Rosca Total y Peso en Rosca Total más el 10%.....	89
Tabla 47. Peso Muerto en Condición de Entrada a Puerto.....	89
Tabla 48. Peso Total en Condición de Entrada a Puerto.....	89
Tabla 49. Hidrostáticas en Equilibrio en Mínima Carga.....	90
Tabla 50. Coste motor, objetos, utensilios, etcétera.....	95
Tabla 51. Coste de la estructura.....	96

## Lista de Ecuaciones

Ecuación 1. Modelo de Regresión Lineal.....	4
Ecuación 2. ISO 12215-5:2008 Apartado 3.6.....	13
Ecuación 3. Comprobación ISO 1225-5:2008 Apartado 3.6 .....	13
Ecuación 4. Ecuación 4.ISO 12215-5:2008 Apartado 3.8.....	14
Ecuación 5. Comprobación ISO 12215-5:2008 Apartado 3.8.....	14
Ecuación 6. Potencia <i>Método Savitsky</i> y Resistencia al Oleaje.....	28
Ecuación 7. Potencia Final Requerida .....	28
Ecuación 8. Cálculo de la Capacidad en litros de Combustible que deberá disponer la embarcación.....	32
Ecuación 9. Factor de Carga Dinámica. Fuente: ISO 12215-5:2019.....	39
Ecuación 10. Factor de Carga Dinámica para $\eta_{CG}$ mayor de 3. Fuente: ISO 12215-5:2019 .....	40
Ecuación 11. Factor de Distribución de Presión KL, para $x/LWL \leq 0,6$ . Fuente: ISO 12215-5:2019.....	41
Ecuación 12. Factor de Distribución de Presión KL, para $x/LWL > 0,6$ . Fuente: ISO 12215-5:2019.....	41
Ecuación 13. Factor de Reducción de la Presión según la Superficie KAR. Fuente: ISO12215-5:2019 .....	41
Ecuación 14. Factor de Reducción de Presión KZ en el costado. Fuente: ISO 12215-5:2019.....	42
Ecuación 15. Presión en el Fondo mínima. Fuente: ISO 12215-5:2019 .....	43
Ecuación 16. Presión en el Fondo y Costado Base. Fuente: ISO 12215-5:2019 .....	44
Ecuación 17. Presión en el Costado. Fuente: ISO 12215-5:2019 .....	44
Ecuación 18. Presión en el Costado mínima. Fuente: ISO 12215-5:2019 .....	44
Ecuación 19. Presión en el Costado y Cubierta base. Fuente: ISO 12215-5:2019.....	44
Ecuación 20. Presión en la Cubierta. Fuente: ISO 12215-5:2019.....	44
Ecuación 21. Presión en Cubierta mínima. Fuente: ISO 12215-5:2019 .....	44
Ecuación 22. Presión en la Superestructura. Fuente: ISO12215-5:2019 .....	45
Ecuación 23. Contenido en masa de vidrio. Fuente: ISO 12215-5:2019.....	48
Ecuación 24. Cálculo de R. Fuente: ISO 12215-5:2019 .....	49
Ecuación 25. Resistencia de rotura por flexión. Fuente: ISO12215-5:2019.....	50
Ecuación 26. Espesor Requerido. Fuente: ISO12215-5:2019.....	50
Ecuación 27. Relación t/w para un contenido de fibra en masa de 0'43365.....	51
Ecuación 28. Presión de los mamparos estancos. Fuente: ISO 12215-5:2019.....	52
Ecuación 29. Resistencia de rotura por tracción. Fuente: ISO 12215-5:2019.....	54
Ecuación 30. Resistencia de rotura por compresión. Fuente: ISO 12215-5:2019.....	54
Ecuación 31. Resistencia de cizalla interlaminar. Fuente: ISO 12215-5:2019.....	54
Ecuación 32. Área del alma. Fuente: ISO 12215-5:2019.....	55
Ecuación 33. Módulo de inercia mínimo. Fuente: ISO 12215-5:2019 .....	55
Ecuación 34. Segundo momento del área. Fuente: ISO 12215-5:2019 .....	55
Ecuación 35. Módulo de elasticidad en tracción/compresión. Fuente: ISO 12215-5:2019 .....	56
Ecuación 36. Altura de inundación, Hd. Fuente: ISO 12217-1:2017 .....	85
Ecuación 37. Ángulo máximo de escora. Fuente: ISO 12217-1:2017 .....	86
Ecuación 38. Relación superficie del casco expuesta al viento por eslora y manga. Fuente: ISO 12217-1:2017.....	87

## Lista de Ilustraciones

Ilustración 1. $B = f(\text{LOA})$ . Manga (B) en función de la eslora (LOA) .....	5
Ilustración 2. $T = f(\text{LOA})$ . Calado (T) en función de la eslora (LOA) .....	6
Ilustración 3. $D = f(\text{LOA})$ . Puntal (D) en función de la eslora (LOA).....	7
Ilustración 4. $L_{wl} = f(\text{LOA})$ . Eslora de flotación ( $L_{wl}$ ) en función de la eslora (LOA) .....	8
Ilustración 5. $\Delta = f(\text{LOA})$ . Desplazamiento ( $\Delta$ ) en función de la eslora (LOA) .....	9
Ilustración 6. $P = f(\text{LOA})$ . Potencia (P) en función de la eslora (LOA).....	10
Ilustración 7. Resistencia al avance (KN) en función de la velocidad (Kn) .....	25
Ilustración 8. Potencia requerida (HP) en función de la velocidad (Kn) .....	25
Ilustración 9. Coeficiente de fricción en función de la velocidad (Kn).....	25
Ilustración 10. Trimado en función de la velocidad (Kn) .....	26
Ilustración 11. Consumo de combustible en función de las rpm del motor. Fuente: <i>Volvo Penta</i> .....	32
Ilustración 12. Propiedades MAT450. Fuente: <i>ComposeIT Bureau Veritas</i> .....	47
Ilustración 13. Propiedades MAT500. Fuente: <i>ComposeIT Bureau Veritas</i> .....	48
Ilustración 14. Curva de Estabilidad Estática para la condición de Salida de Puerto .....	88
Ilustración 15. Curva de Estabilidad Estática para la condición de Entrada a Puerto .....	92



## Capítulo 1. Introducción y Objetivos

### 1.1 Introducción

Tras tres años y medio estudiando el grado en Ingeniería en Sistemas y Tecnología Naval, en diciembre de 2018 se consideró que la realización de un Trabajo Final de Grado, que consistiese en el diseño de una embarcación de recreo de 14 metros de eslora, era una buena manera de poner a prueba gran parte los conocimientos adquiridos durante este período de tiempo.

### 1.2 Objetivos

Antes de empezar con el proyecto se definen una serie de características básicas que deberá tener la embarcación. La principal característica es su eslora, 14 metros, seguida de su categoría de diseño, la C. Esta categoría de diseño habilita a la embarcación para navegar en las zonas 4, 5, 6, y 7, hasta un máximo de 12 millas de la costa. Otros barcos de esloras iguales se les suele otorgar una categoría de diseño B, pero en este caso se opta por la C principalmente por dos motivos: el público al que va destinada y los costes de producción. El permiso de navegación PER (Patrón de embarcaciones de Recreo) habilita al titular a navegar hasta un máximo de 12 millas de la costa, o entre Península y Baleares realizando unas prácticas, con barcos de hasta 15 metros de eslora o hasta 24 metros realizando otras prácticas adicionales. Se parte de la premisa que este título es el más común entre los aficionados de la náutica de recreo. Este es uno de los dos principales motivos por los cuales se opta por elegir esta categoría de diseño. El otro motivo básico es el hecho de que la categoría de diseño C es menos restrictiva que la B, por tanto se intuye que será más sencillo y económico de diseñar y construir.

La embarcación no está pensada para participar en regatas ni largas travesías, va dirigida hacia un público que antepone el confort a la navegabilidad, que por ejemplo se podría tener en un velero. Para ello, la embarcación se ha diseñado con formas conservadoras e interiores fácilmente accesibles y minimalistas. Los habitáculos de una embarcación suelen ser pequeños y depende de la cantidad de muebles y objetos que tengan, pueden llegar a resultar estresantes para quien los utilice, por esto se pretende que los accesos a los interiores sean cómodos y que éstos cuenten con el menor número de muebles posible para dar una mayor sensación de amplitud. Si los interiores son amplios y con pocos muebles su limpieza será una tarea sencilla, pero además se podrá disponer de amplios accesos a elementos que necesiten mantenimiento, como la sala de máquinas, tanques, tuberías, etcétera.

Evidentemente, lo comentado anteriormente dará lugar a que la embarcación no alcance altas velocidades sin requerir de motores muy potentes y caros de adquirir y mantener. La opción que se toma, es la de hacer la embarcación menos rápida, asignándole una velocidad máxima de 30 nudos y una velocidad de crucero entre 24 y 25 nudos.

El proyecto consta de nueve capítulos, incluyendo esta introducción. Del segundo capítulo al octavo se tratará exclusivamente del proceso de diseño seguido. Empezando por el dimensionamiento básico de la embarcación, que le seguirá el tercer capítulo donde se diseñarán las formas del casco. A continuación, en el cuarto capítulo se calculará la resistencia al avance y se escogerá el sistema propulsivo. Seguidamente, se realizará un diseño estructural para realizar los cálculos del escantillonado. En el capítulo seis se estudiarán los sistemas y equipos requeridos por una embarcación de estas características. Finalmente, en el séptimo capítulo se hará un cálculo de los pesos para, acabar realizando los cálculos de estabilidad en el octavo capítulo. En el último capítulo se realizará un pequeño cálculo del coste económico de la embarcación.

## Capítulo 2. Dimensionamiento Básico de la Embarcación

### 2.1 Procedimiento Seguido

Para realizar una primera aproximación a las dimensiones de la embarcación, se debe realizar una base de datos con embarcaciones similares a la que se desea diseñar. Es importante que la base de datos se confeccione con embarcaciones que se encuentren actualmente en el mercado y cumplan con la normativa internacional ISO.

Una vez realizada la base de datos, véase Anexo I, con la herramienta de cálculo Excel se realizarán una serie de regresiones lineales con el propósito de estimar ciertas dimensiones de la embarcación a partir de la eslora de 14 metros establecida, es decir, gracias a las regresiones se obtendrán unas ecuaciones que dependerán de una variable que será la eslora que se haya definido, 14 metros en este caso.

#### 2.1.1 Base de Datos

No se ha encontrado ninguna Base de Datos a la que se pudiese acceder, es por ello que la Base de Datos se ha tenido que elaborar desde cero. Mediante la realización de búsquedas de embarcaciones similares en internet se han podido obtener ciertas dimensiones de las embarcaciones, pero los fabricantes no suelen compartirlas todas. La dimensión más complicada de encontrar en todos los casos ha sido el puntal. Ningún fabricante compartía este dato básico para el dimensionamiento preliminar de la embarcación. A partir de planos en 2D que comparten algunos fabricantes se ha podido “escalar” esta dimensión y de esta forma deducir un valor aproximado.

También existe el problema de que grandes fabricantes de embarcaciones similares hay pocos, y por este motivo la Base de Datos está compuesta por tan pocas embarcaciones afectando a los factores de correlación de las regresiones lineales, que tienden a ser bajos disminuyendo la precisión de éstas. Al tratarse de una primera aproximación se ha decidido continuar con el proyecto ya que, como se ha dicho, se trata de un estudio preliminar y además no se disponían de medios para conseguir una Base de Datos más completa.

### 2.1.2 Regresiones Lineales

En estadística la regresión lineal es un modelo con la siguiente estructura:

$$Y = (\beta_0 + \beta_1 X) + \varepsilon$$

**Ecuación 1. Modelo de Regresión Lineal**

Esta ecuación se obtiene de un gráfico de dispersión que se deriva de la Base de Datos de las embarcaciones realizada.  $Y$  representa la variable de respuesta, es decir, la que se pretende conocer,  $\beta_0$  i  $\beta_1$  son parámetros definidos por la recta,  $X$  es la variable explicativa (la que se introduce, generalmente en ese proyecto será la eslora) y  $\varepsilon$  que intenta corregir un error o perturbación en la recta.

## 2.2 Regresiones Obtenidas

### 2.2.1 Relación Eslora Total - Manga

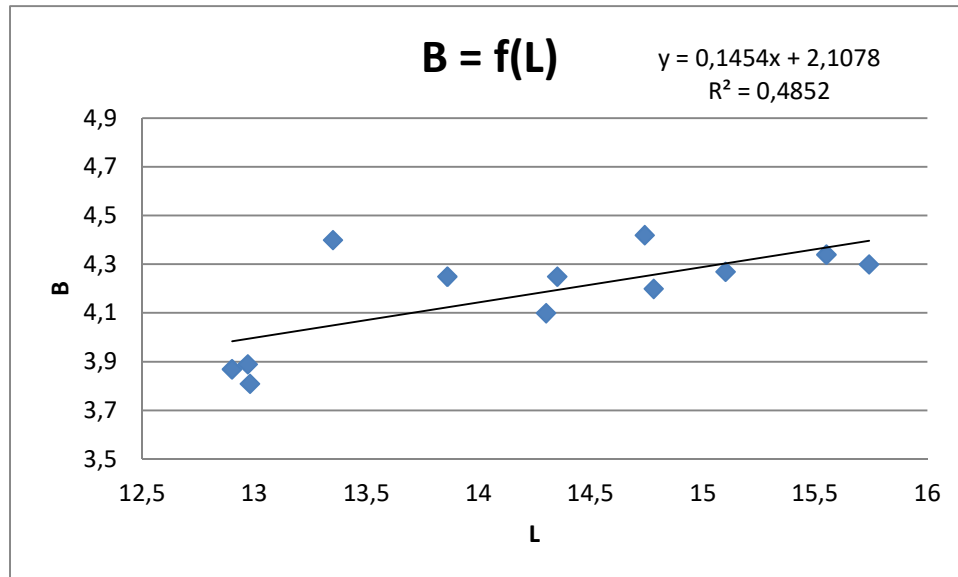


Ilustración 1.  $B = f(L_{OA})$ . Manga (B) en función de la eslora ( $L_{OA}$ )

$$B = 0,1454L_{OA} + 2,1078$$

$$R^2 = 0,4852$$

Para  $L_{OA} = 14 \text{ m}$

$$B = 4,1434 \text{ m}$$

### 2.2.2 Relación Eslora Total – Calado

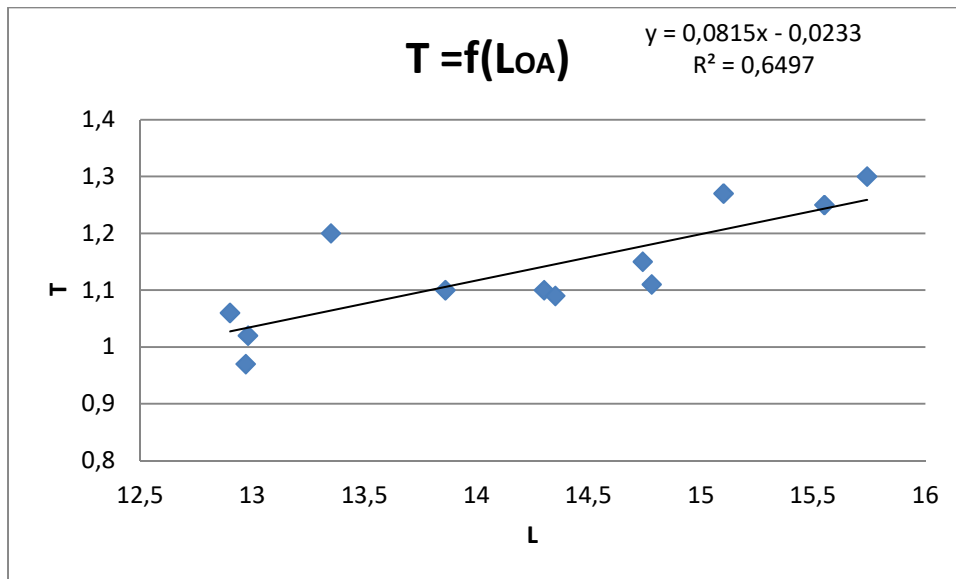


Ilustración 2.  $T = f(LOA)$ . Calado (T) en función de la eslora (LOA)

$$T = 0,0815L_{OA} + 0,0233$$

$$R^2 = 0,6497$$

Para  $L_{OA} = 14 \text{ m}$

$$T = 1.1643 \text{ m}$$

### 2.2.3 Relación Eslora Total – Puntal

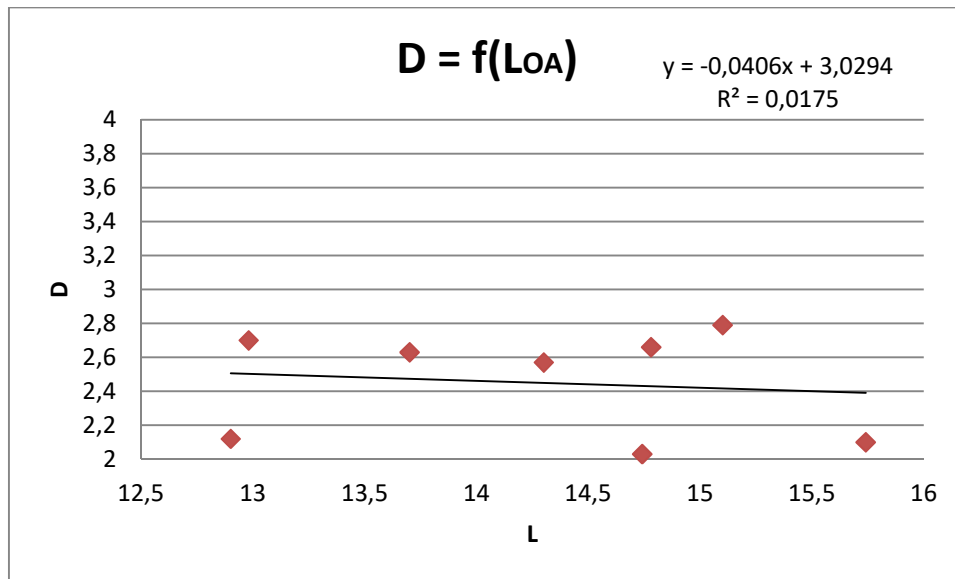


Ilustración 3.  $D = f(LOA)$ . Puntal (D) en función de la eslora (LOA)

$$D = -0,0406L_{OA} + 3,0294$$

$$R^2 = 0,0175$$

Para  $L_{OA} = 14 \text{ m}$

$$D = 2.461 \text{ m}$$

Como se ha especificado antes, el puntal es una medida que los fabricantes no comparten y éste se ha deducido a partir de un escalado de los planos 2D que proporcionan los fabricantes. También se han utilizado menos embarcaciones para realizar esta regresión. Es por todo ello, que el factor de correlación de esta regresión es tan pequeño.

### 2.2.4 Relación Eslora Total – Eslora de Flotación

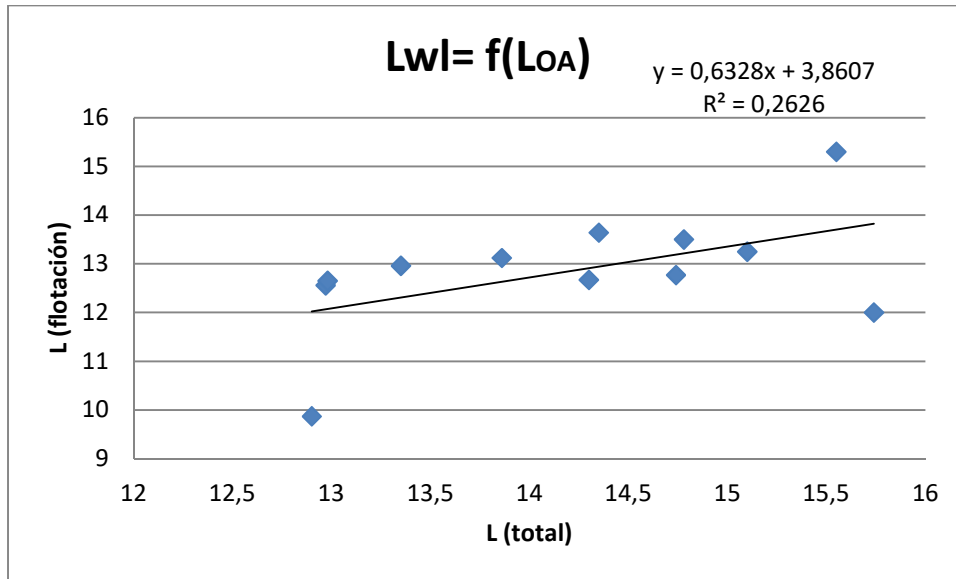


Ilustración 4. Lwl= f(LOA). Eslora de flotación (Lwl) en función de la eslora (LOA)

$$L_{wl} = 0.6328L_{OA} + 3,8607$$

$$R^2 = 0,2626$$

Para  $L_{OA} = 14 \text{ m}$

$$L_{wl} = 12,7199 \text{ m}$$



### 2.2.5 Relación Eslora Total – Desplazamiento

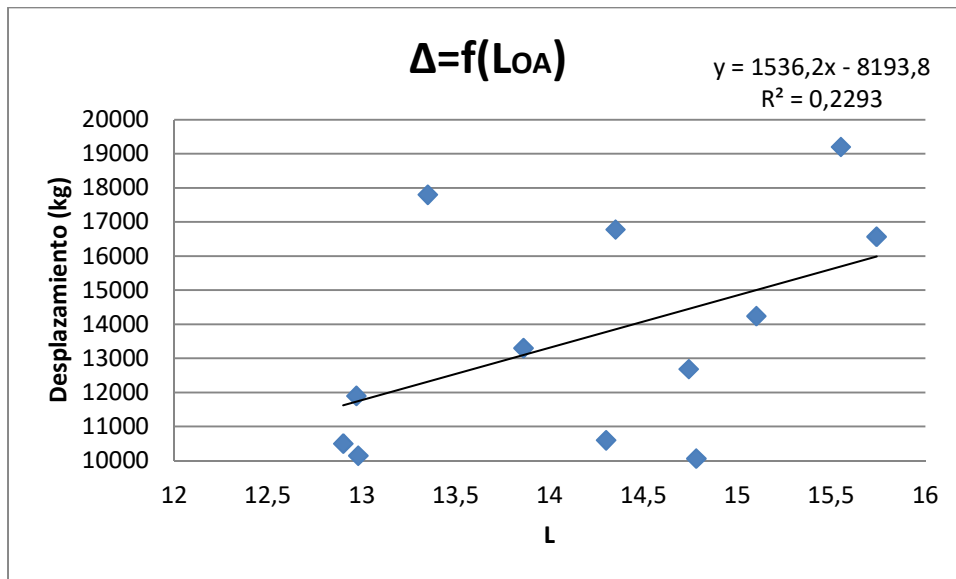


Ilustración 5.  $\Delta=f(LOA)$ . Desplazamiento ( $\Delta$ ) en función de la eslora ( $LOA$ )

$$\Delta = 1536,2L_{OA} - 8193,8$$

$$R^2 = 0,2293$$

Para  $L_{OA} = 14 \text{ m}$

$$\Delta = 13313 \text{ kg}$$

### 2.2.6 Relación Eslora Total – Potencia

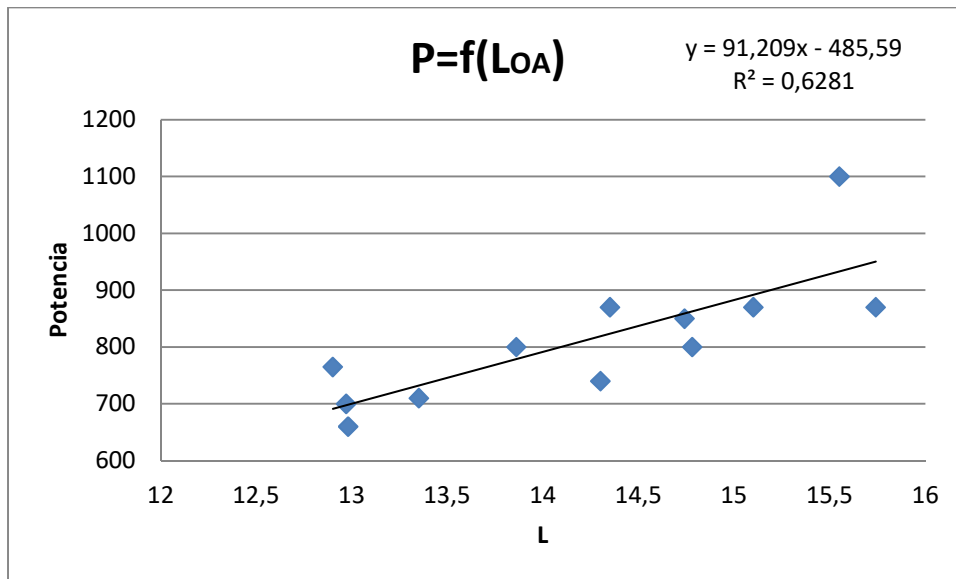


Ilustración 6. P=f(LOA). Potencia (P) en función de la eslora (LOA)

$$\Delta = 91,209L_{OA} - 485,59$$

$$R^2 = 0,6281$$

Para  $L_{OA} = 14 \text{ m}$

$$\Delta = 791,336 \text{ CV}$$

### 2.3 Resultados del Dimensionamiento Básico

En la siguiente tabla se muestran las dimensiones obtenidas mediante las Regresiones Lineales:

Dimensionamiento Básico		
LOA	14	m
B	4,1434	m
T	1,1643	m
D	2,461	m
Lwl	12,7199	m
$\Delta$	13313	kg
Potència	791,336	CV

Tabla 1. Dimensionamiento Básico a partir de las Regresiones Lineales

Además se tienen en cuenta otras dimensiones y parámetros preliminares, que no se han calculado con regresiones lineales, sino que al haber poca información, se han adoptado los datos exactos de otras embarcaciones. Por ejemplo la autonomía que debe tener la embarcación, se estima de 300 millas náuticas, una velocidad de crucero de entre 24 y 25 nudos, una velocidad máxima de 30 nudos y depósitos de tanques auxiliares como el tanque de agua dulce con 600 litros y el de aguas grises con 400 litros.



## Capítulo 3. Diseño de Formas

### 3.1 Selección de las Formas

En el Capítulo 1 se define la embarcación como una motora monocasco. El hecho de que se trate de una embarcación monocasco implica que solamente tendrá un casco, a diferencia de por ejemplo un catamarán y, estará construida sobre una única quilla.

De embarcaciones monocascos, hay infinidad de tipos, desde un buque portacontenedores de 400 metros de eslora hasta el caso sobre el que se realiza este proyecto, una pequeña motora de 14 metros de eslora.

Pese a que la embarcación ya se ha clasificado como una motora monocasco, existe una última clasificación que se debe tener en cuenta según la normativa internacional ISO 12215 *Pequeñas embarcaciones. Construcción de cascos y escantillones*, sobre la que se diseña la embarcación. Esta última clasificación no solamente afecta al diseño de las formas del casco, también afecta al realizar los cálculos del escantillonado y de la estabilidad.

En la ISO 12215-5:2008 dentro de su tercer apartado se encuentran los subapartados 3.6 y 3.8 que se encargan de decidir si la embarcación será de desplazamiento o se tratará de una planeadora.

Según el apartado 3.6 de la ISO 12215-5:2008 una embarcación de desplazamiento es aquella en la que la velocidad máxima en mar llana y en condiciones  $m_{LDC}$ , declarada por el constructor, es tal que:

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

Ecuación 2. ISO 12215-5:2008 Apartado 3.6

A continuación se comprueba si se cumple esta condición para la eslora de flotación definida en el Capítulo 3.

$$\frac{30}{\sqrt{12.7199}} = 8.4116 > 5$$

Ecuación 3. Comprobación ISO 1225-5:2008 Apartado 3.6

Se observa que para el dimensionamiento básico de la embarcación no se cumple este apartado, por tanto, se descarta momentáneamente, hasta tener las formas definitivas del casco, la posibilidad de que se trate de una embarcación de desplazamiento.

El apartado 3.8 dice que aquella embarcación en la que la velocidad máxima en mar llana y en condiciones  $m_{LDC}$ , declarada por el constructor, cumple la siguiente condición es planeadora:

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

**Ecuación 4. Ecuación 4.ISO 12215-5:2008 Apartado 3.8**

A continuación se comprueba si se cumple esta condición para la eslora de flotación definida en el Capítulo 3.

$$\frac{30}{\sqrt{12.7199}} = 8.4116 > 5$$

**Ecuación 5. Comprobación ISO 12215-5:2008 Apartado 3.8**

El dimensionamiento básico de la embarcación, realizado a partir de las regresiones lineales de la base de datos, cumple esta condición. Esto quiere decir que la embarcación actúa en un régimen de planeo.

Al final de este apartado, cuando se hayan obtenido las dimensiones definitivas de la embarcación, se volverán a verificar estas condiciones.

### 3.2 El Planeo

El popular matemático, físico, ingeniero, astrónomo y filósofo griego Arquímedes, que vivió entre los años 287 y 212 antes de Cristo, definió lo que actualmente sigue siendo uno de los principios más importantes de la física y en el cual se basa la estática de fluidos. "El Principio de Arquímedes". Este principio enuncia que *todo cuerpo total o parcialmente sumergido en un fluido, en reposo, experimenta una fuerza de empuje (o flotabilidad) vertical igual al peso del volumen del fluido que desaloja*.

A partir de este principio se deduce que la flotabilidad de una embarcación dependerá de la presión hidrostática que realiza el fluido sobre su superficie sumergida.

Para que una embarcación se encuentre en un régimen de planeo, primero se ha de encontrar en movimiento, dejando atrás esta condición de reposo sobre la que se sustenta el Principio de Arquímedes. Una vez la embarcación empieza a moverse, el casco de ésta empieza a ejercer una fuerza sobre las partículas del agua. La misma fuerza que reciben estas partículas de agua, causada por el movimiento del casco, la experimenta el propio casco de la embarcación, pero en sentido opuesto. A esta fuerza dividida entre unidad de área se le da el nombre de presión hidrodinámica.

Si se estudia este comportamiento en la naturaleza, esta fuerza o presión hidrodinámica experimenta otras fuerzas y presiones de resistencia que, a la práctica, impiden que la embarcación se desplace hasta que sean vencidas.

La resistencia al avance es la resistencia que el agua ejerce sobre la embarcación en oposición a su movimiento. Ésta resistencia al avance se descompone en diferentes componentes, que como se indica en el libro *Principles of Yacht Design* son: la presión viscosa (viscous resistance) y la resistencia al oleaje (wave resistance). Estas dos componentes de resistencia se originan a causa de la componente longitudinal de la fuerza de presión a lo largo de la superficie del casco.

En el plano vertical, la presión hidrodinámica que actúa sobre el casco, hace que éste se hunda en el agua o emerja de ella. Cuando la embarcación adquiere altas velocidades, la presión hidrodinámica que sufre el casco suele ser considerablemente superior a la presión de flotabilidad que define el Principio de Arquímedes, dando lugar a que el casco, anteriormente sumergido, empiece a emerger del agua. Cuanta más velocidad adquiera la embarcación, mayor será la presión hidrodinámica, lo que dará lugar a que el casco cada vez emerja un poco más, habiendo menos superficie en contacto con el agua y por lo tanto generando menos resistencia al avance, lo que implica que la embarcación adquiere más velocidad. Por tanto, se considera que una embarcación actúa en régimen de planeo cuando la presión predominante es la hidrodinámica.

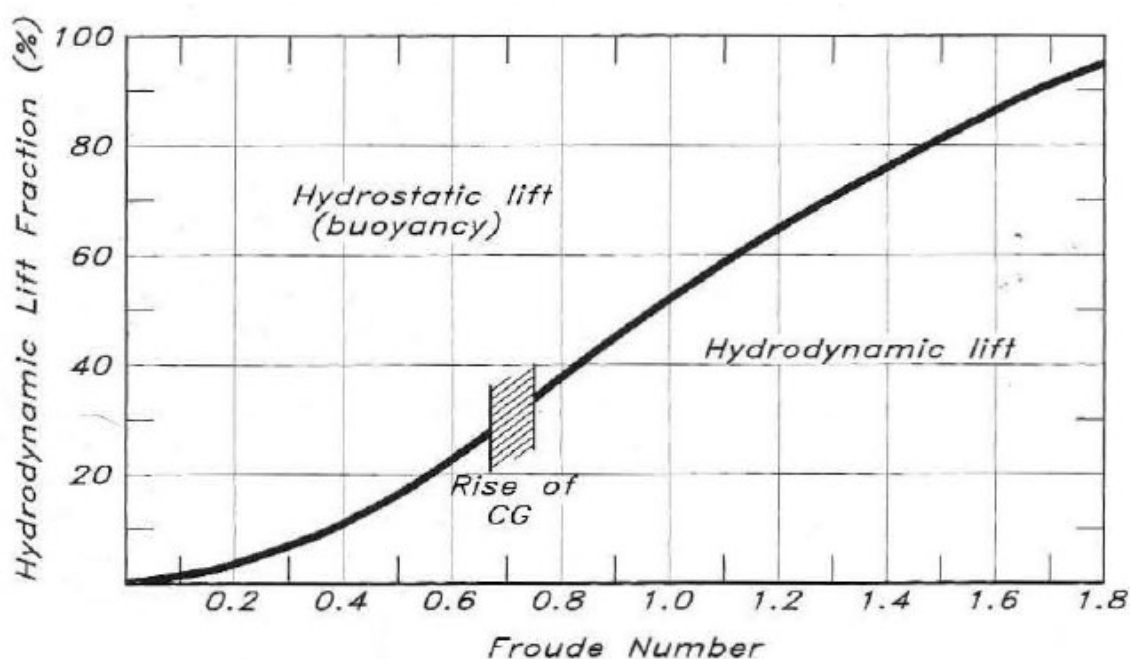


Figura 1. Distribución de las componentes hidrostáticas e hidrodinámicas en función del número de Froude para el régimen de planeo. Fuente: *Principles of Yacht Design*

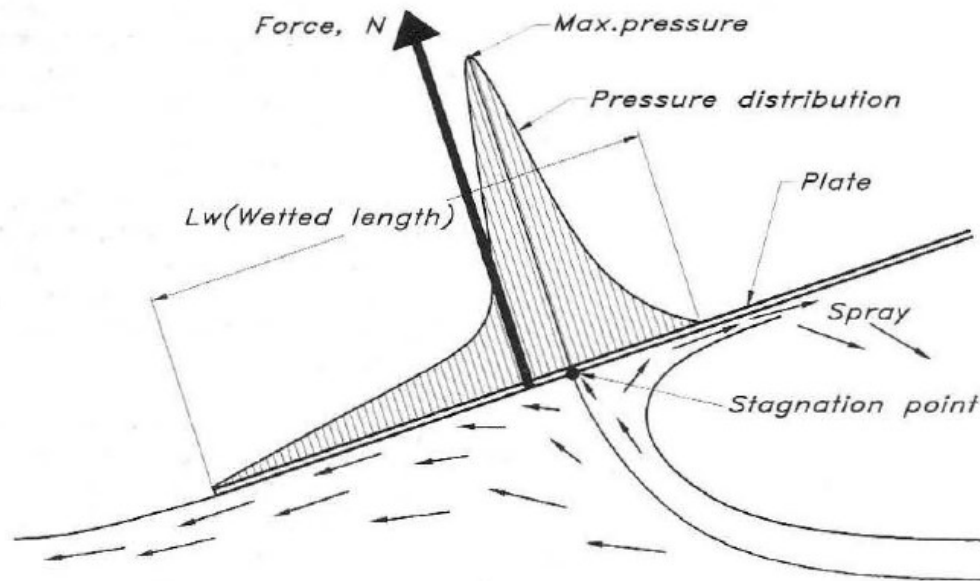


Figura 2. Distribución de la presión y velocidad bajo una placa plana en régimen de planeo. Fuente: *Principles of Yacht Design*

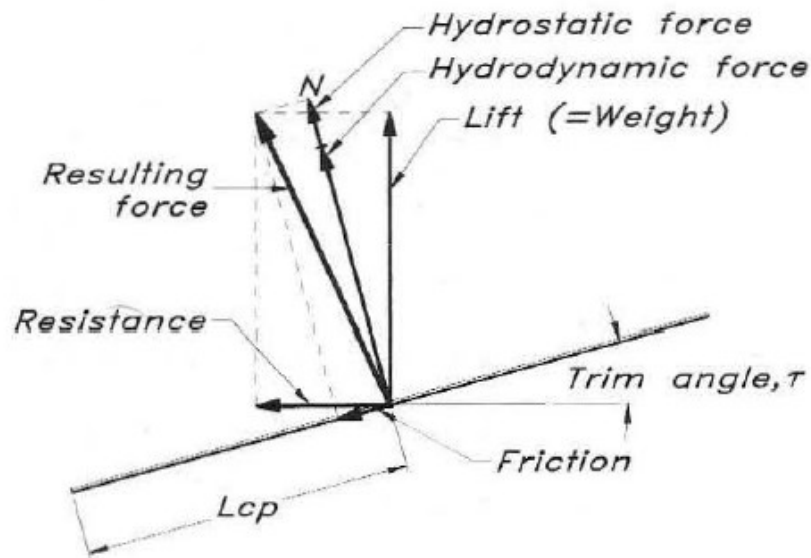


Figura 3. Fuerzas sobre una superficie plana en régimen de planeo. Fuente: *Principles of Yacht Design*



### 3.3 Formas del Casco

La forma del casco y sus secciones debe ser una “*forma en V*”. En este apartado se explica qué beneficios y características tienen este tipo de formas para que las adopten las embarcaciones que navegan en un régimen de planeo.

Para estudiar el planeo en el apartado anterior, se ha tomado como ejemplo una placa plana. Si una embarcación que navega en un régimen de planeo tuviese un fondo plano, las aceleraciones verticales producidas por el oleaje serían demasiado elevadas poniendo en riesgo la estructura de la embarcación y las vidas que hay dentro de ella. Al darle forma de “V” a las secciones y al casco, se reducen estas aceleraciones verticales.

El hecho de dar una forma de “V” a las secciones, implica la aparición de la astilla muerta, Figura 4. Esta reduce la fuerza de empuje de la embarcación y hace que emerja del agua una menor superficie del casco, al mismo tiempo que obliga a que exista una mayor superficie en el fondo, con la problemática de que a mayor superficie en contacto con el agua, mayor resistencia al avance.

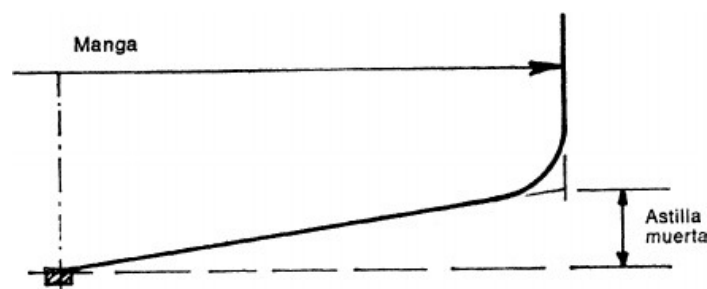


Figura 4. Astilla Muerta. Fuente: *Nomenclatura de la Estructura del Buque*

La razón por la cual la astilla muerta reduce la fuerza de empuje, es que con esta nueva disposición del fondo, a las partículas del agua, que anteriormente empujaba hacia atrás el casco, ahora las expulsa hacia los lados. Ya que como se ha explicado en el apartado anterior, la presión hidrodinámica que empuja la embarcación es la reacción a la misma fuerza en sentido opuesto que generan las partículas del agua al entrar en contacto con el casco. En el ejemplo de una placa plana, el chorro compuesto por partículas de agua sale con un ángulo de 180 grados respecto al empuje de la embarcación, esto se traduce en un “*rendimiento óptimo*” ya que la presión o fuerza que generan las partículas del agua es igual a la presión o fuerza de empuje, llevado a la práctica no es viable construir un fondo plano, tal como se ha explicado en este mismo apartado. Ahora bien, en las formas de “V”, este chorro de partículas de agua se expulsa hacia los lados, en vez de hacia atrás. Las partículas de agua no cambiarán su posición 180 grados respecto a la fuerza de empuje como en el caso de la placa plana, lo harán en un menor grado (entre 20 y 30 grados) lo que a su vez implicará que la presión hidrodinámica que empuja la embarcación sea menor. Además, al haber una inclinación en el fondo, aparecerá una componente transversal que se podría evitar.

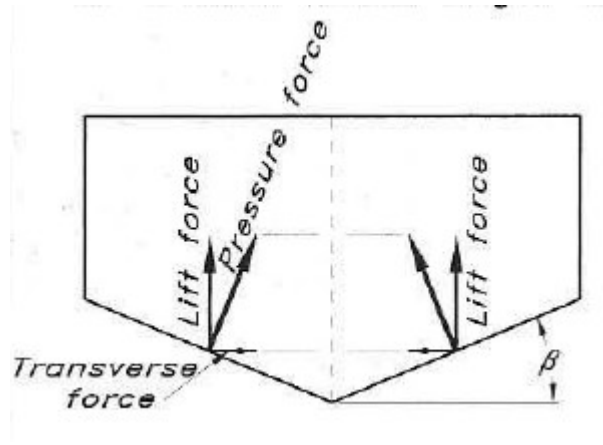


Figura 5. Fuerzas y Presiones de Empuje sobre un Casco con Formas en "V". Fuente: *Principles of Yacht Design*

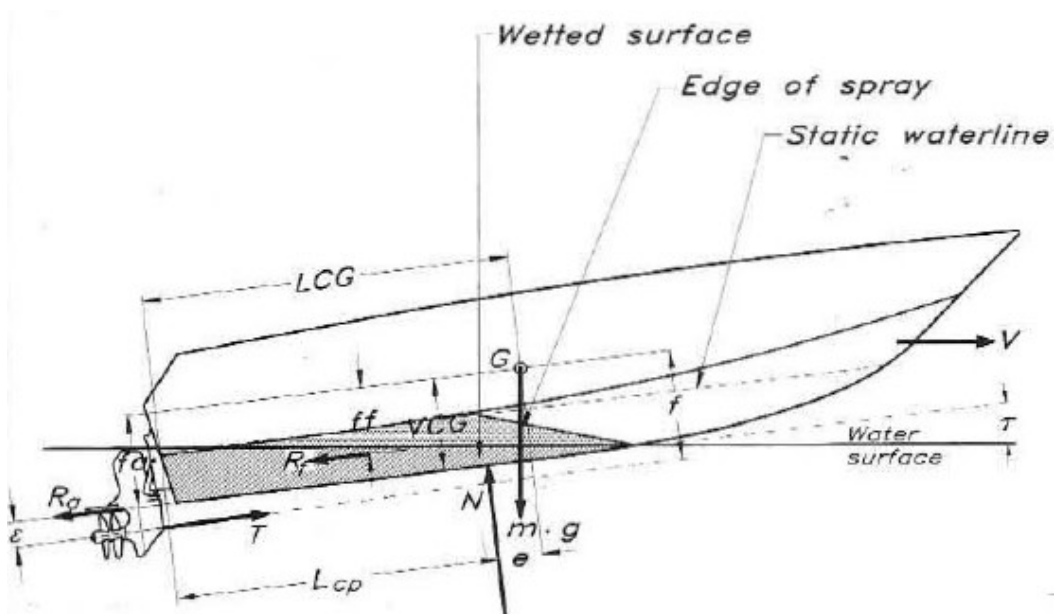


Figura 6. Fuerzas que experimenta un casco en régimen de planeo. Fuente: *Principles of Yacht Design*

La principal conclusión que se extrae de las formas en "V", son que favorecen la navegabilidad y el confort, pero no son eficientes a la hora de generar empuje. Con el propósito de aprovechar los chorros de agua para sumar empuje a la embarcación se añaden elementos estructurales (o apéndices) a lo largo de la eslora de la embarcación. Los más conocidos y que siempre se utilizan son los *Spray Rails*. Básicamente la función que realizan estos elementos longitudinales, es la de redirigir el chorro de agua hacia abajo, con el objetivo de impulsar la embarcación hacia arriba, aumentando el empuje de ésta.

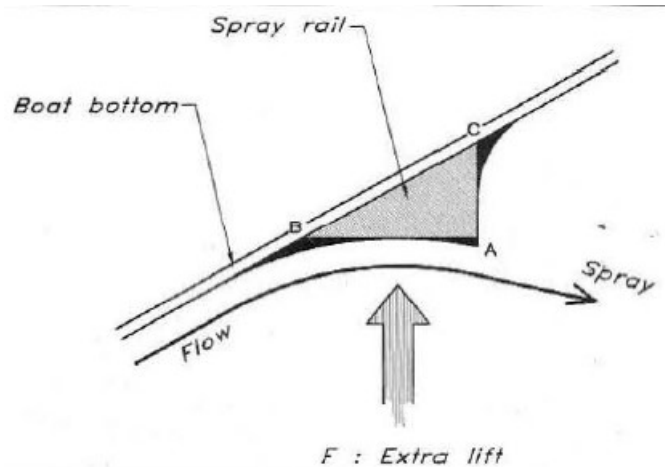


Figura 7. Sección de un Spray Rail. Fuente: *Principles of Yacht Design*

### 3.4 Generación de Formas mediante *MaxSurf Modeler*

Una vez conocidas las formas que debe tener la embarcación (formas en “V”), ésta se debe dimensionar a partir de los valores obtenidos de la base de datos, ya que estos valores son semejantes a los utilizados en otras embarcaciones, que se sabe que cumplen con las normativas y todos los criterios de diseño y construcción que se van a seguir a lo largo de este proyecto.

Dimensionamiento Básico		
LOA	14	m
B	4,1434	m
T	1,1643	m
D	2,461	m
Lwl	12,7199	m
$\Delta$	13313	kg
Potència	791,336	CV

Tabla 1. Dimensionamiento Básico a partir de las Regresiones Lineales

El diseño de las formas se lleva a cabo con el programa MaxSurf Modeler. Al iniciar el programa, este nos permite escoger entre diferentes tipos de cascos, a los cuales podemos modificar su eslora, manga y puntal, con tal de obtener una primera aproximación a las formas deseadas.

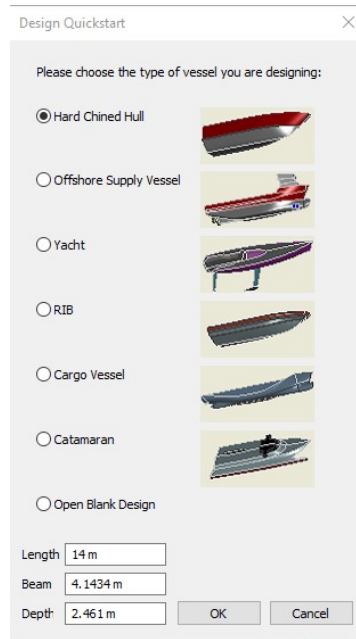


Figura 8. Ayuda en la Generación de Formas. Fuente: *MaxSurf Modeler*

Tras rellenar los espacios con las dimensiones obtenidas de la base de datos, MaxSurf genera un casco.

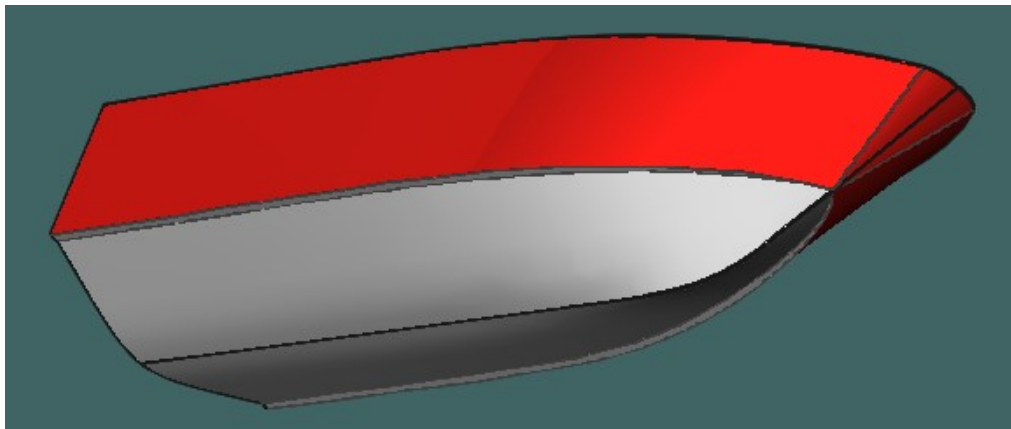


Figura 9. Formas Generadas por MaxSurf. Fuente: *MaxSurf Modeler*

El siguiente paso es colocar el eje de referencia, que se utilizará a lo largo de todo el proyecto. En este caso se va a seleccionar como origen, el extremo más a popa de la embarcación.

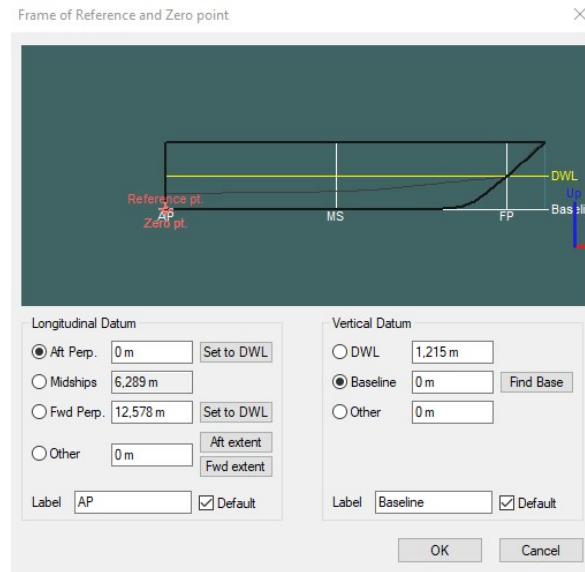


Figura 10. Selección del Origen, punto (0,0). Fuente: *MaxSurf Modeler*

A continuación se desbloquearán las superficies que conforman el casco, para después, mediante los puntos de control que tienen estas superficies, modificarlas y transformarlas.

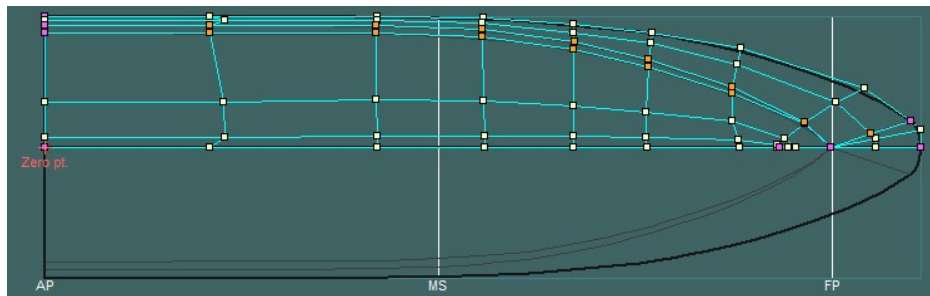


Figura 11. Puntos de Control de las Superficies. Fuente: *MaxSurf Modeler*

Una vez se han modificado las superficies para obtener las formas deseadas se calculan las hidrostáticas. Estos datos se utilizarán para realizar diferentes cálculos a lo largo del proyecto, sobretodo en el cálculo del escantillonado.

Hydrostatics		
Displacement	15,46	t
Volume (displaced)	15,079	m <sup>3</sup>
Draft Amidships	1,1	m
Immersed depth	0,941	m
WL Length	12,163	m
Beam max extents on WL	3,197	m
Wetted Area	38,127	m <sup>2</sup>
Max sect. area	1,903	m <sup>2</sup>
Waterpl. Area	31,539	m <sup>2</sup>
Prismatic coeff. (Cp)	0,651	
Block coeff. (Cb)	0,412	
Max Sect. area coeff. (Cm)	0,642	
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,811	
LCB length	5,476	from zero pt. (+ve fwd) m
LCF length	5,252	from zero pt. (+ve fwd) m
LCB %	45,019	from zero pt. (+ve fwd) % Lwl
LCF %	43,182	from zero pt. (+ve fwd) % Lwl
KB	0,799	m
KG fluid	0	m
BMT	1,481	m
BML	19,604	m
GMt corrected	2,28	m
GML	20,403	m
KMt	2,28	m
KML	20,403	m
Immersion (TPc)	0,323	tonne/cm
MTc	0,254	tonne.m
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1)	0,615	tonne.m
Length: Beam ratio	3,804	
Beam: Draft ratio	3,399	
Length:Vol <sup>0.333</sup> ratio	4,923	
Precision	Medium	66 stations

Tabla 2. Hidroestáticas. Fuente: *MaxSurf Modeler*

En el Anexo II se adjunta el plano de formas que se extrae del programa MaxSurf Modeler. El archivo MaxSurf en el que se han modificado las formas, se debe guardar para importarlo en el programa MaxSurf Resistance en el siguiente capítulo.

## Capítulo 4. Resistencia al Avance y Selección del Sistema Propulsivo

### 4.1 Resistencia al Avance

Tras verificar en el anterior apartado que la embarcación opera en un régimen de planeo y tras obtener las formas definitivas del casco y sus hidrostáticas, en este apartado se pretende calcular cual es su resistencia al avance para posteriormente escoger un sistema propulsivo que sea capaz de desplazar la embarcación.

#### 4.1.1 Método Savitsky

El método que se emplea más comúnmente es el llamado “Método Savitsky”, éste permite estimar la resistencia que generan las formas de la embarcación en las condiciones de pre-planeo y planeo para un rango de velocidades previamente establecido. El programa *MaxSurf Resistance* utiliza este método para obtener las diferentes resistencias, en kilonewtons (KN) en función de las velocidades y a la vez estima la potencia en kilovatios (KW) o *Horse Power* (HP) que requerirá la embarcación para vencer dicha resistencia.

Cabe destacar que el *Método Savitsky* es un ensayo experimental, que extrapola resultados obtenidos sobre placas planas, donde sólo actúa la fuerza de fricción, a las formas del casco de la embarcación estudiada. Al estimarse únicamente la fuerza de fricción, a la resistencia obtenida al final el método se le añadirá un porcentaje extra que representará la resistencia que generarían las olas, a parte de un pequeño margen de seguridad que se explica más adelante.

#### 4.1.2 Cálculo de la Resistencia al Avance mediante *MaxSurf Resistance*

A continuación se expone el procedimiento realizado sobre el programa *MaxSurf Resistance* para obtener la resistencia al avance de la embarcación mediante el *Método Savitsky*.

El primero de los pasos es el de importar el archivo *MaxSurf Modeler*, donde previamente se han generado las formas. Tras seleccionar las unidades en las que se desea obtener los resultados (KN para la resistencia) y (HP para la potencia requerida), el siguiente paso es el de elegir el *Método Savitsky*, explicado anteriormente, que permitirá la obtención de estos.

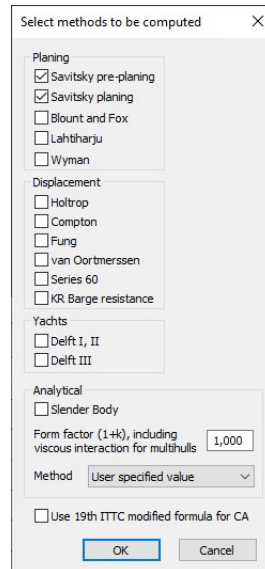


Figura 12. Selección del Método Savitsky

Pese a haber seleccionado el *Método Savitsky pre-planing* el estudio se centrará en el *Método Savitsky planing*, debido a que este último estudia un mayor rango de velocidades, en concreto hasta la velocidad máxima que se ha definido al inicio del proyecto 30 Kn mientras que el primero el rango que selecciona termina en la velocidad de 12 Kn. Una vez seleccionados los métodos el programa realiza los cálculos.

#### 4.1.3 Resultados al Cálculo de la Resistencia al Avance mediante *MaxSurf Resistance*

Aunque los datos, obtenidos a partir de este cálculo, interesantes para el proyecto son la resistencia al avance y en consecuencia la potencia que debe ejercer la embarcación para superarla, en la velocidad máxima establecida de 30 Kn, el programa ofrece diferentes datos que deben analizarse.

Entre estos datos, se pueden estudiar una serie de gráficos que permiten observar las tendencias en función de los datos representados. Por ejemplo en este primer gráfico se puede observar la tendencia que tiene la resistencia al avance a aumentar en función del aumento velocidad.



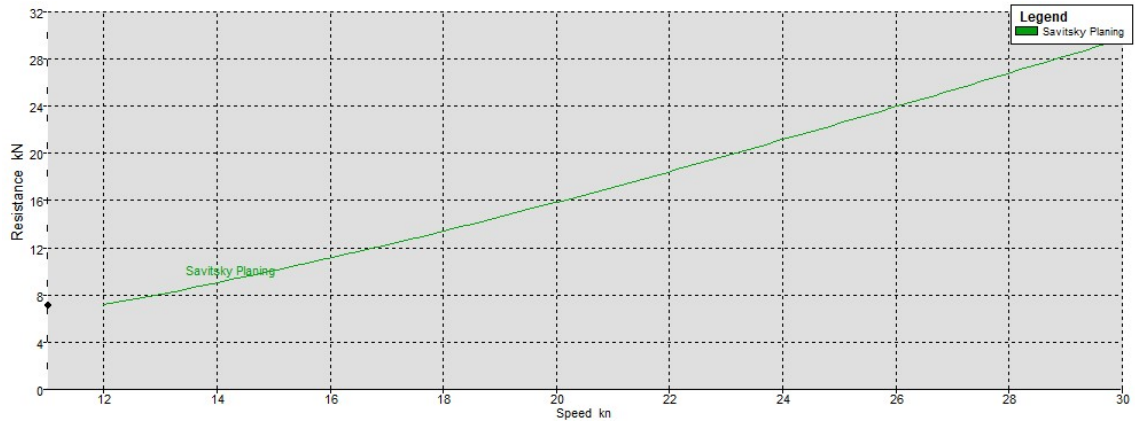


Ilustración 7. Resistencia al avance (KN) en función de la velocidad (Kn)

También es interesante ver el aumento de potencia que requiere la embarcación conforme se va aumentando la velocidad.

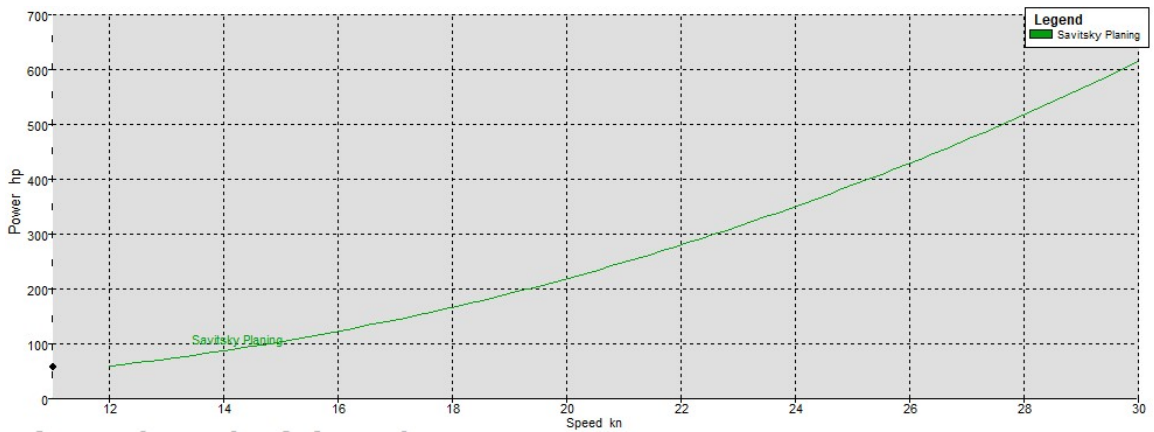


Ilustración 8. Potencia requerida (HP) en función de la velocidad (Kn)

Otra gráfica a observar sería la que relaciona el coeficiente de fricción con la velocidad.

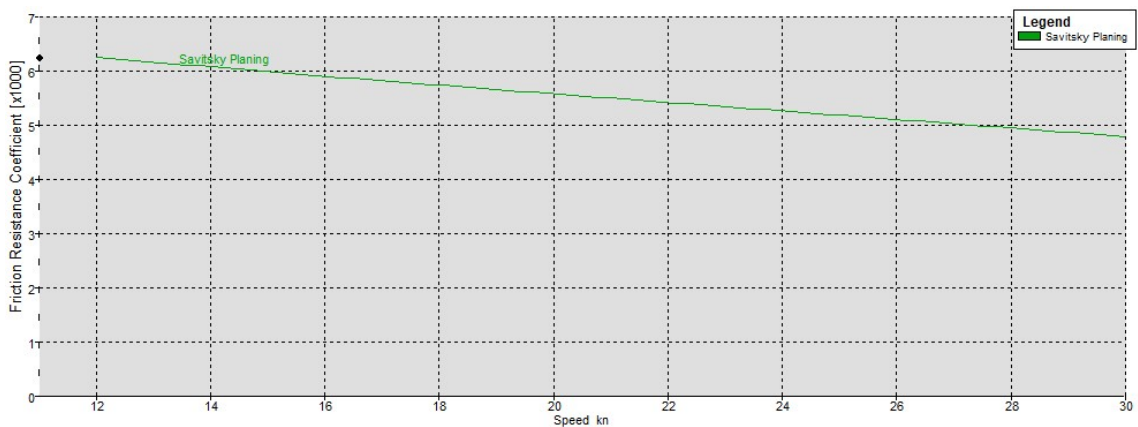


Ilustración 9. Coeficiente de fricción en función de la velocidad (Kn)

Lo estudiado dice que a mayor velocidad, mayor régimen de planeo y, consecuentemente, mayor superficie fuera del agua, lo que a su vez implica que existirá una menor superficie del casco en contacto con el agua, que dará lugar a un menor coeficiente de fricción. Tras observar la ilustración 9 se puede verificar que el estudio cumple con la teoría.

Finalmente, se estudia el trimado de la embarcación en función su velocidad. Una de las condiciones iniciales establecidas es que cuando la embarcación está en reposo su trimado es de 0 grados. Consecuentemente éste aumentará de forma estable conforme aumente la velocidad de la embarcación, llegando a un trimado máximo cuando se alcance la velocidad máxima. En la ilustración 10 se puede observar que lo comentado en este mismo párrafo es cierto, llegando a un trimado máximo de 0'915 grados.

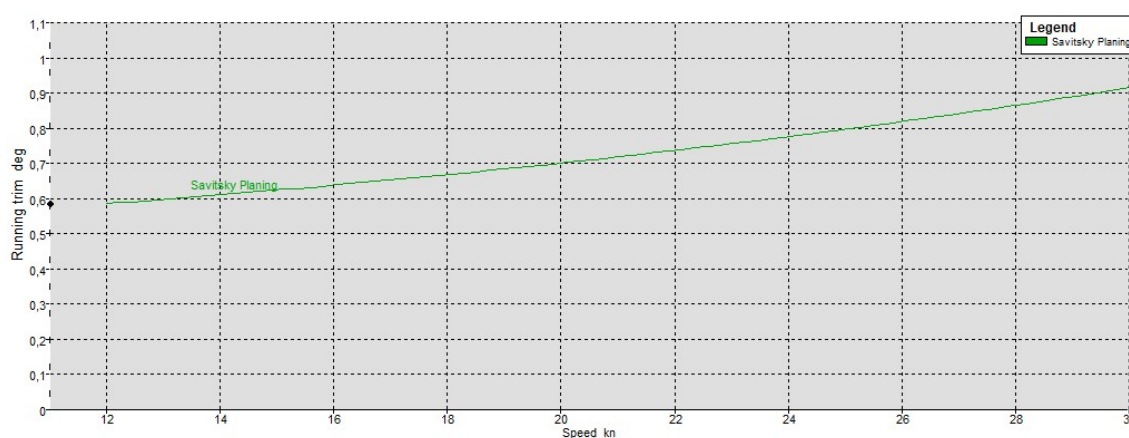


Ilustración 10. Trimado en función de la velocidad (Kn)

Los trimados obtenidos a partir de esta gráfica, variarán a lo largo del proyecto sufriendo un ligero aumento, esto es debido a que el *Método Savitsky* no considera elementos como los *Spray Rails*, que favorecen la elevación del casco por fuera del agua y la aparición de un mayor ángulo de trimado, tal y como se explica en el *Capítulo 4*.

Seguidamente se adjunta una tabla donde se ven los valores de la resistencia al avance en KN y la potencia requerida (HP) en función de la velocidad. De esta tabla se obtiene la potencia requerida máxima para la embarcación, ésta será la que exija la velocidad de 30 nudos, que es la establecida al inicio del proyecto como velocidad máxima. Para esta velocidad la potencia requerida es de 614,663 HP. Previamente a la selección del motor se ajustará esta resistencia en el siguiente sub-apartado.

Velocidad (Kn)	Savitsky Planing Resistance (KN)	Savitsky Planing Power (HP)
1	-	-
2	-	-
3	-	-
4	-	-
5	-	-
6	-	-
7	-	-
8	-	-
9	-	-
10	-	-
11	6,3	47,747
12	7,2	59,205
13	8,1	72,361
14	9	87,31
15	10,1	104,14
16	11,1	122,93
17	12,3	143,751
18	13,4	166,666
19	14,6	191,729
20	15,9	218,983
21	17,2	248,462
22	18,5	280,192
23	19,8	314,185
24	21,2	350,445
25	22,6	388,968
26	24	429,737
27	25,4	472,728
28	26,8	517,907
29	28,3	565,234
<b>30</b>	<b>29,7</b>	<b>614,663</b>
31	31,1	666,143
32	32,6	719,624
33	34	775,052
34	35,5	832,379
35	36,9	891,562
36	38,4	952,569
37	39,8	1015,375
38	41,2	1079,971
39	42,6	1146,364
40	44	1214,574
41	45,4	1284,64

Tabla 3. Resultados Método Savitsky

#### 4.1.4 Ajustes de la Potencia Requerida

Como se ha explicado anteriormente, el *Método Savitsky* no considera la resistencia por olas, al tratarse de una embarcación con Categoría de Diseño C, que puede navegar hasta una distancia de 12 millas, no se cree que las olas ejerzan demasiada resistencia. Aun así se decide añadir un porcentaje de potencia del 15% a la calculada por el *Método Savitsky*.

$$\text{Potencia Requerida} = 614,663 + (614,663 * 15\%) = 706.8575 \text{ HP}$$

#### Ecuación 6. Potencia Método Savitsky y Resistencia al Oleaje

Además, para que cuando el motor alcance su velocidad máxima, no trabaje bajo excesivas revoluciones por minuto que puedan aumentar la fatiga de sus componentes y acelerar su desgaste, se le añade un factor de seguridad de un 15% a la potencia calculada mediante el *Método Savitsky*.

$$\text{Potencia Requerida} = 706,8575 + (614,663 * 15\%) = 799.,52 \text{ HP}$$

#### Ecuación 7. Potencia Final Requerida

Resumiendo, a partir de la potencia de 800 HP se deberá seleccionar un sistema propulsivo capaz de entregar esta potencia. También se valorarán otros aspectos como el espacio que ocupa, la facilidad con la que el usuario maneja el motor, la contaminación que genera este y el coste de su mantenimiento.

## 4.2 Selección del Sistema Propulsivo

Como se ha expuesto en el apartado anterior, al seleccionar el sistema propulsivo se debe tener en cuenta, no solo que entregue la potencia requerida, si no todos los aspectos comentados. Con tal de elegir el sistema propulsivo que mejor se adapte, se analizarán los siguientes aspectos.

El primer aspecto que se ha tenido en cuenta ha sido el espacio que ocupa el motor. Actualmente existen motores fueraborda capaces de entregar 800 HP, pero en una embarcación de este estilo y dimensiones supondrían una incomodidad para los pasajeros, es por ello que se seleccionarán motores intraborda.

En el segundo aspecto se entra a valorar la facilidad con la que el piloto puede manejar el conjunto sistema propulsivo y timón. Aquí es donde los motores con Sistema POD marcan un punto de inflexión respecto otros sistemas.

Respecto a la contaminación generada por el motor, en el caso de los Sistemas POD, donde se reduce un 30% el consumo de combustible respecto motores de igual potencia y características, se está reduciendo también en un 30% las emisiones de CO<sub>2</sub>.

Además el coste de su mantenimiento, así como las vibraciones y ruidos producidos por el motor, en los Sistemas POD también se reducen considerablemente respecto otros tipos de motores.

Es por todo esto que se seleccionarán motores con Sistema POD.

### 4.2.1 Sistema POD

En este tipo de sistemas la hélice se une al motor mediante un POD que la puede hacer girar 360 grados sobre su eje. Al instalarse un segundo Sistema POD, simétricamente al primero, la embarcación adquiere una gran capacidad de maniobra jamás vista en otros sistemas aplicados a embarcaciones de recreo. Esta increíble maniobrabilidad se traduce en un manejo sencillo por parte del piloto, ya que la trayectoria que seguirá la embarcación la determina la orientación que adquieran las hélices. Esta orientación se podrá variar con un volante de timón convencional o, en situaciones más complejas como por ejemplo cuando se desea atracar la embarcación, con el uso de un Joystick facilitando enormemente la maniobra.



Figura 13. Sistema POD. Fuente: Volvo Penta

Generalmente, estos sistemas y su conectividad con la embarcación (entendiendo conectividad como todos los sistemas auxiliares puestos a disposición del usuario para que éste tenga información sobre el estado del sistema propulsivo y pueda operarlo) utilizan energía eléctrica, dicha energía eléctrica suele ser proporcionada desde un banco de baterías previamente cargado por un generador Diesel. En conjunto, el funcionamiento de este sistema propulsivo aporta una serie de ventajas respecto a otros sistemas intraborda. Las ventajas más significativas son:

- i) Un 40% más de autonomía de crucero.
- ii) Un 20% más de velocidad punta.
- iii) Un 30% menos de consumo de combustible.
- iv) Un 30% menos de emisiones de CO<sub>2</sub>.
- v) Un 50% menos de ruido percibido.

#### 4.2.2 Volvo Penta IPS 600

Una vez seleccionado el sistema propulsivo, se debe elegir un fabricante que pueda proporcionarlo. Volvo Penta es el fabricante que se selecciona en este proyecto, entre otras cosas debido a su larga experiencia de 14 años con los Sistemas POD. La marca sueca fue pionera en la aplicación de este sistema en embarcaciones de recreo, también es conocido el compromiso sueco con el medioambiente y la simplicidad, minimalismo y calidad de todos sus productos. Es por todo ello que se selecciona esta empresa.

De igual forma que otros fabricantes, Volvo Penta con su gama de motores IPS (*Inboard Performance System*), ofrece el control electrónico de la embarcación mediante el sistema EVC (*Electronic Vessel Control*). El sistema EVC permite conocer el estado de la embarcación en tiempo real, realizar diagnósticos sobre el motor, maniobrar, etcétera.

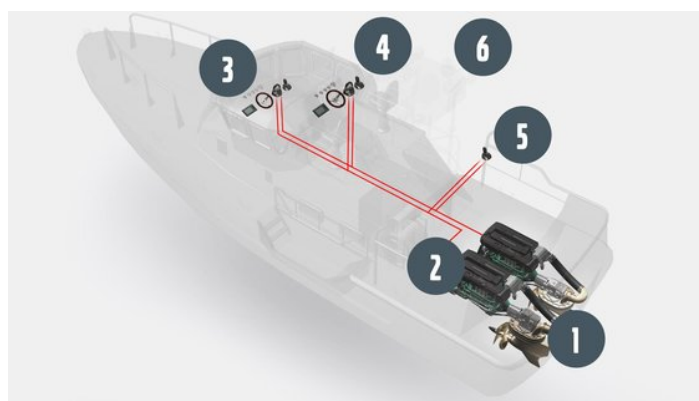


Figura 14. Control Electrónico de la Embarcación o EVC. Fuente: Volvo Penta

En la Figura 14 se observa un pequeño esquema que define el funcionamiento del Control Electrónico de la Embarcación o EVC. El esquema es extraído de la página web de Volvo Penta y en la misma se definen los elementos que aparecen marcados con números.

- i) Unidades propulsoras dirigibles individualmente con hélices dobles contrarrotantes.
- ii) Motores conectados a las unidades propulsoras a través de la caja de cambios.
- iii) Puesto de pilotaje con acelerador, joystick, rueda de timón.
- iv) Conectividad adicional con el puesto de pilotaje.
- v) Joystick para atraque.
- vi) Otras opciones EVC disponibles, como el sistema de posicionamiento dinámico.

Volvo Penta ofrece una amplia gama de motores con el sistema IPS, desde el IPS 350 que entrega 260 HP hasta el IPS 1200 capaz de entregar 900 HP. Al necesitarse 800 HP, y ya que se deben instalar dos motores iguales simétricamente para favorecer la maniobrabilidad, se opta por el IPS 600 que entrega 435 HP, es decir, 2 de ellos entregarán 870 HP, potencia más que suficiente para desplazar la embarcación cómodamente en las condiciones establecidas. Las características de este motor así como planos y otros documentos de interés se adjuntan en el ANEXO III y éstos son proporcionados por la propia marca.



Figura 15. Volvo Penta IPS 600. Fuente: Volvo Penta

#### 4.2.3 Consumo de Combustible

Es necesario conocer el consumo de combustible de estos sistemas propulsivos para poder estimar la capacidad que deberán tener los tanques de combustible. A la par, se podrá calcular el coste económico aproximado al llenarlos completamente. Se trata de una embarcación con Categoría de Diseño C y que no tiene permitido alejarse más de 12 millas de la costa, es por ello que no se cree que los futuros usuarios realicen largas travesías donde se necesitarían de grandes tanques para albergar el suficiente combustible para navegar durante días. También se debe considerar que los usuarios podrían decidir navegar de un punto a otro situado relativamente cerca, pero hacerlo no a velocidad de crucero sino a la máxima velocidad permitida. Las condiciones de la mar pueden también afectar al consumo. El hecho de que los usuarios decidan ir, por ejemplo, de cala en cala, encendiendo y apagando repetidamente el motor aumentado con cada encendido el consumo de éste. Es por todo esto que se decide sobreestimar ligeramente la capacidad de estos tanques.

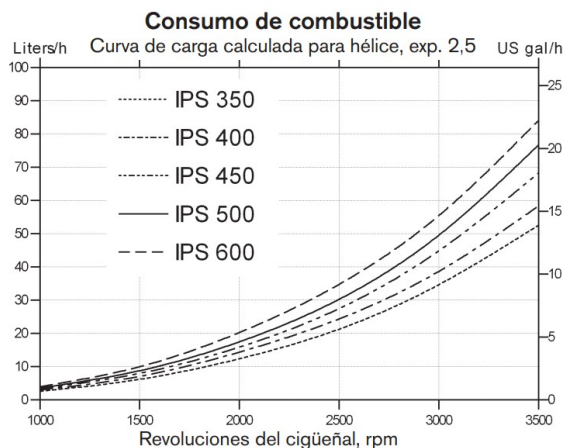


Ilustración 11. Consumo de combustible en función de las rpm del motor. Fuente: Volvo Penta

<b>VOLVO PENTA</b>		Document No	Issue Index								
Volvo Penta IPS600 R5 435 hp (320 kW)		<b>21954806</b>	<b>01</b>								
Fuel system	Rating	rpm	1000	1500	2000	2500	3000	3500			
Specific fuel consumption 2)	5	g/kWh lb/hph	221 0,358	222 0,36	222 0,36	201 0,326	206 0,334	220 0,356			
Fuel consumption, Test cycle E5	5	g/kWh lb/hph	221 0,36								
Fuel consumption at prop. load x <sup>2.5</sup>	5	l/h US gal/h	4,0 1,1	10,0 2,7	20,3 5,4	34,8 9,2	55,5 14,7	84,2 22,3			
Fuel consumption at prop. load x <sup>3</sup>	5	l/h US gal/h	2,6 0,7	7,1 1,9	16,1 4,2	29,9 7,9	52,3 13,8	84,2 22,3			
Fuel consumption at full load	5	l/h US gal/h	20,5 5,4	38,0 10,0	56,6 14,9	65,9 17,4	75,9 20,1	84,2 22,3			

Figura 16. Datos específicos del consumo del Volvo Penta IPS 600. Fuente: Volvo Penta

La Figura 16 es una captura del ANEXO III (Datos específicos del motor) donde se observan los diferentes consumos específicos para diferentes situaciones de carga. Para estimar la capacidad de los tanques de combustible se utiliza el consumo específico a plena carga y trabajando al máximo régimen de revoluciones por minuto, situación donde alcanzará su velocidad máxima de 30 Kn. Es decir, el consumo que se utiliza es el de 84.2 l/h, que al multiplicarlo por el número de motores (2) es igual a un consumo de 168.4 l/h. Además se desea que tenga una autonomía de 300 millas náuticas. Conociendo estos datos se procede a calcular el volumen aproximado que deberá o deberán tener el o los tanques de combustible (en función del número de tanques que se pongan). Esta capacidad en litros se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$Vol.Tanque = \frac{Millas\ Náuticas * Consumo\ Específico}{Velocidad} = \frac{300\ Kn \cdot h * 168,4 \frac{l}{h}}{30\ Kn} = 1684\ l$$

Ecuación 8. Cálculo de la Capacidad en litros de Combustible que deberá disponer la embarcación

De la anterior ecuación se extrae una capacidad aproximada de 1684 litros de combustible.



## Capítulo 5. Diseño Estructural y Cálculo del Escantillonado

### 5.1 Diseño Estructural

El paso previo al cálculo del escantillonado es el de disponer todos los refuerzos transversales y longitudinales que formarán la estructura del casco. Estructura sobre la que después se colocará el laminado. La normativa internacional ISO 12215-6:2009 *Dispositivos estructurales y detalles de construcción* explica cuales son estos refuerzos y muestra algunos ejemplos acerca de cómo disponerlos a lo largo de la eslora de la embarcación, aun así, esta normativa es orientativa. La normativa que establecerá condiciones cuyo cumplimiento es obligado es la ISO 12215-5:2019, condiciones como por ejemplo la distancia mínima entre refuerzos, etcétera. Algunas de las definiciones que da la normativa ISO 12215-6:2019 son:

#### Emparrillado o Rejilla

Conjunto de refuerzos transversales que se cruzan con otro conjunto de refuerzos longitudinales.

#### Reforzado Secundario

Elemento de refuerzo que soporta directamente las chapas.

#### Reforzado Principal

Elementos de refuerzo que soportan los elementos secundarios de refuerzo.

#### Palmejar

Reforzado longitudinal, generalmente designado como reforzado secundario, que soporta las chapas o laminado del casco.

#### Cuaderna

Reforzado transversal, generalmente designado como reforzado secundario, que soporta las chapas o laminado del casco.

#### Bao

Reforzado transversal, generalmente designado como reforzado secundario, que soporta las chapas o laminado de cubierta.

#### Bulárcama

Reforzado transversal grueso, generalmente designado como reforzado principal, que soporta los palmejares y las vagras menos importantes y que normalmente está conectado con los fuertes baos de cubierta.

### **Varenga**

Reforzado transversal grueso del fondo, que puede utilizarse para unir las cuadernas y puede ser también un mamparo parcial.

### **Vagra**

Elemento grueso de reforzado longitudinal, generalmente designado como parte del reforzado principal, que soporta las cuadernas o varengas transversales de fondo, otras cuadernas y baos.

### **Cartabón**

Elemento de refuerzo, normalmente de perfil triangular, utilizado para reforzar la unión entre dos refuerzos y reducir su luz.

### **Mamparo**

Reforzo transversal, generalmente designado como reforzado principal, que soporta las chapas o laminado del casco.

### **Espejo de popa**

Primer mamparo estanco colocado en la popa de la embarcación.

### **Mamparo de colisión**

Último mamparo estanco colocado en la proa de la embarcación.

A continuación se muestran dos figuras en las que se observan ejemplos de cómo puede ser la distribución de los refuerzos.

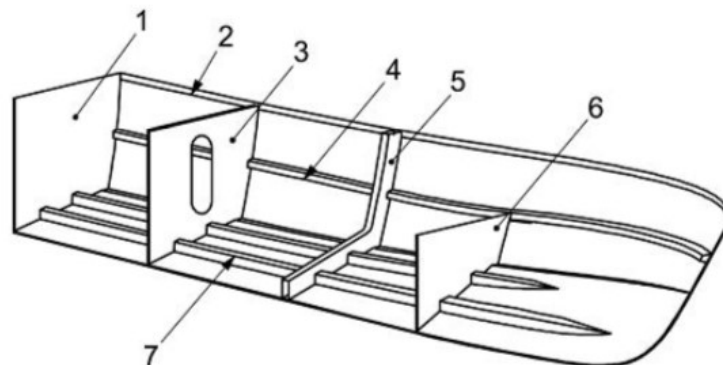


Figura 17. Embarcación con Estructura Longitudinal. Fuente: ISO 12215-6:2019

Donde los refuerzos señalizados con los números 1, 3, 5 y 6 son refuerzos principales, mientras que los marcados con los números 2, 4 y 7 son refuerzos secundarios.

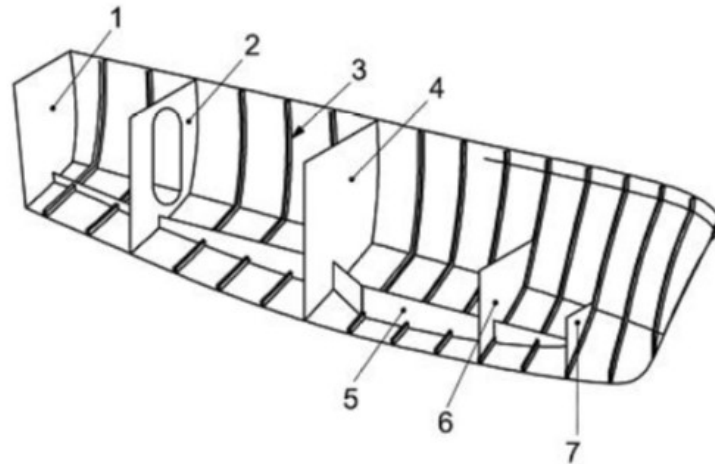


Figura 18. Embarcación con Estructura Transversal. Fuente: ISO 12215-6:2019

Donde los refuerzos señalizados con los números 1, 2, 4, 6 y 7 son refuerzos principales, mientras que los marcados con los números 3 y 5 son refuerzos secundarios.

## 5.2 Disposición Estructural Transversal

La disposición estructural transversal cuenta con 7 cuadernas y 4 mamparos. El primer de los mamparos, comenzando a contarlos desde popa, es el Espejo de popa, este mamparo es estanco. El siguiente mamparo también es estanco y tiene el objetivo de separar la sala de máquinas de la embarcación con el resto de estancias del habitáculo. La sala de máquinas se encuentra entre el Espejo de popa y el siguiente mamparo estanco, ya nombrado. Dicha sala de máquinas tiene una longitud de 3 metros lo que implica que el motor escogido el Volvo Penta IPS 600 con una longitud de 2'185 metros encaja perfectamente en el espacio sobrando 40 centímetros a extremo y extremo del motor. A esta estancia se accede mediante una trampilla de la cubierta, entre estos dos mamparos hay dos cuadernas.

El tercer mamparo contando desde popa, no es estanco ya que tiene una apertura de un metro de ancho por la cual se accede a la habitación. Entre el segundo mamparo estanco y éste se encuentran el baño, el comedor, la sala de estar, un escritorio y la cocina como se ve en el plano del ANEXO IV, existe una longitud de 5'2 metros y hay 3 cuadernas entre medio.

Finalmente, el cuarto mamparo o mamparo de colisión pone final a los espacios habitables de la embarcación y los aísla de una posible inundación en caso de una colisión frontal. Entre el tercer mamparo y éste se encuentra la habitación con 2 cuadernas entre ellos y 3 metros de longitud.

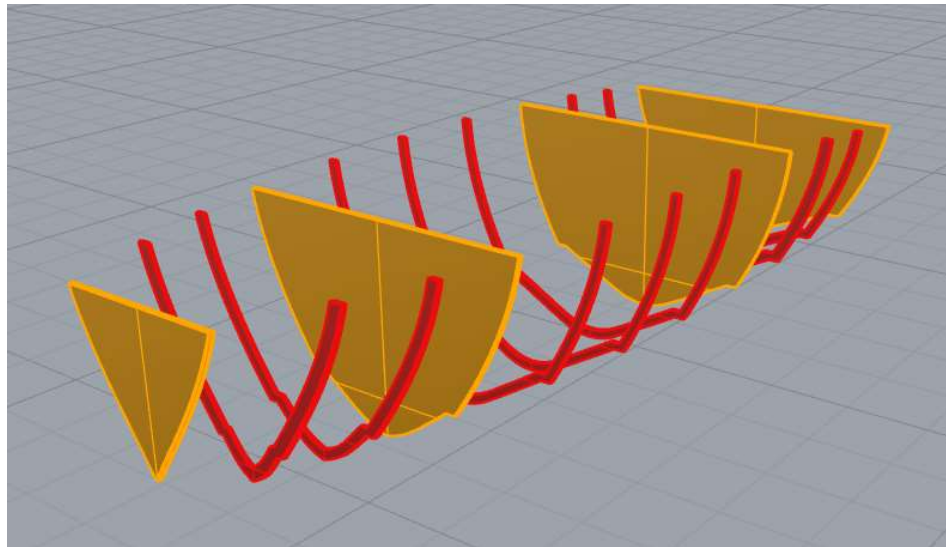


Figura 19. Disposición en 3D de los refuerzos transversales, en roja las cuadernas y en naranja los mamparos.

### 5.3 Disposición Estructural Longitudinal

Por lo que respecta a la disposición de los refuerzos longitudinales, se ve afectada por los motores, ya que el fabricante de dichos refuerzos obliga a disponerlos de una forma específica.

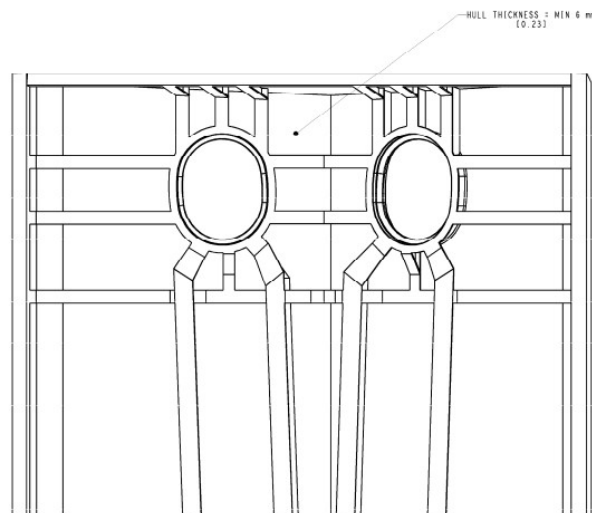


Figura 20. Especificaciones de los refuerzos del motor, ANEXO III. Fuente: Volvo Penta

Pero estos 4 refuerzos longitudinales, no son los únicos que se colocan. Se coloca la quilla, dos refuerzos longitudinales en el pantoque, aprovechando la forma de los SprayRails que hay en ellos y finalmente dos palmejares en los costados de estribor y babor.

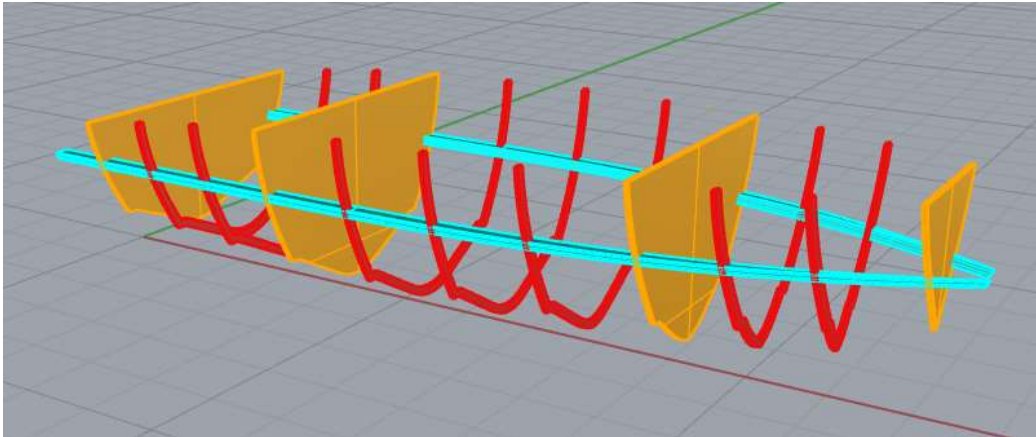


Figura 21. Disposición en 3D de los palmerajes

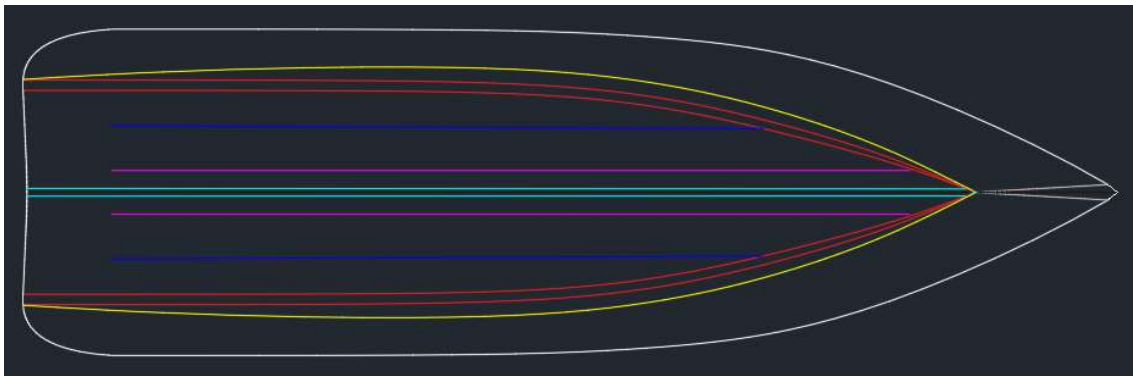


Figura 22. Disposición 2D, en cian la quilla, en rojo longitudinales en los pantoques y en magenta y azul los requeridos por Volvo Penta

#### 5.4 Cálculo del Escantillonado

El cálculo del escantillonado se realiza con la normativa ISO 12215-5:2019 *Presiones de diseño, tensiones de diseño y determinación del escantillón*. El primer paso a realizar es el de separar la estructura en paneles tal y como dice el apartado 9 de esta normativa, los paneles están comprendidos entre los diferentes refuerzos, es decir, entre dos refuerzos longitudinales y dos refuerzos transversales se hallará un panel tal y como se aprecia en la Figura 23, proporcionada por la ISO12215-5:2019. Las dimensiones que se deberán considerar para la determinación de un panel son  $b$  (dimensión menor entre dos refuerzos consecutivos, en metros) y  $l$  (dimensión mayor entre dos refuerzos consecutivos, en metros). Además la Figura 23 muestra otras dimensiones como  $s$  (distancia transversal entre el alma de los refuerzos) o  $lu$  (luz entre apoyos de un refuerzo o cuaderna).

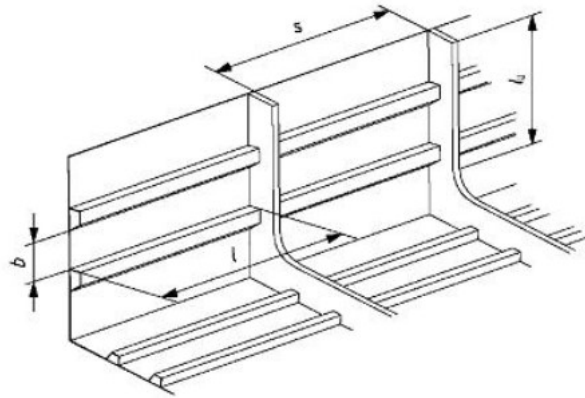


Figura 23. Croquis explicatorio de las dimensiones. Fuente: ISO 12215-5:2019

Una vez explicadas las dimensiones básicas de los paneles se procede a realizar el cálculo del escantillonado, empezando por el de los paneles, con el que se pretende conocer el espesor mínimo de las chapas o forro del casco. Y finalizando con el cálculo del escantillonado de los refuerzos donde se pretende conocer las dimensiones y especificaciones de estos.

#### 5.4.1 Cálculo del Espesor mínimo de las chapas o forro.

Es importante remarcar que en el ANEXO V es donde se calcula el escantillonado, y está dividido en tres partes. En la primera se calculan algunos datos previos que se utilizarán, como el factor de carga dinámica que se verá a continuación o el semiángulo del diedro del fondo que también se explica. Además en esta primera parte del ANEXO V se realizan todos los cálculos para obtener el espesor mínimo de las chapas del costado. En la segunda y tercera parte se calculan los espesores mínimos de las chapas del fondo y de la cubierta, respectivamente, en estas últimas chapas hay que distinguir entre la cubierta expuesta a la intemperie y la que encima suyo se encuentra la superestructura de la embarcación. A continuación se explica paso por paso todo lo calculado, siguiendo la normativa. Este procedimiento es igual para realizar el cálculo en los tres tipos de chapas o forros de la embarcación (costado, fondo, cubierta), explicando cuando sea necesario sus diferencias.

Cabe remarcar que todas las mediciones exigidas en los siguientes puntos, se han realizado exportando las formas del casco obtenidas en *MaxSurf* al programa de modelaje 3D *Rhinoceros* y a *Autocad*, tomando medidas en ambos programas. Por ejemplo, para el cálculo de las áreas de los diferentes paneles se ha utilizado *Rhinoceros* ya que este programa permite acotar el área directamente, *Autocad* también puede realizar esta función pero no contempla las ligeras curvaturas que, por ejemplo, pueden tener los paneles del costado o del fondo.

#### 5.4.1.1 Factores de Ajuste de la Presión

Estos factores de ajuste ayudan a que en el siguiente punto las presiones de diseño finales tengan una mayor concordancia con las características de la embarcación.

#### Factor de Categoría de Diseño, $K_{DC}$

Como se considera en las especificaciones iniciales, la embarcación tendrá una Categoría de Diseño C. La Figura 24, extraída del punto 7.2 de la ISO 12215-5:2019, muestra el valor de  $K_{DC}$  para las diferentes Categorías de Diseño, en el caso de la Categoría de Diseño C es de 0'6.

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

Figura 24. Valores de  $K_{DC}$  según la Categoría de Diseño. Fuente: ISO 12215-5:2019

#### Factor de Carga Dinámica

Este factor es la aceleración negativa que soporta la embarcación al chocar con una ola o descender bruscamente desde la cresta de esta. El factor de Carga Dinámica  $\eta_{CG}$  se mide en gs, recordando que 1gs equivale a la aceleración de la gravedad de 9'81m/s<sup>2</sup>. La ecuación que define el factor de Carga Dinámica para embarcaciones planeadoras es la siguiente:

$$\eta_{CG} = 0.32 * \left( \frac{L_{WL}}{10 * B_C} + 0.084 \right) * (50 - \beta_{0,4}) * \frac{V^2 * B_C^2}{m_{LDC}}$$

Ecuación 9. Factor de Carga Dinámica. Fuente: ISO 12215-5:2019

Donde:

- i)  $L_{WL}$  es la eslora de flotación de 12'163 metros
- ii)  $B_C$  es la manga en el pantoque al 40% de la eslora de flotación, partiendo de su extremo de popa.
- iii)  $\beta_{0,4}$  es el semiángulo del diedro al 40% de la eslora de flotación, partiendo de su extremo de popa.
- iv)  $V^2$  es la velocidad máxima elevada al cuadrado, de 30 nudos en este caso.
- v)  $m_{LDC}$  es la masa del desplazamiento en carga de la embarcación. Se sobreestimaré y se tomará de 20000 Kg

Para la obtención de las dimensiones  $B_C$  y  $\beta_{0,4}$ , se exporta el plano de formas frontal, generado en *MaxSurf*, al 40% de la eslora de flotación, desde su extremo en popa.

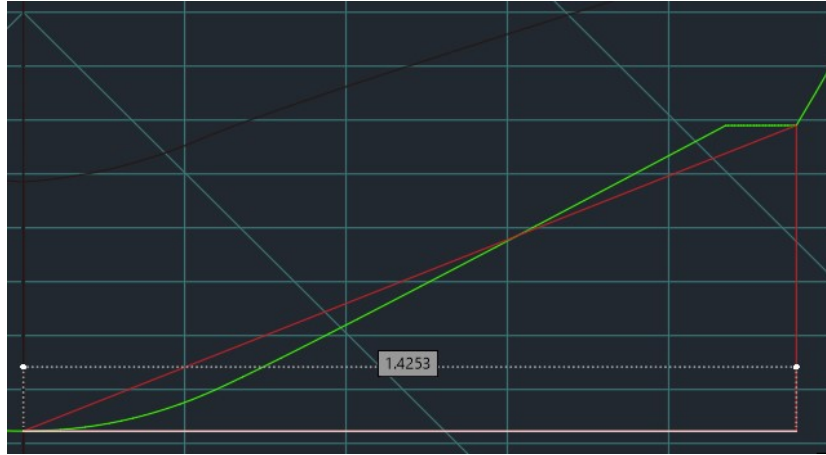


Figura 25. Medición de  $B_c/2$ , en verde la forma del casco.

Para obtener  $B_c$  simplemente se multiplica el valor de la distancia por 2.  $B_c$  es igual a 2'8506 metros.

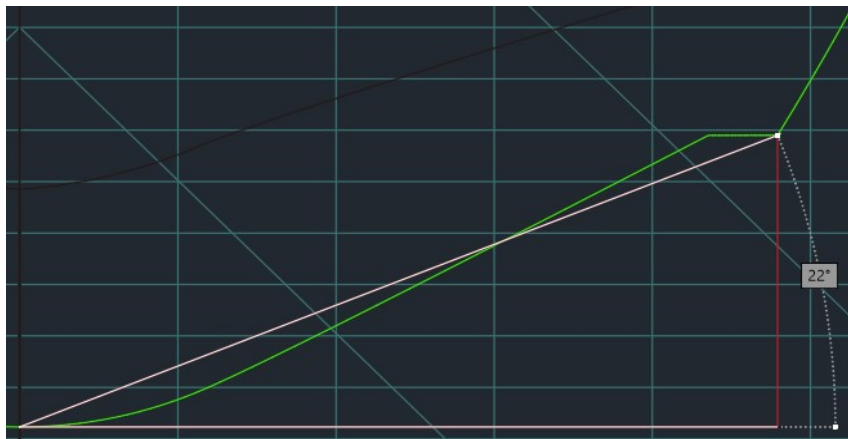


Figura 26. Medición de  $\beta_{0,4}$ , en verde la forma del casco.

Como se puede observar en la Figura 26  $\beta_{0,4}$  tiene un valor de 22 grados. Tras substituir los datos en la formula, se obtiene un  $\eta_{CG}$  de 1'100547. La normativa dice que si el resultado de esta ecuación es igual o inferior a 3, deberá conservarse este valor, en cambio, si el valor fuese mayor que 3 debería utilizarse la siguiente ecuación:

$$\eta_{CG} = \frac{0.5 * V}{m_{LDC}^{0.17}}$$

Ecuación 10. Factor de Carga Dinámica para  $\eta_{CG}$  mayor de 3. Fuente: ISO 12215-5:2019



La normativa también expresa que  $\eta_{CG}$  en ningún caso no puede ser mayor que 7. Este último caso se contempla en el ANEXO V, por si fuese necesario utilizarlo, tras tener el valor de  $m_{LDC}$  definitivo.

### Factor Longitudinal de Distribución de Presión $K_L$

Este factor considera variación de las cargas de presión que se producen a causa de la situación de la embarcación. Este factor viene definido por las siguientes ecuaciones:

$$K_L = \frac{1 - 0.167 * \eta_{CG}}{0.6} * \frac{x}{L_{WL}} + 0.167 * \eta_{CG} > 1 \text{ para valores de } \frac{x}{L_{WL}} \leq 0.6$$

**Ecuación 11. Factor de Distribución de Presión  $K_L$ , para  $x/L_{WL} \leq 0,6$ . Fuente: ISO 12215-5:2019**

$$K_L = 1 \text{ para } \frac{x}{L_{WL}} > 0.6$$

**Ecuación 12. Factor de Distribución de Presión  $K_L$ , para  $x/L_{WL} > 0,6$ . Fuente: ISO 12215-5:2019**

Donde:

- i)  $\eta_{CG}$  solo debe considerarse si su valor está comprendido entre 3 y 6, en el presente caso no deberá tomarse.
- ii)  $x$  es la posición del centro del panel o del punto medio del refuerzo analizado proporcional a  $L_{WL}$ .
- iii)  $\frac{x}{L_{WL}} = 0$  y  $1$  respectivamente a proa y popa de  $L_{WL}$ .

Este factor a diferencia de los dos primeros será independiente para cada panel.

### Factor de Reducción de Presión según la Superficie $K_{AR}$

Este factor considera variación de las cargas de presión que se producen según las dimensiones del panel. Este factor viene definido por la siguiente ecuación:

$$K_{AR} = \frac{K_R * 0.1 * m_{LDC}^{0.15}}{A_D^{0.3}}$$

**Ecuación 13. Factor de Reducción de la Presión según la Superficie  $K_{AR}$ . Fuente: ISO12215-5:2019**

Donde:

- i)  $K_R = 1$  para las embarcaciones planeadoras a motor.
- ii)  $m_{LDC}$  es la masa del desplazamiento en carga de la embarcación. Se sobre estimará y se tomará de 20000 Kg

- iii)  $A_D$  es el área de diseño, junto a esta área la normativa define las distancias máximas que no pueden sobrepasarse entre refuerzos, por ejemplo en entre refuerzos transversales no pueden haber más de 2'5 metros de separación.

El valor máximo de este factor es de 1, no se puede tomar ningún otro por encima y el mínimo viene definido por la siguiente Figura proporcionada por la ISO 12215-5:2019.

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 <sup>a</sup>		
		$\frac{x}{L_{WL}} \leq 0,4$	$0,4 < \frac{x}{L_{WL}} < 0,6$	$\frac{x}{L_{WL}} \geq 0,6$
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.

Figura 27. Valores mínimo de  $K_{AR}$ . Fuente: ISO 12215-5:2019

Al haber escogido un proceso de laminado FRP a una sola capa y una Categoría de Diseño C, el valor mínimo que interesa coger es de 0'25. Igual que el anterior factor, es independiente para cada panel.

### Factor de Reducción de Presión en el costado $K_z$

Este factor interpola la presión del costado entre la presión en la flotación y la presión de la cubierta en su borde superior. Viene definido por la siguiente ecuación:

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

Ecuación 14. Factor de Reducción de Presión  $K_z$  en el costado. Fuente: ISO 12215-5:2019

Donde:

- i)  $Z$  es la altura de la parte superior del casco por encima de la línea de flotación, en metros.
- ii)  $h$  es la altura del centro del panel o del punto medio del refuerzo por encima de la flotación a plena carga, en metros.

Este factor también es independiente para cada panel y sólo se le aplicará a aquellos paneles del costado cuyo centro geométrico se sitúe por encima de la línea de flotación.

### Factor de Reducción de Presión para las Superestructuras y casetas $K_{SUP}$

Este factor viene definido en la siguiente Figura extraída del punto 7.7 de la ISO 12215-5:2019.

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, $\leq 800$ 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 <sup>a</sup>	Presión mínima de cubierta 5 kN/m <sup>2</sup>	Zonas de no paso

<sup>a</sup> Los elementos no expuestos a la intemperie deben considerarse como pisos superiores.

Figura 28. Valores de  $K_{SUP}$  para Superestructuras y casetas. Fuente: ISO 12215-5:2019

Este factor únicamente se aplicará sobre aquellos paneles de cubierta, encima de los cuales se pretenda colocar la superestructura.

#### 5.4.1.2 Presiones de Diseño

En el punto 8 de la normativa se exponen las ecuaciones e indicaciones a seguir para calcular las presiones que sufren los diferentes paneles. Éstas variarán en función de sus dimensiones y de los factores calculados previamente en el punto 7 de la ISO 12215-5:2019. Estas presiones también serán diferentes en función del tipo de embarcación que se quiera estudiar y de la modalidad en la que actúe. En el caso de este proyecto se deberán calcular las presiones que afecten a las embarcaciones de motor en modalidad planeadora.

#### Presión en los Fondos $P_{BMP}$

Esta es la presión que sufrirán los paneles del fondo de la embarcación, viene dada por las siguientes ecuaciones:

$$P_{BMP} = P_{BMP\ BASE} * K_{AR} * K_L \text{ en kN/m}^2$$

Figura 29. Presión en los Fondos. Fuente: ISO 12215-5:2019

$$P_{BM\ MÍN} = 0.45m_{LDC}^{0.33} + (0.9 * L_{WL} * K_{DC}) \text{ en kN/m}^2$$

Ecuación 15. Presión en el Fondo mínima. Fuente: ISO 12215-5:2019

Donde:

$$P_{BMP\ BASE} = \frac{0.1m_{LDC}}{L_{WL} * B_C} * (1 + K_{DC}^{0.5} * \eta_{CG}) \text{ en } kN/m^2$$

Ecuación 16. Presión en el Fondo y Costado Base. Fuente: ISO 12215-5:2019

$P_{BM\ MÍN}$  es la presión mínima que debe considerarse en los paneles del fondo.

### Presión en los Costados $P_{SMP}$

La presión que actúa sobre los paneles del costado se determina gracias a las siguientes ecuaciones:

$$P_{SMP} = [P_{DM\ BASE} + K_Z * (0.25 * P_{BMP\ BASE} - P_{DM\ BASE})] * K_{AR} * K_{DC} * K_L \text{ en } kN/m^2$$

Ecuación 17. Presión en el Costado. Fuente: ISO 12215-5:2019

$$P_{SM\ MÍN} = 0.9L_{WL} * K_{DC} \text{ en } kN/m^2$$

Ecuación 18. Presión en el Costado mínima. Fuente: ISO 12215-5:2019

$$P_{DM\ BASE} = 0.35L_{WL} + 14.6 \text{ en } kN/m^2$$

Ecuación 19. Presión en el Costado y Cubierta base. Fuente: ISO 12215-5:2019

$P_{SM\ MÍN}$  se trata de la presión mínima que deberá considerarse en el caso de los paneles del costado.

### Presión en la Cubierta

Esta presión actuará sobre la cubierta de la embarcación. Viene definida en las siguientes ecuaciones:

$$P_{DM} = P_{DM\ BASE} * K_{AR} * K_{DC} * K_L \text{ en } kN/m^2$$

Ecuación 20. Presión en la Cubierta. Fuente: ISO 12215-5:2019

$$P_{DM\ MÍN} = 5 \text{ kN/m}^2$$

Ecuación 21. Presión en Cubierta mínima. Fuente: ISO 12215-5:2019

Donde  $P_{DM\text{MÍN}}$  es la presión mínima que se debe tener en cuenta y los demás parámetros ya han sido definidos.

### Presión en Superestructuras y Casetas

Esta presión deberá aplicarse, donde se pretenda colocar la superestructura, o se considere que será una zona de paso habitual. Viene definida por la ecuación:

$$P_{SUP\ M} = P_{DM\ BASE} * K_{DC} * K_{AR} * K_{SUP} \text{ en } kN/m^2$$

Ecuación 22. Presión en la Superestructura. Fuente: ISO12215-5:2019

#### 5.4.1.3 Cálculo del Espesor mínimo requerido

El décimo punto de la normativa ISO 12215-5:2019, da una serie de instrucciones y ecuaciones para calcular el espesor mínimo requerido por las chapas del casco. Antes de empezar con este cálculo, se debe seleccionar el tipo de laminado se va a utilizar ya que los factores que afectarán a este cálculo variarán en función del tipo de laminado escogido. Para esta embarcación se escoge un laminado FRP a una sola capa. A continuación se determinan los factores que afectan al cálculo.

#### Factor de Alargamiento del Panel por Resistencia a la Flexión $K_2$

Este factor viene dado por la siguiente figura proporcionada por la ISO 12215-5:2019, en la figura también se observa el factor  $K_3$ , pero éste solo afecta a los paneles con laminado 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 $0,014 < k_3 < 0,028$
	$k_2 = \frac{0,271(l/b)^2 + 0,910(l/b) - 0,554}{(l/b)^2 - 0,313(l/b) + 1,351}$	$k_3 = \frac{0,027(l/b)^2 - 0,029(l/b) + 0,011}{(l/b)^2 - 1,463(l/b) + 1,108}$

Figura 30. Valores de  $K_2$  en función del alargamiento  $l/b$  para los panes isotrópicos. Fuente: ISO 12215-5:2019

En la parte inferior de la figura se observa una ecuación que determina el valor de  $K_2$  para aquellos valores de  $l/b$  que no contempla.

### Factor de Corrección de la Curvatura de los Paneles $K_c$

De la misma manera que el factor anterior, éste viene definido por dos figuras que proporciona la ISO 12215-5:2019. Este factor ayuda a contemplar la curvatura que presentan ciertos paneles.

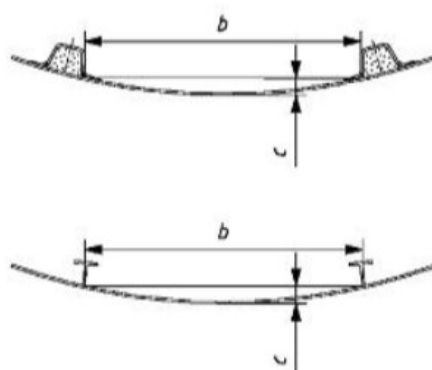


Figura 31. Medición de una curvatura convexa, donde  $c$  es el abombamiento. Fuente: ISO 12215-5:2019

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

Figura 32. Factor de corrección de la curvatura. Fuente: ISO 12215-5:2019

### Tensión de Diseño para las chapas de costado de FRP de una sola capa

El punto 10.2 de la normativa proporciona la siguiente tabla, donde se observa cual debe ser la tensión de diseño de las chapas de FRP a una sola capa.

Material	Elemento estructural	Tensión de diseño $\sigma$ N/mm <sup>2</sup>
FRP de una sola capa	Todos los elementos	0,5 $\sigma_{uf}$

Figura 33. Tensión de diseño de las chapas FRP a una sola capa. Fuente: ISO 12215-5:2019

Para encontrar el valor de  $\sigma_{uf}$  se debe ver el Anexo C (Propiedades y cálculos de los laminados de FRP) de la misma normativa. El primer paso a realizar es seleccionar uno de los diferentes niveles de evaluación de la Tabla. C.1 de este Anexo:

Nivel de evaluación	Definición	Método
EL-a	Las propiedades mecánicas y el contenido de fibra se determinan por mediciones efectuadas con la ayuda de normas de ensayo reconocidas sobre escantillones representativos del producto fabricado.	Utilizar los resultados de las mediciones corregidas según el apartado C.1.1.
EL-b	El contenido de fibra en masa ase determina por mediciones. Se efectúan verificaciones puntuales con ayuda de normas de ensayo reconocidas sobre escantillones representativos del producto fabricado para garantizar que el producto cumple o excede los valores de las tablas C.4 a la C.7.	Valores por defecto (tablas C.4 a la C.7)
EL-c	No se hacen mediciones explícitas ni del contenido de fibra ni de las propiedades mecánicas. El contenido de fibra se deduce de la tabla C.2 o de otros valores nominales.	Multiplicar los valores por defecto (tablas C.4 a la C.7) por 0,8.

Figura 34. Método de determinación del nivel de las propiedades mecánicas. Fuente: ISO 12215-5:2019

Al no tener la capacidad de realizar ensayos ni mediciones sobre muestras reales de las fibras, se escoge el nivel de evaluación c, dicho nivel permite obtener los datos a partir de las indicaciones del Anexo C de la normativa.

El primer paso a realizar es el de escoger el tipo de laminado FRP a una sola capa que se desea utilizar y el tipo de moldeado. En este caso se escoge una combinación MAT-Roving que se moldeará en bolsa de vacío. Con la ayuda del programa *ComposeIT*, que proporciona la sociedad de clasificación Bureau Veritas, se estiman las propiedades de los tejidos escogidos. El tejido MAT escogido es un MAT450, es decir, con una masa de fibra por unidad de área de 450g/m<sup>2</sup>, además conocemos que su porcentaje de fibra es del 40%. A continuación se muestran todas las propiedades extraídas del programa *ComposeIT*.

**MAT INDIVIDUAL LAYER INPUT**

<p><b>INPUT</b></p> <p>Label: <input type="text" value="MAT 450"/></p> <p>Fibre: <input type="text" value="E Glass"/></p> <p>Resin: <input type="text" value="Polyester"/></p> <p>Percentage of fibre: <input type="text" value="40,00"/> % given in: <input type="text" value="Mass"/></p> <p>Mass/m<sup>2</sup> of fibre (Pf): <input type="text" value="450,00"/> g/m<sup>2</sup></p> <p>Mass/m<sup>2</sup> of resin: <input type="text" value="675,00"/> g/m<sup>2</sup></p> <p>Mass/m<sup>2</sup> total: <input type="text" value="1.125,00"/> g/m<sup>2</sup></p>	<p><b>MECHANICAL CHARACTERISTICS</b></p> <p>Thickness: <input type="text" value="0.738"/> mm Density: <input type="text" value="1,525"/></p> <p><b>Elastic Coefficients</b></p> <p>E1: <input type="text" value="10.517"/> Mpa</p> <p>E2: <input type="text" value="10.517"/> Mpa</p> <p>Nu12: <input type="text" value="0.300"/></p> <p>Nu21: <input type="text" value="0.300"/></p> <p>G12: <input type="text" value="4.045"/> Mpa</p> <p>G13: <input type="text" value="1.322"/> Mpa</p> <p>G23: <input type="text" value="1.322"/> Mpa</p> <p><b>Breaking Stresses</b></p> <p>Sig1 T: <input type="text" value="130"/> Mpa</p> <p>Sig1 C: <input type="text" value="130"/> Mpa</p> <p>Sig2 T: <input type="text" value="130"/> Mpa</p> <p>Sig2 C: <input type="text" value="130"/> Mpa</p> <p>Tau12: <input type="text" value="64,72"/> Mpa</p> <p>TauL1: <input type="text" value="22,73"/> Mpa</p> <p>TauL2: <input type="text" value="22,73"/> Mpa</p>
---	---

Ilustración 12. Propiedades MAT450. Fuente: *ComposeIT* Bureau Veritas

Seguidamente se estudia, también con la aplicación de Bureau Veritas, el tejido Roving, en este caso un Roving 500, es decir, con una masa de fibra por unidad de área de 500g/m<sup>2</sup> y un porcentaje de fibra del 60%. Las propiedades calculadas por el programa se muestran a continuación:

WOVEN ROVING INDIVIDUAL LAYER INPUT			
<b>INPUT</b>		<b>MECHANICAL CHARACTERISTICS</b>	
Label:	Roving 500	Thickness:	0,472 mm
Fibre:	E Glass	Density:	1,764
Resin:	Polyester	<b>Elastic Coefficients</b>	
Percentage of fibre:	60,00 % given in: Mass	E1:	7,054 Mpa
Mass/m <sup>2</sup> of fibre (Pf):	500,00 g/m <sup>2</sup>	E2:	32,198 Mpa
Woven balance coeff.:	0,00 %	Nu12:	0,063
Mass/m <sup>2</sup> of resin:	333,33 g/m <sup>2</sup>	Nu21:	0,289
Mass/m <sup>2</sup> total:	833,33 g/m <sup>2</sup>	G12:	2,682 Mpa
		G13:	2,414 Mpa
		G23:	2,414 Mpa
		<b>Breaking Stresses</b>	
		Sig1 T:	102 Mpa
		Sig1 C:	102 Mpa
		Sig2 T:	464 Mpa
		Sig2 C:	464 Mpa
		Tau12:	32,18 Mpa
		TauL1:	34,76 Mpa
		TauL2:	34,76 Mpa

Ilustración 13. Propiedades MAT500. Fuente: ComposeIT Bureau Veritas

En la Tabla C.2 de la normativa muestra cómo calcular el contenido nominal de fibra en masa.

Tipo de capa de refuerzo	Laminado de fibra de vidrio. Contenido en masa de vidrio $\psi$		
	Moldeado abierto		Bolsa de vacío
	Superficie simple <sup>b</sup>	Superficie compleja <sup>b</sup>	
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 <sup>a</sup>	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
<b>Fibras diferentes de las de vidrio</b> (corresponden a un contenido equivalente de vidrio en masa superior a 0,4, es decir, no son de CSM)			
<b>Para las fibras de carbono</b>			
El contenido de fibra en masa $\psi$ que da el mismo contenido de fibra en volumen que los valores anteriores para el vidrio puede estimarse utilizando $\psi_{\text{carbono}} = 0,99 \psi_{\text{vidrio}}$ de la tabla - 0,08 (véase el ejemplo del C.3.3). Alternativamente se puede tomar el valor de $\Phi$ correspondiente a $\psi_{\text{vidrio}}$ de la tabla C.4 b) y utilizar el mismo valor en la tabla C.5.			
<b>Para las fibras de aramida</b>			
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 $\psi_{\text{aramida}} = 0,95 \psi_{\text{vidrio}}$ de la tabla - 0,11.			
a R = masa total del mat (kg/m <sup>2</sup> ) / masa total del vidrio en el laminado (mat y tejido roving) (kg/m <sup>2</sup> ).			
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.			

Figura 35. Contenido nominal de fibra en masa. Fuente: ISO 12215-5:2019

Según la Figura 35 el contenido de masa de vidrio para una combinación Roving-Mat se calcula con la siguiente ecuación:

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

Ecuación 23. Contenido en masa de vidrio. Fuente: ISO 12215-5:2019



El valor de R se define en la misma Figura, y puede calcularse según la siguiente ecuación:

$$R = \frac{\text{Masa total MAT } \left(\frac{\text{Kg}}{\text{m}^2}\right)}{\text{Masa total del Vidrio en el laminado (MAT + Roving)} \left(\frac{\text{Kg}}{\text{m}^2}\right)}$$

Ecuación 24. Cálculo de R. Fuente: ISO 12215-5:2019

Para los tejidos MAT y Roving escogidos se obtiene una R con un valor de 0'5745, que tras substituirlo en la ecuación proporcionada por la Tabla C.2 de la normativa se obtiene un contenido de fibra en masa  $\psi$  de 0'43365. Todos estos cálculos se muestran en el ANEXO VI.

Una vez calculado este dato se observa la Tabla C.4 del Anexo C de la normativa, ésta explica cómo proceder con el cálculo de la resistencia de rotura por flexión, que tal y como se muestra en la Figura 33, al multiplicarla por 0'5 se obtiene la tensión de diseño.

Propiedad	Valores N/mm <sup>2</sup>	
<b>Mat laminado a mano (CSM), combinado roving/mat, tejido roving (WR) y refuerzos alternados (CP) – 0/90<sup>a</sup></b>		
Resistencia de rotura por tracción, $\sigma_{at}$	800 $\psi^2 - 80 \psi + 37$	
Resistencia de rotura por compresión, $\sigma_{uc}$	150 $\psi + 72$	
Resistencia de rotura por flexión, $\sigma_{af}$	502 $\psi^2 + 107$	
Resistencia de rotura por cizalla en el plano (intralaminar), $\tau_u$	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 $\psi$	
<b>Mat proyectado</b>		
Resistencia de rotura por tracción, $\sigma_{at}$	150 $\psi + 25$	
Resistencia de rotura por flexión, $\sigma_{af}$	300 $\psi^2 + 107$	
Las otras propiedades para el mat proyectado deben obtenerse de las ecuaciones anteriores para el mat		
<b>Reforzado uni-direccional (UD)</b>		
Propiedad	Paralelo a las fibras	Perpendicular a las fibras
Resistencia de rotura por tracción, $\sigma_{at}$	880 $\psi^2 + 140 \psi + 140$	42
Resistencia de rotura por compresión, $\sigma_{uc}$	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, $\tau_u$	50	
Coefficiente de Poisson principal, $\nu_{12}$	0,3	
a Para una combinación de mat y roving, $\psi$ puede ser el valor global. Véase el ejemplo del apartado C.3.2.		

Figura 36. Propiedades mecánicas del laminado de fibra de vidrio E. Fuente: ISO 12215-5:2019

En el caso de un combinado Roving/MAT el valor de la resistencia de rotura por flexión  $\sigma_{uf}$ , en N/mm<sup>2</sup>, viene dado por la siguiente ecuación:

$$\sigma_{uf} = (502 * \psi^2) + 107$$

**Ecuación 25. Resistencia de rotura por flexión. Fuente: ISO12215-5:2019**

Para un contenido de fibra en masa  $\psi$  de 0'43365, obtenemos una resistencia de rotura por flexión de 201'4 N/mm<sup>2</sup>, que al multiplicarla por 0'5 se obtiene un valor de 100'7 N/mm<sup>2</sup>. Este valor es la tensión de diseño, según la Figura 33.

### Espesor mínimo requerido

El espesor requerido por las chapas de un laminado FRP de una sola capa viene definido en la normativa por la siguiente ecuación:

$$t = b * k_c * \sqrt{\frac{(P * k_2)}{(1000 * \sigma_d)}}$$

**Ecuación 26. Espesor Requerido. Fuente: ISO12215-5:2019**

Donde:

- i)  $b$  es la dimensión menor del panel, en milímetros.
- ii)  $k_c$  es el factor de corrección de curvatura para los paneles curvos.
- iii)  $P$  es la presión de diseño (fondos, costados, cubierta, etcétera)
- iv)  $k_2$  es el factor de alargamiento del panel por resistencia a la flexión.
- v)  $\sigma_d$  es la tensión de diseño.

### Espesores mínimos requeridos por los diferentes paneles

A continuación se muestran los espesores mínimos requeridos calculados a partir de la Ecuación 26. Como se aprecia en la tabla existen cuatro tipos de paneles, cada uno con un espesor diferente. Esto es debido a que tal como se observa en el ANEXO V y se ha repetido a lo largo del capítulo, el casco de la embarcación se ha dividido en diferentes partes ya que en función de que parte se estudie, se están aplicando unas u otras presiones así como diferentes factores de ajuste, etcétera. El número total de paneles que forman el fondo es de 34, el de los que forman el costado 24 y el de los que forman la cubierta 12, cuatro de ellos calculados con factores de ajustes diferentes debido a que tienen una superestructura encima. En la Tabla 4 únicamente se da un espesor para cada parte del casco. Esto es debido a que, por ejemplo, de

los 34 paneles del fondo se ha cogido aquel que requiere de un mayor espesor, para fijarlo como mínimo en todo el fondo.

Panel	t (mm)
Fondo	9,15163017
Costado	4,47492474
Cubierta	8,69893282
Suelo	8,61682406

Tabla 4. Espesores mínimos requeridos.

También puede observarse un espesor mínimo para el suelo, se trata del suelo del habitáculo. No se ha nombrado hasta ahora debido a que la normativa no especifica cómo se debe calcular. El procedimiento que se ha realizado para calcularlo ha sido el de asignarle una presión de  $10 \text{ kN/m}^2$ , medir los paneles para obtener  $b$  y  $l$ , a partir de estas dimensiones obtener  $k_2$ , además de otros datos como su área que se utilizará más adelante. Finalmente se le aplica un factor de corrección de curvatura de 1, ya que éstos serán completamente planos, y al utilizarse el mismo laminado se considerará la misma tensión de diseño. Cuando se disponen de todos los datos se calcula el espesor requerido con la Ecuación 26.

Tras calcular los espesores mínimos requeridos por los diferentes paneles, se debe calcular la masa de fibra por metro cuadrado de estos  $w$ .

### Masa de fibra por metro cuadrado $w$

Para el cálculo de la masa de fibra por metro cuadrado se utiliza la Tabla C.3 del Anexo C de la ISO 12215-5:2019.

$\psi$	0,25	0,30	0,36	0,38	0,41	0,50	0,55	0,58	0,60	0,66
$t/w^a$	2,89	2,34	1,87	1,75	1,59	1,22	1,07	0,99	0,95	0,82
a Relación entre el espesor, en milímetros, y la masa de fibra seca, en kilogramos por metro cuadrado.										

Figura 37. Valores calculados de  $t/w$  en función del contenido de fibra en masa. Fuente: ISO 12215-5:2019

El primer paso a realizar es el de hallar el valor de la relación  $t/w$ , esta relación la define el valor de el contenido de fibra en masa  $\psi$ , en este caso de 0'43365. Como este valor no aparece en la tabla, se debe interpolar entre el valor más cercano por abajo y el más cercano por arriba para encontrarlo.

$$\frac{t}{w} = 1.59 + \frac{1.22 - 1.59}{0.5 - 0.41} * (0.43365 - 0.41) = 1.49277$$

Ecuación 27. Relación  $t/w$  para un contenido de fibra en masa de 0'43365

Una vez se dispone de la relación  $t/w$ , se puede calcular la masa de fibra por metro cuadrado que tendrá cada espesor.

Panel	t (mm)	$t/w$	w (Kg/m <sup>2</sup> )
Fondo	9,15163017	1,49277	6,13063645
Costado	4,47492474	1,49277	2,99773223
Cubierta	8,69893282	1,49277	6,34952197
Suelo	8,61682406	1,49277	5,8273765

Tabla 5. Espesores mínimos y masa de fibra por metro cuadrado

#### 5.4.2 Requisitos de los elementos de refuerzo

Otro punto que debe considerarse cuando se diseña una embarcación es el escantillonado de los refuerzos, igual que el de las chapas del casco está regulado por la normativa ISO 12215-5:2019 en el punto 11 de ésta. Los refuerzos que se estudian en este sub-apartado son:

- i) Mamparos.
- ii) Cuadernas.
- iii) Pantoque (Vivo).
- iv) Longitudinales (Palmejares).
- v) Bao
- vi) Quilla

Se considera que los refuerzos requeridos por el fabricante del motor, de los cuales proporciona planos y especificaciones, no requieren ningún cálculo adicional. Todos los cálculos que se muestran a continuación, se encuentran en el ANEXO V.

#### Mamparos

En el punto 8.3 de la normativa se muestra como calcular la presión de los mamparos estancos  $P_{WB}$ , esta presión es igual a:

$$P_{WB} = 7h_B \text{ en } \frac{kN}{m^2}$$

Ecuación 28. Presión de los mamparos estancos. Fuente: ISO 12215-5:2019

Donde  $h_B$  es 2/3 de la altura total del mamparo. Una vez la presión está calculada se procede a calcular el espesor requerido de éste, para ello se utiliza el mismo procedimiento que en el cálculo de las chapas del casco, véase la Ecuación 26. El mamparo que requiere un mayor espesor es el mamparo de colisión, que necesita 9'78 milímetros. Inicialmente se dimensionaron los mamparos con un espesor de 5 centímetros, ya que estos separan

habitaciones e incluso la sala de máquinas del habitáculo, tras ver que los 5 centímetros ideados inicialmente superan los 9'78 milímetros mínimos requeridos, se decide construir los mamparos con el espesor medio de 3 centímetros. Esto se hace ya que no se ha encontrado ninguna restricción en la normativa, acerca de aumentar los espesores de los mamparos.

### Factores de Ajuste de las propiedades de los refuerzos

A excepción de los mamparos, los demás elementos de refuerzo nombrados en el punto 5.3.1.4 disponen de diferentes versiones comerciales, es decir, estos pueden adquirirse directamente del mercado, pero para ello es necesario conocer qué requisitos deben cumplir. Estos requisitos se definen en el punto 11 de la normativa ISO 12215-5:2019. A continuación se muestra el procedimiento seguido para determinarlos.

De la misma manera que para realizar el cálculo de las presiones de diseño y para determinar el espesor de las chapas y mamparos se debían calcular previamente, una serie de factores de ajuste, para el cálculo de los requisitos de los elementos de refuerzo también se deben calcular.

El primero de los factores es el factor de ajuste por curvatura de los refuerzos  $k_{CS}$ , este factor se calcula a partir de la tabla 16 de la normativa.

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

Figura 38. Valores del factor de ajuste de la curvatura de los refuerzos  $k_{CS}$ . Fuente: ISO 12215-5:2019

Donde  $C_u$  es el abombamiento del refuerzo curvado.

Seguidamente debe calcularse el factor de superficie de cizalla  $k_{SA}$ , éste viene dado en la tabla 17 de la normativa.

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

Figura 39. Valores del factor de superficie de cizalla. Fuente: ISO 12215-5:2019

### Tensiones de diseño de los refuerzos

Como último paso previo al cálculo de los requisitos de los elementos de refuerzos, se debe estimar el valor de las tensiones de diseño de los refuerzos, éstas vienen dadas por la siguiente figura que proporciona la normativa.

Material	Tensión de diseño en tracción y compresión $\sigma_d$ N/mm <sup>2</sup>	Tensión de diseño a la cizalla $\tau_d$ N/mm <sup>2</sup>
Laminado FRP	0,5 $\sigma_{ut}$ y 0,5 $\sigma_{uc}$ <sup>a</sup>	0,5 $\tau_u$
Aleaciones de aluminio	0,7 $\sigma_{yw}$ <sup>b</sup>	0,4 $\sigma_{yw}$ <sup>b</sup>
Acero	0,8 $\sigma_y$	0,45 $\sigma_y$
Cuadernas de madera laminada	0,45 $\sigma_{af}$ <sup>c</sup>	0,45 $\tau_u$
Cuadernas de madera maciza	0,4 $\sigma_{af}$ <sup>c</sup>	0,4 $\tau_u$
Cuadernas de contrachapado sobre los bordes	0,45 $\sigma_{af}$ <sup>c</sup>	0,45 $\tau_u$

NOTA Estas tensiones de diseño se aplican también al costado asociado a los refuerzos, en función del material.

a Se utiliza  $\sigma_c$  cuando se considera que la tensión es por compresión (normalmente el ala superior del refuerzo) y  $\sigma_t$  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  $\sigma_{af}$  para los refuerzos de madera laminada y los de  $\sigma_{af}$  para la madera maciza. Para el contrachapado no se debe tomar  $\sigma_{af}$  en la tabla E.2, sino en las tablas E.3 o E.6.

Figura 40. Tensiones de diseño de los refuerzos. Fuente: ISO12215-5:2019

Teniendo en cuenta que el laminado escogido para el casco de la embarcación es un laminado FRP de una sola capa, se escogen como tensiones de diseño en tracción y compresión  $0'5\sigma_{ut}$  y  $0'5\sigma_{uc}$  respectivamente. Y para la tensión de diseño a la cizalla se escoge  $0'5\tau_u$ . Para calcular estas tensiones se debe recurrir a la Tabla C.4 del Anexo C de la ISO 12215-5:2019, expuesta en este documento en la Figura 36.

Para calcular la resistencia de rotura por tracción  $\sigma_{ut}$ , se debe emplear la siguiente ecuación:

$$\sigma_{ut} = (800 * \psi^2) - (80 * \psi) + 37 \text{ en } N/mm^2$$

Ecuación 29. Resistencia de rotura por tracción. Fuente: ISO 12215-5:2019

La resistencia de rotura por compresión se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\sigma_{uc} = (150 * \psi) + 72 \text{ en } N/mm^2$$

Ecuación 30. Resistencia de rotura por compresión. Fuente: ISO 12215-5:2019

Finalmente, la resistencia de cizalla interlaminar se obtiene a partir de la ecuación que se muestra a continuación:

$$\tau_u = (80 * \psi) + 38 \text{ en } N/mm^2$$

Ecuación 31. Resistencia de cizalla interlaminar. Fuente: ISO 12215-5:2019

Una vez calculadas todas las tensiones de diseño se procede con la obtención de los requisitos de los elementos de refuerzos, para ello se deben seguir todas las instrucciones que indica la normativa en el punto 11.4 *Requisitos para los refuerzos hechos con materiales similares*.

El primer paso es calcular la superficie del alma  $A_w$  y el módulo de inercia mínimo  $SM$  del refuerzo. Para realizar estos cálculos la normativa proporciona las dos siguientes ecuaciones.

$$A_w = \frac{K_{SA} * P * s * l_u}{\tau_d} \times 10^{-1-61} \text{ en } cm^2$$

**Ecuación 32. Área del alma. Fuente: ISO 12215-5:2019**

Donde:

- i)  $K_{SA}$  es el factor de superficie de cizalla, véase la Figura 39.
- ii)  $P$  es la presión de diseño del panel en contacto con el refuerzo.
- iii)  $s$  es la separación entre refuerzos, en milímetros.
- iv)  $l_u$  es la longitud del refuerzo, en milímetros.
- v)  $\tau_d$  es la tensión de cizalla del alma del refuerzo, véase Figura 40.

$$SM = \frac{83.33 * K_{CS} * P * s * l_u^2}{\sigma_d} \times 10^{-9} \text{ en } cm^3$$

**Ecuación 33. Módulo de inercia mínimo. Fuente: ISO 12215-5:2019**

Donde:

- i)  $K_{CS}$  es el factor de ajuste por curvatura, véase la Figura 38.
- ii)  $\sigma_d$  es la tensión de diseño del panel en contacto con el refuerzo.

Además, la normativa remarca que el segundo momento del área no debe ser inferior al valor de la siguiente ecuación:

$$I = \frac{26 * K_{CS}^{1.5} * P * s * l_u^3}{K_{1S} * E_{tc}} \times 10^{-1} \text{ en } cm^4$$

**Ecuación 34. Segundo momento del área. Fuente: ISO 12215-5:2019**

Donde:

- i)  $K_{1S}$  es el factor de deflexión y su valor es de 0'05.
- ii)  $E_{tc}$  es la media de los módulos de elasticidad en tracción/compresión del material. Este dato se calcula a partir de la Figura 36.

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

Ecuación 35. Módulo de elasticidad en tracción/compresión. Fuente: ISO 12215-5:2019

Tal y como se dice al principio del apartado todos los cálculos mencionados se encuentran en el ANEXO V. A continuación se adjunta una tabla con los requisitos mínimos para cada refuerzo.

Refuerzo	$A_w$ (cm <sup>2</sup> )	SM (cm <sup>3</sup> )	I (cm <sup>4</sup> )
Cuaderna Maestra	5,87752	87,77526	43,3116645
Pantoque	1,18563	12,717438	37,5221325
Palmejar	2,35072	232,718155	1024,31316
Quilla	4,48090163	576,713188	4905,0031
Bao	2,83689547	137,194363	112,582944

Tabla 6. Requisitos mínimos de los refuerzos. Fuente: SIO 12215-5:2019

### Selección de refuerzos comerciales

El Anexo G de la normativa ISO 12215-5:2019 muestra una serie de tablas con propiedades para diferentes geometrías de refuerzos. Los refuerzos y sus propiedades que aparecen en las tablas son los mismos que proporcionan los fabricantes, teniendo en cuenta los requisitos para cada refuerzo de la Tabla 6 se pretende seleccionar un perfil comercial para cada tipo de refuerzo.

#### Cuaderna Maestra

Para la Cuaderna Maestra, y las otras 6 que tiene la embarcación, se selecciona un refuerzo con un perfil de “sombbrero de copa cuadrado”.

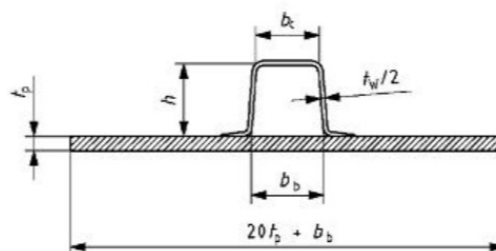


Figura 41. Esquema de un sombrero de copa cuadrado. Fuente: ISO 12215-5:2019



1			2	3	4	5	6	7			8	9
Dimensiones de las formas			$b_b$ mm	$b_c$ mm	Espesor del costado $t_p$ mm	Chapa asociada $20 t_p + b_b$ mm	Peso del vidrio de refuerzo $w_f$ kg/m <sup>2</sup>	Propiedades geométricas			$A_w$ cm <sup>2</sup>	$I_{NA}$ cm <sup>4</sup>
$h$ mm								$SM_{min.}$ cm <sup>3</sup>				
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		

Figura 42. Propiedades de los sombreros de copa cuadrados. Fuente: ISO 12215-5:2019

Partiendo de los requisitos de la Cuaderna Maestra, véase la Tabla 6, se procede a seleccionar un perfil comercial. El perfil comercial seleccionado es aquel con un espesor del costado de 10 milímetros, un módulo de inercia 111'7 cm<sup>3</sup>, un área en el alma de 12'3 cm<sup>2</sup> i un momento de inercia de 1169 cm<sup>4</sup>.

### Pantoque

Existen dos tipos de Pantoques; el redondeado o el vivo. El Pantoque que tiene la embarcación es el vivo, a continuación se muestra un esquema de este.

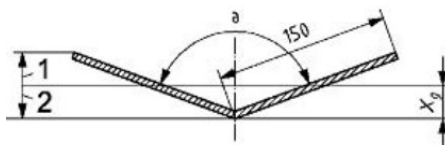


Figura 43. Pantoque Vivo. Fuente: ISO12215-5:2019

Las propiedades de este tipo de Pantoque vienen definidas en la siguiente tabla que proporciona la normativa.

Ángulos 150 mm × 150 mm × t <sub>p</sub>								
Espesor del costado	Ángulo	S	I	X <sub>g</sub> desde la parte superior del costado	V parte superior	V base	V máx.	SM
mm	°	cm <sup>2</sup>	cm <sup>4</sup>	cm	cm	cm	cm	cm <sup>3</sup>
5	120	15,11	72,3	4,0	4,0	4,1	4,1	17,8
5	140	15,09	33,8	2,9	2,8	2,9	2,9	11,9
5	160	15,04	8,9	1,6	1,6	1,6	1,6	5,5
6	120	18,13	86,7	4,0	4,0	4,1	4,1	21,4
6	140	18,11	40,6	2,9	2,8	2,9	2,9	14,2
6	160	18,05	10,6	1,6	1,6	1,6	1,6	6,6
7	120	21,15	121,4	4,0	4,0	4,1	4,1	29,9
7	140	21,13	47,3	2,9	2,8	2,9	2,9	16,6
7	160	21,06	12,4	1,6	1,6	1,6	1,6	7,7
8	120	24,18	194,3	4,0	4,0	4,1	4,1	47,9
8	140	24,14	54,1	2,9	2,8	2,9	2,9	19,0
8	160	24,06	14,2	1,61	1,55	1,61	1,61	8,8

Figura 44. Propiedades de los Pantoques Vivos. Fuente: ISO 12215-5:2019

Considerando los valores de los requisitos mínimos del Pantoque en la Tabla 6, se decide que para un espesor de 5 milímetros el perfil más conveniente es el que forma un ángulo de 120 grados con un SM de 17'8 cm<sup>3</sup>, un momento de inercia de 72'3 cm<sup>4</sup> y una área en el alma de 15'11 cm<sup>2</sup>.

Longitudinales

El perfil de refuerzo escogido para los palmejares o longitudinales, es un perfil de “sombrero de copa alto”. A continuación se muestra un esquema de estos.

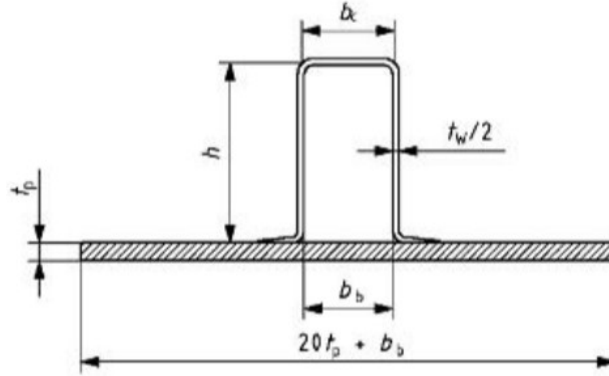


Figura 45. Esquema de un sombrero de copa alto. Fuente: ISO 12215-5:2019

Las propiedades de este tipo de refuerzos vienen definidas en la Tabla G.3 de la normativa, expuesta en la siguiente figura:

1 Dimensiones de las formas			4 Espesor del costado	5 Chapa asociada	6 Peso del vidrio de refuerzo	7, 8, 9 Propiedades geométricas		
h mm	bb mm	bc mm	tp mm	20 tp + bb mm	wr kg/m <sup>2</sup>	SM <sub>min.</sub> cm <sup>3</sup>	Aw cm <sup>2</sup>	Ina cm <sup>4</sup>
100	50	50	5	150	1,800	41,3	8,4	289
			10	250	1,800	48,4	8,4	434
			15	350	1,800	52,7	8,4	529
125	50	50	5	150	2,100	64,7	12,3	532
			10	250	2,100	77,1	12,3	816
			15	350	2,100	84,1	12,3	1 006
150	50	50	5	150	2,700	103,6	18,9	960
			10	250	2,700	126,2	18,9	1 496
			15	350	2,700	139,1	18,9	1 893
150	75	75	5	175	2,700	125,5	18,9	1 140
			10	275	2,700	149,5	18,9	1 751
			15	375	2,700	163,2	18,9	2 199
175	75	65	5	175	3,000	160,5	24,5	1 675
			10	275	3,000	193,5	24,5	2 557
			15	375	3,000	213,0	24,5	3 243
200	75	75	5	175	3,600	239,4	33,6	2 713
			10	275	3,600	289,9	33,6	4 102
			15	375	3,600	322,1	33,6	5 296
200	100	100	5	200	3,600	276,9	33,6	3 081
			10	300	3,600	330,5	33,6	4 626
			15	400	3,600	364,0	33,6	5 934
250	100	100	5	200	4,200	432,8	49,0	5 836
			10	300	4,200	517,5	49,0	8 506
			15	400	4,200	576,2	49,0	11 005
300	100	100	5	200	5,100	667,6	71,5	10 571
			10	300	5,100	792,2	71,5	14 779
			15	400	5,100	890,3	71,5	19 131

Figura 46. Propiedades de los refuerzos de copa altos. Fuente: ISO 12215-5:2019

Teniendo en cuenta los requisitos mínimos de los palmejares, expuestos en la Tabla 6, se procede con la selección de un perfil de sombrero de copa alto. Se decide seleccionar el perfil con un espesor en el costado de 5 milímetros un módulo de inercia de 276'9 cm<sup>3</sup>, un área en el alma de 33'6 cm<sup>2</sup> y un momento de inercia de 3081 cm<sup>4</sup>.

### Quilla

Para la selección del perfil de la Quilla, se escoge un perfil de sombrero de copa alto. Observando la Tabla 6, donde se muestran los requisitos mínimos que debe tener la Quilla, y la Figura 46, se determina que el perfil seleccionado debe tener un espesor en el costado de 10 milímetros, un área en el alma de 71'5 cm<sup>2</sup>, un módulo de inercia de 792'2 cm<sup>3</sup> y un momento de inercia de 14779 cm<sup>4</sup>.

### Bao

Para el último refuerzo se recurre a la Figura 42, donde se muestran las propiedades de los sombreros de copa cuadrados. Considerando los valores de los requisitos mínimos que aparecen en la Tabla 6, se decide que para un espesor en el costado de 10 milímetros, el módulo de inercia sea de 198 cm<sup>3</sup>, el área en el alma de 18'9 cm<sup>2</sup> y el momento de inercia de 2309 cm<sup>4</sup>.

#### **5.4.3 Proceso de Laminado**

El último paso a realizar para finalizar el escantillonado de la embarcación, es laminar todas las chapas del casco y el suelo del interior de este. Para ello se debe observar la Tabla 4, donde se muestran los espesores mínimos requeridos por estas chapas. En la Figura 20 especifica junto al ANEXO V el espesor mínimo que exigen los refuerzos del motor al forro del casco. Éste es de 6 milímetros. Tras realizar los cálculos, el espesor mínimo requerido por las chapas del fondo es de 9,1526 milímetros, véase la Tabla 4, por tanto, no haría falta modificar el espesor.

Antes de continuar con el proceso de laminado para los espesores que aparecen en la Tabla 4, se deben indicar una serie de problemas que surgieron en fases más avanzadas del proyecto y obligaron a aumentar estos espesores. El principal inconveniente que surgió, fue que al tener un casco con un espesor tan reducido, el peso en rosca de la embarcación resultaba ser demasiado pequeño, disminuyendo bruscamente el calado de la embarcación y comprometiendo peligrosamente la estabilidad de ésta. Además se creyó oportuno aumentar el espesor, ya que en caso de colisión o abordaje, las chapas resistirían mejor una posible brecha con su consecuente inundación y pérdida de estabilidad.

Al no encontrar ninguna referencia en la normativa ISO 12215-5:2019 que prohibiese aumentar los espesores de las chapas, ya que ésta solo contempla el cálculo de los espesores mínimos, se procedió a aumentarlos. En la tabla que aparece a continuación se muestran los nuevos espesores para las diferentes partes del casco.

Panel	t (mm)
Fondo	30
Costado	15
Cubierta	10
Suelo	15

**Tabla 7. Espesores definitivos del casco. Fuente: ISO 12215-5:2019**

Seguidamente se muestran cuatro tablas donde se explica el proceso de laminado de cada parte del casco de la Tabla 7.



Laminado Chapas del Costado			
Lamina	t (mm)	°	w <sub>total</sub> (Kg/m <sup>2</sup> )
MAT 450	0,738	-	1,125
Roving 500	0,476	90	0,83333
MAT 450	0,738	-	1,125
Roving 500	0,476	45	0,83333
MAT 450	0,738	-	1,125
Roving 500	0,476	-90	0,83333
MAT 450	0,738	-	1,125
Roving 500	0,476	-45	0,83333
MAT 450	0,738	-	1,125
Roving 500	0,476	90	0,83333
MAT 450	0,738	-	1,125
Roving 500	0,476	45	0,83333
MAT 450	0,738	-	1,125
Roving 500	0,476	-90	0,83333
MAT 450	0,738	-	1,125
Roving 500	0,476	-45	0,83333
MAT 450	0,738	-	1,125
Roving 500	0,476	90	0,83333
MAT 450	0,738	-	1,125
Roving 500	0,476	45	0,83333
MAT 450	0,738	-	1,125
Roving 500	0,476	-90	0,83333
MAT 450	0,738	-	1,125
Roving 500	0,476	-45	0,83333
MAT 450	0,738	-	1,125
<b>Total</b>	<b>15,306</b>	<b>-</b>	<b>24,62496</b>

Tabla 9. Laminado Chapas del Costado

Laminado Chapas de Cubierta			
Lamina	t (mm)	°	w <sub>total</sub> (Kg/m <sup>2</sup> )
MAT 450	0,738	-	1,125
Roving 500	0,476	90	0,83333
MAT 450	0,738	-	1,125
Roving 500	0,476	45	0,83333
MAT 450	0,738	-	1,125
Roving 500	0,476	-90	0,83333
MAT 450	0,738	-	1,125
Roving 500	0,476	-45	0,83333
MAT 450	0,738	-	1,125
Roving 500	0,476	90	0,83333
MAT 450	0,738	-	1,125
Roving 500	0,476	45	0,83333
MAT 450	0,738	-	1,125
Roving 500	0,476	-90	0,83333
MAT 450	0,738	-	1,125
Roving 500	0,476	-45	0,83333
MAT 450	0,738	-	1,125
<b>Total</b>	<b>10,45</b>	<b>-</b>	<b>16,79164</b>

Tabla 10. Laminado Chapas de Cubierta



Laminado Suelo Interior			
Lamina	t (mm)	°	W <sub>total</sub> (Kg/m <sup>2</sup> )
MAT 450	0,738	-	1,125
Roving 500	0,476	90	0,83333
MAT 450	0,738	-	1,125
Roving 500	0,476	45	0,83333
MAT 450	0,738	-	1,125
Roving 500	0,476	-90	0,83333
MAT 450	0,738	-	1,125
Roving 500	0,476	-45	0,83333
MAT 450	0,738	-	1,125
Roving 500	0,476	90	0,83333
MAT 450	0,738	-	1,125
Roving 500	0,476	45	0,83333
MAT 450	0,738	-	1,125
Roving 500	0,476	-90	0,83333
MAT 450	0,738	-	1,125
Roving 500	0,476	-45	0,83333
MAT 450	0,738	-	1,125
Roving 500	0,476	90	0,83333
MAT 450	0,738	-	1,125
Roving 500	0,476	45	0,83333
MAT 450	0,738	-	1,125
Roving 500	0,476	-90	0,83333
MAT 450	0,738	-	1,125
Roving 500	0,476	-45	0,83333
MAT 450	0,738	-	1,125
<b>Total</b>	<b>15,306</b>	<b>-</b>	<b>24,62496</b>

Tabla 11. Laminado Suelo Interior

W<sub>total</sub>, es la masa total (masa de fibra y masa de resina) por unidad de área en Kg/m<sup>2</sup> que proporciona el programa *ComoseIT* y se observa en las ilustraciones 12 y 13. Destacar que los espesores de cada capa del MAT 450 y el Roving 500 también han sido extraídos de las ilustraciones 12 y 13. Finalmente, deben laminarse también los mamparos, a los que se les ha dado un espesor final de 3 centímetros y se utilizarán los mismos tejidos y proceso de laminado.



## Capítulo 6. Equipos y Sistema Eléctrico

### 6.1 Equipos

Los equipos obligatorios que debe llevar una embarcación varían en función de las zonas de navegación. Estas zonas las establece la Orden FOM/1144/2003, de 28 de abril. Existen siete diferentes zonas cuyo objetivo es el de limitar la distancia permitida para la navegación de las embarcaciones, esta distancia se mide desde la línea de la costa.

- i) Zona 1: permite la navegación ilimitada.
- ii) Zona 2: la distancia entre la línea de costa y su paralela no debe ser superior a 60 millas náuticas.
- iii) Zona 3: la distancia entre la línea de costa y su paralela no debe ser superior a 25 millas náuticas.
- iv) Zona 4: la distancia entre la línea de costa y su paralela no debe ser superior a 12 millas náuticas.
- v) Zona 5: la embarcación no debe alejarse más de 5 millas náuticas de un puerto o playa de abrigo.
- vi) Zona 6: la embarcación no debe alejarse más de 2 millas náuticas de un puerto o playa de abrigo..
- vii) Zona 7: la navegación en esta zona está limitada a aguas costeras protegidas o puertos.



Figura 47. Zonas de Navegación. Fuente: Escola Port

La misma Orden FOM/1144/2003 de 28 de abril, estipula las zonas de navegación permitidas para cada Categoría de Diseño, que se muestran en la siguiente tabla:

Correspondencia entre las Categorías de Diseño y las Zonas de Navegación	
Categoría de Diseño	Zona de Navegación
A: Oceánica	1,2,3,4,5,6,7
B: En Alta Mar	2,3,4,5,6,7
C: En Aguas Costeras	4,5,6,7
D: En Aguas Protegidas	7

Tabla 13. Relación entre las Categorías de Diseño y las Zonas de Navegación. Fuente: Orden FOM/1144/2003

En el caso de la embarcación diseñada, al inicio del proyecto, se le asignó una Categoría de Diseño C, ésta la habilita para navegar en las zonas de navegación 4,5,6 y 7, es decir, como máximo podrá alejarse 12 millas de la costa y todos los equipos obligatorios que requiera vendrán marcados por la cuarta zona de navegación.

### 6.1.1 Equipos de Seguridad

Para la Zona de Navegación 4, los equipos obligatorios de seguridad son los siguientes:

- i) 1 Aro salvavidas luminoso y con un cabo atado entre él y la embarcación.
- ii) Deben haber chalecos salvavidas para la totalidad de las personas que naveguen en la embarcación, dichos salvavidas hinchables deberán revisarse periódicamente.
- iii) 6 Cohetes con luz roja y paracaídas.
- iv) 6 Bengalas de mano con luz roja.
- v) 1 Balde contra incendios atado a un cabo, debe ser robusto y tener una capacidad mínima de siete litros.
- vi) Botiquín.

El número de extintores que debe tener la embarcación viene definido por las siguientes tablas proporcionadas por la Orden FOM/1144/2003 de 28 de abril.

Número de Extintores en Función de la Eslora	
Cabina cerrada y eslora < de 10 metros	1 del tipo 21B
Entre 10 y 15 metros	1 del tipo 21B
Entre 15 y 20 metros	2 del tipo 21B
Entre 20 y 24 metros	3 del tipo 21B

Tabla 14. Extintores en Función de la Eslora. Fuente: Orden FOM/1144/2003

Número de Extintores en Función de la Potencia		
Número de Motores	1	2
Menos de 204 HP	1 del tipo 21B	2 del tipo 21B
Entre 204 HP y 408 HP	1 del tipo 34B	2 del tipo 21B
Entre 408HP y 613 HP	1 del tipo 55B	2 del tipo 34B
Más de 613 HP	1 del tipo 55B + adicional	2 del tipo 55B más adicional

Tabla 15. Extintores en Función de la Potencia. Furente: Orden FOM/1144/2003

La embarcación que se pretende diseñar y construir necesitará un extintor del tipo 21B (eslora de 14 metros) y dos extintores del tipo 55B. Debido a que la potencia de sus dos motores supera los 613 HP (potencia entregada total de 870 HP), respecto al extintor adicional, el fabricante del motor no especifica nada, por tanto se considera que los dos extintores obligatorios son suficientes, éstos se situarán en la sala de máquinas.

Pese a que la normativa no obliga a disponer de una balsa salvavidas, se ha decidido poner una por motivos de seguridad. La balsa salvavidas escogida cumple con la normativa ISO 9650 y tiene un total de seis plazas. Ésta debe colocarse en la cubierta de la embarcación y debe tener un fácil y ágil acceso para poder desplegarla en caso de inundación o siniestro de la embarcación.



Figura 48. Ejemplo de la colocación de una balsa salvavidas en cubierta. Fuente: NauticExpo

### 6.1.2 Equipos de Gobierno

Los equipos de gobiernos son todos aquellos que ayudan a la navegación e incluso, en situaciones extremas, se pueden utilizar para el propio gobierno de la embarcación, por ejemplo en el caso que el timón no funcione se deberá utilizar una caña de emergencia. Para la Zona de Navegación 4, los equipos de gobierno son los siguientes:

- i) Compás.
- ii) Prismáticos.
- iii) Cartas náuticas.
- iv) Bocina de niebla.
- v) Pabellón Nacional.

- vi) Linterna estanca.
- vii) Espejo de señales.
- viii) Código de señales.
- ix) Reflector de radar.
- x) Bichero, para facilitar las maniobras de atraque.
- xi) Un inflador y un juego de reparación de pinchazos.
- xii) Una caña de timón, para emergencias.

### 6.1.3 Equipo de Fondeo

Dentro del equipo de fondeo existen dos elementos esenciales, la cadena y el ancla. A parte de estos dos elementos se puede añadir un tercero que sería el molinete que extiende y recoge la cadena con el ancla, éste puede ser manual o eléctrico. Mientras que las especificaciones del molinete no las regula ninguna normativa ni legislación, la longitud de la cadena así como otras propiedades como su diámetro de cadena y de estacha, y el peso de la ancla vienen estipuladas en la Orden FOM/1144/2003. A continuación se muestra una tabla que relaciona la eslora del casco con las propiedades que deben tener su cadena y ancla:

Eslora (m)	Peso del Ancla (Kg)	Diámetro de cadena (mm)	Diámetro de Estacha (mm)
3	3,5	6	10
5	6	6	10
7	10	6	10
9	14	8	12
12	20	8	12
15	33	10	14
18	46	10	14
21	58	12	16
24	75	12	16

Tabla 16. Relación eslora con las propiedades del ancla y la cadena. Fuente: Orden FOM/1144/2003

Respecto a la longitud de la cadena la normativa especifica que debe ser, como mínimo, igual a la eslora de la embarcación.

### 6.1.4 Equipo Lumínico

Para embarcaciones a motor con eslora mayor de 12 metros e inferior de 50, se requieren:

- i) Luces de Costado, una a estribor (Verde) y otra a babor (Roja).
- ii) Luz de Tope, emite luz blanca y se coloca sobre la línea de crujía, propaga la luz enfocando a proa con un ángulo de 225 grados.
- iii) Luz de Alcance, situada sobre la línea de crujía y a popa de la embarcación, emite una luz blanca hacia la estela con un ángulo de 135 grados.

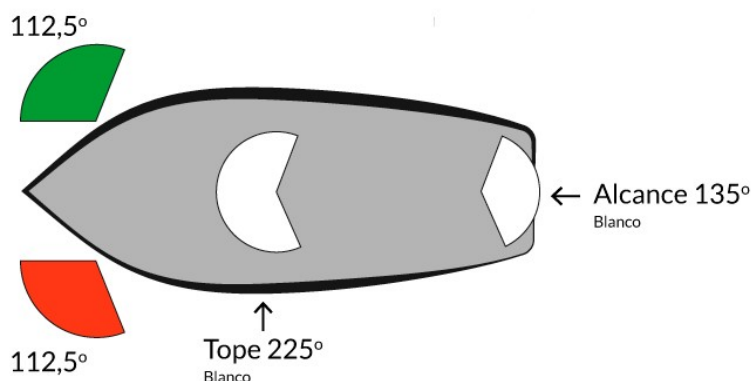


Figura 49. Esquema luces para embarcación mayor de 12 metros de eslora e inferior de 50. Fuente: EscolaPort

### 6.1.5 Equipos de Radiocomunicaciones

Según la Orden FOM/1144/2003 y su modificación la Orden FOM/1076/2006, la embarcación que navega en la cuarta zona de navegación debe tener un VHF fijo con o sin LSD, a demás estipula que si el VHF tiene LSD deberá llevar obligatoriamente un GPS. Finalmente recomienda llevar en la embarcación un VHF portátil.

### 6.1.6 Equipos de Achique

Para embarcaciones de eslora mayor a seis metros, que naveguen en la cuarta zona de navegación deben, según la Orden FOM/1144/2003, disponer de un balde y una bomba con una capacidad de 15 litros/minuto. Respecto a la descarga de aguas sucias, está permitida siempre que la embarcación se encuentra a más de 3 millas náuticas de la costa, navegue a una velocidad mínima de cuatro nudos y estas aguas hayan sido debidamente tratadas.

## 7.2 Sistema Eléctrico

En el presente apartado se pretende desarrollar un sistema eléctrico que funcione a partir de placas fotovoltaicas colocadas en la parte superior de la superestructura. Para ello el paso inicial es realizar un Balance Eléctrico donde se consideren todos los elementos que requerirán energía eléctrica. El objetivo de realizar este Balance, es el de estimar el número de baterías que necesitará este sistema. En el ANEXO VIII donde aparecen los cálculos de ese Balance, también aparecen los enlaces web de todos los elementos, nótese que estos elementos operan con 12 o 24 voltios, en vez de 230 voltios que es la tensión de la red en Europa, esto es debido a que las placas fotovoltaicas transfieren la corriente entre 12 y 14 voltios, que seguidamente un controlador de carga, regula este voltaje a 12 voltios exactos, para poder cargar las baterías. A continuación las baterías almacenan esta energía a 12 voltios y la envían a los elementos a 12 o 24 voltios, en función de si éstas se han conectado en serie o en paralelo.

Elementos	Número	Potencia(W)	Corriente(A)	Duración(h)	Capacidad(Ah)
<b>Cocina</b>					
Frigorífico	1	184,8	7,7	24	184,8
Bomba Agua Dulce	1	48	2	0,5	1
Microondas	1	500	20,833	0,35	7,29155
Cafetera	1	300	12,5	0,25	3,125
<b>Baño</b>					
Bomba Agua Dulce	1	48	2	1	2
WC	1	192	16	0,4	6,4
<b>Luces</b>					
<b>Exteriores</b>					
<b>Obligatorias</b>					
De Costado	2	12	0,5	6	6
De Tope	1	9	0,375	6	2,25
De Alcance	1	12	0,5	3	1,5
Cabinada	1	12	0,5	3	1,5
<b>No Obligatorias</b>					
Led	6	0,4	0,1667	4	4,0008
<b>Interiores</b>					
<b>No Obligatorias</b>					
Led 1	4	4,8	0,2	0,2	0,16
Led 2	4	4,8	0,2	1	0,8
Led 3	4	4,8	0,2	4	3,2
Led 4	2	4,8	0,2	0,7	0,28
Led 5	4	4,8	0,2	5	4
<b>Comedor/Salón</b>					
TV	1	36	3	3	9
<b>Instrumentos (NAV)</b>					
Brújula	1	25	1,04	8	8,32
VHF	1	25	3,05	24	73,2
GPS	1	12	1	4	4
Eq. Audio + 2 Altavoces	1	180	7,5	3	22,5
Bomba de Achique	1	43,2	1,8	0,5	0,9
Molinete	1	1500	155	0,06	9,3
<b>Suma Total (Ah)</b>					355,52735
<b>Margen de Seguridad</b>					1,5
<b>Demanda (Ah)</b>					533,291025

Tabla 17. Balance Eléctrico

Como puede observarse en el ANEXO VIII, no todos los elementos operan con el mismo voltaje por ello se decide separar la demanda de Amperios x hora en función de la tensión de los elementos, es decir, se crearán dos bancos de baterías: uno que asuma la demanda de Amperios x hora para los elementos que trabajen a 12 voltios y otro que asuma la demanda de los que trabajan a 24 voltios.

Dimensionamiento de las Baterías				
Tipo de Demanda	Elementos	Capacidad(Ah)	Factor	Capacidad(Ah)
Demanda (Ah) a 12 V	VHF/WC/Molinete	88,9	1,5	133,35
Demanda (Ah) a 24 V	Resta	266,62735	1,5	399,941025

Tabla 18. Dimensionamiento de las Baterías



Cabe remarcar que se ha preferido no utilizar un inversor de voltaje ya que se les considera poco eficientes. Uno de los principales problemas que impedían el descarte de este elemento, era el uso de los cargadores de los teléfonos móviles. Por suerte, actualmente estos cargadores tienen todos una toma USB, lo que los permite cargarse a 12 voltios.

En el ANEXO VIII aparecen las baterías que se usarán para satisfacer la demanda de corriente y también cómo se conectarán éstas. Resumiendo lo que dice este ANEXO: para la demanda de 133'35 Ah a 12 voltios, se conectará una batería ES1600 (que ofrece 140Ah) en serie, mientras que para la demanda de 399'94 Ah a 24 voltios se conectarán dos baterías ES1200 en serie y estas dos conectadas en paralelo a otras dos baterías ES1200 conectadas en serie, para poder ofrecer 24 voltios a la salida del conjunto, cada batería ES1200 ofrece 110 Ah. Véase el ANEXO IX donde se observa un plano detallado del sistema y la conexión de las baterías.



Figura 50. Batería ES1600. Fuente: Eurobateria



Figura 51. Batería ES1200. Fuente: Eurobateria



## Capítulo 7. Cálculo de Pesos

Antes de proceder con el cálculo de la estabilidad para las diferentes situaciones de carga de la embarcación, se debe hacer un estudio riguroso de todos los pesos que actúan sobre ésta. Destacar que para realizar el cálculo se han considerado elementos pertenecientes a sistemas que no se han diseñado, por ejemplo, una bomba de agua que haga circular el agua desde el tanque de agua dulce hasta el fregadero. Pero también se consideran elementos de sistemas diseñados como por ejemplo el peso de las baterías del sistema eléctrico y el de todos los elementos que son alimentados por éstas.

Con el objetivo de facilitar el cálculo de todos los pesos que afectan a la embarcación y tal como dice la normativa ISO 12217 los pesos se dividirán en:

- i) Peso en Rosca.
- ii) Peso Muerto.

En este último será donde se estudien las dos situaciones de carga. Salida de puerto, con los pertrechos de la tripulación al 100%, el tanque de combustible y el de agua dulce al 100% y el tanque de aguas grises al 10%. Entrada a puerto, con los pertrechos de la tripulación al 25%, el tanque de combustible y el de agua dulce al 10%, y finalmente el tanque de aguas grises al 100%.

### 7.1 Peso en Rosca

Se trata del peso de la embarcación tal y como la entrega el astillero, es decir, sin combustible, sin cualquier tipo de líquidos como aguas o aceites, sin tripulantes y sin sus pertrechos. En este peso se contemplarán; la estructura; elementos como televisores, frigoríficos, etcétera; el sistema propulsivo; los diferentes sistemas y equipos.

En el ANEXO X se observa que el peso en rosca se ha dividido en diferentes grupos con tal de facilitar su cálculo. A continuación se muestran estos grupos:

Habitáculo							
Elemento	Peso (Kg)	LCG (m)	TCG(m)	VCG (m)	MI (N*m)	Mt (N*m)	Mv (N*m)
Calentador de Agua	4,78	1,864	1,481	1,4952	8,90992	7,07918	7,147056
Bombona Gas	2,8	7,6	-1,219	1,632	21,28	-3,4132	4,5696
Cafetera	1,26	6,85	1,492	1,853	8,631	1,87992	2,33478
Microondas	9	6,684	1,437	1,842	60,156	12,933	16,578
Bomba Agua Dulce 1	1,6	7,106	-1,261	1,65	11,3696	-2,0176	2,64
Bomba Agua Dulce 2	1,6	4,602	-1,206	1,65	7,3632	-1,9296	2,64
Frigorífico	30	8,192	-1,116	1,58	245,76	-33,48	47,4
WC	14,5	5,43	-1,206	1,219	78,735	-17,487	17,6755
Tuberías	135	7	0	2	945	0	270

Tabla 19. Peso en Rosca en el Habitáculo

Electrónica							
Elemento	Peso (Kg)	LCG (m)	TCG(m)	VCG (m)	MI (N*m)	Mt (N*m)	Mv (N*m)
Bomba de Achique	0,52	6,205	1,21	0,765	3,2266	0,6292	0,3978
LedsVHFGPSBrujulaAudio	4	7,005	0	2,465	28,02	0	9,86
Baterias (X4) 24V	156	7,301	0	0,71	1138,956	0	110,76
Bateria 12V	47	7,301	0	0,71	343,147	0	33,37
Panel Solar	3	5,89	0	4,416	17,67	0	13,248
Controlador de Carga	1,5	7,301	0	0,71	10,9515	0	1,065

Tabla 20. Peso en Rosca en Electrónica

Motorización							
Elemento	Peso (Kg)	LCG (m)	TCG(m)	VCG (m)	MI (N*m)	Mt (N*m)	Mv (N*m)
Volvo Penta IPS 600	901	2,7250765	-0,6	0,69539726	2455,29393	-540,6	626,552931
Volvo Penta IPS 600	901	2,7250765	0,6	0,69539726	2455,29393	540,6	626,552931

Tabla 21. Peso en Rosca de la Motorización

Forro							
Elemento	Peso (Kg)	LCG (m)	TCG(m)	VCG (m)	MI (N*m)	Mt (N*m)	Mv (N*m)
Forro Fondo	1609,5712	5,20374	0	0,59127	8375,79004	0	951,691163
Forro Costado	1293,2886	7,03153	0	1,79588	9093,79759	0	2322,59113
Forro Cubierta	1003,8741	4,92618	0	2,48742	4945,26451	0	2497,05651
Suelo Interior	530,036123	6,12147	0	0,596	3244,60023	0	315,901529
Superestructura	298,54	7,564	0	3,8574518	2258,15656	0	1151,60366

Tabla 22. Peso en Rosca del Forro

Para obtener los pesos de los diferentes forros o chapas de la embarcación se realiza un cálculo a partir de los datos obtenidos en las tablas 9, 10 y 11. Donde se multiplica la masa por unidad de área de cada espesor por la superficie de ésta. Estos cálculos se ven mejor en el ANEXO X.

Peso del Laminado			
Parte	Área (m <sup>2</sup> )	w (kg/m <sup>2</sup> )	kg
Fondo	32,14	50,08	1609,5712
Costado	52,53	24,62	1293,2886
Cubierta	59,79	16,79	1003,8741
SuperEstructura	12,1039532	16,79164	203,245225
Paneles Interior	21,5286809	24,62	530,036123

Tabla 23. Cálculo del peso de los laminados

Parabrisas de la Superestructura					
Vidrio	Área (m <sup>2</sup> )	t (m)	Vol. (m <sup>3</sup> )	d (Kg/m <sup>3</sup> )	Kg
470HK (dureza)	7,62366303	0,005	0,03811832	2500	95,2957879

Tabla 24. Peso del Parabrisas

Refuerzos Transversales							
Elemento	Peso (Kg)	LCG (m)	TCG(m)	VCG (m)	MI (N*m)	Mt (N*m)	Mv (N*m)
Espejo de Popa	291,4656	1,265	0	1,49561	368,703984	0	435,918866
Cuaderna (1)	0,2234333	2,18983	0	1,20773	0,48928095	0	0,2698471
Cuaderna (2)	0,23488535	3,17313	0	1,66518	0,74532176	0	0,39112639
Mamparo Sala Maquinas	218,473	4,30653	0	1,68541	940,860529	0	368,216579
Cuaderna (3)	0,24660612	5,60653	0	1,21702	1,38260463	0	0,30012458
Cuaderna (4)	0,24822391	6,90653	0	1,22162	1,71436588	0	0,30323529
Cuaderna Maestra (5)	0,2394318	8,20653	0	1,27515	1,96490423	0	0,30531146
Mamparo Hab.	125,03975	9,55653	0	1,77945	1194,94612	0	222,501983
Cuaderna (6)	0,20598548	10,53873	0	1,51855	2,17082539	0	0,31279926
Cuaderna (7)	0,18039485	11,51193	0	1,66572	2,07669285	0	0,3004873
Mamparo de Colisión	48,51875	12,64413	0	1,76284	613,477382	0	85,5307933

Tabla 25. Peso en Rosca de los Refuerzos Transversales

Igual que para el cálculo del peso del forro de la embarcación, los refuerzos transversales también han sido calculados mediante un proceso similar. En el cálculo del peso de los mamparos se ha seguido exactamente el mismo proceso. Hacer el producto de la superficie de éste por la masa por unidad de área que tiene el espesor escogido. Respecto al cálculo del peso de las cuadernas, el proceso ha sido algo más complicado, ya que al tratarse de perfiles relativamente complejos, como el perfil de sombrero de copa cuadrado, primero se ha multiplicado el área del alma del refuerzo por la longitud de éste, con el objetivo de obtener el volumen. Después, para el laminado del espesor del refuerzo, se ha calculado su densidad y tras convertir todas las unidades, se ha hecho el producto del volumen por la densidad, para obtener el peso en kg de las cuadernas. Todos los cálculos se encuentran en el ANEXO X.

Mamparos			
Elemento	A (m <sup>2</sup> )	d (Kg/m <sup>2</sup> )	Kg
Espejo de Popa	5,82	50,08	291,4656
Sala de Máquinas	7,88	27,725	218,473
Habitación (No Estanco)	4,51	27,725	125,03975
Pique de Proa	1,75	27,725	48,51875

Tabla 26. Cálculo del peso de los Mamparos

Cuadernas					
Elemento	Aw (cm <sup>2</sup> )	L (cm)	Vol. (cm <sup>3</sup> )	d (Kg/m <sup>3</sup> )	Kg
C.1	12,3	655,196	8058,9108	27,725	0,223433302
C.2	12,3	688,778	8471,9694	27,725	0,234885352
C.3	12,3	723,148	8894,7204	27,725	0,246606123
C.4	12,3	727,892	8953,0716	27,725	0,24822391
C.5	12,3	702,11	8635,953	27,725	0,239431797
C.6	12,3	604,032	7429,5936	27,725	0,205985483
C.7	12,3	528,99	6506,577	27,725	0,180394847

Tabla 27. Cálculo del peso de las Cuadernas

Refuerzos Longitudinales							
Elemento	Peso (Kg)	LCG (m)	TCG(m)	VCG (m)	MI (N*m)	Mt (N*m)	Mv (N*m)
Quilla	3,53635336	6,0575	0,1	0	21,4214605	0,35363534	0
Motor 1 E	41,29	5,3118	-0,8502	0	219,324222	-35,104758	0
Motor 1 B	41,29	5,3118	0,8502	0	219,324222	35,104758	0
Motor 2 E	50,57	6,2562	-0,2803	0	316,376034	-14,174771	0
Motor 2 B	50,57	6,2562	0,2803	0	316,376034	14,174771	0
Pantoque E	0,00759423	7,2	-1,36	0,73864	0,05467848	-0,01032816	0,00560941
Pantoque B	0,00759423	7,2	1,36	0,73864	0,05467848	0,01032816	0,00560941
Longitudinal E	1,71827546	5,69277	-1,62651	1,77988	9,78174697	-2,79479221	3,05832412
Longitudinal B	1,71827546	5,69277	1,62651	1,77988	9,78174697	2,79479221	3,05832412

Tabla 28. Peso en Rosca de los Refuerzos Longitudinales

El cálculo de estos pesos ha sido exactamente idéntico al cálculo del peso de las cuadernas a excepción de los refuerzos del motor cuya densidad no es la de un laminado Roving-MAT, si no que es la densidad del aluminio, ya que el fabricante del sistema propulsivo estipula que estos refuerzos deben ser de este metal.

Refuerzos Longitudinales					
Elemento	Aw (cm <sup>2</sup> )	L (cm)	Vol. (cm <sup>3</sup> )	d (Kg/m <sup>3</sup> )	Kg
Quilla	71,5	1211,5	86622,25	40,825	3,536353356
Longitudinal E	33,6	1252,643	42088,8048	40,825	1,718275456
Longitudinal B	33,6	1252,643	42088,8048	40,825	1,718275456
Pantoque E	15,11	12,311	186,01921	40,825	0,007594234
Pantoque B	15,11	12,311	186,01921	40,825	0,007594234

Tabla 29. Cálculo del peso de los Refuerzos Longitudinales

Refuerzos Longitudinales						
Elemento	A (cm <sup>2</sup> )	L (cm)	Vol. (cm <sup>3</sup> )	d (g/cm <sup>3</sup> )	g	Kg
Motor 1 E	18,4	831,07243	15291,7327	2,7	41287,67832	41,2876783
Motor 1 B	18,4	831,07243	15291,7327	2,7	41287,67832	41,2876783
Motor 2 E	18,4	1017,98519	18730,9275	2,7	50573,50424	50,5735042
Motor 2 B	18,4	1017,98519	18730,9275	2,7	50573,50424	50,5735042

Tabla 30. Cálculo del peso de los refuerzos requeridos por los motores

Seguridad							
Elemento	Peso (Kg)	LCG (m)	TCG(m)	VCG (m)	MI (N*m)	Mt (N*m)	Mv (N*m)
Extintor 21B	2	2,725065	0	0,765	5,45013	0	1,53
Botiquín	4,12	6,12147	0	0,596	25,2204564	0	2,45552
Balde Contraincendios	1,059	10,4896	0	0,765	11,1084864	0	0,810135
Hacha Contraincendios	0,998	6,12147	0	0,596	6,10922706	0	0,594808
Balsa Salvavidas	53	10,4896	0	2,9669	555,9488	0	157,2457
Bocina de niebla	0,45	6,12147	0	0,596	2,7546615	0	0,2682
Chalecos Salvavidas (X6)	5,28	10,4896	0	2,9669	55,385088	0	15,665232
Luces Navegación (Bb Est)	0,31	6,243	0	3,449	1,93533	0	1,06919
Extintor 55B	2	7,31	0	3,163	14,62	0	6,326

Tabla 31. Peso en Rosca de los Elementos de Seguridad

Diseño de una Embarcación de Recreio de 14 metros de eslora

Amarre							
Elemento	Peso (Kg)	LCG (m)	TCG(m)	VCG (m)	MI (N*m)	Mt (N*m)	Mv (N*m)
Ancla	35	12,87	0	2,6383669	450,45	0	92,3428415
Cadena	30,8	12,87	0	2,6383669	396,396	0	81,2617005
Molinete	21,4	12,87	0	2,6383669	275,418	0	56,4610517

Tabla 32. Peso en Rosca de los Elementos de Amarre

Útiles							
Elemento	Peso (Kg)	LCG (m)	TCG(m)	VCG (m)	MI (N*m)	Mt (N*m)	Mv (N*m)
Vajilla (Platos)	1,8	6,8	1,481	1,765	12,24	2,6658	3,177
Vajilla (Cuencos)	1,32	6,8	1,481	1,765	8,976	1,95492	2,3298
Vajilla (Vasos)	0,84	6,8	1,481	1,765	5,712	1,24404	1,4826
Set Ollas y Sartenes	5,45	7,351	-1,437	1,765	40,06295	-7,83165	9,61925
Cubertería (30 piezas)	0,104	7,351	-1,437	1,765	0,764504	-0,149448	0,18356

Tabla 33. Peso en Rosca de los Útiles

Mobiliario							
Elemento	Peso (Kg)	LCG (m)	TCG(m)	VCG (m)	MI (N*m)	Mt (N*m)	Mv (N*m)
Mesa Interior	16	8,011	0	1,6725	128,176	0	26,76
Mesa Bañera Popa	8,3	2,785	0	2,9998	23,1155	0	24,89834
Cojines	0,3992	10,373	0	1,86	4,1409016	0	0,742512
Colchon Cama	8,62	10,627	0	1,86	91,60474	0	16,0332
Sofa	57	7,732	0,984	1,265	440,724	56,088	72,105
Consola Piloto	85	9,21	0	3,53	782,85	0	300,05
TV	1,8	6,8	1,481	2,8	12,24	2,6658	5,04
Fregadero	2,5	7,106	-1,261	1,65	17,765	-3,1525	4,125
horno y cocina	15,5	7,6	-1,219	1,632	117,8	-18,8945	25,296
Silla 1	15	8,465	-0,335	2,846	126,975	-5,025	42,69
Silla 2	15	8,465	0,335	2,846	126,975	5,025	42,69
Lavabo	14	4,6	-1,285	2,065	64,4	-17,99	28,91
Paredes Baño 1	41,32	5,641	-0,92	1,765	233,08612	-38,0144	72,9298
Paredes Baño 2	64	5,35	-0,61	1,765	342,4	-39,04	112,96
Paredes Baño 3	26,28	4,723	0	1,765	124,12044	0	46,3842
Silla 3	15	2,1548	-0,37	2,846	32,322	-5,55	42,69
Silla 4	15	2,1548	0,37	2,846	32,322	5,55	42,69
Silla 5	15	3,4059	-0,37	2,846	51,0885	-5,55	42,69
Silla 6	15	3,4059	0,37	2,846	51,0885	5,55	42,69
Pared Cocina	156,028	7,351	-1,437	1,765	1146,96183	-224,212236	275,38942
Escritorio	26	4,92	1,28	1,565	127,92	33,28	40,69
Silla Escritorio	15	4,888	0,712	1,265	73,32	10,68	18,975
Escaleras	21,2	5,43	0,5	2	115,116	10,6	42,4
Pared Sala Máquinas E	120	2,73	-1,55	1,765	327,6	-186	211,8
Pared Sala Máquinas B	120	2,73	1,55	1,765	327,6	186	211,8
Plato de Ducha	30	4,601	-0,29	0,78	138,03	-8,7	23,4
Mueble de la Cama	311,22	10,93	0	1,165	3401,6346	0	362,5713
Pared Dormitorio E	128,64	11,2	-0,72	1,765	1440,768	-92,6208	227,0496
Pared Dormitorio B	128,64	11,2	0,72	1,765	1440,768	92,6208	227,0496
Pared E Salón	206,559592	6,8	1,492	1,765	1404,60523	308,186911	364,57768

Tabla 34. Peso en Rosca del Mobiliario

Peso en Rosca							
Medición	Peso (Kg)	LCG (m)	TCG(m)	VCG (m)	MI (N*m)	Mt (N*m)	Mv (N*m)
Total Peso en Rosca	9685,59197	5,63873314	0,00350296	1,40239377	54614,4684	33,9282726	13583,0139
Rosca + (10%)	10654,1512	5,63873314	0,00350296	1,40239377	60075,9153	37,3210999	14941,3152

Tabla 35. Peso en Rosca Total y Peso en Rosca Total más el 10%

Donde:

$$MI = \sum MI_{Hab.} + MI_{Elect.} + MI_{Mot.} + MI_{For.} + MI_{Ref.} + MI_{Sg.} + MI_A. + MI_{Ut.} + MI_{Mb.}$$

$$Mt = \sum Mt_{Hab.} + Mt_{Elect.} + Mt_{Mot.} + Mt_{For.} + Mt_{Ref.} + Mt_{Sg.} + Mt_A. + Mt_{Ut.} + Mt_{Mb.}$$

$$Mv = \sum Mv_{Hab.} + Mv_{Elect.} + Mv_{Mot.} + Mv_{For.} + Mv_{Ref.} + Mv_{Sg.} + Mv_A. + Mv_{Ut.} + Mv_{Mb.}$$

$$L_{CG} = \frac{MI}{Peso\ en\ Rosca}$$

$$T_{CG} = \frac{Mt}{Peso\ en\ Rosca}$$

$$V_{CG} = \frac{Mv}{Peso\ en\ Rosca}$$

## 7.2 Peso Muerto

### 7.2.1 Salida de Puerto

Tal y como se ha comentado al principio del Capítulo, para la condición de Salida de Puerto se considera que la embarcación navega con los tanques de combustible y agua dulce al 100% de su capacidad, mientras que el tanque de aguas grises se encuentra al 10%, además los pertrechos correspondientes a cada tripulante tienen un peso de 25 kg. Se considera que las personas pesan de media 75 kg.

Peso de los Tanques (Cond. Salida de Puerto)							
Elemento	Peso (Kg)	LCG (m)	TCG(m)	VCG (m)	MI (N*m)	Mt (N*m)	Mv (N*m)
Tanques de Comb. (100%)	1711	5,65	0	0,426	9667,15	0	728,886
Tanque Agua Dulce (100%)	646	6,813	0	0,432	4401,198	0	279,072
Tanque Aguas Grises (10%)	41	7,294	0	0,232	299,054	0	9,512

Tabla 36. Peso de los Tanques en Condición de Salida de Puerto



Peso de las Personas y sus Petrechos							
Personas + Petrechos	Peso (Kg)	LCG (m)	TCG(m)	VCG (m)	MI (N*m)	Mt (N*m)	Mv (N*m)
Persona 1	100	2,1548	-0,37	2,846	215,48	-37	284,6
Persona 2	100	2,1548	0,37	2,846	215,48	37	284,6
Persona 3	100	8,465	-0,335	2,846	846,5	-33,5	284,6
Persona 4	100	8,465	0,335	2,846	846,5	33,5	284,6
Persona 5	100	10,4896	-0,3	2,9669	1048,96	-30	296,69
Persona 6	100	10,4896	0,3	2,9669	1048,96	30	296,69

Tabla 37. Peso de las Persona y sus Petrechos en Condición de Salida de Puerto

Finalmente, el Peso Muerto para la condición de Salida de Puerto viene definido en la siguiente tabla:

Peso Muerto en Condición de Salida de Puerto							
Medición	Peso (Kg)	LCG (m)	TCG(m)	VCG (m)	MI (N*m)	Mt (N*m)	Mv (N*m)
Peso Muerto	2998	6,20056104	0	0,91702802	18589,282	0	2749,25

Tabla 38. Peso Muerto en Condición de Salida de Puerto

### 7.2.2 Entrada a Puerto

Para la condición de Entrada de Puerto se estima que la embarcación tiene los tanques de combustible y agua dulce al 10% de su capacidad, mientras que el tanque de aguas grises ahora se encuentra al 100% de su capacidad, además los pertrechos correspondientes a cada tripulante tienen un peso de 2'5 kg. Se sigue considerando que las personas tienen un peso de 75 kg.

Peso de los Tanques (Cond. Entrada a Puerto)							
Elemento	Peso (Kg)	LCG (m)	TCG(m)	VCG (m)	MI (N*m)	Mt (N*m)	Mv (N*m)
Tanques de Comb. (10%)	171,1	5,66	0	0,231	968,426	0	39,5241
Tanque Agua Dulce (10%)	64,6	3,825	0	0,235	247,095	0	15,181
Tanque Aguas Grises (100%)	406	7,296	0	0,427	2962,176	0	173,362

Tabla 39. Peso de los Tanques en Condición de Entrada a Puerto

Peso de las Personas y sus Petrechos							
Personas + Petrechos	Peso (Kg)	LCG (m)	TCG(m)	VCG (m)	MI (N*m)	Mt (N*m)	Mv (N*m)
Persona 1	77,5	2,1548	-0,37	2,846	166,997	-28,675	220,565
Persona 2	77,5	2,1548	0,37	2,846	166,997	28,675	220,565
Persona 3	77,5	8,465	-0,335	2,846	656,0375	-25,9625	220,565
Persona 4	77,5	8,465	0,335	2,846	656,0375	25,9625	220,565
Persona 5	77,5	10,4896	-0,3	2,9669	812,944	-23,25	229,93475
Persona 6	77,5	10,4896	0,3	2,9669	812,944	23,25	229,93475

Tabla 40. Peso de las Persona y sus Petrechos en Condición de Entrada Puerto

El Peso muerto para la condición de Entrada a Puerto se muestra en la tabla de a continuación:

Peso Muerto en Condición de Entrada Puerto							
Medición	Peso (Kg)	LCG (m)	TCG(m)	VCG (m)	MI (N*m)	Mt (N*m)	Mv (N*m)
Peso Muerto	1106,7	6,73141231	0	1,41880961	7449,654	0	1570,1966

**Tabla 41. Peso Muerto en Condición de Entrada Puerto**

Todos los cálculos pertinentes, aclaraciones y datos acerca de todos los elementos y equipos que aparecen a lo largo de este Capítulo se encuentran en el ANEXO X.

## Capítulo 8. Estabilidad

La medición de la estabilidad de la embarcación se llevará a cabo considerando de la normativa ISO 12217 *Evaluación y clasificación de la estabilidad y la flotabilidad*, su primera parte *Embarcaciones no propulsadas a vela de eslora igual o superior a 6 m*. Para ello se utilizará el programa *MaxSurf Stability*.

La normativa ofrece una tabla en la que se muestran los requisitos y ensayos de estabilidad que deberá cumplir la embarcación en función de su categoría de diseño y el estado de su cubierta.

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 e
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 al viento	-	6.4 e	-	6.4 e	6.4 e	6.4 e
Tamaño de los nichos	6.5	6.5 f	-	-	-	6.5.4 f
Multicascos habitables	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6
Embarcaciones mixtas vela-motor	6.7	-	-	-	-	-
Requisitos de flotación	-	-	6.8	6.8	-	-
Material de flotación	-	-	anexo G	anexo G	-	-
Detección achique del agua	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9
a Este término se define en el apartado 3.1.6. b Este término se define en el apartado 3.1.7. c Es decir, toda embarcación que no sea "completamente cerrada", incluyendo así las embarcaciones sin cubierta alguna. d No es necesario realizar el ensayo de altura de inundación en algunas embarcaciones, véase el apartado 6.1.2.1. e La aplicación del apartado 6.4 sólo se requiere para embarcaciones en las que la condición mínima de operación sea $(ALV) \geq 0,5L(H)B(H)$ . f Estos requisitos sólo se aplican a la categoría de diseño C.						

Figura 52. Ensayos a realizar. Fuente: ISO 12217-1:2017

La Figura 52, proporcionada por la normativa, distingue entre seis opciones, de estas seis opciones la que se adapta a la embarcación estudiada es la quinta (Cualquier tipo excepto barco completamente cerrado) para las categorías de diseño C y D. En este Capítulo se

comprobará que la embarcación cumpla con los requisitos y supere los ensayos que afectan a esta opción.

Estas verificaciones se darán para las dos situaciones de carga explicadas en el Capítulo 8: Salida de Puerto y Entrada a Puerto.

### 8.1 Condición de carga: Salida de Puerto

En este apartado se estudia la estabilidad de la embarcación a plena carga, es decir, al salir de puerto. Para ello, el primer paso es calcular el desplazamiento total de la embarcación, Peso en Rosca sumado al Peso Muerto. Este último, definida su condición especial en el Capítulo 8.

Peso en Rosca							
Medición	Peso (Kg)	LCG (m)	TCG(m)	VCG (m)	MI (N*m)	Mt (N*m)	Mv (N*m)
Total Peso en Rosca	9685,59197	5,63873314	0,00350296	1,40239377	54614,4684	33,9282726	13583,0139
Rosca + (10%)	10654,1512	5,63873314	0,00350296	1,40239377	60075,9153	37,3210999	14941,3152

Tabla 42. Peso en Rosca Total y Peso en Rosca Total más el 10%

Peso Muerto en Condición de Salida de Puerto							
Medición	Peso (Kg)	LCG (m)	TCG(m)	VCG (m)	MI (N*m)	Mt (N*m)	Mv (N*m)
Peso Muerto	2998	6,20056104	0	0,91702802	18589,282	0	2749,25

Tabla 43. Peso Muerto en Condición de Salida de Puerto

Peso Total en Condición de Salida de Puerto							
Medición	Peso (Kg)	LCG (m)	TCG(m)	VCG (m)	MI (N*m)	Mt (N*m)	Mv (N*m)
Peso Total	13652,1512	5,76211004	0,00273372	1,29580789	78665,1973	37,3210999	17690,5652

Tabla 44. Peso Total en Condición de Salida de Puerto

El primer paso es definir todos los pesos en *MaxSurf*, seguidamente el programa permite calcular el equilibrio de la embarcación.

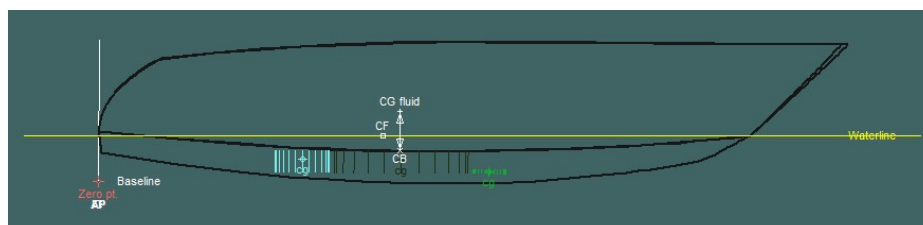


Figura 53. Cálculo del Equilibrio a Plena Carga

Hidrostáticas en Equilibrio (Plena Carga)	
Draft Amidships m	0,848
Displacement t	13,65
Heel deg	0,2
Draft at FP m	0,848
Draft at AP m	0,848
Draft at LCF m	0,885
Trim (+ve by stern) m	0
WL Length m	12,137
Beam max extents on WL m	3,137

Tabla 45. Hidrostáticas en Equilibrio a Plena Carga

A continuación, se procede a verificar los puntos de la normativa que afectan a la embarcación estudiada.

### 8.1.1 Aberturas de Inundación

El punto 6.1.1 (Aberturas de inundación) exige que, para las embarcaciones con categoría de diseño C, las escotillas, orificios de ventilación, etcétera, se encuentren a una distancia mínima de 20 centímetros de la línea de flotación. Este primer requisito se cumple.

### 8.1.2 Altura de inundación

La altura de inundación es la altura entre la línea de flotación y el primer orificio inundable. En el apartado 6.1.2 de la normativa se realiza un ensayo para determinar cuál debe ser como mínimo esta altura. Es decir, no podrá haber ningún orificio inundable a una menor distancia que la que estipula el apartado 6.2. Para la quinta opción de la Figura 52, una embarcación con categoría de diseño C, la altura de inundación máxima está definida por la siguiente ecuación:

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

Ecuación 36. Altura de inundación,  $h_D$ . Fuente: ISO 12217-1:2017

Donde  $L_H$  representa la eslora total de la embarcación. Esta relación se obtiene de la siguiente figura, también extraída de la ISO 12217-1.

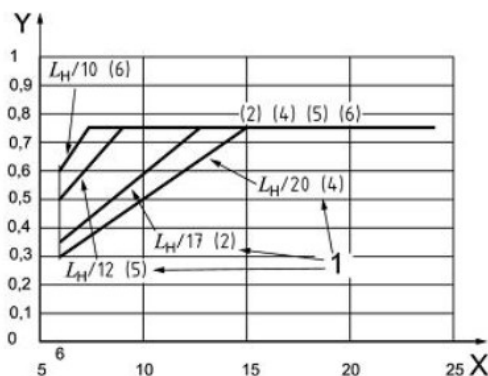


Figura 54. Altura de inundación requerida para la categoría de diseño C. Fuente: ISO 12217-1:2017

Considerando una eslora total de 14 metros, la altura de inundación es de 0'82354 metros, a su vez la distancia a la que se encuentra el primer orificio inundable respecto la línea de flotación es de 1'692 metros. También se cumple este requisito.

### 8.1.3 Ensayo de compensación de cargas

Con este ensayo se pretende comprobar que la embarcación mantiene su estabilidad cuando las personas o tripulación realizan un cambio de pesos. Primero debe calcularse el ángulo de escora, éste debe ser menor al representado por la siguiente ecuación:

$$11.5 + \frac{(24 - L_H)^3}{520}$$

Ecuación 37. Ángulo máximo de escora. Fuente: ISO 12217-1:2017

Para el caso de la embarcación estudiada, el ángulo máximo de escora será de 13'4231 grados, además se deberá considerar un franco bordo mínimo definido en la siguiente figura que proporciona la normativa.

Categoría de diseño	A	B	C	D
Opciones 1 o 3 en la tabla 2	no aplicable	no aplicable	no aplicable	no aplicable
Opciones 2 o 4 en la tabla 2	no aplicable	no aplicable	0,014 L <sub>H</sub> pero no inferior que 0,1 m	0,010
Opciones 5 o 6 en la tabla 2	no aplicable	no aplicable	0,110√L <sub>H</sub>	0,070√L <sub>H</sub>

Figura 55. Margen de franco bordo mínimo. Fuente: ISO 12217-1

Para que la embarcación cumpla este requisito deberá tener un franco bordo mayor que 0'412 metros. este valor se calculó a partir de la Figura 55 casilla correspondiente a la opción 5 para una categoría de diseño C.

Para realizar el ensayo se coloca la totalidad de la tripulación, 6 personas, junto a sus pertrechos a 1'5 metros a babor de la línea de crujía. Los resultados obtenidos son favorables, ya que cumplen los requisitos previamente nombrados. El ángulo de escora es de 5'1322 grados muy por debajo de la escora máxima de 13'4231 grados. El menor francobordo, medido en el costado de babor, es de 1'72 metros, resultado de la diferencia entre los 2'6 metros del puntal y los 0'88 metros del calado en babor aumentado a causa de la escora.

De este ensayo se obtienen resultados favorables, cumpliendo con los requisitos de la ISO 12217-1:2017 en su apartado 6.2.

#### 8.1.4 Escora debida al viento

El cálculo de esta escora viene regido por el punto 6.4 de la normativa, tal y como se aprecia en la Figura 52. En la misma figura se especifica que de no cumplirse la siguiente relación, no es necesario aplicar este requisito.

$$A_{LV} \geq L_H * B_H$$

**Ecuación 38. Relación superficie del casco expuesta al viento por eslora y manga. Fuente: ISO 12217-1:2017**

Donde:

- i)  $A_{LV}$  es la superficie del casco expuesta al viento, 30'417 metros cuadrados.
- ii)  $L_H$  es la eslora total de la embarcación, 14 metros.
- iii)  $B_H$  es la manga total de la embarcación, 4 metros.

El producto de la eslora por la manga da un valor de 56 metros cuadrados, claramente superior a los 30'417 metros cuadrados de superficie en contacto con el viento. Al no cumplirse esta relación, no se debe practicar el ensayo.

#### 8.1.5 Tamaño de los nichos

Para una categoría de diseño C que utilice la opción 5 de la Figura 52, la normativa en su apartado 6.5.4 estipula que los nichos deben colocarse justo a la mitad de la eslora total, es decir a 7 metros de popa y de proa, y éstos deben ser de achique rápido.

### 8.1.6 Detección y achique del agua

El punto 6.9 de la normativa estipula que para las categorías de diseño C y D que utilizan la quinta opción deben tener una buena distribución que permita un fácil proceso de achique de posibles vertidos de agua en sentina. Para ello están obligadas a disponer de al menos una bomba con una capacidad establecida por la Norma ISO 15083. Finalmente, han de disponer de medios de detección de inundación por agua en el puesto de gobierno de la embarcación, como:

- i) Una inspección visual.
- ii) Paneles transparentes que faciliten la visibilidad de estas zonas de difícil acceso.
- iii) Indicadores de funcionamiento de bombas de agua.

Como se observa en el Capítulo 8 *Cálculo de Pesos* se contempla que la embarcación esté provista con una bomba de achique. Además se dota a la embarcación de los medios que exige esta parte de la normativa. Es por todo esto que se verifica que la embarcación cumple con los requisitos.

### 8.1.7 Estabilidad Estática

Para concluir el cálculo de la estabilidad en condición de Salida de Puerto, se muestra la curva de estabilidad estática, para su posterior análisis.

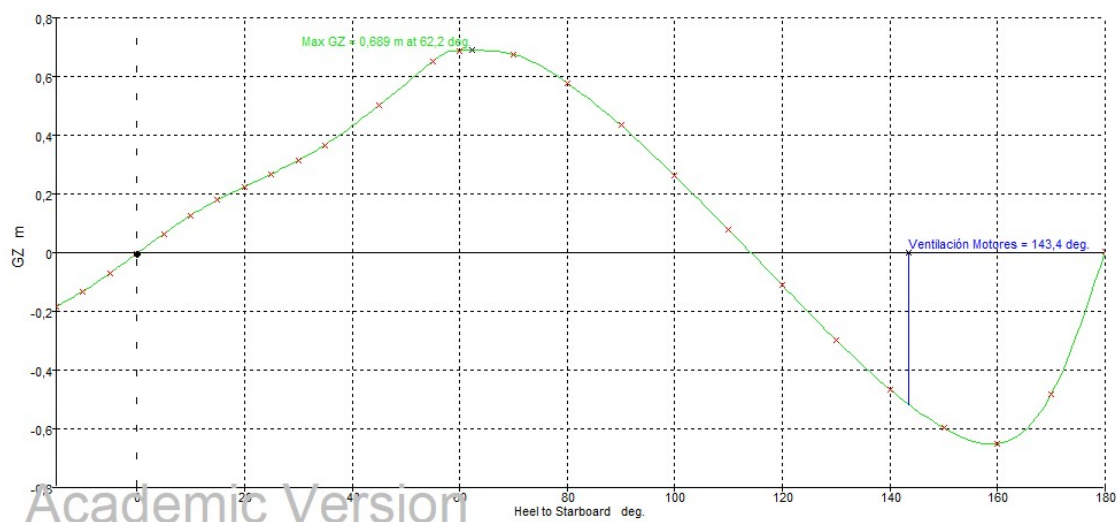


Ilustración 14. Curva de Estabilidad Estática para la condición de Salida de Puerto

Se observa que el mayor valor del brazo adrizante, de 0'689 metros, se da cuando el buque tiene una escora de 62'2 grados. Al orificio de ventilación de los motores, le empezaría a entrar agua a partir de los 143'4 o 36'6 grados de escora, en función de la referencia que se tome.



## 8.2 Condición de carga: Entrada a Puerto

A continuación se estudia la estabilidad para la condición de Entrada a Puerto, es decir, cuando se considera que la embarcación está con la mínima carga. El primer paso, igual que en el apartado anterior, es calcular el desplazamiento de la embarcación en esta condición de carga, para ello se debe sumar el Peso en Rosca al nuevo Peso Muerto. La condición de Entrada a Puerto, se encuentra definida en el Capítulo 8.

Peso en Rosca							
Medición	Peso (Kg)	LCG (m)	TCG(m)	VCG (m)	MI (N*m)	Mt (N*m)	Mv (N*m)
Total Peso en Rosca	9685,59197	5,63873314	0,00350296	1,40239377	54614,4684	33,9282726	13583,0139
Rosca + (10%)	10654,1512	5,63873314	0,00350296	1,40239377	60075,9153	37,3210999	14941,3152

Tabla 46. Peso en Rosca Total y Peso en Rosca Total más el 10%

Peso Muerto en Condición de Entrada Puerto							
Medición	Peso (Kg)	LCG (m)	TCG(m)	VCG (m)	MI (N*m)	Mt (N*m)	Mv (N*m)
Peso Muerto	1106,7	6,73141231	0	1,41880961	7449,654	0	1570,1966

Tabla 47. Peso Muerto en Condición de Entrada a Puerto

Peso Total							
Medición	Peso (Kg)	LCG (m)	TCG(m)	VCG (m)	MI (N*m)	Mt (N*m)	Mv (N*m)
Peso Total	11760,8512	5,74155461	0,00317333	1,40393851	67525,5693	37,3210999	16511,5118

Tabla 48. Peso Total en Condición de Entrada a Puerto

Para calcular el equilibrio inicial de la embarcación en esta situación de carga, se deben exportar estos valores al programa *MaxSurf*. Una vez en la aplicación se procede a calcular el equilibrio.

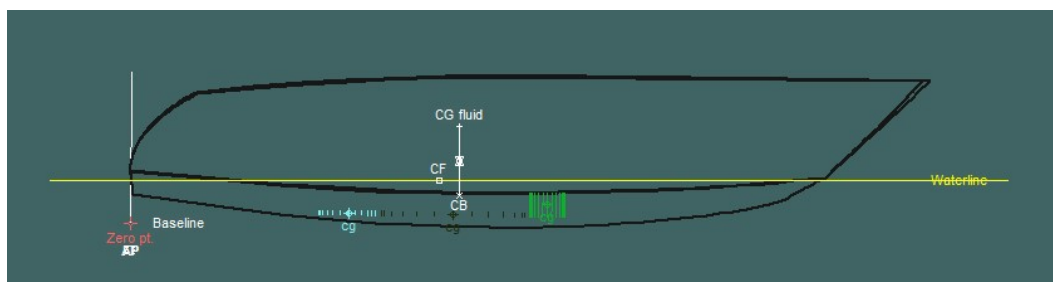


Figura 56. Cálculo del Equilibrio a Mínima Carga

Hidrostáticas en Equilibrio (Mínima Carga)	
Draft Amidships m	0,765
Displacement t	11,76
Heel deg	0,5
Draft at FP m	0,765
Draft at AP m	0,765
Draft at LCF m	0,823
Trim (+ve by stern) m	0
WL Length m	12,058
Beam max extents on WL m	3,07

Tabla 49. Hidrostáticas en Equilibrio en Mínima Carga

Seguidamente se procede con la verificación de los requisitos que aparecen en la Figura 52, para la embarcación analizada de categoría de diseño C que utiliza la opción 5.

### 8.2.1 Aberturas de Inundación

El punto 6.1.1 exige que, para las embarcaciones con categoría de diseño C, las escotillas, orificios de ventilación, etcétera, se deben encontrar a una distancia mínima de 20 centímetros de la línea de flotación. Igual que para la condición de Salida de Puerto, la embarcación cumplía el requisito, ahora lo cumple con mayor margen ya que al disminuir el desplazamiento, a causa de la pérdida de peso respecto a la situación anterior, el calado también ha disminuido de los 0'848 metros que tenía a plena carga a los 0'765 metros que tiene ahora. Que tenga un menor calado implica que tenga un mayor francobordo, aumentando el espacio entre la línea de flotación y los orificios, escotillas, etcétera.

### 8.2.2 Altura de inundación

Para la condición de Entrada a Puerto, se realiza el cálculo de la altura de inundación, desarrollado en el punto 6.1.2 de la normativa, siguiendo el mismo procedimiento que se ha realizado para la condición de Salida de Puerto. Para ello, se debe conservar el valor de la Ecuación 36, de 0'82354 metros y medir la nueva distancia entre la línea de flotación y el primer orificio inundable, en este caso de 1'775 metros, como se puede observar este nuevo valor es el doble que el de la Ecuación 36, por tanto se verifica que la embarcación, de nuevo, cumple este requisito.

### 8.2.3 Ensayo de compensación de cargas

Con el ensayo definido en el punto 6.2 de la normativa se pretende comprobar que la embarcación mantiene su estabilidad cuando las personas o tripulación realizan un cambio de pesos. El primer paso es el de calcular el ángulo máximo de inundación, que viene definido por la ecuación 37, este ángulo sigue siendo de 13'4231 grados. Además el franco bordo mínimo

que deberá de haber en el costado donde se produzca la escora, seguirá siendo definido por la Figura 55 y su valor será de 0'412 metros.

De nuevo, se realiza el ensayo con el programa *MaxSurf*, colocando las seis personas que forman la tripulación a 1'5 metros a babor respecto la línea de crujía. El ángulo de escora formado es de 12'5 grados, y en el costado donde se ha producido la escora habrá un franco bordo de 1'808 metros, resultado de la diferencia entre los 2'6 metros de puntal y el nuevo calado de 0'792 metros. Finalmente, se comprueba que la embarcación pasa favorablemente el ensayo.

#### **8.2.4 Escora debida al viento**

El cálculo de esta escora viene regido por el punto 6.4 de la normativa, tal y como se aprecia en la Figura 52. Este requisito no deberá contemplarse en caso que la relación establecida en la Ecuación 38, no sea cierta. Teniendo en cuenta que la nueva superficie en contacto con el viento es de 34 metros cuadrados y el producto de la eslora por la manga sigue siendo de 56 metros cuadrados, la relación establecida por la Ecuación 38, igual que para la condición de carga anterior, no se cumple, por tanto sigue sin ser necesario contemplar este requisito.

#### **8.2.5 Tamaño de los nichos**

Igual que para la situación de Salida de Puerto, para una categoría de diseño C que utilice la opción 5 de la Figura 52, la normativa en su apartado 6.5.4 estipula que los nichos deben colocarse justo a la mitad de la eslora total, es decir a 7 metros de popa y de proa, y éstos deben ser de achique rápido.

#### **8.2.6 Detección y achique del agua**

El apartado 6.9 de la Norma ISO 12217-7:2017 trata sobre todos los medios de detección y achique de agua de sentina, que debe tener la embarcación con categoría de diseño C que utilice la opción C de la Figura 52. Además explica las características de estos elementos y cómo debe ser su distribución a lo largo de la embarcación. Todas estas especificaciones han sido dadas en el apartado 9.1.6 de este mismo capítulo, y son las mismas para las dos condiciones de carga, por tanto se puede afirmar que para la situación de Entrada a Puerto también se cumplen estos requisitos.

### 8.2.7 Estabilidad Estática

Para concluir el cálculo de la estabilidad en condición de Entrada a Puerto, se muestra la curva de estabilidad estática, para su posterior análisis.

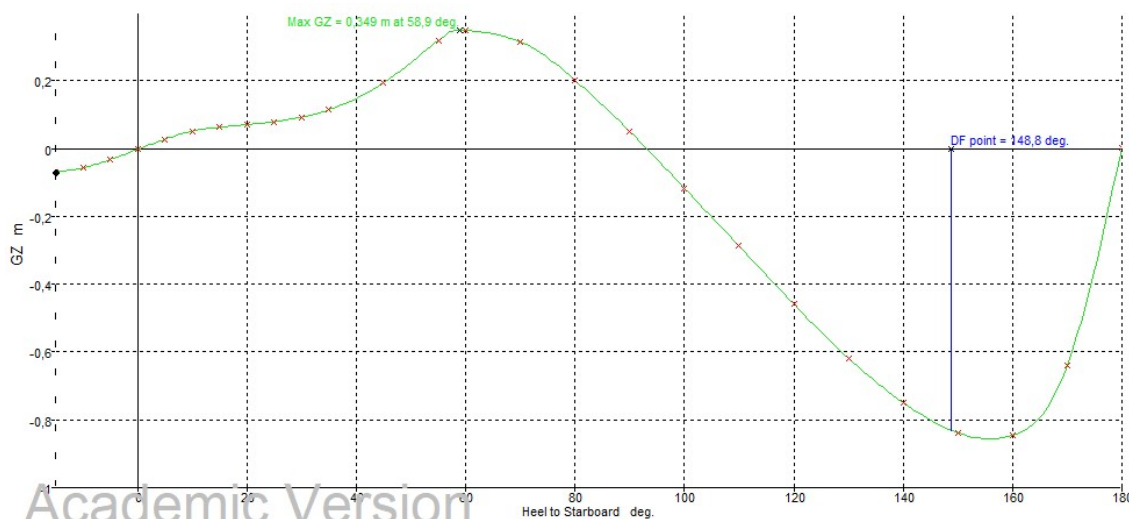


Ilustración 15. Curva de Estabilidad Estática para la condición de Entrada a Puerto

Se puede apreciar que el mayor valor del brazo adrizante es de 0'349 metros y se da cuando el buque tiene una escora de 58'9 grados. Respecto el orificio de ventilación de los motores, le empezará a entrar agua a partir de los 148'8 o 31'2 grados de escora, según la referencia escogida.

### 8.3 Modo de empleo de *MaxSurf Stability*

En el presente apartado se muestra, de formar simplificada, el proceso que se ha realizado en el programa *MaxSurf Stability*, para obtener los valores que se debían comparar con los requisitos de la normativa. Destacar que este proceso se ha realizado dos veces, una vez para cada condición de carga.

El primer paso ha sido introducir los datos del Peso en Rosca y el de las personas y sus pertrechos, así como sus centros de gravedad obtenidos en el Capítulo 8.

	Item Name	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m <sup>3</sup>	Total Volume m <sup>3</sup>	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m
1	Rosca + (10%)	1	10,654	10,654			5,639	0,004	1,402
2	Personas Proa	2	0,100	0,200			2,155	0,000	5,846
3	Personas Consola	2	0,100	0,200			8,465	0,000	2,846
4	Personas Proa	2	0,100	0,200			10,490	0,000	2,967

Figura 57. Pesos en *MaxSurf Stability*

Seguidamente se han creado los tanques de combustible, agua dulce y aguas grises.

	Name	Type	Intact Perm. %	Damaged Perm. %	Specific gravity	Fluid type	Boundary Surfaces	Aft m	Fore m	F.Port m	F.Stbd. m	F.Top m	F.Bott. m
1	Combustible	Tank	100	100	0,9443	Fuel Oil	none	4,400	6,900	-2,000	2,000	0,600	0,200
2	Agua Dulce	Tank	100	100	1	Fresh Water	none	3,300	4,300	-2,000	2,000	0,600	0,200
3	Aguas Grise	Tank	100	100	1,025	Water Ballas	none	7,000	7,600	-2,000	2,000	0,600	0,200

Figura 58. Tanques de combustible, agua dulce y aguas grises.

Automáticamente el programa los exporta a la tabla inicial, donde se ha puesto el Peso en Rosca y el de las personas, a demás permite variar el porcentaje de capacidad a la que se encuentran:

	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
1	Rosca + (10%)	1	10,654	10,654			5,639	0,004	1,402
2	Personas Proa	2	0,100	0,200			2,155	0,000	5,846
3	Personas Consola	2	0,100	0,200			8,465	0,000	2,846
4	Personas Proa	2	0,100	0,200			10,490	0,000	2,967
5	Combustible	100%	1,711	1,711	1,812	1,812	5,650	0,000	0,426
6	Agua Dulce	100%	0,646	0,646	0,646	0,646	3,813	0,000	0,432
7	Aguas Grises	10%	0,406	0,041	0,396	0,040	7,294	0,000	0,232
8	Total Loadcase			13,652	2,854	2,498	5,620	0,003	1,340
9	FS correction								0,006
10	VCG fluid								1,346

Figura 59. Pesos Totales en MaxSurf Stability

Una vez se han introducido todos los datos se procede con el cálculo de los diferentes requisitos.

- Upright Hydrostatics
- Large Angle Stability
- Equilibrium
- Specified Condition
- KN Values
- Limiting KG
- Floodable Length
- Longitudinal Strength
- Probabilistic Damage
- Tank Calibration
- MARPOL Oil Outflow
- Cross-Flood MSC.362(92)

Figura 60. Cálculos y Verificaciones en MaxSurf Stability

A través del cálculo del equilibrio se obtienen los ángulos de escora al desplazar la carga de la embarcación. Para la opción *Large Angel Stability* se obtienen los brazos adrizantes para los diferentes ángulos de escora, etcétera.



## Capítulo 9. Coste Económico de la Embarcación

En el presente capítulo se pretende realizar un cálculo aproximado de los costes de producción que aparecerán cuando se construya la embarcación diseñada. Para facilitar el cálculo, se ha desglosado en tres tipos de costes diferentes:

- i) Coste de los motores, objetos, utensilios, etcétera.
- ii) Coste de la estructura.
- iii) Coste de producción.

El primero de los costes nombrados se encuentra desglosado en la siguiente tabla:

Motor, Objeto o Utensilio	Precio en el Mercado (€)	Proveedor	REF.
Calentador de Agua	179,99	Amazon	-
Bombona de Gas	66,47	Amazon	-
Cafetera	33,99	Amazon	-
Microondas	86,06	Amazon	-
Bomba de Agua Dulce 1	124,65	PromoNautica	-
Bomba de Agua Dulce 2	124,65	PromoNautica	-
Frigorífico	1543,6	PromoNautica	-
WC	510	PromoNautica	-
Bomba de Achique	34	PromoNautica	-
VHF	202,3	PromoNautica	-
GPS	993,48	GPSNautico	-
Baterías (X4) ES1200	3067,6	EXIDE	ES1200
Baterías ES1600	473,9	EXIDE	ES1600
Panel Solar	99,99	Amazon	-
Controlador de Carga	16,99	Amazon	-
Volvo Penta IPS	215776,88	Volvo	IPS600
Volvo Penta IPS	215776,88	Volvo	IPS600
Extintor 51B (X2)	106,96	Amazon	34B
Extintor 34B (X2)	155,78	Amazon	51B
Botiquín	247,8	PromoNautica	-
Balde Contraincendios	15,9	PromoNautica	-
Hacha Contraincendios	27,15	PromoNautica	-
Balsa Salvavidas	1490	PromoNautica	6 Plazas
Chalecos Salvavidas (X6)	75,3	PromoNautica	-
Ancla	99,9	PromoNautica	Galvanizada
Cadena	101,25	PromoNautica	-
Molinete	1558,9	PromoNautica	-
Vajilla (platos)	52,11	PromoNautica	-
Vajilla (cuencos)	42,21	PromoNautica	-
Vajilla (vasos)	43,02	PromoNautica	-
Set de Ollas y Sartenes	45,44	Amazon	-
Cubertería (30 piezas)	50,49	PromoNautica	-
Mesa Interior	1947,3	PromoNautica	-
Mesa Bañera Popa	419	Amazon	-
Sofa	456,75	VALDENASSI	-
Escritorio	406,6	PromoNautica	-
TV	110,49	Amazon	-
Fregadero	68	Amazon	-
Horno y Cocina	631	PromoNautica	-
Silla (X6)	239,94	Amazon	-
Lavabo	68	Amazon	-
SubTotal	447.570,72		

Tabla 50. Coste motor, objetos, utensilios, etcétera.

Seguidamente se muestra el coste de la estructura desglosado, nuevamente, en la siguiente tabla:

Estructura	Precio en el Mercado (€)
<b>Laminado Chapas del Fondo</b>	
Precio Total Capas MAT450	2465,138
Precio Total Capas Roving500	3173,825
<b>Laminado Chapas del Costado</b>	
Precio Total Capas MAT450	2014,5255
Precio Total Capas Roving500	2489,922
<b>Laminado Chapas deCubierta</b>	
Precio Total Capas MAT450	1587,4245
Precio Total Capas Roving500	1889,364
<b>Laminado Suelo Interior</b>	
Precio Total Capas MAT450	825,6755
Precio Total Capas Roving500	1020,522
<b>Laminado SuperEstructura</b>	
Precio Total Capas MAT450	321,255
Precio Total Capas Roving500	382,36
<b>Espejo de Popa</b>	
Precio Total Capas MAT450	446,394
Precio Total Capas Roving500	574,725
<b>Mamparo Sala de Máquinas</b>	
Precio Total Capas MAT450	604,396
Precio Total Capas Roving500	778,15
<b>Mamparo Habitación</b>	
Precio Total Capas MAT450	345,917
Precio Total Capas Roving500	445,3625
<b>Pique de Proa</b>	
Precio Total Capas MAT450	134,225
Precio Total Capas Roving500	172,8125
Cuadernas (X7)	11,55
Quilla	27,258
Longitudinal E	13,167
Longitudinal B	13,167
Pantoque E	0,05775
Pantoque B	0,05775
Motor 1 E	70,6059
Motor 1 B	70,6059
Motor 2 E	86,4747
Motor 2 B	86,4747
<b>SubTotal</b>	<b>20.051,4122</b>
<p>Los Laminados, tanto de las chapas como el de los mamparos, se han calculado multiplicando el número total de capas de MAT y Roving por su precio en €/m<sup>2</sup> y por el área total que abarca el laminado. 2,95€/m<sup>2</sup> para el MAT y 3,95 €/m<sup>2</sup> el Roving. Fuente: MARDISUR. Productos Químicos</p> <p>Las cuadernas y los refuerzos longitudinales se han calculado mediante una aproximación, considerando un precio de 7,7 €/Kg. A excepción de los refuerzos del motor, de aluminio, cuyo precio actual en el mercado es de 1,71 €/Kg.</p>	

Tabla 51. Coste de la estructura



Considerando los valores SubTotales obtenidos en las anteriores tablas, se estima que el coste de la embarcación es de 467.621 €, a falta de sumarle los costes de producción, que variarán en función del número de unidades que se desee producir.

Para obtener el precio que cobra un astillero por hora y el tiempo que se tarda en construir una embarcación de estas características, se ha consultado a un contacto que trabaja en un astillero de Barcelona. Éste ha facilitado una serie de datos aproximados, que permiten hacer una estimación inicial del coste de producción. El astillero en cuestión cobraría aproximadamente sobre 75 €/hora y tardaría en construir una única unidad entre 8 y 10 meses en jornadas de 8 horas de trabajo. Si se considera que un mes tiene 20 días laborables, el precio de producción variaría entre los 96.000 € para 8 meses de trabajo y 120.000 € para 10 meses.

El coste total, aproximado, de la construcción de la embarcación variará entre 563.620 € y 587.620 €. Como es lógico el hecho de producir más unidades, o llegar a establecer una cadena de montaje permanente que produjese embarcaciones a ritmo constante, reduciría en gran medida los costes de fabricación.

Tras realizar este pequeño cálculo se determina que la producción de una sola unidad de esta embarcación es poco rentable. Ya que al mirar el precio de embarcaciones similares que se encuentran en el mercado, si se pretende establecer un precio competitivo, el margen de beneficios sería demasiado pequeño. Faltando evaluar otros costes administrativos, como podrían ser el pago de impuestos, gastos de certificación, etcétera.

De este capítulo se concluye que la fabricación de esta embarcación será rentable económicamente, solamente si se produce en gran cantidad.



## Conclusiones

El proyecto se ha realizado siguiendo el método de la espiral de diseño, es decir, realizando cálculos preliminares y aproximaciones para tratar de obtener resultados fiables. Evidentemente, no todos los capítulos de este proyecto han seguido este proceso, de haber sido así el diseño de la embarcación se hubiese prolongado excesivamente. Por ejemplo, para el dimensionamiento básico de la embarcación, que se abarca en el segundo capítulo, simplemente se ha tenido que conseguir una base de datos, a partir de la cual extraer una serie de regresiones lineales que permitiesen dar un dimensionamiento inicial desde el cual poder empezar a trabajar. Es cierto que la base de datos obtenida no es ni muy extensa ni muy precisa, esto se ha debido principalmente al no disponer de medios de acceso a bases de datos. Además al no ser una base de datos muy precisa, no todas las regresiones lineales han dado valores “fiables”, sobretodo aquella de la que se extrae el valor del puntal, ya que ningún fabricante comparte este dato y se ha obtenido mediante un escalado en dos dimensiones de los planos que proporcionan. Pese a todo, estos inconvenientes iniciales no suponen un gran problema, ya que se trata de un dimensionamiento básico el cual se irá modificando a lo largo del proyecto.

El tercer capítulo no ha supuesto un gran esfuerzo, ya que gracias al programa *MaxSurf* el diseño de las formas del casco ha sido ágil y sencillo. El cuarto capítulo ya ha empezado a ser algo más complicado que los dos anteriores, primero se debía entender e interpretar los valores de resistencia al avance que daba *MaxSurf Resistance* para posteriormente seleccionar correctamente el sistema propulsivo.

El capítulo donde se ha realizado el diseño estructural y se ha calculado el escantillonado, se puede afirmar con total rotundidad que ha sido el más complicado y el que más tiempo ha requerido. En éste, el método de la espiral de diseño se aplica sucesivamente hasta encontrar una aproximación lo suficientemente precisa. En este capítulo se han ido cambiando y estudiando todas las variables posibles, desde las propiedades mecánicas de los tejidos que se utilizan en el laminado, hasta los diferentes perfiles de los refuerzos del casco. Finalmente, siguiendo la normativa se ha conseguido una aproximación fiable.

A continuación, en el séptimo capítulo se han estudiado los equipos que se obligan a llevar a bordo de una embarcación, también se ha diseñado el sistema eléctrico ya que se consideró que el peso de los bancos de baterías, sí afectaría en gran medida al cálculo de pesos y consecuentemente a la estabilidad de la embarcación. El cálculo y distribución de los diferentes pesos ha supuesto un verdadero rompecabezas, ya que todos aquellos elementos, que no pertenecían a la estructura de la embarcación, como sofás, frigoríficos, cocinas, inodoros, etcétera, han tenido que ser colocados de tal forma que, al sumar todos los elementos su centro de gravedad no se desplazase demasiado hacia un lado de la línea de crujía, provocando una escora permanente. Tras darle vueltas, se logró conseguir que el centro de gravedad de la embarcación estuviese en la línea de crujía. Finalmente, se comprobó que la embarcación diseñada cumpliera con todos los criterios de estabilidad.



## Referencias Bibliográficas

### Normativas

UNE-EN ISO 8666 Junio de 2019. *Pequeñas Embarcaciones Datos Principales*.

UNE-EN ISO 12215 Febrero de 2019. *Pequeñas Embarcaciones. Construcción de cascos y escantillones*.

UNE-EN ISO 12217 Diciembre de 2017. *Pequeñas Embarcaciones. Evaluación y Clasificación de la Estabilidad y Flotabilidad*.

### Referencias Académicas

“Principles of Yacht Design” Segunda edición. Lars Larson y Rolf E Eliasson.

Apuntes de la asignatura “Inspección técnica de embarcaciones de recreo”. Dr. Jordi Torralbo.

“Materiales compuestos. Proceso de fabricación de embarcaciones”. Dr. Alejandro Besednjak.

Apuntes de la asignatura “Teoría del Buque”. Dr. Inma Ortigosa.

“Proyecto del Buque y artefactos navales”. Dr. Julio García y Dr. José Enrique Gutiérrez.

“Máquinas eléctricas”. Dr. Pau casals.

Volvo Penta



## Anexos

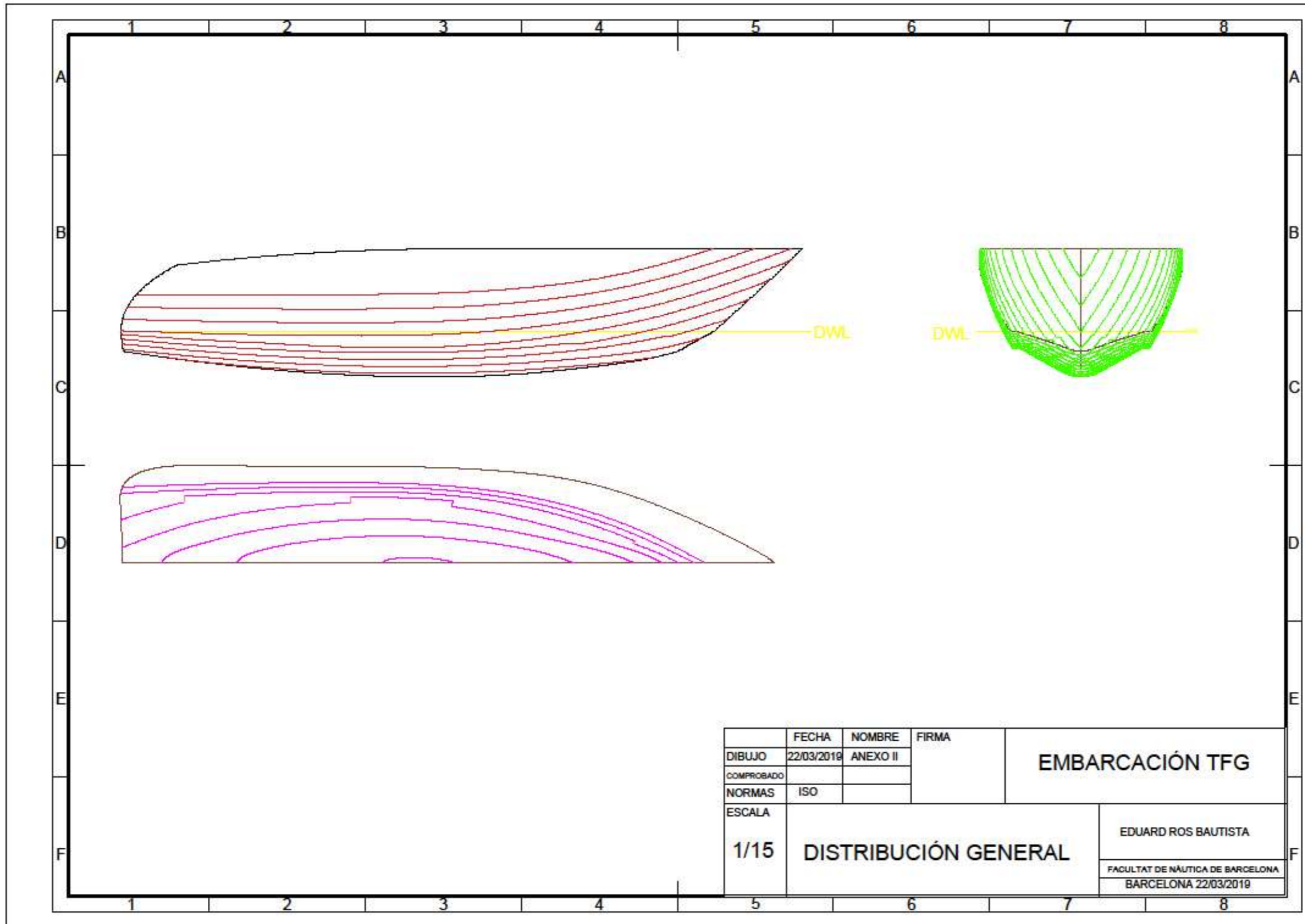
Las tablas, figuras e ilustraciones que se muestran a continuación no se incluyen en las listas que aparecen al inicio de la memoria, ya que de ésta manera se pretende, facilitar la distinción entre el proyecto y los anexos, así como la comprensión del documento.

### Anexo I. Base de Datos

Marca y Modelo	L (m)	B (m)	T (m)	# Motors Cv	V Crucero (kn)	VMáx (kn)	$\Delta$ (kg)	Lwl (m)	Bwl (m)	T. A. D. (L)	T. C. (L)	Autonomía (mn)	Puntal (m)
Jeanneau Leader 46	14,3	4,1	1,1	2x370	-	-	10600	12,67	4,1	400	900	-	2,57
Azimut Atlantis 43	13,86	4,25	1,1	2x400	30	35	13300	13,12	4,25	350	900	-	-
Azimut Magellano 43	13,35	4,4	1,2	2x355	17	22	17800	12,96	4,4	600	1680	-	-
Azimut Verve 40	12,97	3,89	0,97	3x350	34	41	11900	12,56	3,89	250	1800	-	-
Beneteau Swift Trawler 47	14,74	4,42	1,15	2x425	-	-	12685	12,77	4,42	640	1930	-	2,03
Beneteau Gran Turismo 46	14,78	4,2	1,11	2x400	-	-	10061	13,5	4,2	400	900	-	2,66
Beneteau Monte Carlo 5	15,1	4,27	1,27	2x435	-	-	14238	13,25	4,27	600	1300	-	2,79
Sunseeker San Remo	15,74	4,3	1,3	2x435	-	30	16566	12	-	322	1320	300	2,1
Sunseeker Potofino 40	12,9	3,87	1,06		-	34	10500	9,87	-	295	750	225	2,12
Princess Yachts V Class 40	12,98	3,81	1,02	2x330	-	36-38	10145	12,65	3,81	322	730	-	2,7
Princess Yachts F Class 45	14,35	4,25	1,09	2x435	-	29-31	16779	13,64	4,25	487	1300	-	-
Princess Yachts F Class 49	15,55	4,34	1,25	2x550	-	33-35	19200	15,3	4,34	460	1850	-	-

## Anexo II. Plano de Formas





	FECHA	NOMBRE	FIRMA	<b>EMBARCACIÓN TFG</b>
DIBUJO	22/03/2019	ANEXO II		
COMPROBADO				
NORMAS	ISO			
ESCALA	<b>DISTRIBUCIÓN GENERAL</b>		EDUARD ROS BAUTISTA	
1/15			FACULTAT DE NÀUTICA DE BARCELONA BARCELONA 22/03/2019	

### **Anexo III. Datos de los Motores**

Los siguientes enlaces web, corresponden a los documentos proporcionados por el fabricante de motores Volvo Penta, en ellos se pueden encontrar todas las especificaciones de estos. Los enlaces aquí expuestos han sido consultados entre enero de 2019 y setiembre del mismo año.

[http://muldermotoren.nl/volvopentadvd/marine/drawings/3819006\\_01.pdf](http://muldermotoren.nl/volvopentadvd/marine/drawings/3819006_01.pdf)

[http://muldermotoren.nl/volvopentadvd/marine/installation\\_documents/47702053.pdf](http://muldermotoren.nl/volvopentadvd/marine/installation_documents/47702053.pdf)

[http://muldermotoren.nl/volvopentadvd/marine/installation\\_documents/47700896.pdf](http://muldermotoren.nl/volvopentadvd/marine/installation_documents/47700896.pdf)

[http://muldermotoren.nl/volvopentadvd/marine/installation\\_documents/47700897.pdf](http://muldermotoren.nl/volvopentadvd/marine/installation_documents/47700897.pdf)

[http://muldermotoren.nl/volvopentadvd/marine/installation\\_documents/47700596.pdf](http://muldermotoren.nl/volvopentadvd/marine/installation_documents/47700596.pdf)

[http://muldermotoren.nl/volvopentadvd/marine/installation\\_documents/47700597.pdf](http://muldermotoren.nl/volvopentadvd/marine/installation_documents/47700597.pdf)

[http://muldermotoren.nl/volvopentadvd/marine/productpage/ips600/f\\_ips\\_600.html](http://muldermotoren.nl/volvopentadvd/marine/productpage/ips600/f_ips_600.html)

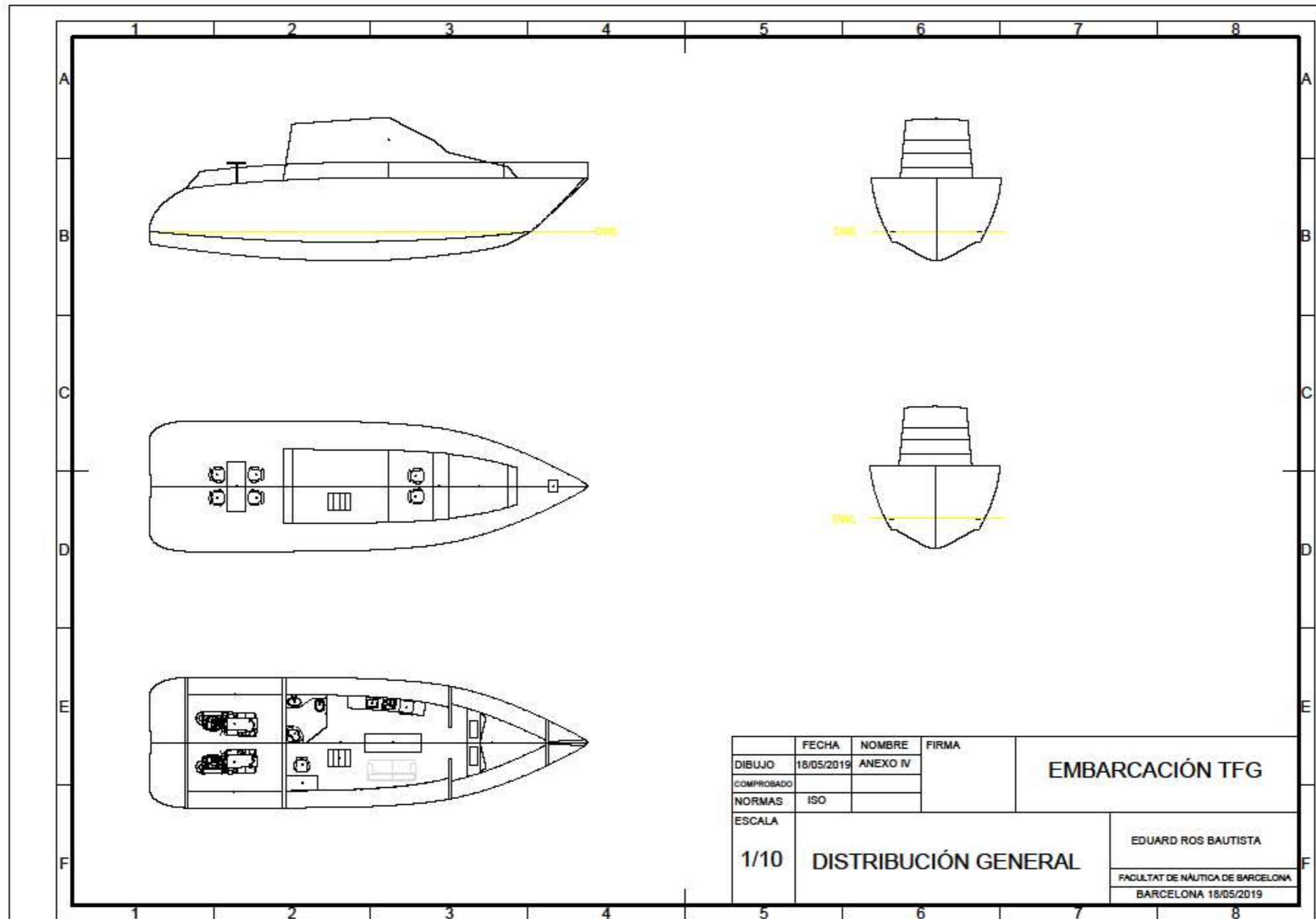
[http://muldermotoren.nl/volvopentadvd/marine/techspec/ips600\\_21954806.01.pdf](http://muldermotoren.nl/volvopentadvd/marine/techspec/ips600_21954806.01.pdf)

[http://muldermotoren.nl/volvopentadvd/marine/drawings/3591304\\_06.pdf](http://muldermotoren.nl/volvopentadvd/marine/drawings/3591304_06.pdf)

[http://muldermotoren.nl/volvopentadvd/marine/drawings/21357149\\_01.pdf](http://muldermotoren.nl/volvopentadvd/marine/drawings/21357149_01.pdf)

[http://muldermotoren.nl/volvopentadvd/marine/prodbull/ips\\_350-400-450-500-600.pdf](http://muldermotoren.nl/volvopentadvd/marine/prodbull/ips_350-400-450-500-600.pdf)

## Anexo IV. Plano de la Distribución General



Anexo V. Escantillonado

ISO 12215-5 7. Factores de Ajuste de la Presión

7.2 Factor Koc	
Categoría de Diseño C	0,6

7.3 Factor de Carga dinámica	
7.3.2 Emb. Planeadoras a motor	

Distancia donde estudiaremos: 0'4Lw. de popa a proa  
4,8652

Coincide aproximadamente con la cuaderna 7 a 4,885. Se estudiará en esa cuaderna

Se mide la distancia entre wl, para comprobar que la proporción de 1:1 al pasarse de Maxsurf a AutoCad se ha conservado, distancia entre wl coincide de 0'1 m

Bc/2	1,4253 m
Bc	2,8506 m

β <sub>0,4</sub>	22 °
------------------	------

V	30 kn	No inferior a	8,23061631 kn	ISO 12215-5 3.8
mLDC	20000 KG			

Estas mediciones se realizan conforme la ISO 12215-5 apartado 6.1

η <sub>CG</sub>	1,1005473
-----------------	-----------

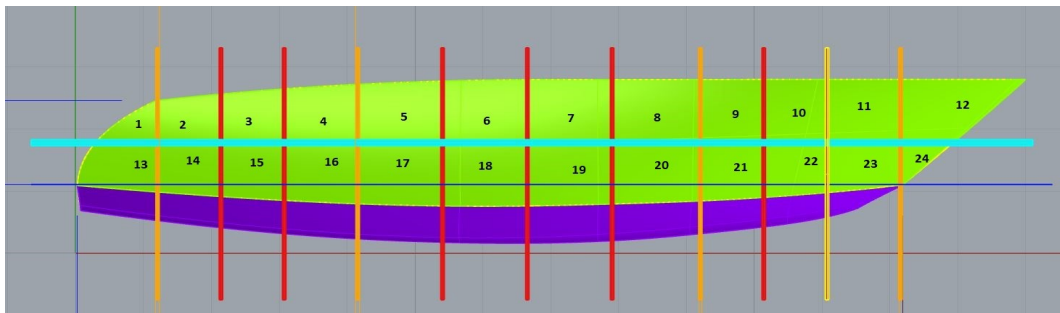
Si fuese un valor superior a 3 se repetiría el cálculo con la siguiente formula

η <sub>CG</sub>	2,78558336
-----------------	------------

PDM BASE	18,85705 kN/m <sup>2</sup>
PBMP BASE	108,571823 kN/m <sup>2</sup>
PBMD MIN	18,3862493 kN/m <sup>2</sup>

**Escantillonado en los Paneles del Costado**

Paneles Costado		Datos sobre las dimensiones de los Paneles										
E	B	AD, Area de Diseño (m <sup>2</sup> )		x (m)	b (m)	Z(m)	h (m)	l (m)	ηCG	Categoria de Diseño C (KDC)	mLDC	x/LWL
1	1	0,32	0,32	0,85084	0,62643	1,17926	0,94469	0,8406	1,45752924	0,6	20000	0,06995314
2	2	0,63	0,63	1,65782	0,73079	1,41086	1,06435	0,88333	1,45752924	0,6	20000	0,13630025
3	3	0,71	0,71	2,58854	0,81488	1,50412	1,11102	0,88332	1,45752924	0,6	20000	0,21282085
4	4	0,91	0,91	3,59649	0,88863	1,58292	1,15039	1,03333	1,45752924	0,6	20000	0,29569103
5	5	1,13	1,13	4,76183	0,94217	1,64644	1,18216	1,2	1,45752924	0,6	20000	0,39150127
6	6	1,17	1,17	6,00906	0,96554	1,6838	1,20051	1,2	1,45752924	0,6	20000	0,49404423
7	7	1,19	1,19	7,25769	0,96792	1,69358	1,2051	1,2	1,45752924	0,6	20000	0,59670229
8	8	1,27	1,27	8,53428	0,96803	1,69376	1,20389	1,25	1,45752924	0,6	20000	0,70165913
9	9	0,93	0,93	9,65044	0,96811	1,69385	1,20217	0,88333	1,45752924	0,6	20000	0,79342596
10	10	0,96	0,96	11,08947	0,96818	1,69393	1,2013	0,88333	1,45752924	0,6	20000	0,91173806
11	11	1,18	1,18	11,5946	0,96827	1,69401	1,20034	1,03333	1,45752924	0,6	20000	0,95326811
12	12	1,64	1,64	12,86443	0,96828	1,69412	1,26441	0,80498	1,45752924	0,6	20000	1,05766916
13	13	0,88	0,88	0,62417	0,74369	1,17926	0,26048	0,92795	1,45752924	0,6	20000	0,05131711
14	14	0,79	0,79	1,65351	0,81701	1,41086	0,22725	0,88333	1,45752924	0,6	20000	0,1359459
15	15	0,85	0,85	2,5857	0,87981	1,50412	0,19294	0,88332	1,45752924	0,6	20000	0,21258736
16	16	1,05	1,05	3,59395	0,93455	1,58292	0,16303	1,03333	1,45752924	0,6	20000	0,2954822
17	17	1,27	1,27	4,75949	0,96942	1,64644	0,14055	1,2	1,45752924	0,6	20000	0,39130889
18	18	1,29	1,29	6,00688	0,97021	1,6838	0,13183	1,2	1,45752924	0,6	20000	0,493865
19	19	1,28	1,28	7,25527	0,93949	1,69358	0,14032	1,2	1,45752924	0,6	20000	0,59650333
20	20	1,32	1,32	8,53076	0,89113	1,69376	0,16056	1,25	1,45752924	0,6	20000	0,70136973
21	21	0,92	0,92	9,62755	0,83508	1,69385	0,18714	0,88333	1,45752924	0,6	20000	0,79154403
22	22	0,88	0,88	10,57691	0,75428	1,69393	0,22249	0,88333	1,45752924	0,6	20000	0,86959714
23	23	0,93	0,93	11,5783	0,63824	1,69401	0,27406	1,03333	1,45752924	0,6	20000	0,95192798
24	24	0,3	0,3	12,39518	0,63189	1,69412	0,41361	0,69711	1,45752924	0,6	20000	1,01908904



Paneles Costado		7 Factores de Ajuste de la Presión				
E	B	K <sub>L</sub>	K <sub>R</sub>	K <sub>AR</sub>	K <sub>Z</sub>	K <sub>SUP</sub>
1	1	0,26411827	1	0,621741	0,19891288	-
2	2	0,35623019	1	0,50740219	0,24560197	-
3	3	0,46246628	1	0,48952739	0,26134883	-
4	4	0,57751771	1	0,45440393	0,27324817	-
5	5	0,71053427	1	0,42582481	0,28199023	-
6	6	0,85289808	1	0,42140408	0,2870234	-
7	7	0,99542168	1	0,41926674	0,28843043	-
8	8	1	1	0,41116239	0,28922043	-
9	9	1	1	0,45144996	0,29027364	-
10	10	1	1	0,44717048	0,29082075	-
11	11	1	1	0,42032953	0,29142095	-
12	12	1	1	0,38080386	0,25364791	-
13	13	0,23824525	1	0,45899684	0,77911572	-
14	14	0,35573823	1	0,47409609	0,83892803	-
15	15	0,46214211	1	0,46379795	0,87172566	-
16	16	0,57722779	1	0,43530906	0,8970068	-
17	17	0,71026717	1	0,41116239	0,914634	-
18	18	0,85264924	1	0,40923954	0,92170685	-
19	19	0,99514546	1	0,41019608	0,91714593	-
20	20	1	1	0,40642678	0,90520499	-
21	21	1	1	0,45291651	0,88951796	-
22	22	1	1	0,45899684	0,86865455	-
23	23	1	1	0,45144996	0,83821819	-
24	24	1	1	0,63389616	0,19891288	-

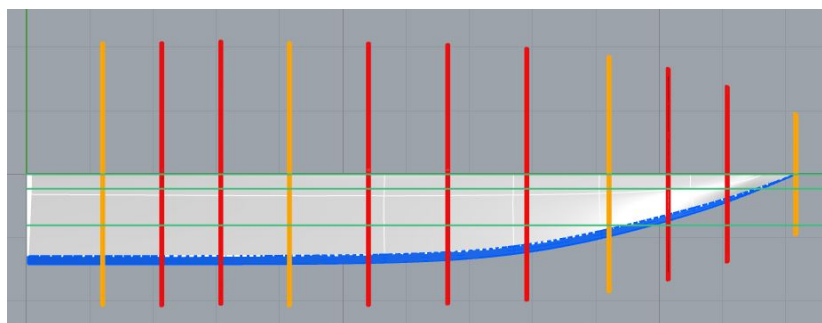
Paneles Costado		8 Presiones de Diseño			
E	B	PBMP	PSMP	PDM	PSUP M
1	1	-	2,02033637	-	-
2	2	-	2,26577121	-	-
3	3	-	2,85557732	-	-
4	4	-	3,32564852	-	-
5	5	-	3,8474398	-	-
6	6	-	4,5793672	-	-
7	7	-	5,32041452	-	-
8	8	-	5,24318432	-	-
9	9	-	5,75929922	-	-
10	10	-	5,70592087	-	-
11	11	-	5,36468292	-	-
12	12	-	4,78870405	-	-
13	13	-	1,66082588	-	-
14	14	-	2,6116078	-	-
15	15	-	3,35401162	-	-
16	16	-	3,96350568	-	-
17	17	-	4,63207741	-	-
18	18	-	5,5469008	-	-
19	19	-	6,47978438	-	-
20	20	-	6,42743344	-	-
21	21	-	7,12732251	-	-
22	22	-	7,17539704	-	-
23	23	-	6,98910681	-	-
24	24	-	7,79890901	-	-

Paneles Costado		10 Escantillado							
E	B	l/b	K2	Kc	KSHC	Fd	Md	t	w
1	1	1,34188976	0,42285722	1	0,5	0,0009543	0,12706544	1,82459521	1,22228824
2	2	1,20873301	0,38701848	1	0,5	0,00120579	0,16555719	2,15651129	1,44463735
3	3	1,08398783	0,34337025	1	0,463	0,00146892	0,20171199	2,54277081	1,70339088
4	4	1,16283493	0,37218508	1	0,463	0,00177134	0,27299637	3,11547225	2,08704104
5	5	1,2736555	0,40575814	1	0,39082242	0,00177757	0,36359924	3,70965971	2,48508458
6	6	1,24282785	0,39717518	1	0,38565828	0,00212019	0,43686828	4,10345167	2,74888407
7	7	1,23977188	0,39629375	1	0,38513703	0,00246936	0,51031724	4,42900402	2,96697014
8	8	1,29128229	0,41041969	1	0,39369833	0,00248511	0,51979046	4,47492474	2,99773223
9	9	0,91242731	0,26445745	1	0,31956924	0,00221259	0,36685006	3,76506687	2,52220159
10	10	0,91236134	0,26442252	1	0,31955408	0,00219039	0,36287623	3,74760205	2,51050199
11	11	1,067192	0,33665623	1	0,35297276	0,00227295	0,43368126	4,10059709	2,7469718
12	12	0,83135044	0,21876763	1	0,30034915	0,00181858	0,27913114	3,12310625	2,09215502
13	13	1,24776453	0,39858727	1	0,38649676	0,0001672	0,00748562	1,90678167	1,27734458
14	14	1,08117404	0,34225999	1	0,35577821	0,00021115	0,00769313	2,43413513	1,63061632
15	15	1,0039895	0,30947463	1	0,33985232	0,00021993	0,0064397	2,8246781	1,89223933
16	16	1,10569793	0,35174253	1	0,36061387	0,00023302	0,00617548	3,47728263	2,3294162
17	17	1,23785356	0,39573758	1	0,38480897	0,00025053	0,00603498	4,13607866	2,77074074
18	18	1,23684563	0,39544446	1	0,38463634	0,00028126	0,00635325	4,52813075	3,0333747
19	19	1,27728874	0,40673338	1	0,39141978	0,0003559	0,0086485	4,8063192	3,2197319
20	20	1,40271341	0,4360708	1	0,41058464	0,00042372	0,01204206	4,70136131	3,14942108
21	21	1,0577789	0,33280151	1	0,35106423	0,00046825	0,01384447	4,05293088	2,71504041
22	22	1,17109031	0,37495452	1	0,37297886	0,00059544	0,02219611	3,89879249	2,61178379
23	23	1,61903046	0,47025757	1	0,43698463	0,00083702	0,0411415	3,64626326	2,44261558
24	24	1,10321417	0,35080195	1	0,36012905	0,00116167	0,07800264	2,15587822	1,44421325



**Escantillonado de los Paneles del Fondo**

Paneles Fondo		Datos sobre las dimensiones de los Paneles								
E	B	AD, Area de Diseño (m <sup>2</sup> )		x (m)	b (m)	l (m)	ηCG	Categoria de Diseño C (KDC)	mLDC	x/LWL
1	1	0,09	0,09	0,2797	0,23	0,40237	1,45752924	0,6	20000	0
2	2	0,26	0,26	0,60133	0,23	1,11051	1,45752924	0,6	20000	0
3	3	0,21	0,21	1,64722	0,23	0,88333	1,45752924	0,6	20000	0
4	4	0,21	0,21	3,26327	0,23	0,88333	1,45752924	0,6	20000	0
5	5	0,24	0,24	3,58879	0,23	1,03333	1,45752924	0,6	20000	0
6	6	0,29	0,29	4,78062	0,23	1,2	1,45752924	0,6	20000	0
7	7	0,28	0,28	6,00641	0,23	1,2	1,45752924	0,6	20000	0
8	8	0,28	0,28	7,25793	0,23	1,2	1,45752924	0,6	20000	0
9	9	0,3	0,3	8,53336	0,23	1,25	1,45752924	0,6	20000	0
10	10	0,22	0,22	9,64997	0,23	0,8833	1,45752924	0,6	20000	0
11	11	0,24	0,24	10,59226	0,23	0,88333	1,45752924	0,6	20000	0
12	12	0,27	0,27	11,48049	0,23	1,03333	1,45752924	0,6	20000	0
13	13	0,15	0,15	0,1888	0,575	0,35558	1,45752924	0,6	20000	0
14	14	0,69	0,69	0,60133	0,575	1,11051	1,45752924	0,6	20000	0
15	15	0,55	0,55	1,64722	0,575	0,88333	1,45752924	0,6	20000	0
16	16	0,56	0,56	3,26327	0,575	0,88333	1,45752924	0,6	20000	0
17	17	0,66	0,66	3,58879	0,575	1,03333	1,45752924	0,6	20000	0
18	18	0,77	0,77	4,78062	0,575	1,2	1,45752924	0,6	20000	0
19	19	0,78	0,78	6,00714	0,575	1,2	1,45752924	0,6	20000	0
20	20	0,79	0,79	7,22416	0,575	1,2	1,45752924	0,6	20000	0
21	21	0,85	0,85	8,536	0,575	1,25	1,45752924	0,6	20000	0
22	22	0,58	0,58	9,59402	0,41044	0,8833	1,45752924	0,6	20000	0
23	23	0,37	0,37	10,5331	0,15331	0,88333	1,45752924	0,6	20000	0
24	24	0,06	0,06	11,21839	0,1347	0,42778	1,45752924	0,6	20000	0
25	25	0,04	0,04	0,0666	0,48224	0,50498	1,45752924	0,6	20000	0
26	26	0,59	0,59	0,60133	0,48224	1,11051	1,45752924	0,6	20000	0
27	27	0,46	0,46	1,64722	0,48224	0,88333	1,45752924	0,6	20000	0
28	28	0,47	0,47	3,26327	0,48224	0,88333	1,45752924	0,6	20000	0
29	29	0,56	0,56	3,58879	0,48224	1,03333	1,45752924	0,6	20000	0
30	30	0,64	0,64	4,78062	0,48224	1,2	1,45752924	0,6	20000	0
31	31	0,62	0,62	5,99767	0,41746	1,2	1,45752924	0,6	20000	0
32	32	0,52	0,52	7,22682	0,29507	1,2	1,45752924	0,6	20000	0
33	33	0,29	0,29	8,40674	0,06447	1,25	1,45752924	0,6	20000	0
34	34	0,01	0,01	9,27921	0,05105	0,21868	1,45752924	0,6	2000	0



Paneles Fondo		PBMP
E	B	
1	1	19,6467399
2	2	16,9287635
3	3	27,1931105
4	4	41,3221808
5	5	42,4338102
6	6	49,5502809
7	7	59,905571
8	8	69,9428262
9	9	68,8232474
10	10	75,5343912
11	11	73,5881974
12	12	71,0333682
13	13	15,9761299
14	14	12,6317207
15	15	20,3711651
16	16	30,7887895
17	17	31,326525
18	18	36,9673486
19	19	44,0583961
20	20	51,0408022
21	21	50,3553779
22	22	56,4732965
23	23	64,6265571
24	24	111,53885
25	25	21,9939244
26	26	13,2391968
27	27	21,4930143
28	28	32,4503709
29	29	32,9093265
30	30	39,0761284
31	31	47,1398994
32	32	57,8812065
33	33	69,5267835
34	34	135,167268

Diseño de una Embarcación de Recreo de 14 metros de eslora

Paneles Fondo		10 Escantillado							
E	B	l/b	K2	Kc	KSHC	Fd	Md	t	w
1	1	1,74943478	0,48328463	1	0,5	0	0	2,23336568	1,49612176
2	2	4,82830435	0,43872387	1	0,5	0	0	1,97524673	1,32320902
3	3	3,84056522	0,46568367	1	0,463	0	0	2,57921798	1,72780668
4	4	3,84056522	0,46568367	1	0,463	0	0	3,17943697	2,12989072
5	5	4,49273913	0,44732645	1	-0,01148422	0	0	3,1577766	2,11538054
6	6	5,2173913	0,42951515	1	-0,35925331	0	0	3,34368535	2,23991998
7	7	5,2173913	0,42951515	1	-0,35925331	0	0	3,67651166	2,46287885
8	8	5,2173913	0,42951515	1	-0,35925331	0	0	3,97259169	2,66122155
9	9	5,43478261	0,42471776	1	-0,48201323	0	0	3,91859963	2,62505251
10	10	3,84043478	0,46568751	1	0,22072677	0	0	4,29865671	2,87965106
11	11	3,84056522	0,46568367	1	0,22068799	0	0	4,24289892	2,84229916
12	12	4,49273913	0,44732645	1	-0,01148422	0	0	4,08560703	2,73693002
13	13	0,6184	0,07298032	1	0,24423193	0	0	1,95655376	1,31068668
14	14	1,93132174	0,49465739	1	0,46024044	0	0	4,52935767	3,03419661
15	15	1,53622609	0,45927352	1	0,42787393	0	0	5,5423857	3,71281959
16	16	1,53622609	0,45927352	1	0,42787393	0	0	6,81373311	4,56448958
17	17	1,79709565	0,48694269	1	0,45239594	0	0	7,0769829	4,74083944
18	18	2,08695652	0,49977349	1	0,46527599	0	0	7,7884111	5,21742204
19	19	2,08695652	0,49977349	1	0,46527599	0	0	8,5026452	5,69588429
20	20	2,08695652	0,49977349	1	0,46527599	0	0	9,15163017	6,13063645
21	21	2,17391304	0,50125038	1	0,46619093	0	0	9,10339521	6,09832406
22	22	2,15208069	0,5009591	1	0,46608918	0	0	6,87951224	4,60855473
23	23	5,76172461	0,41794664	1	-0,68265285	0	0	2,51085525	1,6820108
24	24	3,17579807	0,48543139	1	0,37855204	0	0	3,12341629	2,09236271
25	25	1,04715494	0,32837066	1	0,34889103	0	0	4,08396517	2,73583015
26	26	2,30281603	0,50203518	1	0,46504297	0	0	3,91783723	2,62454178
27	27	1,83172279	0,48927857	1	0,45473003	0	0	4,92805172	3,30127998
28	28	1,83172279	0,48927857	1	0,45473003	0	0	6,05531062	4,05642572
29	29	2,14277123	0,50081931	1	0,4660197	0	0	6,16947949	4,13290694
30	30	2,48838752	0,5009433	1	0,45813816	0	0	6,72354858	4,50407536
31	31	2,8745269	0,49357113	1	0,42390216	0	0	6,34555095	4,25085643
32	32	4,0668316	0,45909766	1	0,14881092	0	0	4,7932673	3,2109885
33	33	19,388863	0,32048237	1	-26,1593089	0	0	0,95900545	0,6424335
34	34	4,28364349	0,4529923	1	0,0712914	0	0	1,25881581	0,84327513

### Escantillonado en los Paneles de Cubierta

Paneles Cubierta		Datos sobre las dimensiones de los Paneles								
E	B	AD, Area de Diseño (m <sup>2</sup> )		x (m)	b (m)	l (m)	ηCG	Categoría de Diseño C (KDC)	mLDC	x/LWL
1	1	1,85	1,85	2,33006	0,88333	2,08221	1,45752924	0,6	20000	0,191569514
2	2	1,85	1,85	3,26341	0,88333	2,08194	1,45752924	0,6	20000	0,268306339
3	3	2,16	2,16	4,23516	1,03411	2,08035	1,45752924	0,6	20000	0,34820028
4	4	2,5	2,5	5,40145	1,2	2,07403	1,45752924	0,6	20000	0,444088629
5	5	2,48	2,48	6,68754	1,2	2,05316	1,45752924	0,6	20000	0,549826523
6	6	2,43	2,43	7,93572	1,25	1,9943	1,45752924	0,6	20000	0,652447587
7	7	2,42	2,42	9,20689	0,88332	1,86529	1,45752924	0,6	20000	0,75695881
8	8	1,57	1,57	10,2838	0,87929	1,6827	1,45752924	0,6	20000	0,845498643
9	9	1,36	1,36	11,25081	1,08333	1,40317	1,45752924	0,6	20000	0,925002878
10	10	1,23	1,23	12,24215	1,08333	0,97589	1,45752924	0,6	20000	1,006507441
11	11	0,93	0,93	13,47229	1,81617	2,05148	1,45752924	0,6	20000	1,107645318
12		16,21		0,50753	1,79219	4,1642	1,45752924	0,6	20000	0,04172737

Paneles Cubierta		7 Factores de Ajuste de la Presión				
E	B	KL	KR	KAR	KZ	KSUP
1	1	0,43296234	1	0,36728482		
2	2	0,53949863	1	0,36728482		
3	3	0,65041805	1	0,35060522		
4	4	0,78354305	1	0,33556179		1
5	5	0,93034249	1	0,33637135		1
6	6	1	1	0,33843293		1
7	7	1	1	0,33885187		1
8	8	1	1	0,38581988		
9	9	1	1	0,40280312		
10	10	1	1	0,4151289		
11	11	1	1	0,45144996		
12		0,224931499		0,191522409		

Paneles Cubierta		8 Presiones de Diseño	
E	B	PDM	PSUP M
1	1	5	
2	2	5	
3	3	5	
4	4		5
5	5		5
6	6		5
7	7		5
8	8	5	
9	9	5	
10	10	5	
11	11	5,10780863	
12		5	

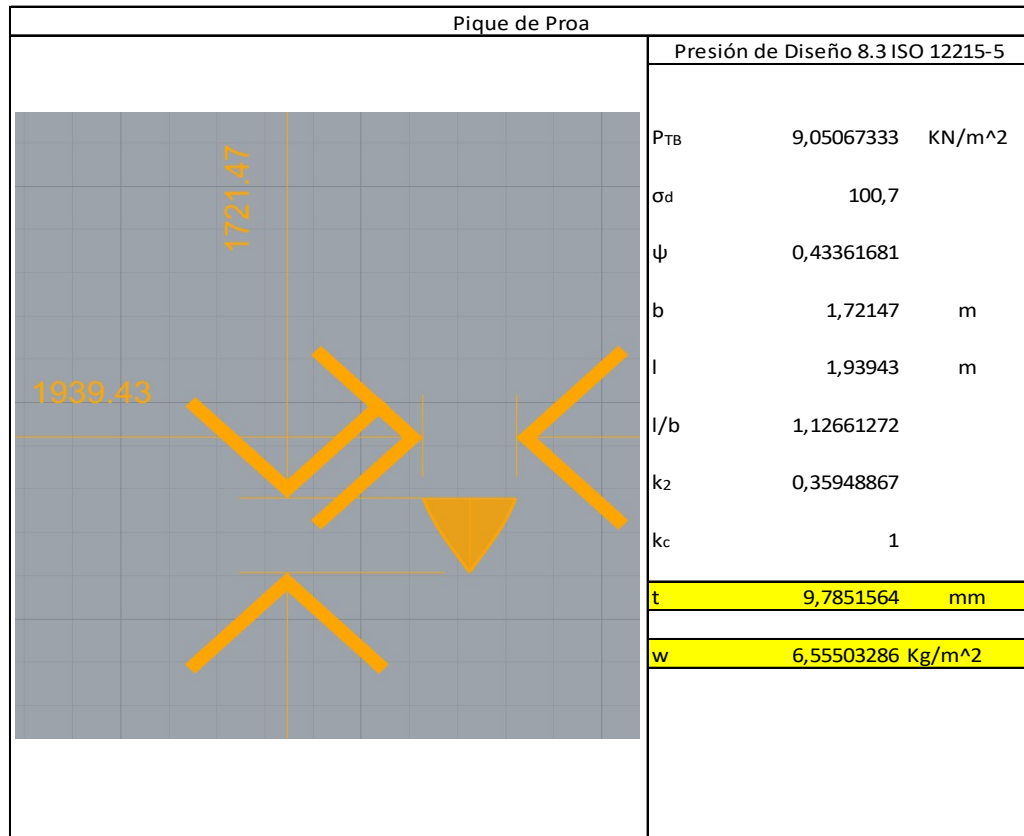
Paneles Cubierta		10 Escantillonado							
E	B	l/b		Kc	KSHC	Fd	Md	t	w
1	1	2,35722776	0,50195142	1	0,5	0	0	4,2871751	2,87195958
2	2	2,3569221	0,50195249	1	0,5	0	0	4,28717968	2,87196265
3	3	2,00561836	0,49754271	1	0,463	0	0	4,9968846	3,34739082
4	4	1,71096667	0,47992713	1	0,463	0	0	5,6949025	3,81498992
5	5	1,66191667	0,4750733	1	0,44121814	0	0	5,66603112	3,79564911
6	6	1,492232	0,45243439	1	0,42253134	0	0	5,75977094	3,858445
7	7	1,90497215	0,49341427	1	0,45895633	0	0	4,25051265	2,84739957
8	8	1,59579888	0,46740934	1	0,43455309	0	0	4,11811268	2,75870542
9	9	0,90082431	0,25825875	1	0,31689118	0	0	3,77142686	2,52646212
10	10	1,89367967	0,49284354	1	0,45836775	0	0	5,20993974	3,49011552
11	11	1,12956386	0,36055688	1	0,36521586	0	0	7,55080218	5,05824888
12		2,323525965		1	0,46457967	0	0	8,69893282	5,8273765

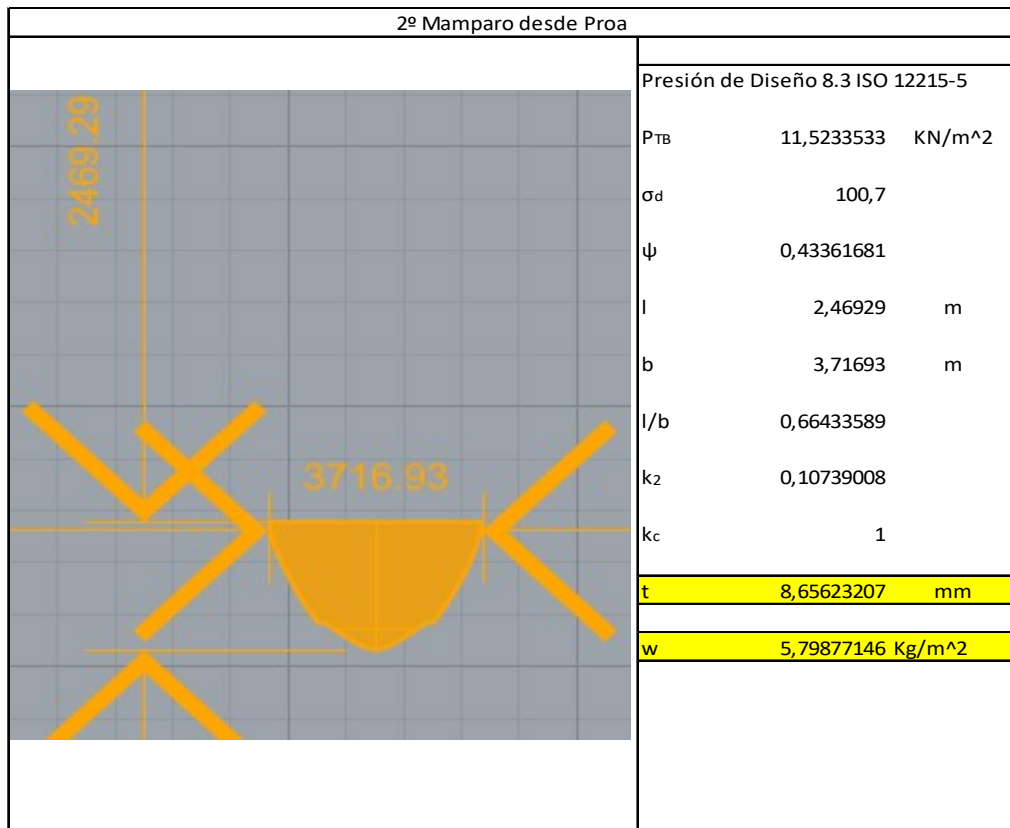
### Escantillonado de los Paneles del Suelo

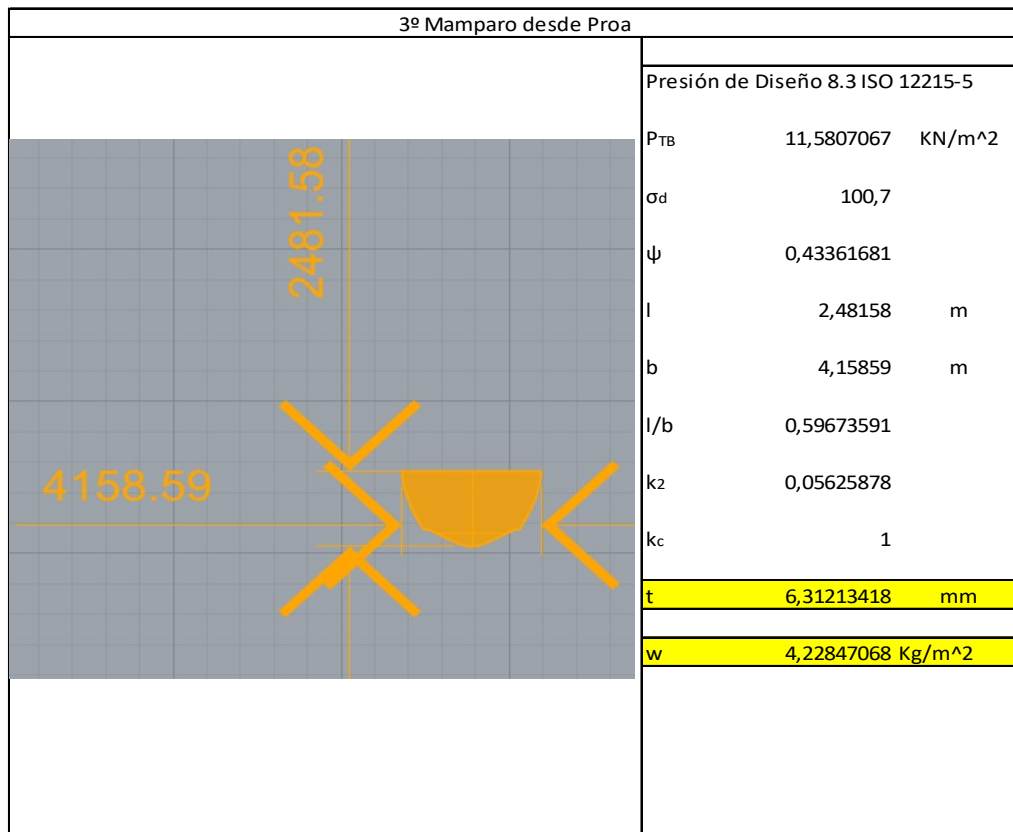
Datos sobre las dimensiones de los Paneles							
Paneles	AD, Area de Diseño (m <sup>2</sup> )	b (m)	l (m)	ηCG	Categoría de Diseño C (KDC)	mLDC	x/LWL
1	2,29781662	0,8833	2,6014	1,45752924	0,6	20000	0
2	2,297894662	0,88333	2,6014	1,45752924	0,6	20000	0
3	2,68815669	1,03335	2,6014	1,45752924	0,6	20000	0
4	3,12168	1,2	2,6014	1,45752924	0,6	20000	0
5	3,12168	1,2	2,6014	1,45752924	0,6	20000	0
6	2,92152	1,2	2,4346	1,45752924	0,6	20000	0
7	2,7216875	1,25	2,1201	1,45752924	0,6	20000	0
8	1,531252555	0,88333	1,5469	1,45752924	0,6	20000	0
9	0,680826598	0,88333	1,0399	1,45752924	0,6	20000	0
10	0,14616624	0,5828	0,5016	1,45752924	0,6	20000	0

Paneles	KL	KR	KAR	P	l/b	K2	KSHC	t	w
1	0,167	1	0,44172756	10	2,94509227	0,491782018	0,5	6,172766051	4,45487281
2	0,167	1	0,35879427	10	2,94499225	0,491784617	0,5	6,172992011	4,45503588
3	0,167	1	0,31770066	10	2,51744327	0,500588507	0,463	7,285731222	5,25809752
4	0,167	1	0,29143151	10	2,16783333	0,501174325	0,463	8,465661864	6,10965109
5	0,167	1	0,27256086	10	2,16783333	0,501174325	0,46617121	8,465661864	6,10965109
6	0,167	1	0,25805313	10	2,02883333	0,498271787	0,46390551	8,441111194	6,09193346
7	0,167	1	0,24639114	10	1,69608	0,478524189	0,44435366	8,61682406	6,21874454
8	1	1	0,23671594	10	1,75121416	0,483430913	0,44897079	6,120338663	4,41703607
9	1	1	0,22849765	10	1,17724973	0,37699143	0,37410387	5,40472976	3,90058256
10	1	1	0,22138822	10	0,86067261	0,235933467	0,30743685	2,82097724	2,03589358

**Escantillado de los Mamparos**









Espejo de Popa	
	Presión de Diseño 8.3 ISO 12215-5
	$P_{TB}$ 8,83213333 KN/m <sup>2</sup>
	$\sigma_d$ 100,7
	$\psi$ 0,43361681
	$l$ 1,8926 m
	$b$ 2,86444 m
	$l/b$ 0,66072251
	$k_2$ 0,10473755
	$k_c$ 1
	$t$ 5,73625067 mm
	$w$ 3,84268887 Kg/m <sup>2</sup>

Escantillado de las Cuadernas

Escantillado en la Cuaderna Maestra						
11.4.1						
Tabla 16 ISO 12215-5	c/l	0,05347565	Kcs	0,92353036		1
Tabla 17 ISO 12215-5	KSA	5				
	PCOSTADO	5,045733				
	P FONDO	31,648406				
	s	1300	9.2.1 ISO			
	lu	2045,23	1378,24			
Roving/MAT	MAT	1125				
	Roving	833,33				
	MAT+Roving	1958,33				
	MAR/MATRo	0,57446906				
σd y τd	ψ	0,43361681				
	Tracción	76,3647416		Tabla C.4 a)	ISO 12215-5	
	Compresión	68,5212605		Tabla C.4 a)	ISO 12215-5	
	Cizalla	48,2387193		Tabla C.4 a)	ISO 12215-5	

$$A_W = \frac{k_{SA} \times P \times s \times l_u}{\tau_d} 10^{-6} \text{ cm}^2$$

$$SM = \frac{83,33 \times k_{CS} \times P \times s \times l_u^2}{\sigma_d} 10^{-9} \text{ cm}^3$$

Aw	1,39054167	cm^2	P COSTADO			
Aw	5,87752221	cm^2	P FONDO			
SM	27,6510482	cm^3	P COSTADO	Tracción	SM	30,8162042 cm^3 P COSTADO Compresión
SM	85,281217	cm^3	P FONDO	Tracción	SM	87,775257 cm^3 P FONDO Compresión

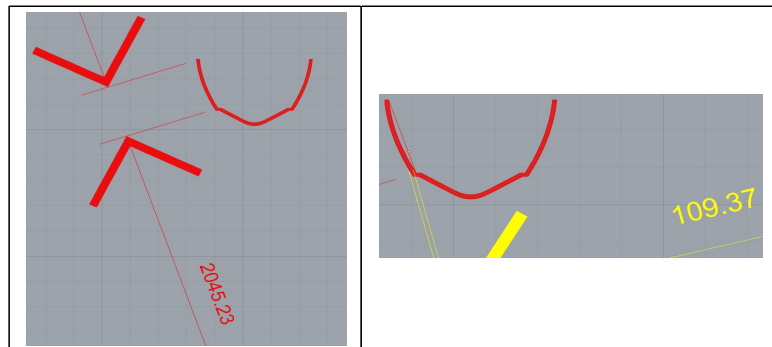
$$I = \frac{26 \times k_{CS}^{1,5} \times P \times s \times l_u^3}{k_{IS} \times E_{tc}} 10^{-11} \text{ cm}^4 \quad (50)$$

donde

$E_{tc}$  es la media de los módulos de elasticidad en tracción/compresión del material (véase el anexo C), en newtons por milímetro cuadrado;

$k_{IS} = 0,05$  es el factor de deflexión (flecha) para los refuerzos (flecha relativa admisible  $y/l_u$ ).

Etc	11477,43863	
I COSTADO	22,56468169	cm^4
I FONDO	43,31166448	cm^4



Escantillonado del Pantoque Vivo

Pantoque Vivo				
11.4.1				
Tabla 16 ISO 12215-5	c/l	0,05347565	K <sub>CS</sub>	0,92353036
Tabla 17 ISO 12215-5	K <sub>SA</sub>	5		
	P <sub>COSTADO</sub>	5,045733		
	P <sub>FONDO</sub>	31,648406		
	s	1300	9.2.1 ISO	
	l <sub>u</sub>	1313,87		
Roving/MAT	MAT	1125		
	Roving	833,33		
	MAT+Roving	1958,33		
	MAR/MATRC	0,57446906		
	ψ	0,43361681		
σ <sub>d</sub> y τ <sub>d</sub>	Tracción	76,3647416		Tabla C.4 a) ISO 12215-5
	Compresión	68,5212605		Tabla C.4 a) ISO 12215-5
	Cizalla	36,3446722		Tabla C.4 a) ISO 12215-5
interlaminar				
$A_W = \frac{k_{SA} \times P \times s \times l_u}{\tau_d} 10^{-6} \text{ cm}^2$ $SM = \frac{83,33 \times k_{CS} \times P \times s \times l_u^2}{\sigma_d} 10^{-9} \text{ cm}^3$				
A <sub>w</sub>	1,18563022	cm <sup>2</sup>	P COSTADO	
SM	11,4112201	cm <sup>3</sup>	P COSTADO Tracción	SM 12,7174379 cm <sup>3</sup> P COSTADO Compresión
$I = \frac{26 \times k_{CS}^{1,5} \times P \times s \times l_u^3}{k_{1S} \times E_{tc}} 10^{-11} \text{ cm}^4 \quad (50)$				
<p>donde</p> <p>E<sub>tc</sub> es la media de los módulos de elasticidad en tracción/compresión del material (véase el anexo C), en newtons por milímetro cuadrado;</p> <p>k<sub>1S</sub> = 0,05 es el factor de deflexión (flecha) para los refuerzos (flecha relativa admisible y/l<sub>u</sub>).</p>				
Etc	11477,4386			
I COSTADO	5,98218635	cm <sup>4</sup>		
I FONDO	37,5221325	cm <sup>4</sup>		

### Escantillado de los Longitudinales

Escantillado Refuerzos Longitudinales			
11.4.1			
Tabla 16 ISO 12215-5	c/l	0,0605055 Kcs	0,89851667
Tabla 17 ISO 12215-5	K <sub>SA</sub>	5	
	P <sub>COSTADO</sub>	5,045733	
	P <sub>FONDO</sub>	31,648406	
	s	271,7 9.2.1 ISO	
	l <sub>u</sub>	12463,99	
Roving/MAT	MAT	1125	
	Roving	833,33	
	MAT+Roving	1958,33	
	MAR/MATRo	0,57446906	
	ψ	0,43361681	
σ <sub>d</sub> y τ <sub>d</sub>	Tracción	76,3647416	Tabla C.4 a) ISO 12215-5
	Compresión	68,5212605	Tabla C.4 a) ISO 12215-5
	Cizalla	36,3446722	Tabla C.4 a) ISO 12215-5

$$A_W = \frac{k_{SA} \times P \times s \times l_u}{\tau_d} 10^{-6} \text{ cm}^2$$

$$SM = \frac{83,33 \times k_{CS} \times P \times s \times l_u^2}{\sigma_d} 10^{-9} \text{ cm}^3$$

A <sub>w</sub>	2,35071643	cm <sup>2</sup>	P COSTADO		
SM	208,815495	cm <sup>3</sup>	P COSTADO Tracción	SM	232,718155 cm <sup>3</sup>
				P COSTADO Compresión	

$$I = \frac{26 \times k_{CS}^{1,5} \times P \times s \times l_u^3}{k_{1S} \times E_{tc}} 10^{-11} \text{ cm}^4 \tag{50}$$

donde

*E<sub>tc</sub>* es la media de los módulos de elasticidad en tracción/compresión del material (véase el anexo C), en newtons por milímetro cuadrado;

*k<sub>1S</sub>* = 0,05 es el factor de deflexión (flecha) para los refuerzos (flecha relativa admisible *y/l<sub>u</sub>*).

E <sub>tc</sub>	11477,4386				
I COSTADO	1024,31316	cm <sup>4</sup>			

**Escantillado del Bao en la Cuaderna Maestra**

Escantillado del Bao en la Cuaderna Maestra				
11.4.1				
Tabla 16 ISO 12215-5	c/l	0 Kcs		1
Tabla 17 ISO 12215-5	KSA	5		
	PCUBIERTA	5,10780863		
	s	1300	9.2.1 ISO	
	lu	4121,84		
Roving/MAT	MAT	1125		
	Roving	833,33		
	MAT+Roving	1958,33		
	MAR/MATRo	0,57446906		
$\sigma_d$ y $\tau_d$	$\psi$	0,43361681		
	Tracción	76,3647416		Tabla C.4 a) ISO 12215-5
	Compresión	68,5212605		Tabla C.4 a) ISO 12215-5
	Cizalla	48,2387193		Tabla C.4 a) ISO 12215-5

$$A_w = \frac{k_{SA} \times P \times s \times l_u}{\tau_d} \cdot 10^{-6} \text{ cm}^2$$

$$SM = \frac{83,33 \times k_{CS} \times P \times s \times l_u^2}{\sigma_d} \cdot 10^{-9} \text{ cm}^3$$

<b>Aw</b>	2,83689547	cm^2	P CUBIERTA	
SM	123,103025	cm^3	P CUBIERTA Tracción	SM 137,194363 cm^3 P CUBIERTA Compresión

$$I = \frac{26 \times k_{CS}^{1,5} \times P \times s \times l_u^3}{k_{1S} \times E_{tc}} \cdot 10^{-11} \text{ cm}^4 \tag{50}$$

donde

$E_{tc}$  es la media de los módulos de elasticidad en tracción/compresión del material (véase el anexo C), en newtons por milímetro cuadrado;

$k_{1S} = 0,05$  es el factor de deflexión (flecha) para los refuerzos (flecha relativa admisible  $y/l_u$ ).

Etc	21477,4386			
<b>I COSTADO</b>	<b>112,582844</b>	<b>cm^4</b>		

**Escantillonado de la Quilla**

Quilla			
11.4.1			
Tabla 16 ISO 12215-5	c/l	0,05347565 Kcs	0,92353036
Tabla 17 ISO 12215-5	K <sub>SA</sub>	5	
	P <sub>FONDO</sub>	31,648406	
	s	230 9.2.1 ISO	
	l <sub>u</sub>	11877,95	
Roving/MAT	MAT	1125	
	Roving	833,33	
	MAT+Roving	1958,33	
	MAR/MATRo	0,57446906	
	ψ	0,43361681	
σ <sub>d</sub> y τ <sub>d</sub>	Tracción	152,729483	Tabla C.4 a) ISO 12215-5
	Compresión	137,042521	Tabla C.4 a) ISO 12215-5
	Cizalla	96,4774386	Tabla C.4 a) ISO 12215-5
<b>intralaminar</b>			
$A_w = \frac{k_{SA} \times P \times s \times l_u}{\tau_d} 10^{-6} \text{ cm}^2$ $SM = \frac{83,33 \times k_{CS} \times P \times s \times l_u^2}{\sigma_d} 10^{-9} \text{ cm}^3$			
Aw	4,48090163	cm <sup>2</sup>	P FONDO
SM	517,478535	cm <sup>3</sup>	P FONDO Tracción SM 576,713188 cm <sup>3</sup> P FONDO Compresión
$I = \frac{26 \times k_{CS}^{1,5} \times P \times s \times l_u^3}{k_{1S} \times E_{tc}} 10^{-11} \text{ cm}^4 \quad (50)$			
<p>donde</p> <p><i>E<sub>tc</sub></i> es la media de los módulos de elasticidad en tracción/compresión del material (véase el anexo C), en newtons por milímetro cuadrado;</p> <p><i>k<sub>1S</sub></i> = 0,05 es el factor de deflexión (flecha) para los refuerzos (flecha relativa admisible <i>y/l<sub>u</sub></i>).</p>			
E <sub>tc</sub>	11477,4386		
I FONDO	4905,0031	cm <sup>4</sup>	

Anexo VI. Tensiones de Diseño

Tabla C.1 – Método de determinación del nivel de evaluación de las propiedades mecánicas			
Nivel de evaluación	Definición	Método	
EL-a	Las propiedades mecánicas y el contenido de fibra se determinan por mediciones efectuadas con la ayuda de normas de ensayo reconocidas sobre escantillones representativos del producto fabricado.	Utilizar los resultados de las mediciones corregidas según el apartado C.1.1.	
EL-b	El contenido de fibra en masa se determina por mediciones. Se efectúan verificaciones puntuales con ayuda de normas de ensayo reconocidas sobre escantillones representativos del producto fabricado para garantizar que el producto cumple o excede los valores de las tablas C.4 a la C.7.	Valores por defecto (tablas C.4 a la C.7)	
EL-c	No se hacen mediciones explícitas ni del contenido de fibra ni de las propiedades mecánicas. El contenido de fibra se deduce de la tabla C.2 o de otros valores nominales.	Multiplicar los valores por defecto (tablas C.4 a la C.7) por 0,8.	

Tabla C.2 - Contenido nominal de fibra en masa			
Tipo de capa de refuerzo	Laminado de fibra de vidrio. Contenido en masa de vidrio $\psi$		Bolsa de vacío
	Moldeado abierto		
	Superficie simple <sup>b</sup>	Superficie compleja <sup>b</sup>	
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 <sup>a</sup>	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  $\psi$  que da el mismo contenido de fibra en volumen que los valores anteriores para el vidrio puede estimarse utilizando  $\psi_{carbono} = 0,99 \psi_{vidrio}$  de la tabla - 0,08 (véase el ejemplo del C.3.3). Alternativamente se puede tomar el valor de  $\psi$  correspondiente a  $\psi_{vidrio}$  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  $\psi_{aramida} = 0,95 \psi_{vidrio}$  de la tabla - 0,11.

<sup>a</sup> R = masa total del mat (kg/m<sup>2</sup>) / masa total del vidrio en el laminado (mat y tejido roving) (kg/m<sup>2</sup>).

<sup>b</sup> 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.

**Combinación MAT-Roving, para todos los paneles: MAT 450g/m<sup>2</sup> y Tejido Roving 500 g/m<sup>2</sup>**

MAT	1125 g/m <sup>2</sup>
Tejido Roving	833,33 g/m <sup>2</sup>
Suma	1958,33 g/m <sup>2</sup>
R	0,57446906
$\psi$	0,43361681
$\psi$	0,43361681
$\sigma_{uf}$	201,387814
$\sigma_d$	100,693907

Tabla C.3 – Valores calculados de t/w en función del contenido de fibra en masa $\psi$										
$\psi$	0,25	0,30	0,36	0,38	0,41	0,50	0,55	0,58	0,60	0,66
t/w <sup>a</sup>	2,89	2,34	1,87	1,75	1,59	1,22	1,07	0,99	0,95	0,82

<sup>a</sup> Relación entre el espesor, en milímetros, y la masa de fibra seca, en kilogramos por metro cuadrado.

**Primera Aproximación**

	t	w	t/w	$\psi$	$\sigma_{uf}$	$\sigma_d$
Paneles de Fondo	9,151631	6,13064	1,49276927	0,43365072	201,402579	100,701289
Paneles de Costado	4,4749	2,99773223	1,49276175	0,43365255	201,403375	100,701688
Paneles de Cubierta	8,69893282	5,8273765	1,49277	0,43365054	201,402501	100,701251

## Anexo VII. Laminado

El proceso de laminado se explica detalladamente en el Capítulo 5, por ello en el siguiente anexo se adjuntan únicamente los espesores finales y el peso de las diferentes partes laminadas.

Laminado Planchas del Costado			
Lamina	t (mm)	º	w (Kg/m <sup>2</sup> )
Total	15,306	-	24,62496

Laminado Planchas del Fondo			
Lamina	t (mm)	º	w (Kg/m <sup>2</sup> )
Total	31,088	-	50,08325

Laminado Planchas de Cubierta			
Lamina	t (mm)	º	w (Kg/m <sup>2</sup> )
Total	10,45	-	16,79164

Laminado Mamparos			
Lamina	t (mm)	º	w (Kg/m <sup>2</sup> )
Total	31,088	-	50,08325

Laminado Suelo Interior			
Lamina	t (mm)	º	w (Kg/m <sup>2</sup> )
Total	15,306	-	24,62496

Laminado SuperEstructura			
Lamina	t (mm)	º	w (Kg/m <sup>2</sup> )
Total	10,45	-	16,79164

Laminado	Área (m <sup>2</sup> )	w (kg/m <sup>2</sup> )	kg
Fondo	32,14	50,08	1609,5712
Costado	52,53	24,62	1293,2886
Cubierta	59,79	16,79	1003,8741
SuperEstructura	12,1039532	16,79	203,225374
Paneles Interior	21,5286809	24,62	530,036123

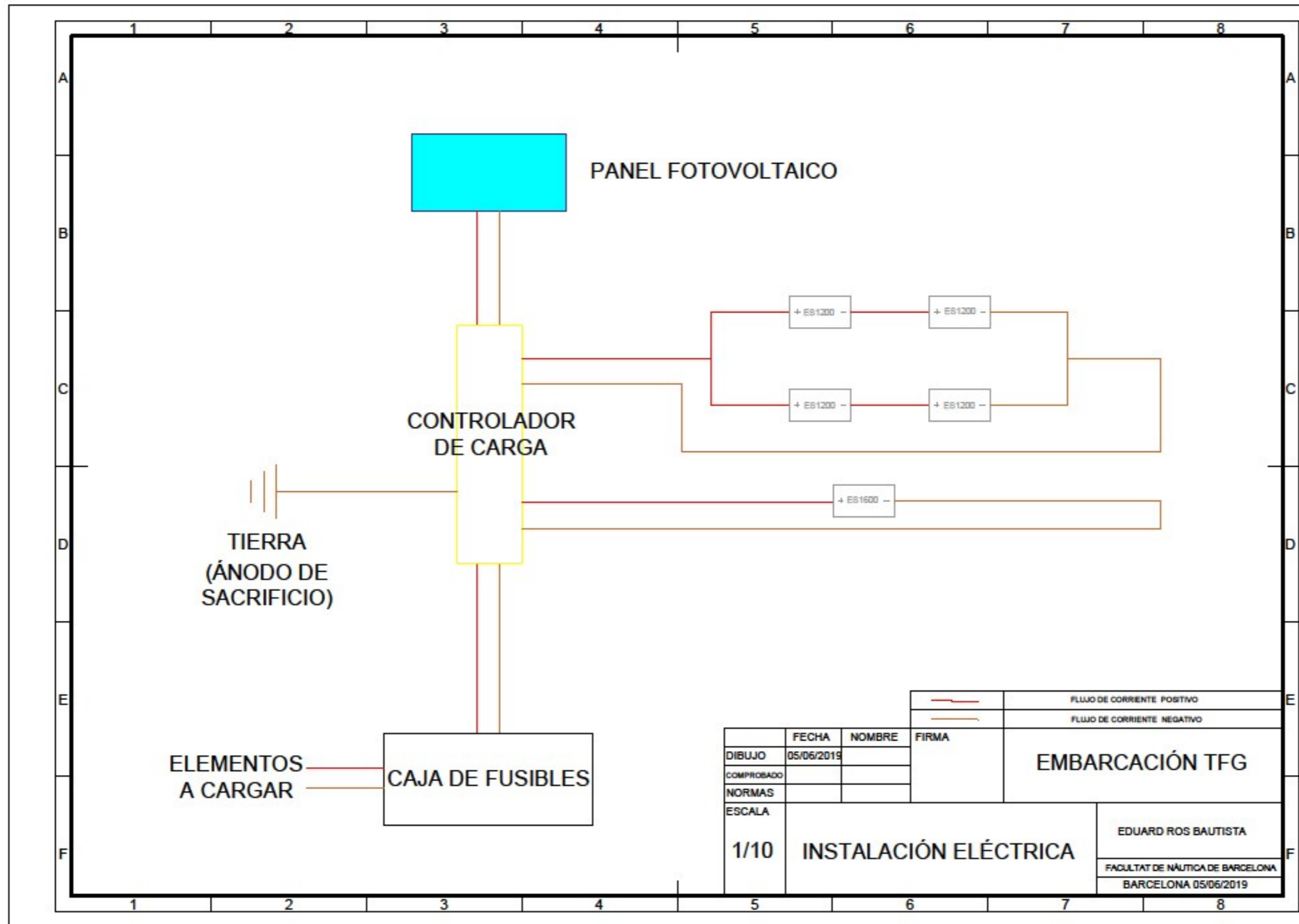


### Anexo VIII. Balance Eléctrico

Elementos	Número	Potencia(W)	Corriente(A)	Duración(h)	Capacidad(Ah)
<b>Cocina</b>					
Frigorífico	1	184,8	7,7	24	184,8
Bomba Agua Dulce	1	48	2	0,5	1
Microondas	1	500	20,833	0,35	7,29155
Cafetera	1	300	12,5	0,25	3,125
<b>Baño</b>					
Bomba Agua Dulce	1	48	2	1	2
WC	1	192	16	0,4	6,4
<b>Luces</b>					
<b>Exteriores</b>					
<b>Obligatorias</b>					
De Costado	2	12	0,5	6	6
De Tope	1	9	0,375	6	2,25
De Alcance	1	12	0,5	3	1,5
Cabinada	1	12	0,5	3	1,5
<b>No Obligatorias</b>					
Led	6	0,4	0,1667	4	4,0008
<b>Interiores</b>					
<b>No Obligatorias</b>					
Led 1	4	4,8	0,2	0,2	0,16
Led 2	4	4,8	0,2	1	0,8
Led 3	4	4,8	0,2	4	3,2
Led 4	2	4,8	0,2	0,7	0,28
Led 5	4	4,8	0,2	5	4
<b>Comedor/Salón</b>					
TV	1	36	3	3	9
<b>Instrumentos (NAV)</b>					
Brújula	1	25	1,04	8	8,32
VHF	1	25	3,05	24	73,2
GPS	1	12	1	4	4
Eq. Audio + 2 Altavoces	1	180	7,5	3	22,5
Bomba de Achique	1	43,2	1,8	0,5	0,9
Molinete	1	1500	155	0,06	9,3
<b>Suma Total (Ah)</b>					355,52735
<b>Margen de Seguridad</b>					1,5
<b>Demanda (Ah)</b>					533,291025

Dimensionamiento de las Baterías				
Tipo de Demanda	Elementos	Capacidad(Ah)	Factor	Capacidad(Ah)
Demanda (Ah) a 12 V	VHF/WC/Molinete	88,9	1,5	133,35
Demanda (Ah) a 24 V	Resta	266,62735	1,5	399,941025

## Anexo IX. Esquema Eléctrico



## Anexo X. Cálculo de los Pesos

### Peso en Rosca

Habitáculo							
Elemento	Peso (Kg)	LCG (m)	TCG(m)	VCG (m)	MI (N*m)	Mt (N*m)	Mv (N*m)
Calentador de Agua	4,78	1,864	1,481	1,4952	8,90992	7,07918	7,147056
Bombona Gas	2,8	7,6	-1,219	1,632	21,28	-3,4132	4,5696
Cafetera	1,26	6,85	1,492	1,853	8,631	1,87992	2,33478
Microondas	9	6,684	1,437	1,842	60,156	12,933	16,578
Bomba Agua Dulce 1	1,6	7,106	-1,261	1,65	11,3696	-2,0176	2,64
Bomba Agua Dulce 2	1,6	4,602	-1,206	1,65	7,3632	-1,9296	2,64
Frigorífico	30	8,192	-1,116	1,58	245,76	-33,48	47,4
WC	14,5	5,43	-1,206	1,219	78,735	-17,487	17,6755
Tuberías	135	7	0	2	945	0	270

Electrónica							
Elemento	Peso (Kg)	LCG (m)	TCG(m)	VCG (m)	MI (N*m)	Mt (N*m)	Mv (N*m)
Bomba de Achique	0,52	6,205	1,21	0,765	3,2266	0,6292	0,3978
LedsVHFGPSBrujulaAudio	4	7,005	0	2,465	28,02	0	9,86
Baterías (X4) 24V	156	7,301	0	0,71	1138,956	0	110,76
Batería 12V	47	7,301	0	0,71	343,147	0	33,37
Panel Solar	3	5,89	0	4,416	17,67	0	13,248
Controlador de Carga	1,5	7,301	0	0,71	10,9515	0	1,065

Motorización							
Elemento	Peso (Kg)	LCG (m)	TCG(m)	VCG (m)	MI (N*m)	Mt (N*m)	Mv (N*m)
Volvo Penta IPS 600	901	2,7250765	-0,6	0,69539726	2455,29393	-540,6	626,552931
Volvo Penta IPS 600	901	2,7250765	0,6	0,69539726	2455,29393	540,6	626,552931

Forro							
Elemento	Peso (Kg)	LCG (m)	TCG(m)	VCG (m)	MI (N*m)	Mt (N*m)	Mv (N*m)
Forro Fondo	1609,5712	5,20374	0	0,59127	8375,79004	0	951,691163
Forro Costado	1293,2886	7,03153	0	1,79588	9093,79759	0	2322,59113
Forro Cubierta	1003,8741	4,92618	0	2,48742	4945,26451	0	2497,05651
Suelo Interior	530,036123	6,12147	0	0,596	3244,60023	0	315,901529
Superestructura	298,54	7,564	0	3,8574518	2258,15656	0	1151,60366

Refuerzos Transversales							
Elemento	Peso (Kg)	LCG (m)	TCG(m)	VCG (m)	MI (N*m)	Mt (N*m)	Mv (N*m)
Espejo de Popa	291,4656	1,265	0	1,49561	368,703984	0	435,918866
Cuaderna (1)	0,2234333	2,18983	0	1,20773	0,48928095	0	0,2698471
Cuaderna (2)	0,23488535	3,17313	0	1,66518	0,74532176	0	0,39112639
Mamparo Sala Maquinas	218,473	4,30653	0	1,68541	940,860529	0	368,216579
Cuaderna (3)	0,24660612	5,60653	0	1,21702	1,38260463	0	0,30012458
Cuaderna (4)	0,24822391	6,90653	0	1,22162	1,71436588	0	0,30323529
Cuaderna Maestra (5)	0,2394318	8,20653	0	1,27515	1,96490423	0	0,30531146
Mamparo Hab.	125,03975	9,55653	0	1,77945	1194,94612	0	222,501983
Cuaderna (6)	0,20598548	10,53873	0	1,51855	2,17082539	0	0,31279926
Cuaderna (7)	0,18039485	11,51193	0	1,66572	2,07669285	0	0,3004873
Mamparo de Colisión	48,51875	12,64413	0	1,76284	613,477382	0	85,5307933

Refuerzos Longitudinales							
Elemento	Peso (Kg)	LCG (m)	TCG(m)	VCG (m)	MI (N*m)	Mt (N*m)	Mv (N*m)
Quilla	3,53635336	6,0575	0,1	0	21,4214605	0,35363534	0
Motor 1 E	41,29	5,3118	-0,8502	0	219,324222	-35,104758	0
Motor 1 B	41,29	5,3118	0,8502	0	219,324222	35,104758	0
Motor 2 E	50,57	6,2562	-0,2803	0	316,376034	-14,174771	0
Motor 2 B	50,57	6,2562	0,2803	0	316,376034	14,174771	0
Pantoque E	0,00759423	7,2	-1,36	0,73864	0,05467848	-0,01032816	0,00560941
Pantoque B	0,00759423	7,2	1,36	0,73864	0,05467848	0,01032816	0,00560941
Longitudinal E	1,71827546	5,69277	-1,62651	1,77988	9,78174697	-2,79479221	3,05832412
Longitudinal B	1,71827546	5,69277	1,62651	1,77988	9,78174697	2,79479221	3,05832412

Seguridad							
Elemento	Peso (Kg)	LCG (m)	TCG(m)	VCG (m)	MI (N*m)	Mt (N*m)	Mv (N*m)
Extintor 21B	2	2,725065	0	0,765	5,45013	0	1,53
Botiquín	4,12	6,12147	0	0,596	25,2204564	0	2,45552
Balde Contraincendios	1,059	10,4896	0	0,765	11,1084864	0	0,810135
Hacha Contraincendios	0,998	6,12147	0	0,596	6,10922706	0	0,594808
Balsa Salvavidas	53	10,4896	0	2,9669	555,9488	0	157,2457
Bocina de niebla	0,45	6,12147	0	0,596	2,7546615	0	0,2682
Chalecos Salvavidas (X6)	5,28	10,4896	0	2,9669	55,385088	0	15,665232
Luces Navegación (Bb Est)	0,31	6,243	0	3,449	1,93533	0	1,06919
Extintor 55B	2	7,31	0	3,163	14,62	0	6,326

Amarre							
Elemento	Peso (Kg)	LCG (m)	TCG(m)	VCG (m)	MI (N*m)	Mt (N*m)	Mv (N*m)
Ancla	35	12,87	0	2,6383669	450,45	0	92,3428415
Cadena	30,8	12,87	0	2,6383669	396,396	0	81,2617005
Molinete	21,4	12,87	0	2,6383669	275,418	0	56,4610517

Útiles							
Elemento	Peso (Kg)	LCG (m)	TCG(m)	VCG (m)	MI (N*m)	Mt (N*m)	Mv (N*m)
Vajilla (Platos)	1,8	6,8	1,481	1,765	12,24	2,6658	3,177
Vajilla (Cuencos)	1,32	6,8	1,481	1,765	8,976	1,95492	2,3298
Vajilla (Vasos)	0,84	6,8	1,481	1,765	5,712	1,24404	1,4826
Set Ollas y Sartenes	5,45	7,351	-1,437	1,765	40,06295	-7,83165	9,61925
Cubertería (30 piezas)	0,104	7,351	-1,437	1,765	0,764504	-0,149448	0,18356

Mobiliario							
Elemento	Peso (Kg)	LCG (m)	TCG(m)	VCG (m)	Ml (N*m)	Mt (N*m)	Mv (N*m)
Mesa Interior	16	8,011	0	1,6725	128,176	0	26,76
Mesa Bañera Popa	8,3	2,785	0	2,9998	23,1155	0	24,89834
Cojines	0,3992	10,373	0	1,86	4,1409016	0	0,742512
Colchon Cama	8,62	10,627	0	1,86	91,60474	0	16,0332
Sofa	57	7,732	0,984	1,265	440,724	56,088	72,105
Consola Piloto	85	9,21	0	3,53	782,85	0	300,05
TV	1,8	6,8	1,481	2,8	12,24	2,6658	5,04
Fregadero	2,5	7,106	-1,261	1,65	17,765	-3,1525	4,125
horno y cocina	15,5	7,6	-1,219	1,632	117,8	-18,8945	25,296
Silla 1	15	8,465	-0,335	2,846	126,975	-5,025	42,69
Silla 2	15	8,465	0,335	2,846	126,975	5,025	42,69
Lavabo	14	4,6	-1,285	2,065	64,4	-17,99	28,91
Paredes Baño 1	41,32	5,641	-0,92	1,765	233,08612	-38,0144	72,9298
Paredes Baño 2	64	5,35	-0,61	1,765	342,4	-39,04	112,96
Paredes Baño 3	26,28	4,723	0	1,765	124,12044	0	46,3842
Silla 3	15	2,1548	-0,37	2,846	32,322	-5,55	42,69
Silla 4	15	2,1548	0,37	2,846	32,322	5,55	42,69
Silla 5	15	3,4059	-0,37	2,846	51,0885	-5,55	42,69
Silla 6	15	3,4059	0,37	2,846	51,0885	5,55	42,69
Pared Cocina	156,028	7,351	-1,437	1,765	1146,96183	-224,212236	275,38942
Escritorio	26	4,92	1,28	1,565	127,92	33,28	40,69
Silla Escritorio	15	4,888	0,712	1,265	73,32	10,68	18,975
Escaleras	21,2	5,43	0,5	2	115,116	10,6	42,4
Pared Sala Máquinas E	120	2,73	-1,55	1,765	327,6	-186	211,8
Pared Sala Máquinas B	120	2,73	1,55	1,765	327,6	186	211,8
Plato de Ducha	30	4,601	-0,29	0,78	138,03	-8,7	23,4
Mueble de la Cama	311,22	10,93	0	1,165	3401,6346	0	362,5713
Pared Dormitorio E	128,64	11,2	-0,72	1,765	1440,768	-92,6208	227,0496
Pared Dormitorio B	128,64	11,2	0,72	1,765	1440,768	92,6208	227,0496
Pared E Salón	206,559592	6,8	1,492	1,765	1404,60523	308,186911	364,57768

Peso en Rosca							
Medición	Peso (Kg)	LCG (m)	TCG(m)	VCG (m)	Ml (N*m)	Mt (N*m)	Mv (N*m)
Total Peso en Rosca	9685,59197	5,63873314	0,00350296	1,40239377	54614,4684	33,9282726	13583,0139
Rosca + (10%)	10654,1512	5,63873314	0,00350296	1,40239377	60075,9153	37,3210999	14941,3152

## Peso Muerto en Condición de Salida de Puerto

Peso de las Personas y sus Petrechos							
Personas + Petrechos	Peso (Kg)	LCG (m)	TCG(m)	VCG (m)	MI (N*m)	Mt (N*m)	Mv (N*m)
Persona 1	100	2,1548	-0,37	2,846	215,48	-37	284,6
Persona 2	100	2,1548	0,37	2,846	215,48	37	284,6
Persona 3	100	8,465	-0,335	2,846	846,5	-33,5	284,6
Persona 4	100	8,465	0,335	2,846	846,5	33,5	284,6
Persona 5	100	10,4896	-0,3	2,9669	1048,96	-30	296,69
Persona 6	100	10,4896	0,3	2,9669	1048,96	30	296,69

Peso de los Tanques (Cond. Salida de Puerto)							
Elemento	Peso (Kg)	LCG (m)	TCG(m)	VCG (m)	MI (N*m)	Mt (N*m)	Mv (N*m)
Tanques de Comb.	1711	5,65	0	0,426	9667,15	0	728,886
Tanque Agua Dulce	646	6,813	0	0,432	4401,198	0	279,072
Tanque Aguas Grises	41	7,294	0	0,232	299,054	0	9,512

Peso Muerto en Condición de Salida de Puerto							
Medición	Peso (Kg)	LCG (m)	TCG(m)	VCG (m)	MI (N*m)	Mt (N*m)	Mv (N*m)
Peso Muerto	2998	6,20056104	0	0,91702802	18589,282	0	2749,25

## Peso Muerto en Condición de Entrada a Puerto

Peso de las Personas y sus Petrechos							
Personas + Petrechos	Peso (Kg)	LCG (m)	TCG(m)	VCG (m)	MI (N*m)	Mt (N*m)	Mv (N*m)
Persona 1	77,5	2,1548	-0,37	2,846	166,997	-28,675	220,565
Persona 2	77,5	2,1548	0,37	2,846	166,997	28,675	220,565
Persona 3	77,5	8,465	-0,335	2,846	656,0375	-25,9625	220,565
Persona 4	77,5	8,465	0,335	2,846	656,0375	25,9625	220,565
Persona 5	77,5	10,4896	-0,3	2,9669	812,944	-23,25	229,93475
Persona 6	77,5	10,4896	0,3	2,9669	812,944	23,25	229,93475

Peso de los Tanques (Cond. Salida de Puerto)							
Elemento	Peso (Kg)	LCG (m)	TCG(m)	VCG (m)	MI (N*m)	Mt (N*m)	Mv (N*m)
Tanques de Comb.	171,1	5,66	0	0,231	968,426	0	39,5241
Tanque Agua Dulce	64,6	3,825	0	0,235	247,095	0	15,181
Tanque Aguas Grises	406	7,296	0	0,427	2962,176	0	173,362

Peso Muerto en Condición de Salida de Puerto							
Medición	Peso (Kg)	LCG (m)	TCG(m)	VCG (m)	MI (N*m)	Mt (N*m)	Mv (N*m)
Peso Muerto	1106,7	6,73141231	0	1,41880961	7449,654	0	1570,1966

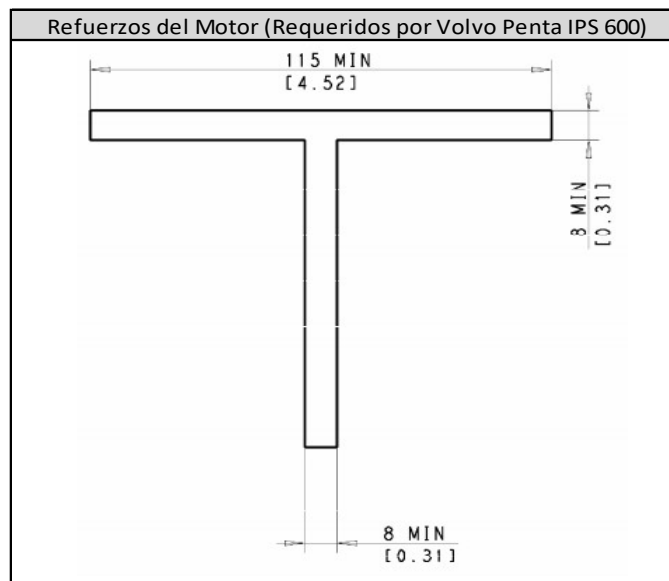
### Peso de los Refuerzos

Cuadernas					
Refuerzos	Aw (cm <sup>2</sup> )	L (cm)	Vol. (cm <sup>3</sup> )	d (Kg/m <sup>3</sup> )	Kg
C.1	12,3	655,196	8058,9108	27,725	0,223433302
C.2	12,3	688,778	8471,9694	27,725	0,234885352
C.3	12,3	723,148	8894,7204	27,725	0,246606123
C.4	12,3	727,892	8953,0716	27,725	0,24822391
C.5	12,3	702,11	8635,953	27,725	0,239431797
C.6	12,3	604,032	7429,5936	27,725	0,205985483
C.7	12,3	528,99	6506,577	27,725	0,180394847

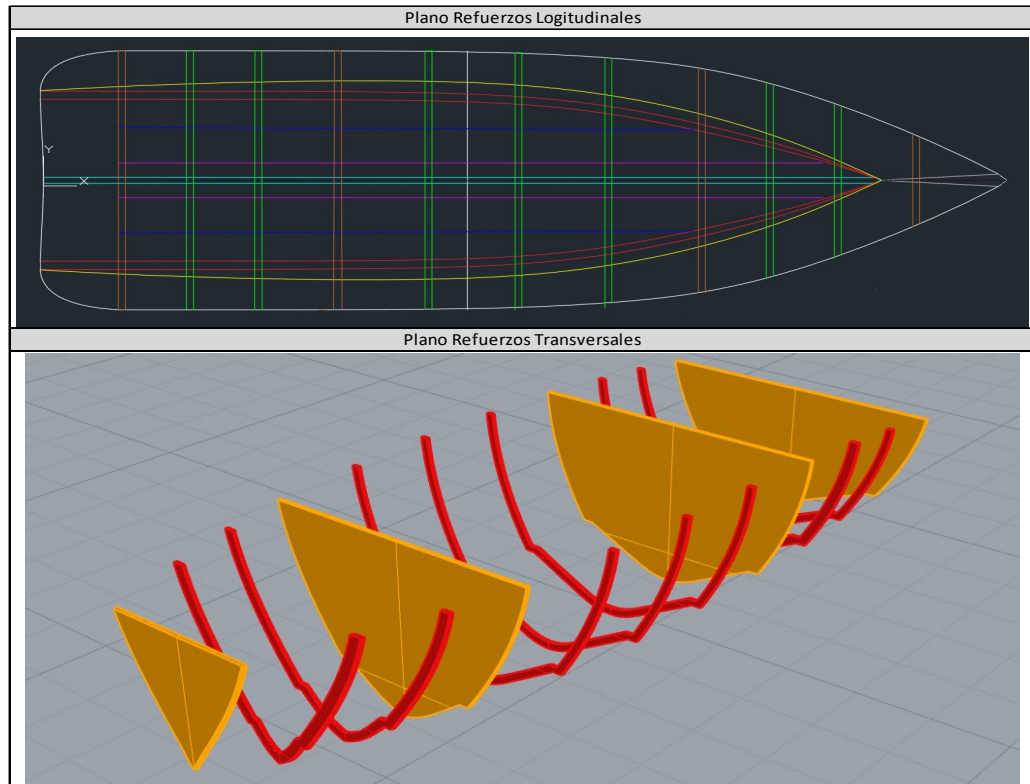
Refuerzos Longitudinales					
Elemento	Aw (cm <sup>2</sup> )	L (cm)	Vol. (cm <sup>3</sup> )	d (Kg/m <sup>3</sup> )	Kg
Quilla	71,5	1211,5	86622,25	40,825	3,536353356
Longitudinal E	33,6	1252,643	42088,8048	40,825	1,718275456
Longitudinal B	33,6	1252,643	42088,8048	40,825	1,718275456
Pantoque E	15,11	12,311	186,01921	40,825	0,007594234
Pantoque B	15,11	12,311	186,01921	40,825	0,007594234

Refuerzos Longitudinales						
Elemento	A (cm <sup>2</sup> )	L (cm)	Vol. (cm <sup>3</sup> )	d (g/cm <sup>3</sup> )	g	Kg
Motor 1 E	18,4	831,07243	15291,7327	2,7	41287,67832	41,2876783
Motor 1 B	18,4	831,07243	15291,7327	2,7	41287,67832	41,2876783
Motor 2 E	18,4	1017,98519	18730,9275	2,7	50573,50424	50,5735042
Motor 2 B	18,4	1017,98519	18730,9275	2,7	50573,50424	50,5735042

Mamparos			
Refuerzo	A (m <sup>2</sup> )	d (Kg/m <sup>2</sup> )	Kg
Espejo de Popa	5,82	50,08	291,4656
Sala de Máquinas	7,88	27,725	218,473
Habitación (No Estanco)	4,51	27,725	125,03975
Pique de Proa	1,75	27,725	48,51875







Laminado Cuadernas			
Lamina	t (mm)	α	d (Kg/m <sup>3</sup> )
MAT 450	0,738	-	1,525
Roving 500	0,476	90	1,75
MAT 450	0,738	-	1,525
Roving 500	0,476	45	1,75
MAT 450	0,738	-	1,525
Roving 500	0,476	-90	1,75
MAT 450	0,738	-	1,525
Roving 500	0,476	-45	1,75
MAT 450	0,738	-	1,525
Roving 500	0,476	90	1,75
MAT 450	0,738	-	1,525
Roving 500	0,476	-45	1,75
MAT 450	0,738	-	1,525
Roving 500	0,476	-45	1,75
MAT 450	0,738	-	1,525
Roving 500	0,476	90	1,75
MAT 450	0,738	-	1,525
<b>Total</b>	<b>10,45</b>	<b>-</b>	<b>27,725</b>

Laminado Quilla y Longitudinales			
Lamina	t (mm)	°	d (Kg/m <sup>3</sup> )
MAT 450	0,738	-	1,525
Roving 500	0,476	90	1,75
MAT 450	0,738	-	1,525
Roving 500	0,476	45	1,75
MAT 450	0,738	-	1,525
Roving 500	0,476	-90	1,75
MAT 450	0,738	-	1,525
Roving 500	0,476	-45	1,75
MAT 450	0,738	-	1,525
Roving 500	0,476	90	1,75
MAT 450	0,738	-	1,525
Roving 500	0,476	-45	1,75
MAT 450	0,738	-	1,525
Roving 500	0,476	-45	1,75
MAT 450	0,738	-	1,525
Roving 500	0,476	90	1,75
MAT 450	0,738	-	1,525
Roving 500	0,476	90	1,75
MAT 450	0,738	-	1,525
Roving 500	0,476	45	1,75
MAT 450	0,738	-	1,525
Roving 500	0,476	90	1,75
MAT 450	0,738	-	1,525
Roving 500	0,476	45	1,75
MAT 450	0,738	-	1,525
<b>Total</b>	<b>15,306</b>	<b>-</b>	<b>40,825</b>

### Peso de los Laminados

Peso del Laminado			
Parte	Área (m <sup>2</sup> )	w (kg/m <sup>2</sup> )	kg
Fondo	32,14	50,08	1609,5712
Costado	52,53	24,62	1293,2886
Cubierta	59,79	16,79	1003,8741
SuperEstructura	12,1039532	16,79164	203,245225
Paneles Interior	21,5286809	24,62	530,036123

## Peso del Parabrisas

Parabrisas de la Superestructura					
Vidrio	Área (m <sup>2</sup> )	t (m)	Vol. (m <sup>3</sup> )	d (Kg/m <sup>3</sup> )	Kg
470HK (dureza)	7,62366303	0,005	0,03811832	2500	95,2957879

