



Escuela Técnica
Superior
de Ingeniería
Naval y Oceánica

TRANSFORMACIÓN DE UN BUQUE DE PESCA A BUQUE PARA ENSEÑANZA EN INGENIERÍA



Arquitectura Naval e Ingeniería de Sistemas Marinos

David Sandoval Alemán

Director: José Enrique Gutiérrez Romero

Jerónimo Esteve Pérez

2020



Universidad
Politécnica
de Cartagena

INTRODUCCIÓN	7
1. ESTADO INICIAL DEL BUQUE	9
2. JUSTIFICACIÓN DE LA TRANSFORMACIÓN	13
2.1. BUQUE BASE	14
2.2. OBJETIVOS	14
3. GENERACIÓN DE FORMAS E HIDROSTÁTICAS	17
3.1. GENERACIÓN DE FORMAS	18
3.2. HIDROSTÁTICAS	24
3.3. DEFINICIÓN DE TANQUES	29
4. FRANCOBORDO Y ARQUEO	31
4.1. CÁLCULO DEL FRANCOBORDO	32
4.1.1. MARCAS DE FRANCOBORDO	32
4.1.2. FRANCOBORDO ASIGNADO	34
4.2. CÁLCULO DEL ARQUEO	34
1.1. ARQUEO BRUTO	35
1.2. ARQUEO NETO	35
5. DESCRIPCIÓN DEL NUEVO EQUIPAMIENTO DEL BUQUE	37
5.1. EQUIPOS DERIVADOS DE LA UTILIZACIÓN DEL ROV	38
5.2. AULA	40
5.3. NUEVAS ESCALAS	41
5.4. SALA DE ORDENADORES	41
5.5. MOTOR PROPULSOR	42
5.6. NUEVO SISTEMA DE FONDEO	42
6. DESPLAZAMIENTO	49
6.1. PESO EN ROSCA	50
6.2. DESPLAZAMIENTO EN LA CONDICIÓN DE MÁXIMA CARGA	53
7. RESISTENCIA AL AVANCE	57
7.1. MÉTODO DE AMADEO GARCÍA	58
7.2. MÉTODOS DE HOLTROP Y VAN OORTMERSSEN	62
7.3. COMPARATIVA DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS	65
8. SISTEMA PROPULSIVO	67
8.1. COEFICIENTES PROPULSIVOS	68

8.2. DIÁMETRO MÁXIMO DEL PROPULSOR	69
8.3. SELECCIÓN DEL PROPULSOR	71
8.4. DISEÑO DEL PROPULSOR	75
8.4.1. DIMENSIONAMIENTO DEL PROPULSOR	75
8.4.2. CONTORNOS PROYECTADOS	78
8.4.3. CONTORNO EXPANDIDO	79
8.4.4. COMPROBACIÓN DE LA RESISTENCIA MECÁNICA DE LAS PALAS	84
8.4.5. REPRESENTACIÓN DEL PROPULSOR	86
9. PLANTA ELÉCTRICA	89
9.1. DISPOSICIÓN DE LA PLANTA ELÉCTRICA	90
9.2. ANÁLISIS DE POTENCIA Y CARGAS ELÉCTRICAS	91
10. CRITERIOS DE ESTABILIDAD	95
10.0.1. CONDICIÓN: SALIDA DE PUERTO A PLENA CARGA	97
10.0.2. CONDICIÓN: LLEGADA A PUERTO	97
10.1. EFECTO DEL IZADO DE PESOS CON LA GRÚA	98
11. DISPOSICIÓN GENERAL	99
12. RESISTENCIA ESTRUCTURAL	101
12.1. DEFINICIÓN DE CARGAS	102
12.1.1. CARGAS PRINCIPALES	102
12.1.2. CARGAS VERTICALES DEBIDAS A MOVIMIENTOS OPERACIONALES	103
12.1.3. CARGAS HORIZONTALES DEBIDAS A MOVIMIENTOS OPERACIONALES	103
12.1.4. CARGAS DEBIDAS AL MOVIMIENTO DEL BUQUE	104
12.1.5. CARGAS DEBIDAS A EFECTOS CLIMÁTICOS	105
12.1.6. CASOS DE CARGA	106
12.2. COMPROBACIÓN DE LA RESISTENCIA	106
13. POTENCIA DEL SERVOMOTOR. DISEÑO DE LA PALA DEL TIMÓN.	111
13.1. SUPERFICIE DE LA PALA DEL TIMÓN	112
13.2. RELACIÓN DE COMPENSACIÓN	112
13.3. RELACIÓN DE ALARGAMIENTO	113
13.4. TIPO DE PERFIL	114
13.5. CÁLCULO DE LA FUERZA SOBRE EL TIMÓN	116
13.6. CÁLCULO DEL PAR DE TORSIÓN	117
13.7. DIÁMETRO DE LA MECHA DEL TIMÓN	117
13.8. POTENCIA DEL SERVOMOTOR	118
14. RENDERIZADO DEL BUQUE	119
ANEXOS	127

ANEXO I. PLANO DE FORMAS	128
ANEXO II. PLANO DE DISPOSICIÓN GENERAL ACTUAL	130
ANEXO III. HIDROSTÁTICAS	132
ANEXO IV. PLANO DE DISPOSICIÓN GENERAL TRAS LA REFORMA	138
ANEXO V. CARTILLA DE TRAZADO DEL PROPULSOR	139
ANEXO VI. CALIBRACIÓN DE TANQUES	140
ANEXO VII. BALANCE ELÉCTRICO	169
ANEXO VIII. DIAGRAMA UNIFILAR DE LA PLANTA ELÉCTRICA.	173
ANEXO IX. ESTUDIO DE ESTABILIDAD	174
BIBLIOGRAFÍA	187

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. PLANO DE DISPOSICIÓN GENERAL.	12
FIGURA 2. BUQUE DE COOPERACIÓN EN MATERIA PESQUERA "INTERMARES".	14
FIGURA 3. PLANO DE FORMAS ACTUAL DEL BUQUE. FUENTE: AULA VIRTUAL.	18
FIGURA 4. PROCESO DE AJUSTE DE LOS PUNTOS DE CONTROL DE LAS SUPERFICIES, VISTA DE PERFIL DEL BUQUE	18
FIGURA 5. ZONA DE POPA AJUSTADA.	19
FIGURA 6. ZONAS EN LAS QUE SE HA DIVIDIDO EL CASCO PARA SU MODELADO, VISTA DE PERFIL.	19
FIGURA 7. MODELO DEL CASCO DEL BUQUE.	20
FIGURA 8. APLICACIÓN DEL COMANDO RECONSTRUIR EN RHINOCEROS.	20
FIGURA 9. APLICACIÓN DEL COMANDO IGUALAR SUPERFICIES EN RHINOCEROS	21
FIGURA 10. MODELO DEL CASCO FINALIZADO.	21
FIGURA 11. COMPROBACIÓN DEL MODELO CON LO INDICADO EN EL PLANO DE FORMAS, VISTA DE PERFIL	22
FIGURA 12. COMPROBACIÓN DEL MODELO CON LO REFLEJADO EN EL PLANO DE FORMAS, VISTA EN PLANTA.	23
FIGURA 13. COMPROBACIÓN DEL MODELO CON LO REFLEJADO EN EL PLANO DE FORMAS, CAJA DE CUADERNAS.	24
FIGURA 14. OBTENCIÓN GRÁFICA DE LAS MEDIDAS NECESARIAS PARA EL CÁLCULO DE LA ESLORA DE FRANCOBORDO.	33
FIGURA 15. MARCAS DE FRANCOBORDO. FUENTE: WWW.MITMA.GOB.ES.....	33
FIGURA 16. ROV SAAB SEA EYE TIGER. FUENTE: WWW.MARINEVISION.ES.....	39
FIGURA 17. ROV ACOPLADO A TMS. FUENTE: WWW.MARINEVISION.ES.....	39
FIGURA 18. ESQUEMA UTILIZADO PARA SELECCIONAR EL MODELO DE GRÚA.	40
FIGURA 19. MODELO DE LAS NUEVAS ESCALAS EN 3D	41
FIGURA 20. CÁLCULO DEL FACTOR "A" MEDIANTE RHINOCEROS.....	43
FIGURA 21. ANCLA TIPO HALL. FUENTE: WWW.RTRILLO.COM.....	44
FIGURA 22. OPCIONES DE DISEÑO DE UN ANCLA TIPO HALL. FUENTE: WWW.RTRILLO.COM.....	44
FIGURA 23. DIMENSIONES DEL ANCLA SELECCIONADA	45
FIGURA 24. ESQUEMA DE UN ESCOBÉN. FUENTE: GOOGLE IMÁGENES.....	45
FIGURA 25. ESQUEMA DEL CODASTE. FUENTE: GARCÍA LÓPEZ, D. "15. PROYECTO DE HÉLICES".....	69
FIGURA 26. CROQUIS DE UNA SECCIÓN DE LA PALA. FUENTE: GEOMETRÍA DE LA SERIE B DE WAGENINGEN.	77
FIGURA 27. CROQUIS DEL CONTORNO PROYECTADO DE UNA SECCIÓN DE LA PALA. FUENTE: GEOMETRÍA DE LA SERIE B DE WAGENINGEN.....	78
FIGURA 28. SECCIONES DEL PROPULSOR CURVADAS Y GIRADAS.....	86
FIGURA 29. MODELO 3D DE UNA PALA DEL PROPULSOR.	87
FIGURA 30. MODELO 3D DEL PROPULSOR.	88
FIGURA 31. ALTERNADOR LEROY SOMER LSA-M-44.2 L12.	90
FIGURA 32. DIAGRAMA UNIFILAR DE LA PLANTA ELÉCTRICA.....	91
FIGURA 33. CÁLCULO DEL ÁREA EXPUESTA AL VIENTO Y SU CENTRO DE GRAVEDAD.	96
FIGURA 34. ESQUEMA DE LA DISTRIBUCIÓN REFUERZOS ACTUAL EN LA ZONA DE LA GRÚA.	108
FIGURA 35. PERFILES TIPO L.	109
FIGURA 36. PERFILES TIPO HE.	109
FIGURA 37. PERFILES TIPO HD.....	109
FIGURA 38. ESQUEMA DE TIMÓN TIPO SIMPLEX. FUENTE: APUNTES DE PROYECTOS.	112
FIGURA 39. PERFIL NACA 0015 ESCALADO.	115
FIGURA 40. PALA DEL TIMÓN.....	115
FIGURA 41. COEFICIENTES PARA EL CÁLCULO DE N. FUENTE: APUNTES DE PROYECTOS.	118
FIGURA 42. VISTA EN PERSPECTIVA DEL BUQUE RENDERIZADO.....	120
FIGURA 43. VISTA DE PERFIL DEL BUQUE RENDERIZADO.....	120
FIGURA 44. VISTA EN PLANTA DEL BUQUE RENDERIZADO.....	121
FIGURA 45. VISTA FRONTAL DEL BUQUE RENDERIZADO.	121
FIGURA 46. VISTA TRASERA DEL BUQUE RENDERIZADO.....	122
FIGURA 47. VISTA DE LA GRÚA Y EL SISTEMA DEL ROV RENDERIZADOS.....	123
FIGURA 48. RENDERIZADO DE LA ZONA DE PROA DE LA CUBIERTA PRINCIPAL.	123
FIGURA 49. RENDERIZADO DEL CODASTE.....	124
FIGURA 50. RENDERIZADO DEL PIQUE DE PROA.	125
FIGURA 51. TANQUES, ATMOSFÉRICOS Y SONDAS.	125

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. DIMENSIONES PRINCIPALES DEL BUQUE.....	10
TABLA 2. REQUISITOS PARA QUE LA ADMINISTRACIÓN OTORQUE LA CLASIFICACIÓN DE "BUQUE ESCUELA".....	15
TABLA 3. HIDROSTÁTICAS PARA TRIMADO NULO.....	25
TABLA 4. DEFINICIÓN DE TANQUES DEL BUQUE.....	30
TABLA 5. ESLORAS OBTENIDAS PARA EL CÁLCULO DE LA ESLORA DE FRANCOBORDO.....	32
TABLA 6. DATOS OBTENIDOS DEL CÁLCULO DEL NUMERAL DE EQUIPO.....	43
TABLA 7. CARACTERÍSTICAS DE LA CADENA Y EL ESCOBÉN.....	46
TABLA 8. CARACTERÍSTICAS DE LA CAJA DE CADENAS.....	46
TABLA 9. RESULTADOS DEL CÁLCULO DE LA POTENCIA NECESARIA.....	47
TABLA 10. COMPOSICIÓN INICIAL DEL BUQUE EN ROSCA.....	50
TABLA 11. HOJA DE CÁLCULO PARA OBTENER LA COMPOSICIÓN DE BUQUE EN ROSCA.....	52
TABLA 12. EQUILIBRIO DEL BUQUE EN ROSCA.....	53
TABLA 13. HOJA DE CÁLCULO PARA OBTENER LA COMPOSICIÓN DEL BUQUE A PLENA CARGA.....	55
TABLA 14. EQUILIBRIO A PLENA CARGA.....	56
TABLA 15. ESTIMACIÓN DE LA RESISTENCIA AL AVANCE POR EL MÉTODO DE AMADEO GARCÍA.....	61
TABLA 16. ESTIMACIÓN DE LA RESISTENCIA AL AVANCE POR EL MÉTODO DE HOLTROP.....	63
TABLA 17. ESTIMACIÓN DE LA RESISTENCIA AL AVANCE POR EL MÉTODO DE VAN OORTMERSSEN.....	64
TABLA 18. COEFICIENTES PROPULSIVOS.....	69
TABLA 19. HUELGOS HÉLICE-CARENA RECOMENDADOS POR LLOYD'S REGISTER. FUENTE: GARCÍA LÓPEZ, D. "15. PROYECTO DE HÉLICES".....	70
TABLA 20. CÁLCULO ITERATIVO DEL DIÁMETRO MÁXIMO.....	70
TABLA 21. ITERACIONES REALIZADAS HASTA SELECCIONAR MOTOR.....	73
TABLA 22. ESTIMACIÓN DE LAS REVOLUCIONES ÓPTIMAS.....	73
TABLA 23. ESTIMACIÓN DE LAS REVOLUCIONES ÓPTIMAS.....	74
TABLA 24. OPCIONES PARA SELECCIONAR EL PROPULSOR.....	75
TABLA 25. CARACTERÍSTICAS DEL PROPULSOR SELECCIONADO.....	75
TABLA 26. CUERDA Y SKEW.....	76
TABLA 27. ESPESORES MÁXIMOS.....	76
TABLA 28. VALORES DE X_E , X_S , L_E Y L_S	77
TABLA 29. RESULTADOS CONTORNO PROYECTADO.....	78
TABLA 30. ESPESOR DE LOS BORDES DE ENTRADA Y SALIDA.....	79
TABLA 31. PARÁMETROS DE PRESIÓN Y SUCCIÓN DEL CONTORNO EXPANDIDO.....	81
TABLA 32. ESPESORES EN LOS BORDES DE ENTRADA Y SALIDA.....	83
TABLA 33. PROPIEDADES DEL MATERIAL DEL PROPULSOR.....	85
TABLA 34. MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL PROPULSOR.....	85
TABLA 35. DEMANDA ELÉCTRICA EN CADA CONDICIÓN DE FUNCIONAMIENTO.....	92
TABLA 36. POTENCIA DEMANDADA EN CADA SITUACIÓN APLICANDO MARGEN DE PROYECTO.....	93
TABLA 37. ÁREA EXPUESTA AL VIENTO A PLENA CARGA.....	97
TABLA 38. COMPROBACIÓN DE CRITERIOS DE ESTABILIDAD EN LA CONDICIÓN DE PLENA CARGA.....	97
TABLA 39. ÁREA EXPUESTA AL VIENTO EN LLEGADA A PUERTO.....	97
TABLA 40. COMPROBACIÓN DE CRITERIOS DE ESTABILIDAD EN LA CONDICIÓN DE LLEGADA A PUERTO.....	97
TABLA 41. DATOS NECESARIOS PARA CALCULAR EL EFECTO DEL IZADO DE PESOS.....	98
TABLA 42. EFECTO DEL IZADO DE PESOS EN LA CONDICIÓN DE PLENA CARGA.....	98
TABLA 43. EFECTO DEL IZADO DE PESOS EN LA CONDICIÓN DE LLEGADA A PUERTO.....	98
TABLA 44. VALOR DE Q_{10}	105
TABLA 45. TABLA PARA CALCULAR EL MÓDULO DEL PERFIL ACTUAL.....	107
TABLA 46. MÓDULO DEL PERFIL ACTUAL.....	108
TABLA 47. TABLA COMPARATIVA ENTRE DISTINTOS TIPOS DE PERFIL.....	109
TABLA 48. RELACIÓN DE COMPENSACIÓN EN FUNCIÓN DEL TIPO DE TIMÓN. FUENTE: APUNTES DE PROYECTOS.....	113
TABLA 49. ABCISAS Y ORDENADAS EN TANTO POR CIENTO DE LA LONGITUD DE LA CUERDA. NACA 0015.....	114
TABLA 50. VALORES DE X_2 SEGÚN EL TIPO DE PERFIL. FUENTE: APUNTES DE PROYECTOS.....	116
TABLA 51. VALORES DE X_3 EN FUNCIÓN DE LA DISPOSICIÓN DEL TIMÓN. FUENTE: APUNTES DE PROYECTOS.....	116

Introducción

El presente trabajo tiene como objetivo la transformación del buque *Ciudad de Cartagena* en un buque orientado a la docencia de Ingeniería Naval.

El motivo de esta transformación radica en la necesidad de los alumnos de disponer de un medio real en el que poner en práctica los conocimientos adquiridos durante su paso por la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Naval y Oceánica, en la Universidad Politécnica de Cartagena. De este modo, se tratará de incorporar al buque los medios adecuados para llevar a cabo esta tarea.

Por otra parte, en la actualidad, el buque tiene una actividad marítima muy baja y, además, es explotado tanto por la propia Universidad como por el Instituto Hespérides. Esto lo convierte en el buque apropiado para desempeñar el propósito ya mencionado.

Debido al actual estado del buque, se debe valorar el estado de los distintos equipos a bordo y determinar si se conservarán o, por el contrario, si se van a sustituir por otros. De la misma forma, la idea inicial es mantener la estructura del casco, pero se aprovechará la reforma para realizar tareas de mantenimiento y limpieza de este. Además, teniendo en cuenta que tras la transformación del buque se prevé la presencia de alumnos a bordo, se estudiarán mejoras para la ergonomía y comodidad.

Como consecuencia de la transformación, se deberán eliminar y añadir pesos, se estudiará la modificación o incorporación de mamparos y se modificará la utilidad del buque, lo que conducirá a estudios de estabilidad, así como al estudio del cumplimiento de distintos criterios y normativas impuestas por la Administración.

Por último, y con vistas a la implementación de la Industria 4.0 en este proyecto, se realizará un Gemelo Digital, de modo que, una vez terminado todo el proceso, se disponga de una réplica virtual del buque. Esto es útil, por ejemplo, para los astilleros, ya que permite examinar el diseño del buque, evitar posibles errores y estudiar posibles cambios antes de iniciar la construcción.

1. Estado inicial del buque

El *Ciudad de Cartagena* es un buque cuyas instalaciones actuales están orientadas a la pesca y posterior congelación de las capturas. Está matriculado actualmente en la lista 8ª, por pertenecer a un organismo público (Comunidad Autónoma de la Región de Murcia). El buque, construido por “Astilleros la Parrilla S.L.”, fue reformado con el objetivo de cambiar el tipo de pesca que realizaba, de tal forma que actualmente sus instalaciones son las propias de un palangrero.

A modo de resumen, se muestra a continuación una tabla con las dimensiones principales:

Eslora total (m)	24,000
Eslora entre perpendiculares (m)	19,500
Manga (m)	6,300
Puntal de trazado (m)	3,000
Asiento de proyecto (m)	1,000
Brusca en la maestra (m)	0,135

Tabla 1. Dimensiones principales del buque.

Además, cuenta con una capacidad de unos 37.915 m³ de combustible y 11.68 m³ de agua dulce. Por otra parte, el buque cuenta con tres cubiertas, cuya distribución general se explica a continuación:

- En la cubierta superior, a proa se encuentra el puente de mando del buque. Sobre el puente, están instalados los distintos equipos de comunicación y las balsas salvavidas. A proa del puente hay dos escotillas, una de ellas da acceso a la habitación, y la que queda a popa da acceso al pique de proa. A popa del puente de mando, queda un espacio abierto. Esta es la cubierta por la que se accede al buque. Dentro del puente de mando, existe un acceso a un pañol de la cubierta principal, aunque el acceso principal a esta cubierta se encuentra a popa, en la banda de babor.

- La cubierta principal está dividida por un mamparo estanco. A proa de este mamparo queda la zona de habitación, donde se encuentran la cocina, el aseo y otros dos pañoles. A popa del mamparo estanco está la zona de trabajo y manipulación de las capturas. En este espacio, en la banda de babor, se encuentra la sala de compresores, así como la cámara de congelación. Por otra parte, hacia crujía, está la escotilla que comunica este espacio con la bodega. A popa de esta cubierta, se encuentra la bañera de pesca.

Por otra parte, para acceder a la cubierta inferior existen dos formas. Para acceder a la zona de habitación de la cubierta inferior, hay una escala a proa, en crujía. Mientras que el acceso a cámara de máquinas se encuentra a popa, en la banda de estribor.

- En la cubierta inferior, inmediatamente por debajo de la cubierta principal, se encuentran el local del servo, la cámara de máquinas, la bodega y los alojamientos, siguiendo ese orden de popa a proa. Por debajo de esta cubierta, en el doble fondo, se encuentran la mayoría de los tanques del buque. Además, existen tanques entre la cámara de máquinas y el local del servo, así como a cada banda de este último.

En los Anexos I y II se encuentran los planos de formas y disposición general, respectivamente.

Del sistema propulsivo se conoce que el buque monta un motor principal GUASCOR F-360 de 900 CV a 1500 revoluciones por minuto, acoplado a una reductora. Sin embargo, existe una normativa (Real Decreto 679/1988) que limita la potencia de buques de bajura del Mediterráneo a 500 CV, por lo que realmente la potencia del buque está limitada a 350 CV, como se puede comprobar en la placa del motor.

Respecto a la hélice, se sabe que es de paso fijo y lleva tobera para proporcionar mayor empuje en la condición de arrastre.

En cuanto al sistema de generación eléctrica, se dispone de un alternador Leroy Somer: LSA-M44.2 L12, que proporciona una potencia de 105 kVA. Además, se dispone de otros dos motores auxiliares de 40 kVA.

En cuanto al estado de los distintos equipos, tras su inspección a bordo, se comprueba que buena parte de ellos necesitan mantenimiento o sustitución, como es el caso del sistema de fondeo. De la misma forma, el aspecto general del buque es bastante deteriorado, por lo que además de transformaciones, serán necesarias otras tareas tales como pintar distintas superficies.

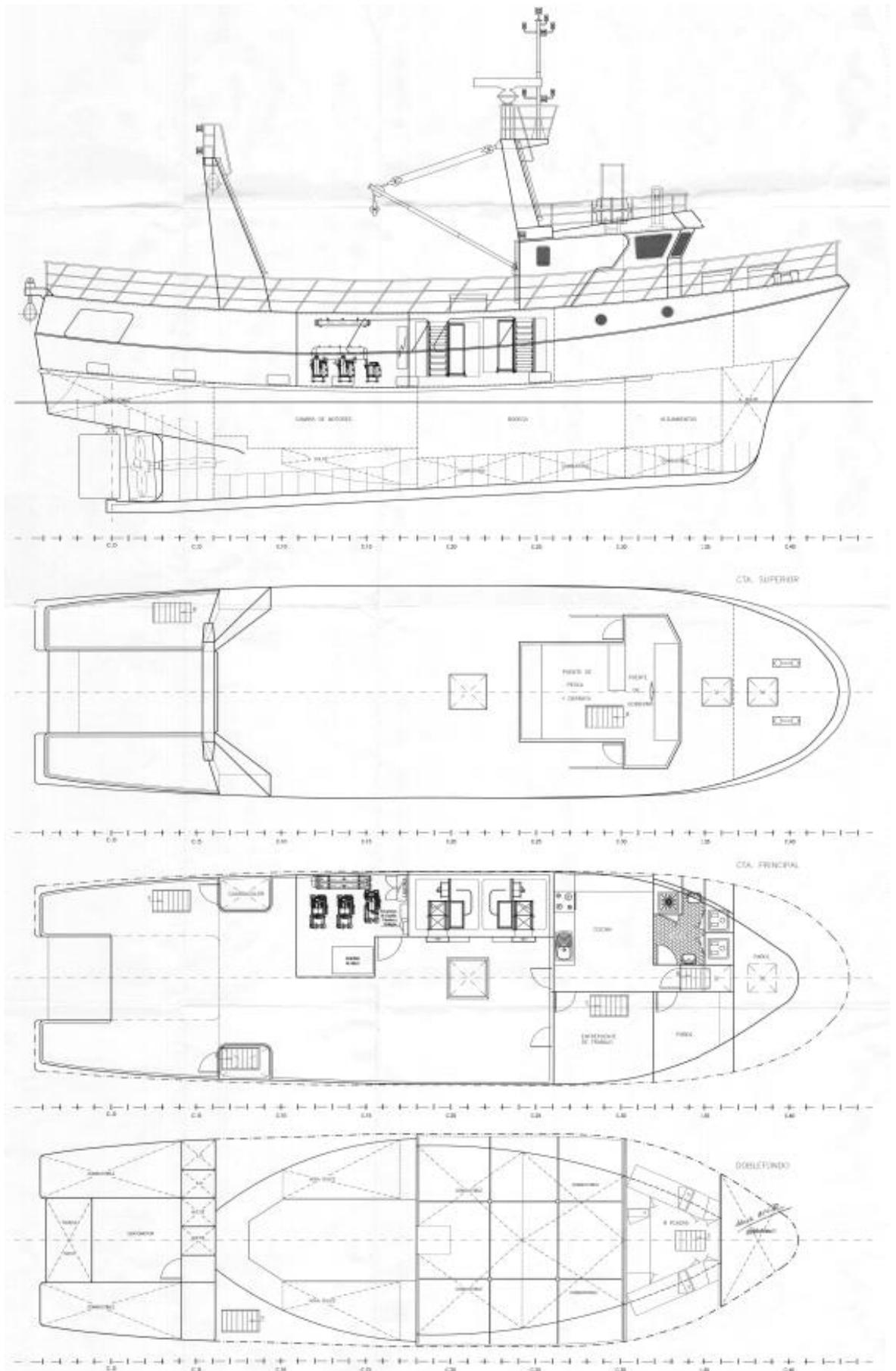


Figura 1. Plano de disposición general.

2. Justificación de la transformación

2.1. BUQUE BASE

Se puede tomar un buque escuela como referencia para la transformación. Un buque escuela es un barco utilizado para la formación de estudiantes como marinos. Cabe destacar que la mayoría de este tipo de buques suelen ser utilizados por las armadas de los diferentes países, siendo gran parte de ellos de vela. Sin embargo, en este caso se va a optar por un buque sin velas. Además, el tamaño de todos ellos es mucho mayor que el tamaño del *Ciudad de Cartagena*. De este modo, el número de buques de referencia es muy limitado. Debido a estos motivos, así como a la escasa bibliografía referente a este tipo de barcos, nos queda como principal referente el buque de cooperación en materia pesquera *Intermares*.



Figura 2. Buque de cooperación en materia pesquera "Intermares".

El *Intermares* es propiedad del Gobierno de España y su finalidad no es otra que formar estudiantes a bordo, centrándose sobre todo en la pesca. Como el propio Ministerio de Defensa afirma en la descripción del buque, se trata de una “novedad internacional”. En cuanto a sus dimensiones principales, tiene una eslora total de 79.20 metros, 15 metros de manga y cuenta con 5 cubiertas. Además, tiene capacidad para 48 alumnos, 10 profesores y 15 tripulantes. Entre su equipamiento, destacan los laboratorios de oceanografía y seguridad alimentaria, así como la embarcación auxiliar de la que se dispone a bordo. Por otra parte, este buque cuenta con una serie de tecnologías orientadas a la protección del medio ambiente marino.

Como se puede comprobar, las dimensiones de este buque son bastante grandes en comparación con las del buque de partida, por lo que es de esperar que, tras la transformación, el buque final no pueda disponer de tantas instalaciones ni capacidad como el *Intermares*.

2.2. OBJETIVOS

En cuanto a las dimensiones principales del buque, se mantendrán todas ellas, pues se considera que con las dimensiones actuales hay espacio suficiente para cumplir con los objetivos del proyecto. Por esto, la capacidad de alumnos se estimará en unos 12. Cabe

destacar que estos alumnos, a efectos de normativa, se deben tener en cuenta no como tripulantes, sino como pasajeros.

Se ha realizado un estudio de la legislación referente a este tipo de buques, con el objetivo de averiguar si requieren de cierto tipo de equipos específicos o algunas características concretas. Como resultado de este estudio, se concluye que no existe una legislación específica para los buques escuela, por lo que se aplicará principalmente la normativa referente a buques de pasaje. Sin embargo, sí que se ha encontrado una serie de requisitos necesarios para que un buque escuela pueda ser reconocido como tal por la Administración, de forma que la actividad docente realizada a bordo sea válida según el criterio de las autoridades. Es necesario destacar que estos criterios se aplican a buques destinados a la formación de oficiales de máquinas o de puente.

Según la Orden de 21 de junio de 2001 sobre tarjetas profesionales de la Marina Mercante:

- Del artículo 5 se obtiene que el buque deberá “estar matriculado en la lista octava o segunda”, “tener el equipamiento completo para realizar navegaciones próximas a la costa” y “contar con elementos requeridos básicos de lucha contra incendios, supervivencia en la mar y observador radar”.
- De los artículos 9 y 10 se deduce que, para obtener algún título de puente acreditado por la Administración, será necesario que el buque escuela disponga, como mínimo, de un arqueo bruto superior a 20 GT o TBR y una potencia de 200 kW.

Por otra parte, según el Real Decreto 973/2009 de 12 de junio por el que se regulan las titulaciones profesionales de la marina mercante:

- El artículo 25.7, indica que se “podrá designar como buques escuela a aquellos buques que puedan llevar como mínimo seis alumnos”.

En base a todo lo anterior, se muestra a continuación un resumen de las características obligatorias que se deben alcanzar para que, en un futuro, el buque pueda ser utilizado para la obtención las titulaciones ya mencionadas:

Número mínimo de alumnos	6
Lista de matriculación	8ª
Arqueo bruto mínimo (GT)	20
Potencia mínima (kW)	200

Tabla 2. Requisitos para que la Administración otorgue la clasificación de "buque escuela".

Como se comprueba con la información aportada en el Capítulo 3, estas características ya se cumplen actualmente. Por tanto, basta con mantener todas ellas durante el proceso.

Sin embargo, para dar al buque la finalidad de centro docente, que es lo que realmente se busca, será necesaria la incorporación de nuevos espacios y equipos. Del mismo modo, se eliminarán también ciertos equipos innecesarios que hay actualmente a bordo. En los siguientes capítulos se realizará un análisis más detallado de los elementos a incorporar y a retirar, pero la idea inicial es estudiar la posibilidad de incorporar los siguientes espacios y componentes:

- Un aula para impartir docencia a bordo. Este espacio deberá tener capacidad suficiente para el número máximo de alumnos. Por tanto, será posiblemente el compartimento de mayores dimensiones. El aula se instalará en el actual espacio de trabajo de pesca, en la cubierta principal.

- Una grúa, para realizar maniobras de carga o descarga de ROVs. Esta grúa estará situada sobre la cubierta principal.

- Una sala de informática, donde se instalarán algunos ordenadores, así como los equipos de control del ROV.

- Se sustituirá el actual equipo de fondeo, debido a que, tras una visita al buque, se comprueba que está deteriorado.

- Con el objetivo de mejorar la ergonomía y seguridad del buque, se sustituirán las escalas por otras que permitan una mejor movilidad entre cubiertas.

De forma paralela al desarrollo de los cálculos correspondientes, se desarrollará el modelo de buque en 3D, de tal forma que se obtenga una réplica virtual del mismo. Esta es una técnica en auge en el sector de la construcción naval, ya que permite a los astilleros trabajar de forma más eficiente, pues ayuda al mantenimiento predictivo de los buques.

3. Generación de formas hidrostáticas e

3.1. GENERACIÓN DE FORMAS

En este capítulo se desarrollan las formas de casco partiendo del plano de formas del buque (Anexo I). Una vez obtenidas, se calcularán las tablas hidrostáticas.

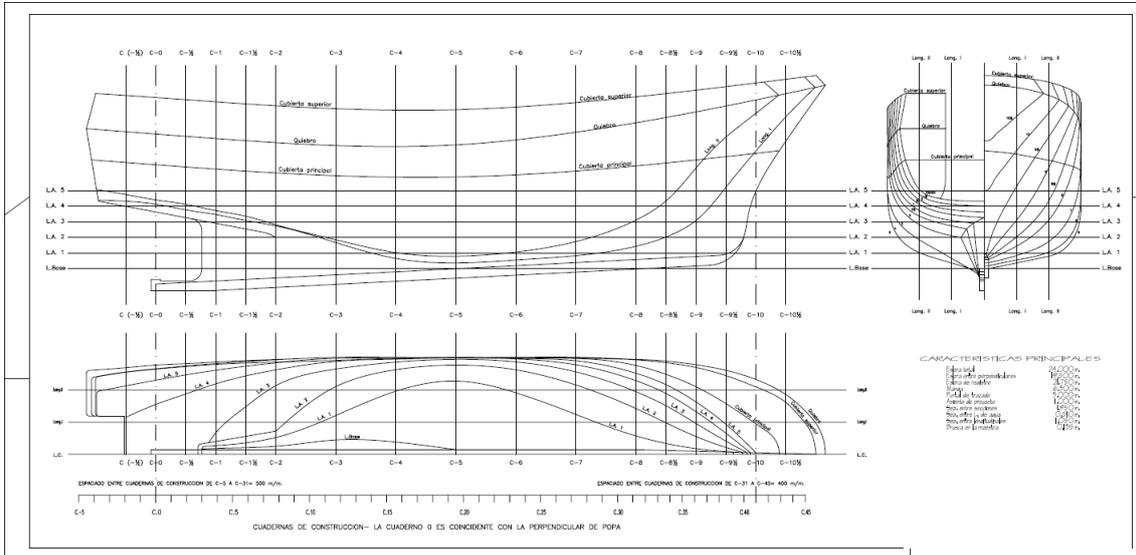


Figura 3. Plano de formas actual del buque. Fuente: Aula virtual.

El software utilizado para modelar el casco del buque ha sido tanto *Maxsurf Modeler* como *Rhinoceros*. En primer lugar, se importa el plano de formas en *Maxsurf Modeler* (en formato *.jpg*), escalándolo según la tabla de características principales que aparece en el plano.

A continuación, se procede al ajuste de las distintas superficies que forman el casco, partiendo de un buque base proporcionado por el propio programa. El ajuste de estas superficies se lleva a cabo desplazando los puntos de control, con el objetivo de conseguir una superficie lisa y lo más parecida posible a lo que se refleja en el plano. Para ello, se ha seguido la estrategia de colocar los puntos de control sobre las intersecciones de las líneas de referencia del plano (intersecciones de líneas de agua con secciones, por ejemplo).

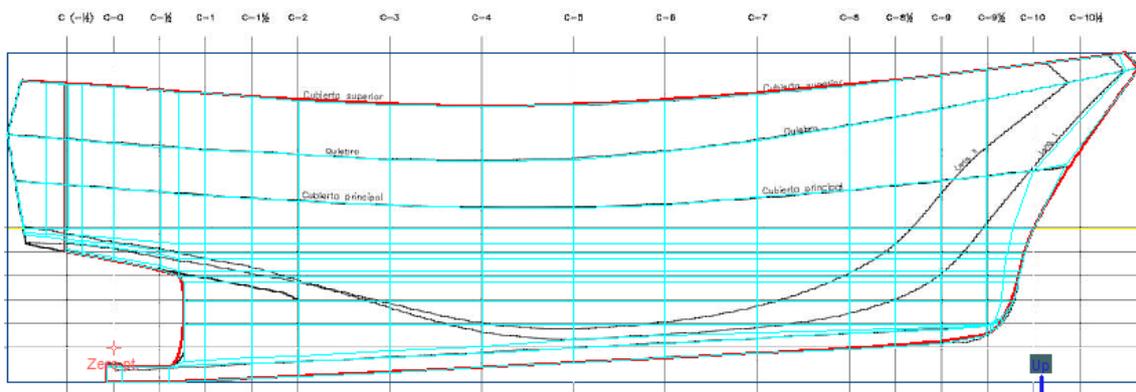


Figura 4. Proceso de ajuste de los puntos de control de las superficies, vista de perfil del buque

Por otra parte, para crear vano que hay a popa del parque de pesca en crujía, así como la zona del codaste, se han utilizado herramientas de recorte de superficies (*Split surfaces*), así como la creación de nuevas superficies para cerrar el casco (*Add Surface*).

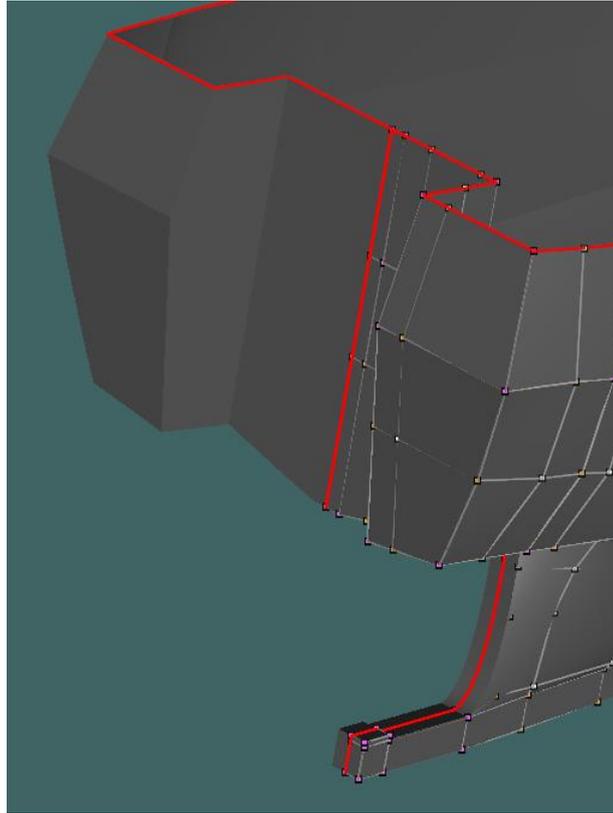


Figura 5. Zona de popa ajustada.

Para conseguir un buen grado de alisado, se ajustará la rigidez de las superficies hasta alcanzar un nivel de acabado superficial aceptable.

Para facilitar el modelado se ha dividido el casco en distintas zonas: se ha creado primero la parte del casco que va desde la quilla hasta la cubierta principal, es decir, hasta el puntal de trazado. Posteriormente, se ha creado la parte superior del casco, que va desde la cubierta principal hasta la superior. Esta última parte se ha dividido a su vez en dos tramos, para poder dar forma al quiebro que se muestra en el plano.

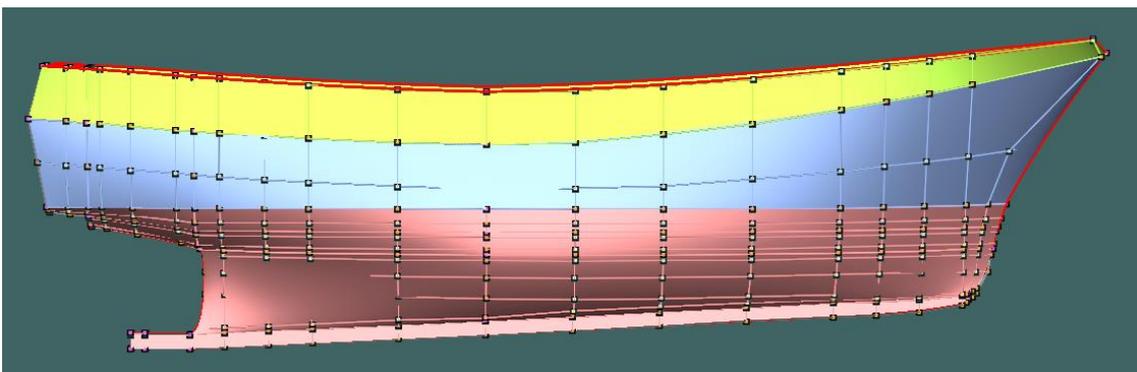


Figura 6. Zonas en las que se ha dividido el casco para su modelado, vista de perfil.

Por último, como se muestra en la siguiente figura, se han unido todas las superficies, obteniendo el modelo del casco.

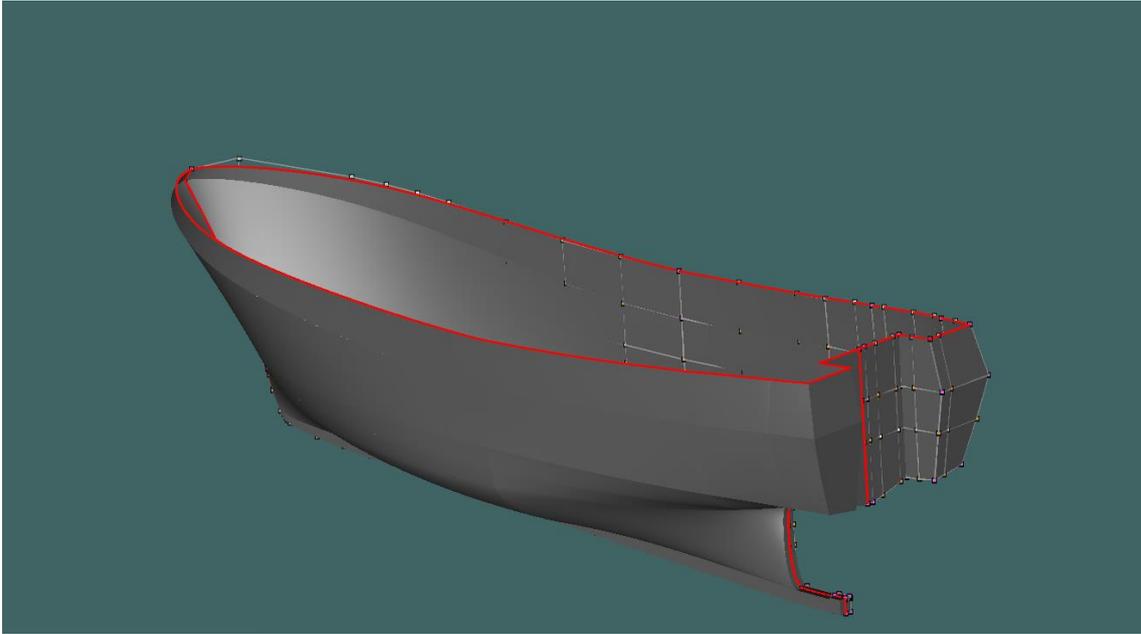


Figura 7. Modelo del casco del buque.

A continuación, para mejorar el acabado superficial, se exporta el archivo a *Rhinoceros*. Para trabajar de forma más rápida y eficiente, se elimina la mitad del buque de cualquiera de las dos bandas, puesto que es simétrico, y una vez terminado el modelo del casco, se creará el costado mediante el comando *Reflejar*.

Se procederá en primer lugar a alisar las superficies, con la herramienta *Reconstruir* que incorpora el propio programa. Al aplicar este método, es importante hacerlo progresivamente, sin abarcar grandes superficies, ya que podría suponer una desviación de las formas con respecto al plano real. Por tanto, a lo largo del desarrollo de este proceso, será necesario comprobar periódicamente que los cambios realizados no suponen una gran desviación.

Como se muestra en la siguiente figura, con este comando se modificarán ligeramente los puntos de control de las superficies, así como el grado de estas, tanto vertical como horizontalmente.

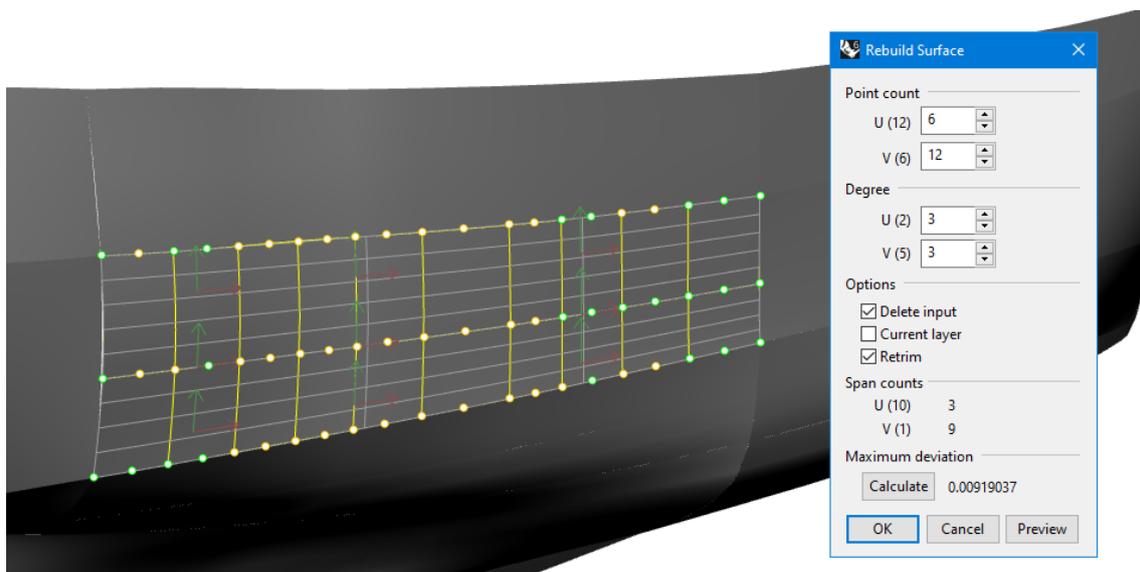


Figura 8. Aplicación del comando *Reconstruir* en *Rhinoceros*.

Una vez reconstruidas las superficies, se igualan los bordes de estas, mediante el comando *IgualarSup*. Esta herramienta se utiliza para dar continuidad entre los bordes de dos superficies contiguas. En la siguiente ilustración, se muestra la ventana que se utiliza para ajustar la continuidad entre las dos superficies a igualar. Se estudiará en cada caso la continuidad que debe existir entre dos superficies, de tal forma que el resultado final sea lo más próximo posible al plano de formas de partida.

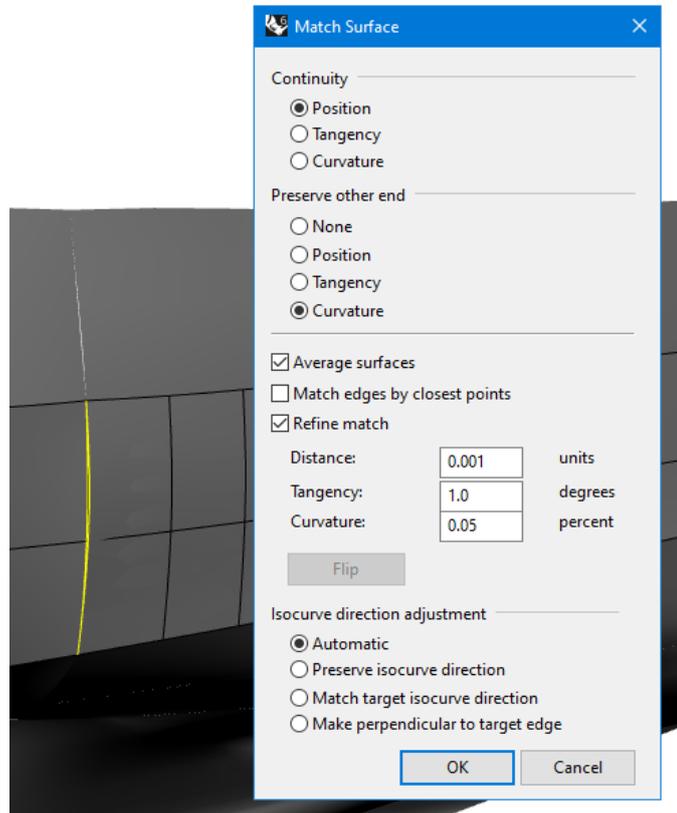


Figura 9. Aplicación del comando *Igualar superficies* en Rhinoceros

Por último, se crea la banda del buque que se había eliminado, mediante el comando *Reflejar*, obteniendo como resultado el modelo 3D del casco con el que se trabajará en los siguientes capítulos.

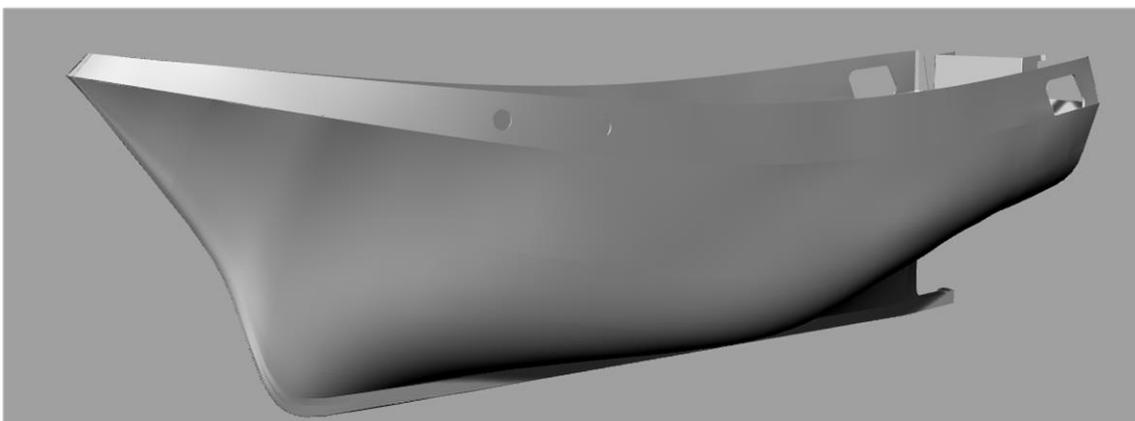


Figura 10. Modelo del casco finalizado.

Es importante comprobar que el resultado final no se ha desviado de lo que refleja el plano de formas.

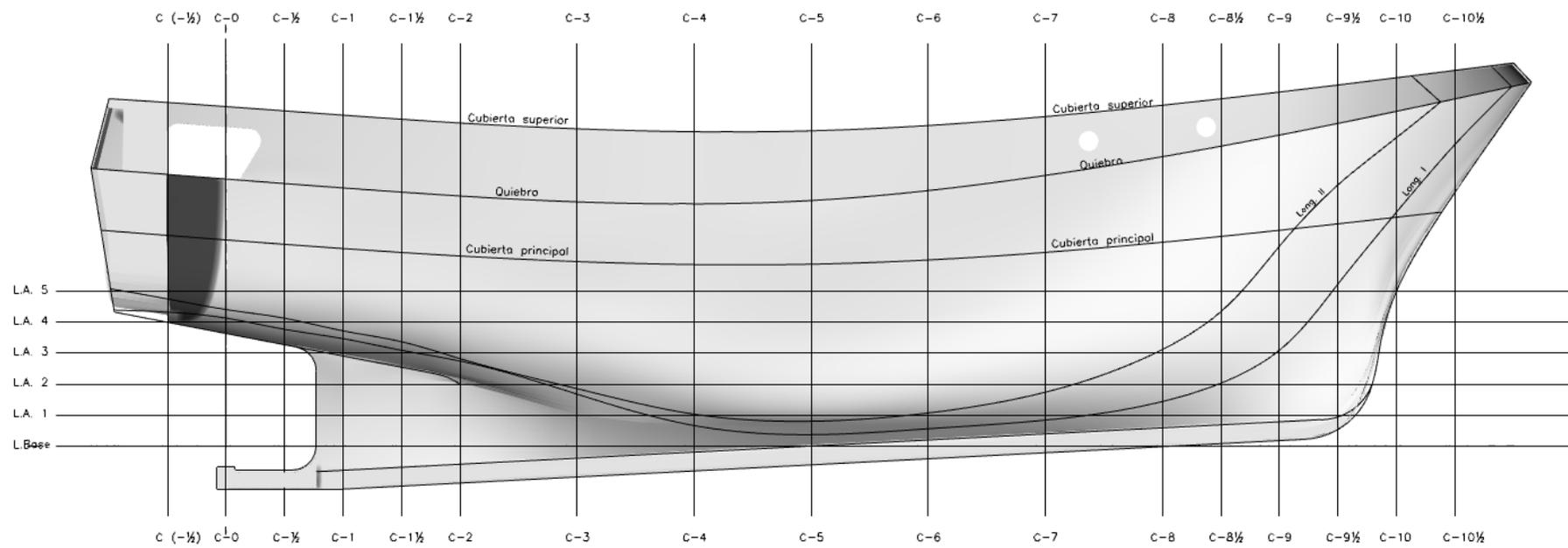


Figura 11. Comprobación del modelo con lo indicado en el plano de formas, vista de perfil

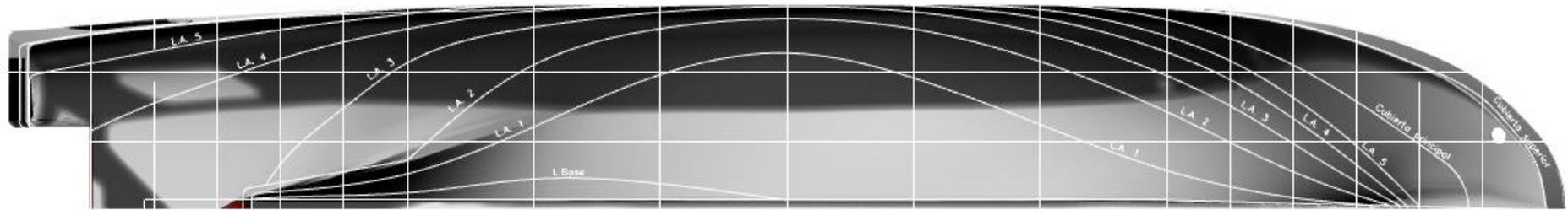


Figura 12. Comprobación del modelo con lo reflejado en el plano de formas, vista en planta.

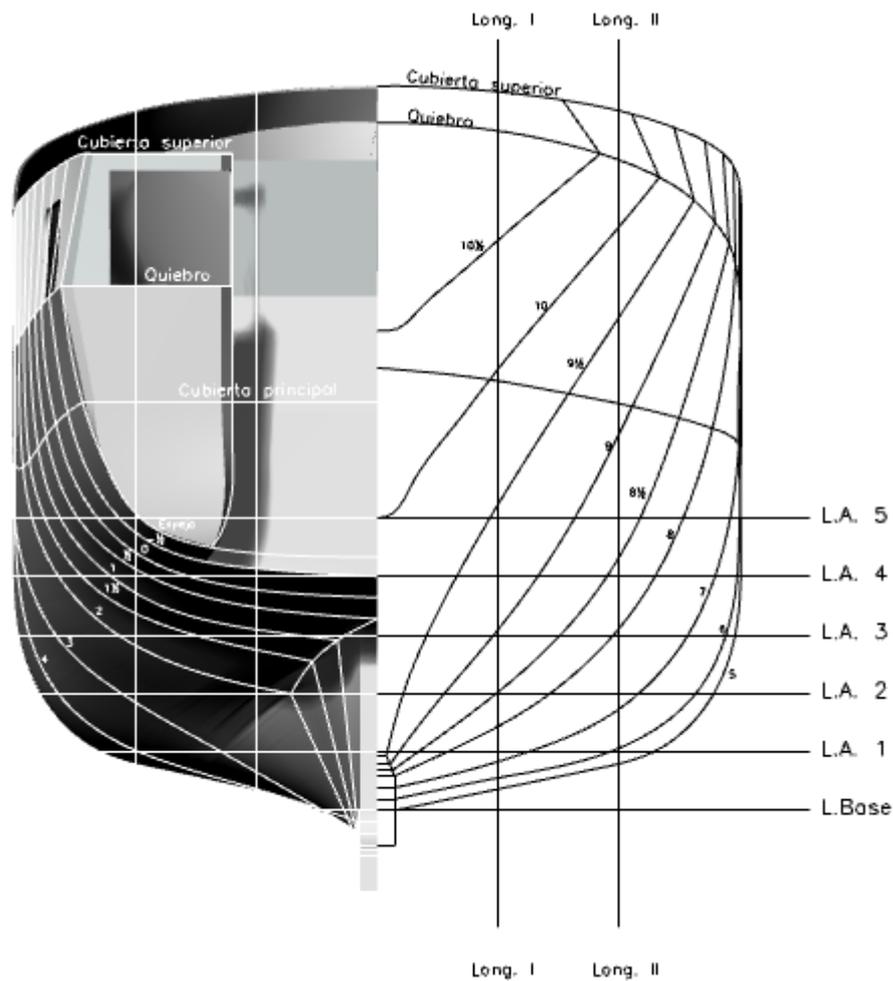


Figura 13. Comprobación del modelo con lo reflejado en el plano de formas, caja de cuadernas.

Como se puede comprobar en las tres figuras anteriores, el modelo creado del casco apenas se desvía del plano de formas original del buque. Por tanto, se puede validar este diseño.

3.2. HIDROSTÁTICAS

Una vez obtenidas las formas del buque, se calculan de forma sencilla las hidrostáticas desde *Maxsurf Stability*. Como dato de entrada se pide el trimado. En este apartado se muestran únicamente las tablas para trimado nulo. Sin embargo, más adelante será necesario obtener estas tablas para un rango más amplio de trimados (Anexo III).

Calado (m)	1,55	1,65	1,75	1,85	1,95	2,05	2,15	2,25	2,35	2,45	2,55	2,65	2,75	2,85	2,95	3,05	3,15
Desplazamiento (t)	76,080	84,070	92,410	101,100	110,200	119,700	129,500	139,700	150,100	160,800	171,800	183,100	194,500	205,900	217,500	229,200	240,900
Volumen (m³)	74,222	82,018	90,152	98,644	107,502	116,75	126,346	136,253	146,414	156,863	167,636	178,625	189,715	200,906	212,194	223,579	235,06
Trimado (m)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
L_{FLOTACIÓN} (m)	17,868	18,247	18,705	19,216	19,774	20,354	20,387	20,422	20,733	21,358	21,411	21,479	21,548	21,618	21,690	21,763	21,837
Manga (m)	6,087	6,138	6,181	6,218	6,250	6,275	6,293	6,310	6,326	6,342	6,358	6,348	6,342	6,338	6,335	6,334	6,334
S_{MOJADA} (m²)	110,738	116,041	121,551	127,357	133,227	139,342	145,174	150,840	155,852	161,854	168,109	172,823	177,533	182,252	186,981	191,720	196,514
Á_{FLOTACIÓN} (m²)	76,287	79,632	83,076	86,735	90,569	94,293	97,524	100,428	102,991	106,088	109,357	110,400	111,405	112,395	113,369	114,331	115,280
C_P	0,607	0,603	0,597	0,591	0,584	0,577	0,587	0,596	0,597	0,590	0,598	0,606	0,613	0,620	0,626	0,632	0,637
C_B	0,300	0,308	0,315	0,321	0,325	0,329	0,343	0,355	0,363	0,365	0,376	0,388	0,400	0,410	0,420	0,430	0,439
C_M	0,577	0,592	0,607	0,621	0,633	0,647	0,659	0,670	0,680	0,690	0,699	0,710	0,719	0,727	0,735	0,743	0,750
C_{FL}	0,701	0,711	0,719	0,726	0,733	0,738	0,760	0,779	0,785	0,783	0,803	0,810	0,815	0,820	0,825	0,829	0,833
LCB (m)	9,519	9,539	9,544	9,534	9,511	9,476	9,431	9,382	9,332	9,279	9,221	9,164	9,115	9,071	9,032	8,997	8,966
LCF (m)	9,794	9,665	9,518	9,348	9,157	8,967	8,819	8,698	8,605	8,460	8,301	8,308	8,318	8,330	8,344	8,359	8,376
KB (m)	0,928	0,992	1,056	1,120	1,185	1,249	1,314	1,378	1,442	1,506	1,570	1,633	1,696	1,757	1,818	1,878	1,938
BM_T (m)	2,226	2,160	2,099	2,048	2,004	1,956	1,903	1,853	1,809	1,780	1,767	1,687	1,615	1,550	1,491	1,437	1,388
BM_L (m)	17,705	17,690	17,800	18,071	18,461	18,828	18,892	18,765	18,459	18,531	18,675	17,932	17,255	16,643	16,089	15,585	15,125
KM_T (m)	3,154	3,152	3,155	3,168	3,189	3,205	3,216	3,231	3,251	3,286	3,337	3,321	3,311	3,308	3,309	3,315	3,326
KM_L (m)	18,633	18,682	18,855	19,191	19,646	20,078	20,206	20,143	19,901	20,037	20,245	19,566	18,950	18,400	17,907	17,463	17,062
TCI (t/cm)	0,782	0,816	0,852	0,889	0,928	0,966	1,000	1,029	1,056	1,087	1,121	1,132	1,142	1,152	1,162	1,172	1,182
MTC (t·m)	0,627	0,695	0,773	0,863	0,966	1,076	1,173	1,260	1,335	1,442	1,559	1,598	1,635	1,674	1,713	1,753	1,793

Tabla 3. Hidrostáticas para trimado nulo.

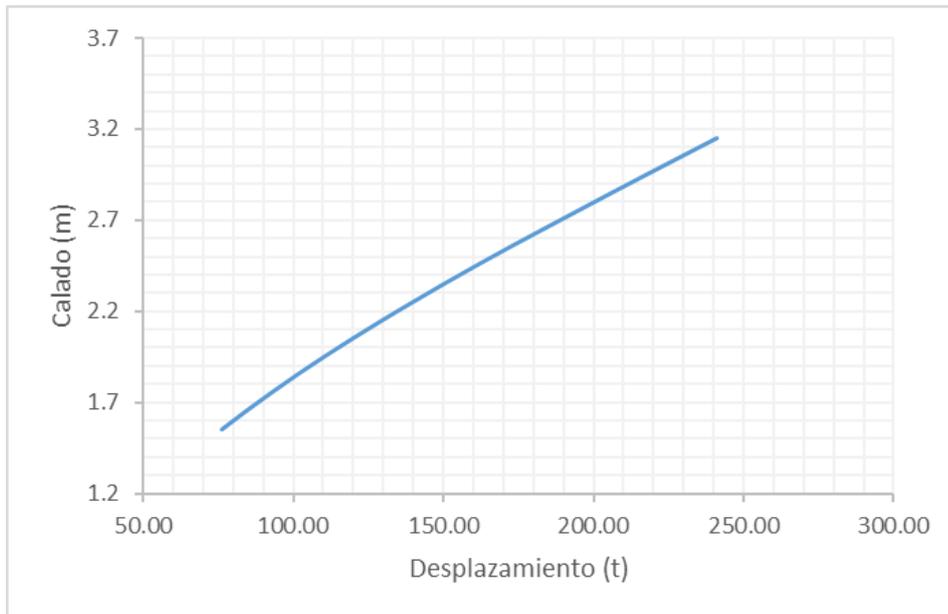


Gráfico 1. Relación desplazamiento-calado para trimado nulo

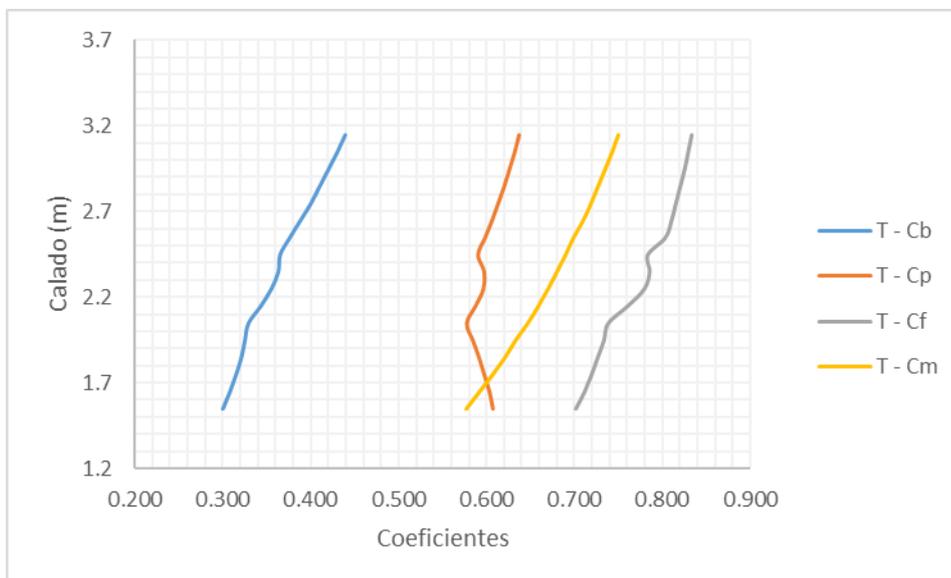


Gráfico 2. Relación coeficientes-calado para trimado nulo

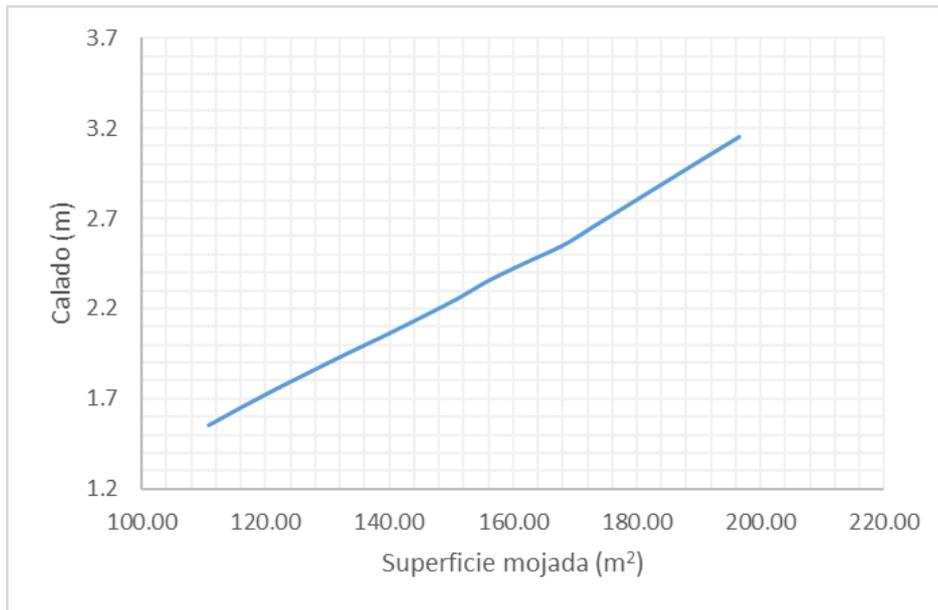


Gráfico 3. Relación superficie mojada-calado para trimado nulo

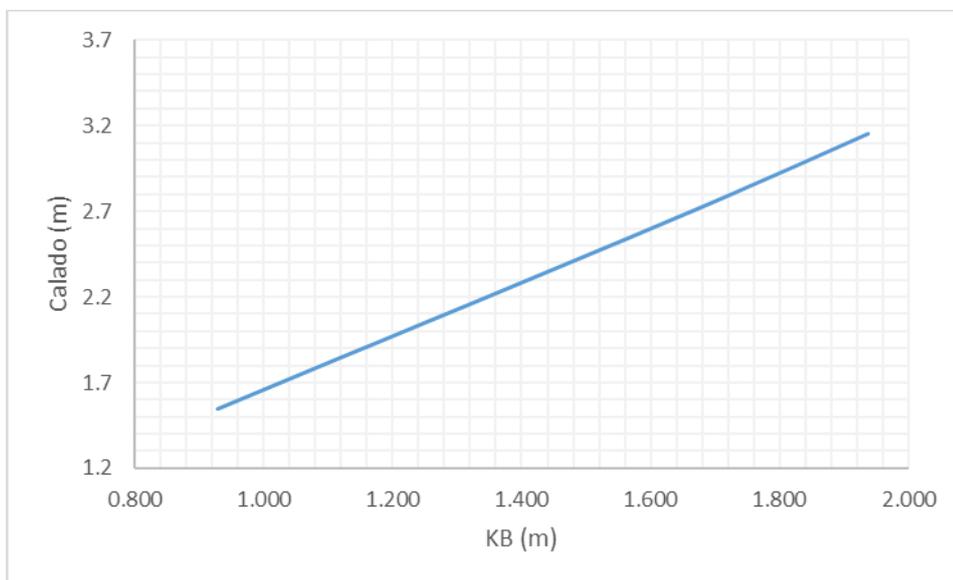


Gráfico 4. Relación KB-calado para trimado nulo

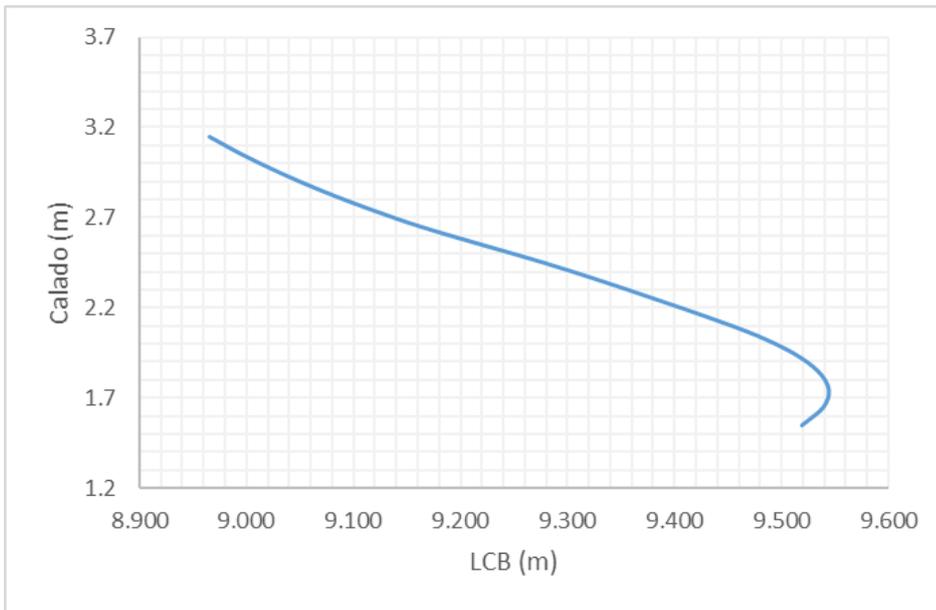


Gráfico 5. Relación LCB-calado para trimado nulo

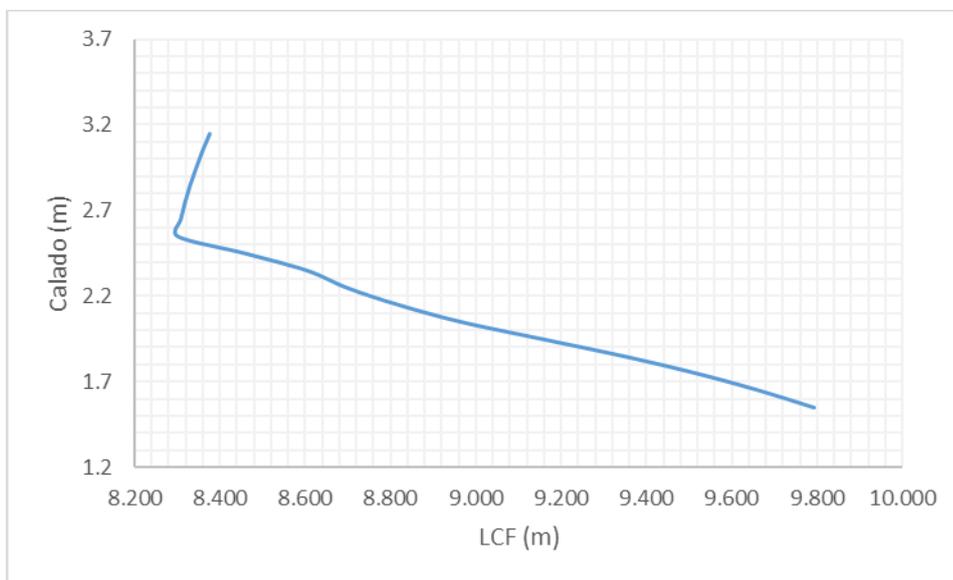


Gráfico 6. Relación LCF-calado para trimado nulo

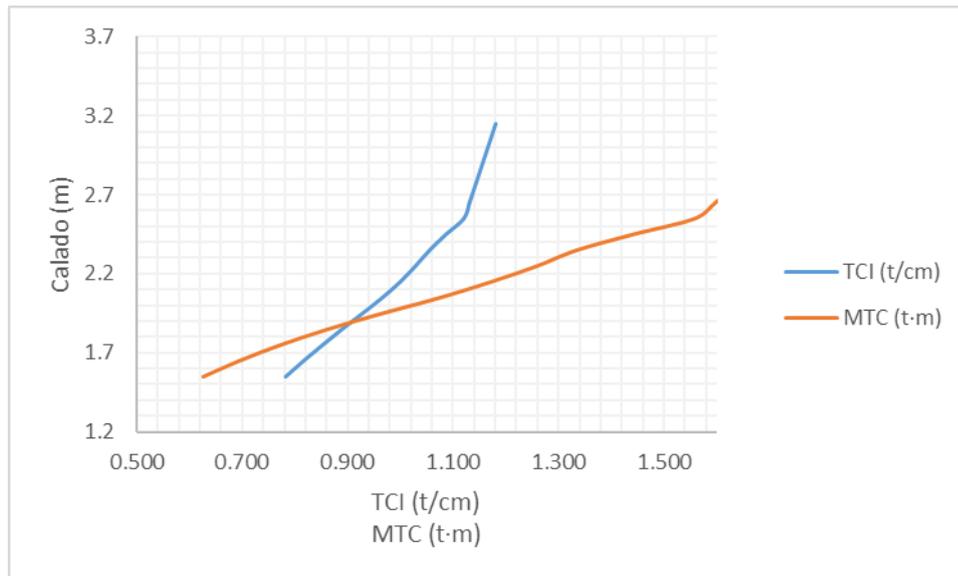


Gráfico 7. Relación TCI/MTC-calado para trimado nulo

3.3. DEFINICIÓN DE TANQUES

En este apartado se presenta el listado detallado de los tanques del buque. Del mismo modo, se realizará la calibración de los tanques instalados a bordo.

Parece conveniente mostrar en este capítulo el listado detallado de tanques. Sin embargo, la calibración de tanques se adjunta en el Anexo VI. Para realizar los cálculos se ha utilizado *Maxsurf Stability*. En este programa, se introducen los tanques a través de las coordenadas de los mamparos que los delimitan. Una vez creados los tanques, los cálculos de las sondas se realizan automáticamente. Por último, cabe destacar que los tanques de geometrías más complejas o inclinados como, por ejemplo, los de agua dulce, ha sido necesario introducir más coordenadas de las que se muestran en la siguiente tabla para poder definirlos correctamente. Además, los límites de estribor y babor que se muestran en la tabla no son representativos de los límites reales del tanque, pues se han introducido valores excesivos para que el programa ajuste automáticamente los tanques a la superficie del casco del buque en los costados.

NOMBRE	FLUIDO	PESO ESPECÍFICO (T/m³)	LÍMITE POPA (m)	LÍMITE PROA (m)	LÍMITE ESTRIBOR (m)	LÍMITE BABOR (m)	LÍMITE SUPERIOR (m)	LÍMITE INFERIOR (m)
COMB. TSD. 1	Diésel	0,84	2,070	3,070	-3,500	-2,085	3,075	1,000
COMB. TSD. 2	Diésel	0,84	2,070	3,070	-2,085	-1,240	3,075	0,500
COMB. TC 2	Diésel	0,84	15,100	18,000	-0,430	0,430	1,340	0,460
COMB. TC 3 BR	Diésel	0,84	12,120	15,100	-3,600	0,000	1,163	0,290
COMB. TC 3 ER	Diésel	0,84	12,120	15,100	0,000	3,600	1,170	0,310
COMB. TC 4 BR	Diésel	0,84	9,035	12,120	-3,600	0,000	1,015	0,150
COMB. TC 4 ER	Diésel	0,84	9,035	12,120	0,000	3,600	1,015	0,150
COMB. TC. 6 BR	Diésel	0,84	-2,090	2,070	-3,500	-1,260	3,140	1,470
COMB. TC. 6 ER	Diésel	0,84	-2,090	3,070	1,260	3,500	3,140	1,470
A. DULCE TA 1	A. dulce	1	18,040	19,520	-2,500	2,500	3,730	1,350
AGUA DULCE TA.5 BR	A. dulce	1	4,000	9,000	-3,500	-1,200	1,180	0,130
AGUA DULCE TA.5 ER	A. dulce	1	4,000	9,000	1,200	3,500	1,180	0,130
AC. H. TAC. 7	Aceite	0,92	2,070	3,070	-1,240	-0,400	3,075	1,325
AC. H. TAC. 8	Aceite	0,92	2,070	3,070	-0,400	0,450	3,075	1,064

Tabla 4. Definición de tanques del buque.

4. Francobordo y Arqueo

Este capítulo se basa en el cálculo del francobordo y el arqueo del buque. El cálculo desarrollado de cada uno de ellos se encuentra en la hoja de cálculo adjunta a este libro.

4.1. CÁLCULO DEL FRANCOBORDO

Se define el Francobordo como “la distancia vertical, medida en la sección media de un buque, entre el borde superior de la línea de cubierta y el borde superior de la línea de Francobordo correspondiente”. El Francobordo es un elemento de gran importancia para el desarrollo del resto del proyecto.

Como ya se ha mencionado anteriormente, un problema que ha aparecido durante la elaboración de este proyecto es el hecho de que no existe una normativa específica para el tipo de buque que se pretende proyectar. Por tanto, para el cálculo del francobordo se ha estudiado la posibilidad de aplicar las siguientes normativas:

- a) Convenio Internacional de Líneas de Carga.
- b) Convenio de Torremolinos.
- c) Real Decreto 543/2007¹.

Tras analizar las tres normativas, se ha decidido que es el Real Decreto 543/2007 el que aplica a este tipo de embarcaciones, debido a que los dos restantes aplican a buques de mayores dimensiones. Se describe a continuación el proceso a seguir.

4.1.1. Marcas de francobordo

En primer lugar, se realiza el diseño de las marcas de francobordo y línea de cubierta. Para ello, será necesario calcular la eslora L a la que se hace referencia en el capítulo de definiciones de la norma. Este cálculo se ha realizado gráficamente en *Rhinoceros* a partir del plano de formas, obteniendo como resultados:

96% de la eslora total medida en una flotación cuya distancia a la cara superior de la quilla sea igual al 85% del puntal de trazado	20,56 m
Eslora medida en la flotación anterior desde la cara proel de la roda hasta el eje de la mecha del timón	19,50 m

Tabla 5. Esloras obtenidas para el cálculo de la eslora de francobordo.

¹ Real Decreto 543/2007, por el que se determinan las normas de seguridad y de prevención de la contaminación a cumplir por los buques pesqueros menores de 24 metros de eslora (L).

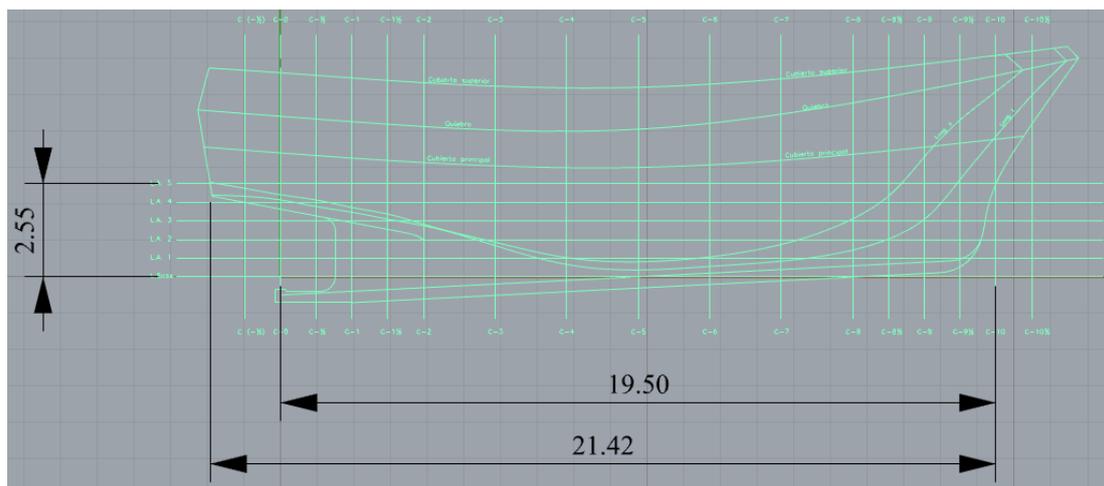


Figura 14. Obtención gráfica de las medidas necesarias para el cálculo de la eslora de francobordo.

Como se puede comprobar, la eslora L requerida para el cálculo del francobordo es de 20.56 metros. Los cálculos se muestran de forma más detallada en la hoja de cálculo que acompaña a este trabajo.

Las líneas de francobordo y cubierta serán de la siguiente forma:

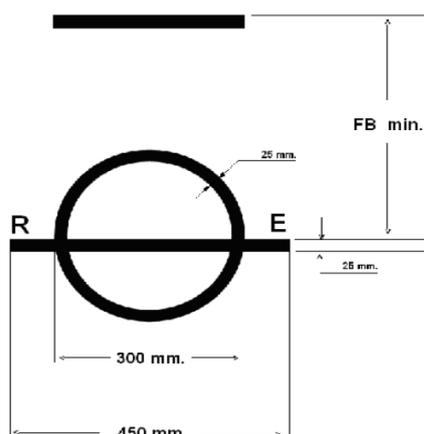


Figura 15. Marcas de francobordo. Fuente: www.mitma.gob.es

La marca de cubierta (marca superior) se coloca de tal forma que esta quede centrada en el punto medio de la eslora L , haciendo pasar su borde superior por el punto en que la prolongación de la cara superior de la cubierta de francobordo corte a la superficie exterior del forro del casco.

Por su parte, la marca de francobordo (marca inferior) se deberá situar igualmente centrada en eslora y con el centro del disco situado a una distancia vertical del borde superior de la marca de cubierta igual al francobordo mínimo asignado.

La distancia vertical entre el borde superior de ambas marcas (francobordo y cubierta) será la correspondiente al francobordo asignado, que se calcula a continuación. Es necesario que las dos queden grabadas a cada banda del buque.

4.1.2. Francobordo asignado

Para definir el francobordo asignado, se utiliza la siguiente curva propuesta en el Real Decreto:

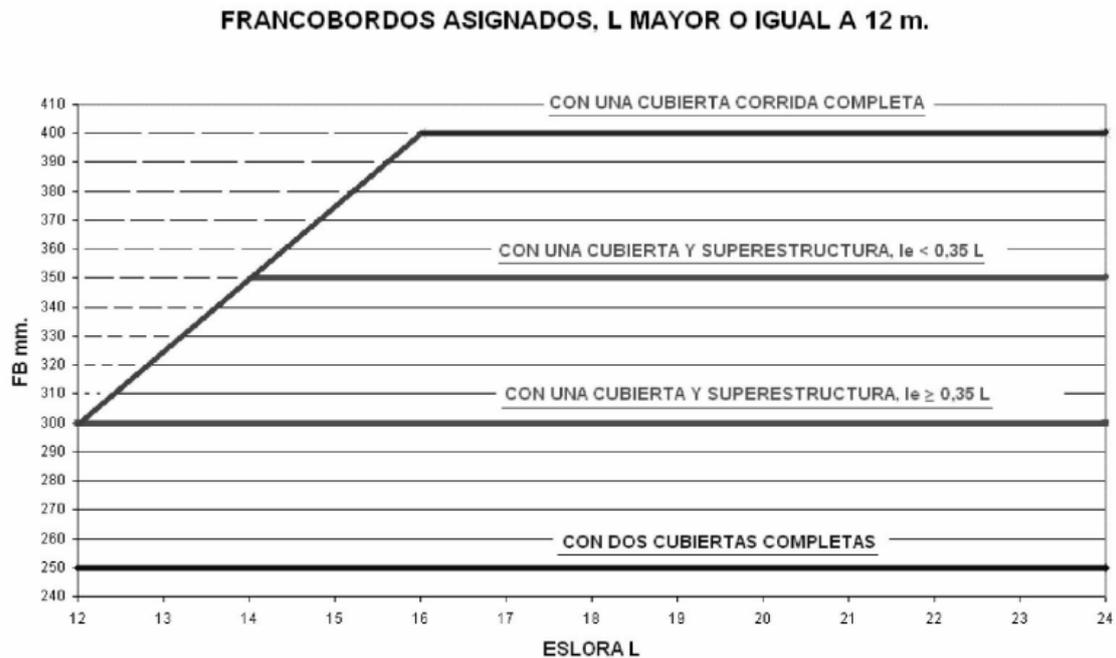


Gráfico 8. Cálculo del francobordo asignado. Fuente: www.mitma.gob.es

El buque en cuestión tiene dos cubiertas completas, por tanto:

$$f_{\text{asignado}} = 250 \text{ mm}$$

En este tipo de buques, será necesario también calcular la altura mínima de la amura en la proa, según la siguiente ecuación:

$$H(\text{mm}) = 43 \cdot L(\text{m}) + 310 \quad (4.1)$$

Entrando a la ecuación con la eslora calculada previamente, se obtiene un valor de 1194.22 mm que, comprobado con el plano de formas, es menor que la altura de la amura, medida desde la flotación máxima permitida en la perpendicular de proa (3330 mm). Como es lógico, el borde superior de la línea horizontal de francobordo no debe quedar sumergido en ningún momento.

4.2. CÁLCULO DEL ARQUEO

El cálculo del Arqueo se ha calculado en base al Convenio Internacional sobre Arqueo de Buques, hecho en Londres. Se distinguen dos tipos de Arqueo: Bruto y neto. El primero se utiliza como medida de volumen total interno del buque, mientras que el arqueo neto sirve como medida de la capacidad útil de carga del buque.

1.1. Arqueo bruto

El arqueo bruto, según la Regla 3 del Convenio, se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$GT = K_1 \cdot V \quad (4.2)$$

$$K_1 = 0.2 + 0.02 \cdot \log_{10} V \quad (4.3)$$

Siendo V el volumen de los espacios cerrados en metros cúbicos.

Resulta sencillo calcular este parámetro a partir del modelo 3D del casco del buque y el plano de distribución general. Tomando como espacios cerrados aquellos que están bajo la cubierta principal, así como los que quedan a proa del mamparo estanco de esta cubierta, se obtiene un volumen de 288.7 m³. Por tanto:

$$GT = 71,95$$

1.2. Arqueo neto

Según la Regla 4, el arqueo neto es distinto en función de si se trata de un buque de pasaje o no. En este caso, se considerará que el buque en cuestión es de pasaje, pues transportará a 12 alumnos y, al menos, un profesor. Las expresiones a aplicar son las siguientes:

$$NT = K_2 \cdot V_C \cdot \left(\frac{4 \cdot d}{3 \cdot D}\right)^2 + K_3 \cdot \left(N_1 + \frac{N_2}{10}\right) \quad (4.4)$$

$$K_2 = 0.2 + 0.02 \cdot \log_{10} V_C \quad (4.5)$$

$$K_3 = 1.25 \cdot \frac{GT + 10000}{10000} \quad (4.6)$$

Siendo:

- V_C : Volumen de los espacios de carga en metros cúbicos.
- d : Calado de trazado en crujía en metros.
- D : Puntal de trazado en crujía en metros.
- N_1 : Número de pasajeros en cabinas con no más de ocho literas.
- N_2 : Número de otros pasajeros.

Además, habrá que tomar las siguientes consideraciones:

- El factor $\left(\frac{4d}{3D}\right)^2$ no se tomará superior a 1.
- El término $K_2 \cdot V_C \cdot \left(\frac{4d}{3D}\right)^2$ no se tomará inferior a $0.25 \cdot GT$ y el NT no se tomará inferior a $0.30 \cdot GT$.

Cabe señalar que como espacio de carga se tomará únicamente la bodega. De esta forma, se obtiene:

$$NT = 28,941$$

5. Descripción del nuevo equipamiento del buque

Más adelante será necesario obtener una estimación bastante fiable del desplazamiento del buque. Para ello, es necesario tener bien definidos los nuevos equipos que se van a instalar a bordo, así como aquellos que serán retirados del mismo.

Por ello, resulta necesario dedicar un capítulo del proyecto a la descripción de los nuevos elementos que se instalarán en el buque.

5.1. Equipos derivados de la utilización del ROV

Un ROV (*Remote Operated Vehicle*) consiste en un vehículo submarino, controlado a distancia desde una unidad de control. El ROV es capaz de captar distintos datos y emitirlos a la unidad de control para ser analizados. Esto abre un amplio campo de aplicaciones en distintos sectores. En el caso de la docencia en Ingeniería Naval, podría utilizarse para fines como la inspección del casco y apéndices sumergidos, la seguridad marítima, el estudio de la posible cavitación de la hélice, etc.

Por otra parte, el uso de un ROV a bordo conlleva la instalación de una serie de equipos y sistemas. Es necesario que el buque disponga de los siguientes equipos:

- Una grúa para el lanzamiento y la recuperación del equipo (LARS, del inglés: *Launch And Recovery Systems*),
- Un sistema de control de la instalación.
- Además, la mayoría de este tipo de vehículos, son lanzados al mar en el interior de una jaula (TMS, del inglés: *Tether Management Systems*) que hace de punto de unión entre el buque y el ROV, mediante un cable que recibe el nombre de umbilical.

En este caso, el sistema instalado para la utilización del ROV está compuesto por los elementos que se describen a continuación:

ROV

El ROV elegido es el SEAEYE TIGER, también del fabricante SAAB. La ficha técnica se adjunta en el Anexo X. El equipo tiene un peso de 150 kilogramos, alcanzando una profundidad máxima de 1000 metros. Como se puede observar con detalle en la ficha técnica, cuenta con una amplia gama de sensores y herramientas.



Figura 16. ROV SAAB SEA EYE TIGER. Fuente: www.marinevision.es

Sistema de gestión umbilical, TMS

En este caso, el ROV elegido cuenta con el sistema de gestión umbilical TMS-2, del mismo fabricante que ROV. Su peso es de 460 kilogramos. En este caso no ha sido posible obtener la ficha técnica del producto, por lo que los datos han sido extraídos directamente de la página web del fabricante. Entre estos datos es necesario destacar principalmente sus dimensiones, que son de 1.2 x 1.2 x 1.64 metros. En cuanto a la profundidad alcanzada, coincide con la máxima permitida por el ROV (1000 metros).



Figura 17. ROV acoplado a TMS. Fuente: www.marinevision.es

Sistema de lanzamiento y recuperación del equipo

Se instalará una grúa para el despliegue y la recuperación del ROV. La grúa será la M65.20, del fabricante GUERRA. La ficha técnica de la grúa y los archivos CAD han sido facilitados directamente por el fabricante, pudiendo consultarse en el Anexo X. Dentro de este modelo existen tres tipos con distintos radios de alcance. Sin embargo, en

la siguiente figura se muestra que con la de menor alcance es suficiente para colocar el sistema sobre la superficie del agua con bastante margen.

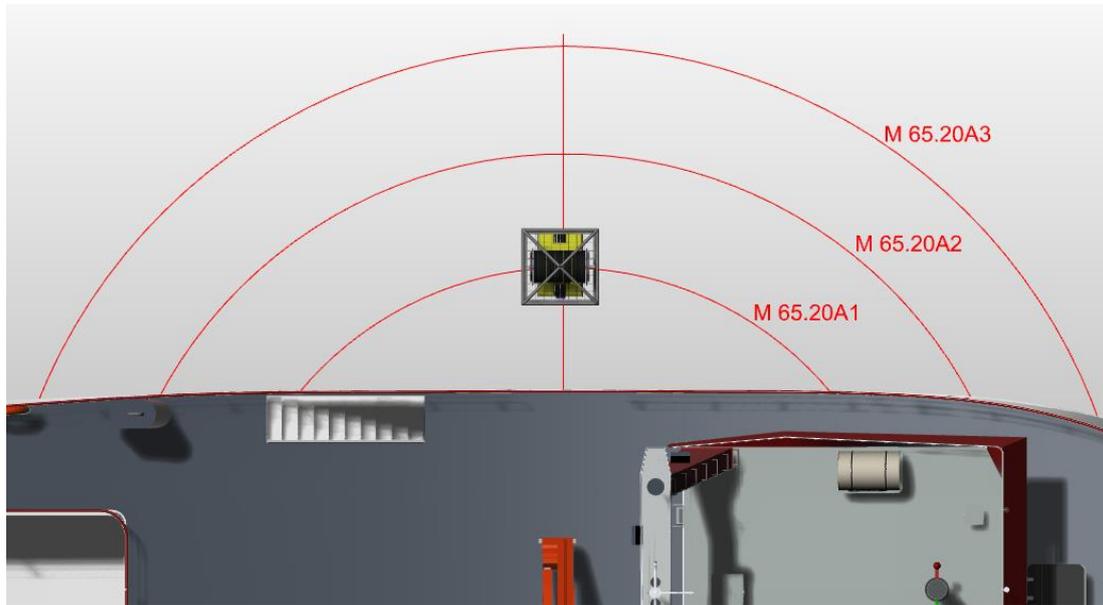


Figura 18. Esquema utilizado para seleccionar el modelo de grúa.

Por tanto, se selecciona el modelo M 65.20A1. La grúa tiene un peso de 900 kilogramos con un radio de alcance de 5,5 metros. Además, como indica el fabricante, cuenta con el certificado de clasificación de grúas DIN 15018 clase H1-B3.

Sistema de control del sistema

Por último, se necesita una cabina de control de todo el sistema. En este caso, el control del ROV se realizará desde la actual bodega del buque. Todos los equipos necesarios los proporciona el fabricante. No especifica peso del conjunto, pero se estima que rondará los 250 kilogramos. Esta cabina de control, según el fabricante, está compuesta por:

- Suministros eléctricos.
- Mesa de control.
- Silla y estantería para almacenar manuales de sistemas.
- Unidad de control.

5.2. Aula

Para impartir docencia a bordo, se instalará un aula en la zona de trabajo de la cubierta principal, aprovechando la ventilación de la que ya se dispone en ese espacio. Para poder tener un aula a bordo, será necesario colocar mesas, sillas y una pizarra. Se colocarán 7 mesas con capacidad para dos personas cada una, así como 13 sillas, de tal forma que el aula tenga capacidad para los 12 alumnos y un profesor.

Se estima que las sillas tendrán un peso de 5 kilogramos cada una, mientras que las mesas pesarán 15 kilogramos cada una, aproximadamente. Además, la pizarra tendrá un peso de 90 kilogramos.

5.3. Nuevas escalas

Con el objetivo de obtener un buque ergonómico y adaptado a su nuevo uso, se pretende sustituir las escalas actuales que comunican las distintas cubiertas por otras destinadas a tal fin.

Las nuevas escalas sustituirán a las que comunican la cubierta principal con la cubierta superior y la bodega. Con relación a la normativa, el Real Decreto 543/2007 establece que todas las escalas deben cumplir con las correspondientes normativas ISO. En cuanto a la normativa ISO referente a escalas, esta se divide en escalas con un ángulo menor de 45 grados y escalas con un ángulo de inclinación superior a 45 grados.

Para garantizar la seguridad de todas las personas a bordo y mejorar la comunicación entre cubiertas, se decide instalar unas escaleras con un ángulo de inclinación menor de 45 grados. Siguiendo la normativa correspondiente, UNE-EN 13956:2000, se diseña el modelo de las escalas.

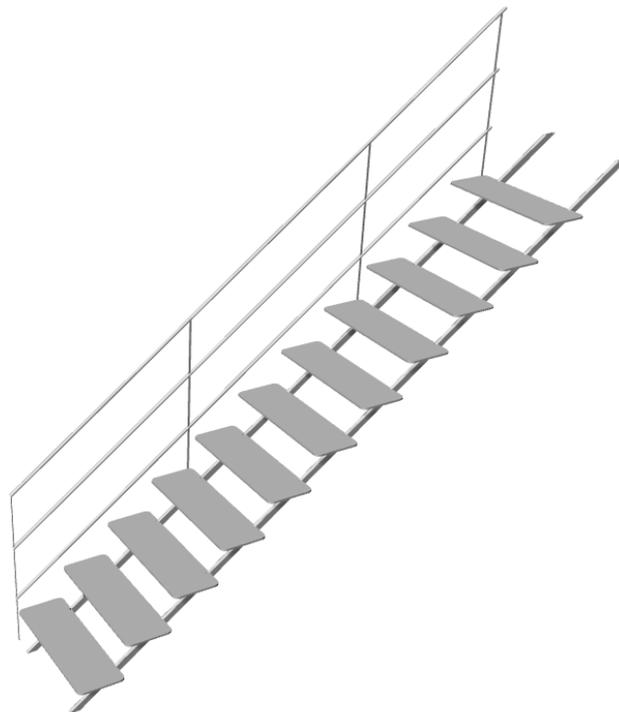


Figura 19. Modelo de las nuevas escalas en 3D

A partir del modelo creado, y sabiendo que están fabricadas en aluminio, cuyo peso específico es de 2700 kg/m^3 , se estima un peso de unos 70 kilogramos por escala.

5.4. Sala de ordenadores

Como ya se ha mencionado, se instalará un aula con ordenadores donde se podrán realizar diversas prácticas, como las que se realizan actualmente en las propias instalaciones de la Universidad. Además, aprovechando que estarán próximos a cámara de máquinas, se pueden utilizar estos ordenadores para monitorizar distintos datos y utilizarlos con fines docentes.

Se utilizará la sala de control del ROV (actual bodega) para instalar también en el mismo espacio el aula de ordenadores. Tras consultar pesos de equipos estándar, se estima un peso de 3.5 kilogramos por conjunto. Además, por otra parte, se sumarán los pesos de las sillas y mesas utilizadas, que serán los mencionados en el apartado del aula.

5.5. Motor propulsor

Debido al nuevo propósito del buque se ha estudiado la posibilidad de sustituir el motor actual por uno que se adapte mejor a las características del proyecto.

5.6. Nuevo sistema de fondeo

Tras la visita al buque, se comprueba que el estado actual del sistema de fondeo requiere su sustitución debido al deterioro que presenta.

El equipo de fondeo se ha calculado según el capítulo 11 de la parte 3 del documento “*Rules for Classification*” de la Sociedad de Clasificación *Det Norske Veritas*. Este capítulo 11 hace referencia al equipamiento del casco, así como a su estructura.

Todo el cálculo del sistema de fondeo se hace en función del numeral de equipo, que viene dado por la siguiente ecuación, en la que se tienen en cuenta los efectos de las fuerzas que actúan sobre el buque, tanto las del mar como las del viento:

$$N.E. = \Delta^{\frac{2}{3}} + 2 \cdot B \cdot H + 0.1 \cdot A \quad (5.1)$$

Donde:

- Δ es el desplazamiento del buque correspondiente al calado al calado de máxima carga. Entrando a las hidrostáticas con el calado máximo admisible obtenido del cálculo del francobordo se obtiene por interpolación un desplazamiento de 191.08 toneladas.
- B es la manga de trazado del buque, en metros.
- H es la altura efectiva entre la flotación en carga de verano y el techo de la caseta más elevada, en metros. Este dato se obtiene a partir del modelo en 3D del buque en “*Rhinoceros*”.
- A es la superficie lateral del casco, de las superestructuras y de las casetas de anchura superior a $0,25B$, por encima de la flotación de carga de verano y comprendida en la eslora entre perpendiculares, en metros cuadrados.

Los parámetros H y A se obtienen a partir del plano de disposición general en *Rhinoceros*.

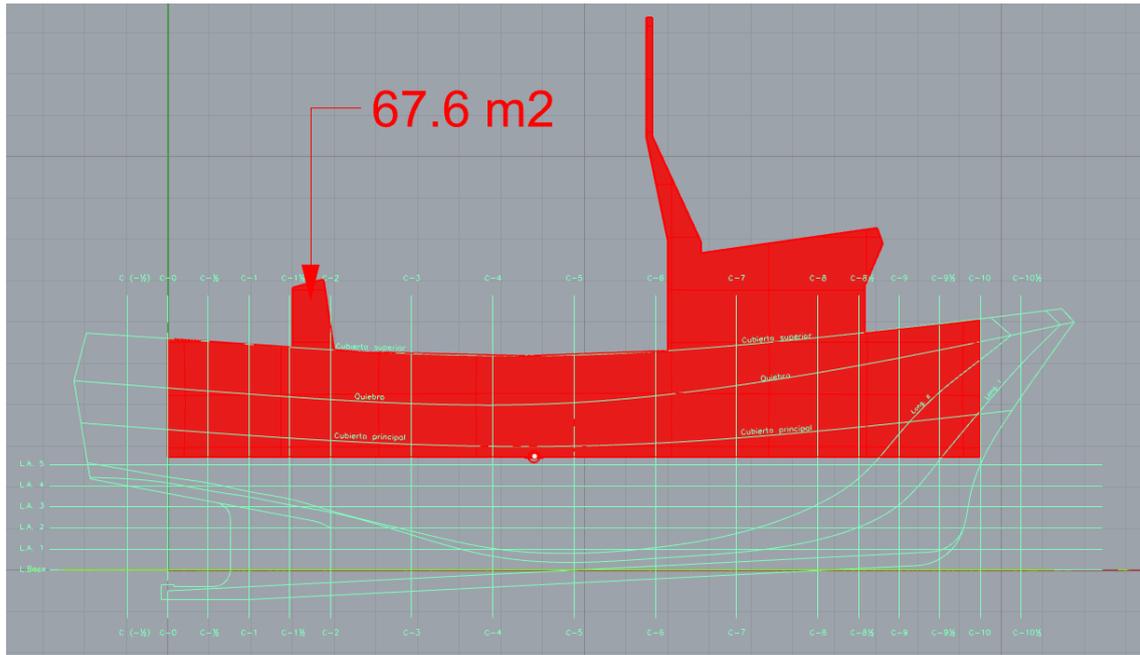


Figura 20. Cálculo del factor "A" mediante Rhinoceros

$$N.E. = 97.32$$

Por tanto, entrando a la tabla proporcionada por la norma para buques de este tipo:

N.E.	Ancla sin cepo		Cadena con concreto		Estachas remolque		Estachas amarre		
	Número	Peso (kg)	Longitud (m)	Diámetro (mm)	Long. mín. (m)	Carga rotura mín. (kN)	Número	Longitud (m)	Carga rotura mín. (kN)
97.32	2	210	220	14	180	98	3	110	39

Tabla 6. Datos obtenidos del cálculo del numeral de equipo.

Un largo es una unidad de medida utilizada para medir la longitud de una cadena, correspondiente a 27.5 metros. Por tanto, sabiendo que la longitud de la cadena en este caso será de 220 metros:

$$\text{Número de largos} = \frac{220}{27.5} = 8 \quad (5.2)$$

La cadena tendrá 8 largos, de forma que 4 quedarán en la banda de babor y otros 4 en la banda de estribor. Con este dato, ahora se entra en distintos catálogos para seleccionar los equipos. En este caso, se ha utilizado el catálogo del fabricante TRILLO, disponible en el Anexo X.

El ancla seleccionada es de tipo *Hall*. Este tipo de ancla permite ser estibada fácilmente debido a la ausencia de cepo. Su esquema es el siguiente:

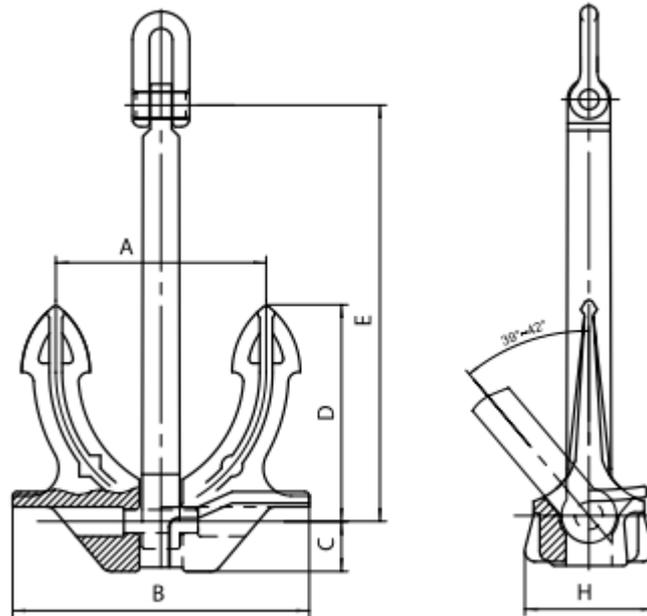


Figura 21. Ancla tipo Hall. Fuente: www.rtrillo.com

APPROX. WEIGHTS AND DIMENSIONS / PESOS Y MEDIDAS APROXIMADAS

Nominal Weight kg.	mm						Nominal Weight kg.	mm					
	A	B	C	D	E	H		A	B	C	D	E	H
100	378	540	91	395	750	230	3540	1240	1750	298	1290	2450	750
125	405	580	97	425	810	248	3780	1260	1790	304	1320	2510	770
150	432	612	104	452	855	264	4050	1290	1830	311	1350	2560	790
180	459	650	111	480	910	280	4320	1320	1870	318	1380	2620	800
240	510	720	122	530	1010	310	4590	1350	1910	325	1410	2670	820
280	534	760	130	560	1060	325	4890	1380	1950	332	1440	2730	840
300	540	770	131	570	1080	331	5250	1410	2000	340	1480	2800	860
320	560	790	132	580	1100	338	5610	1440	2040	347	1510	2860	880
360	580	820	139	610	1150	353	6000	1480	2090	355	1540	2930	900
420	610	860	146	640	1200	370	6450	1510	2140	364	1580	3000	920
480	640	900	153	670	1260	387	6900	1550	2190	372	1620	3070	940
520	652	920	158	680	1295	400	7350	1580	2240	380	1650	3140	960
570	670	950	162	700	1330	408	7800	1610	2280	388	1680	3190	980
660	710	1000	170	740	1440	430	8300	1650	2330	396	1720	3260	1000
780	750	1060	180	780	1480	456	8700	1670	2370	403	1750	3320	1020
850	770	1090	185	800	1530	468	9300	1710	2420	411	1790	3390	1040
900	780	1110	189	820	1550	477	9900	1740	2470	420	1820	3460	1060
1020	820	1160	197	860	1620	500	10500	1780	2520	428	1860	3530	1080
1140	850	1200	204	890	1680	520	11100	1820	2570	437	1900	3600	1100
1290	880	1250	212	920	1750	540	11700	1840	2610	444	1930	3650	1120
1440	920	1300	221	960	1820	560	12300	1870	2650	450	1960	3710	1140
1590	950	1340	228	990	1880	580	12900	1900	2690	457	1990	3770	1160
1740	980	1380	235	1020	1930	600	13500	1940	2740	466	2020	3840	1180
1920	1010	1430	243	1060	2000	620	14100	1960	2780	473	2050	3890	1200
2100	1040	1470	250	1090	2060	640	14700	1990	2820	479	2080	3950	1210
2280	1070	1510	257	1120	2110	650	15400	2020	2860	486	2110	4000	1230
2460	1100	1550	264	1150	2170	670	16100	2050	2900	493	2140	4060	1250
2640	1120	1590	270	1180	2230	690	16900	2080	2950	500	2180	4130	1270
2850	1150	1630	277	1210	2280	700	17800	2120	3000	510	2210	4200	1290
3060	1180	1670	284	1240	2340	720	18800	2160	3060	520	2260	4280	1320
3300	1210	1710	291	1270	2390	740	20000	2200	3120	530	2300	4370	1340

Figura 22. Opciones de diseño de un ancla tipo Hall. Fuente: www.rtrillo.com

En este caso, para el peso del ancla que se obtiene del cálculo del numeral de equipo, se selecciona un ancla con las siguientes dimensiones, en milímetros:

ANCLA TIPO HALL (240 kg)	
DIMENSIÓN	(240 kg)
A	510
B	720
C	122
D	530
E	1010
H	310

Figura 23. Dimensiones del ancla seleccionada

La cadena se selecciona en función del diámetro. Para el diámetro calculado (14 milímetros), solo están disponibles las cadenas de calidad U2. Este grado indica la calidad de la cadena en lo que se refiere a cargas de rotura, siendo el grado U1 el más bajo y U3 el más alto.

El escobén es el tubo que sirve de guía a la cadena del ancla, atravesando el costado y la cubierta del buque. Su diámetro, así como sus espesores vienen dados por:

$$\phi_{INT.ESCOBÉN} = 9 \cdot \phi_{CADENA} = 126 \text{ mm} \quad (5.3)$$

$$e_{INF} = 0.6 \cdot \phi_{CADENA} = 8.4 \text{ mm} \quad (5.4)$$

$$e_{SUP} = 0.7 \cdot \phi_{CADENA} = 9.8 \text{ mm} \quad (5.5)$$

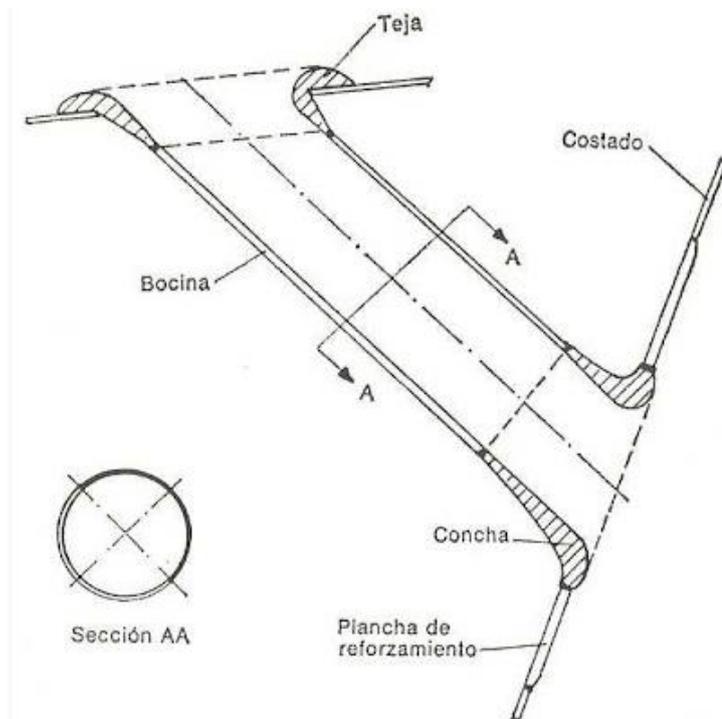


Figura 24. Esquema de un escobén. Fuente: Google Imágenes

CADENA Y ESCOBÉN	
Diámetro (mm)	14
Carga de prueba (KN)	82
Carga de rotura (KN)	116
Grado	2
Peso por largo (kg)	128
Diám. int. escobén (mm)	126
Espesor sup. Escob. (mm)	9,8
Espesor inf. Escob. (mm)	8,4

Tabla 7. Características de la cadena y el escobén

Se debe calcular también el volumen de la caja de cadenas. Cabe recordar que, debido a que el buque llevará dos anclas, una a cada banda, la caja de cadenas estará dividida por medio de un mamparo longitudinal. El volumen de este compartimento viene dado por:

$$V = 0.082 \cdot \phi_{CADENA}^2 \cdot l \cdot 10^{-4} \quad (5.6)$$

Siendo l la longitud de la cadena, se obtiene un volumen total de:

$$V = 0.354 \text{ m}^3$$

La altura de la caja de cadenas, que debe ser la máxima posible para facilitar la autoestiba de la cadena, se obtiene de la siguiente forma:

$$H = \frac{4 \cdot V}{\pi \cdot (32 \cdot \phi_{CADENA})^2} = 2.243 \text{ m} \quad (5.7)$$

Con el plano de disposición general, se comprueba que el local que queda a proa de la cubierta principal cumple los requisitos necesarios para la caja de cadenas.

CAJA DE CADENAS	
Longitud largos de cadena	220,000 m
Volumen cadena en la caja de cadenas	0,354 m ³
Altura caja de cadenas	2,243 m
Altura sentina	0,500 m

Tabla 8. Características de la caja de cadenas

A continuación, se debe seleccionar la máquina de levar. En este caso, debido al reducido espacio disponible a proa del puente de mando, el equipo de levar será de eje vertical, comúnmente conocido como cabrestante. La potencia necesaria para la máquina de levar, según el equipo seleccionado anteriormente, es:

$$P_{izado} = \frac{0.87 \cdot (P_c + P_a) \cdot v_{izado}}{60 \cdot 75 \cdot \eta} \quad (5.8)$$

- P_c y P_a son el peso de la cadena y el peso del ancla, respectivamente, expresados en kilogramos. El peso del ancla se obtiene directamente del fabricante. Sin embargo, el peso de la cadena se obtiene multiplicando el número de largos que se han montado por el peso de cada uno de ellos.

- V_{izado} es la velocidad de izado del ancla, en metros por minuto. Comúnmente, se estima entre 8 y 12 m/min. En este caso, se fijan 10 m/min.
- η es el rendimiento mecánico del molinete, que se estima en 0,65.

Por tanto, la potencia de izado será:

$$P_{izado} = 2,237 \text{ CV}$$

Por otra parte, se debe calcular también la potencia necesaria para zarpar el ancla desde el fondo, así como la velocidad de esta operación:

$$P_{zarpar} = \frac{0.87 \cdot (P_c + P_a) + e \cdot P_A}{60 \cdot 75 \cdot \eta} \cdot v_{zarpar} \quad (5.9)$$

$$\frac{v_{izado}}{v_{zarpar}} = 1 + \frac{e \cdot P_a}{0.87 \cdot (P_c + P_a)} \quad (5.10)$$

- e es el poder de agarre del ancla, que en este caso se fija en 2,5, ya que sus valores frecuentes son entre 1,5 y 2,5.
- v_{zarpar} es la velocidad de zarpado del ancla

Por último, se debe comprobar que, para estos valores, es posible elevar todos los largos de cadena en una situación de velocidad crítica. Esta velocidad crítica, es la máxima a la que se puede elevar el sistema de fondeo y, por tanto, debe ser superior a las calculadas hasta ahora:

$$v_c = \frac{P \cdot 60 \cdot 75 \cdot \eta}{(0.87 \cdot (P_c + P_a))} = 10 \text{ m/min} \quad (5.11)$$

POTENCIA DE IZADO	
Peso cadena fuera del agua	512 kg
Peso del ancla fuera del agua	240 kg
Velocidad de izado	10,00 m/min
e	2,500
h	0,650
Potencia de izado	2,237 CV
Potencia zarpar	2,237 CV
Relación velocidad izado/zarpar	1,917
Velocidad zarpar del fondo	5,216 m/min
V_C	10 m/min

Tabla 9. Resultados del cálculo de la potencia necesaria

Una vez comprobado que los valores calculados son aceptables, se selecciona un cabrestante de un catálogo. En este caso, se ha elegido el fabricante LOFRANS, cuyo catálogo se adjunta en el Anexo X. Se ha elegido el cabrestante SX3.5, cuya potencia es de 3 CV, lo cual aporta un margen de seguridad respecto a la potencia necesaria. Por tanto, cada uno de los cabrestantes instalados, tendrá un peso de 60 kilogramos, lo que supone un total de 120 kg. El peso total será la suma del peso de cada componente:

$$PESO_{TOTAL} = 2 \cdot P_{CADENA} + P_{LARGO} \cdot N_{LARGOS} + 2 \cdot P_{CABRESTANTE} = 1624 \text{ kg} \quad (5.12)$$

El peso total del sistema será de 1624 kg.

6. Desplazamiento

El desplazamiento de un buque en una determinada condición de carga viene dado por la suma del peso muerto y el peso en rosca. En esta etapa del proyecto es necesario realizar una estimación que se aproxime bastante al desplazamiento que realmente tendrá el buque, pues de ello dependerán cálculos posteriores y, por tanto, el correcto funcionamiento del buque.

En este capítulo, se realiza una primera estimación del desplazamiento calculando por separado ambas componentes.

6.1. PESO EN ROSCA

Se conoce como dato de partida la composición actual del buque en rosca:

Peso en rosca actual (toneladas)	142,66
XG (m)	8,52
KG (m)	2,52
ZG (m)	0,00

Tabla 10. Composición inicial del buque en rosca

Como no se tiene información al respecto, se supone que el centro de gravedad del buque se encuentra en crujía.

A partir de estos datos, mediante el Teorema de los Momentos o Teorema de Varignon, podemos obtener la composición final del peso en rosca:

$$\Delta_{ROSCA\ FINAL} = \Delta_{ROSCA\ INIC.} + \sum p_i \quad (6.1)$$

$$XG_{FINAL} = \frac{\Delta_{ROSCA\ INIC.} \cdot XG_{ROSCA\ INIC.} + \sum p_i \cdot xg_i}{\Delta_{ROSCA\ FINAL}} \quad (6.2)$$

$$KG_{FINAL} = \frac{\Delta_{ROSCA\ INIC.} \cdot KG_{ROSCA\ INIC.} + \sum p_i \cdot kg_i}{\Delta_{ROSCA\ FINAL}} \quad (6.3)$$

$$ZG_{FINAL} = \frac{\Delta_{ROSCA\ INIC.} \cdot ZG_{ROSCA\ INIC.} + \sum p_i \cdot zg_i}{\Delta_{ROSCA\ FINAL}} \quad (6.4)$$

Es importante señalar que no se conocen con exactitud todos los pesos, así como la posición de sus centros de gravedad. Algunos de estos datos se han calculado basándose en la búsqueda de equipos similares o, en el caso de geometrías sencillas, se ha calculado el volumen y con este se ha obtenido el peso, multiplicando por la densidad del material correspondiente.

CONCEPTO	PESO (t)	XG (m)	P·XG	KG(m)	P·KG	ZG (m)	P·ZG	
Buque en rosca antes de las obras	144,010	8,510	1225,525	2,637	379,754	0,000	0,000	
Pórtico de arrastre por popa	-1,400	3,500	-4,900	6,500	-9,100	0,000	0,000	
Maquinilla de cable en toldilla y aparejos	-4,000	9,000	-36,000	6,300	-25,200	0,000	0,000	
Maquinilla de arte en cubierta y aparejos	-2,500	7,400	-18,500	4,000	-10,000	0,000	0,000	
Nuevas instalaciones frigorífica y congeladora	5,200	8,000	41,600	3,900	20,280	0,000	0,000	
Nuevo alternador	0,700	4,500	3,150	1,900	1,330	0,000	0,000	
Nueva mesa de trabajo inox.	0,150	5,000	0,750	4,000	0,600	0,000	0,000	
Nuevos aparatos radioeléctricos	0,050	15,500	0,775	6,600	0,330	0,000	0,000	
Nuevos equipos de cubierta para la pesca de nasas	0,250	3,000	0,750	4,200	1,050	0,000	0,000	
Pesos varios derivados del montaje e instalación a bordo de los distintos equipos	0,100	9,750	0,975	3,000	0,300	0,000	0,000	
Incremento correspondiente al acondicionamiento de la instalación eléctrica y sistema de ventilación.	0,100	8,000	0,800	3,000	0,300	0,000	0,000	
ESTADO ACTUAL	142,660	8,516	1214,925	2,521	359,644	0,000	0,000	
Medio de carga y descarga actual	-0,150	9,500	-1,425	7,660	-1,149	0,000	0,000	PESOS A QUITAR
Sistema de fondeo actual	-0,100	-2,000	0,200	5,820	-0,582	-1,750	0,175	
Instalaciones frigorífica y congeladora	-5,200	8,500	-44,200	3,900	-20,280	-0,550	2,860	
Mamparos de local de compresores y congelación	-1,000	8,500	-8,500	4,160	-4,160	-0,900	0,900	
Mesa de trabajo inox.	-0,150	5,000	-0,750	4,000	-0,600	1,000	-0,150	
Equipos de cubierta para la pesca de nasas	-0,250	2,000	-0,500	4,200	-1,050	0,000	0,000	
Aislamiento bodega y mamparo bodega	-1,065	11,500	-12,248	2,090	-2,226	0,000	0,000	
Molinete popa estribor	-0,050	-0,100	0,005	6,000	-0,300	1,900	-0,095	
Pórtico a popa	-0,165	3,250	-0,536	7,540	-1,244	0,000	0,000	
Tobera	-0,500	0,700	-0,350	0,700	-0,350	0,000	0,000	
Escala cub. Ppal.- cub. superior	-0,020	1,900	-0,038	4,500	-0,090	-2,300	0,046	
Escala cub. Ppal.- cub. Inferior	-0,020	10,200	-0,204	2,000	-0,040	0,000	0,000	
Alternador de emergencia	-0,700	6,600	-4,620	4,000	-2,800	1,300	-0,910	
SUBTOTAL DESCARGA DE PESOS	-9,370	7,809	-73,166	3,722	-34,871	-0,302	2,826	

Grúa ROV (LARS)	0,900	9,500	9,405	6,200	6,138	0,000	0,000	PESOS A CARGAR
Cabina ROV (TMS)	0,460	9,500	4,370	6,150	2,829	-2,700	-1,242	
ROV	0,150	9,500	1,425	6,150	0,923	-2,700	-0,405	
Sistema de control del ROV	0,150	15,000	2,250	2,000	0,300	0,000	0,000	
Aula de informática	0,150	15,000	2,250	2,000	0,300	0,000	0,000	
Sistema de fondeo nuevo	2,000	20,300	40,600	5,300	10,600	0,000	0,000	
Mesas aula	0,150	10,000	1,500	3,500	0,525	0,000	0,000	
Sillas aula	0,080	10,000	0,800	3,650	0,292	0,000	0,000	
Pizarra	0,080	13,000	1,040	4,160	0,333	-1,500	-0,120	
Nueva escala cubierta principal	0,070	6,900	0,483	4,200	0,294	-2,700	-0,189	
Nueva escala cubierta inferior	0,070	10,800	0,756	2,000	0,140	-2,600	-0,182	
Alternador de emergencia	0,700	1,800	1,260	4,000	2,800	0,000	0,000	
SUBTOTAL CARGA DE PESOS	5,050	13,097	66,139	5,044	25,473	-0,423	-2,138	
PESO EN ROSCA	138,340	8,731	-	2,532	-	0,005	-	

Tabla 11. Hoja de cálculo para obtener la composición de buque en rosca

Introduciendo los datos de cada uno de los pesos en *Maxsurf Stability* se calcula de forma automática la composición del peso en rosca. Además, se puede calcular el equilibrio del buque para la condición de peso en rosca.

EQUILIBRIO PESO EN ROSCA	
Calado en la sección media, m	2,190
Desplazamiento, t	138,300
Volumen desplazado, m ³	134,966
Escora, deg	0,300
Calado en proa, m	1,848
Calado en popa, m	2,532
Calado en LCF, m	2,249
Trimado (positivo a popa), m	0,683
Eslora en la flotación, m	21,205
Manga máxima en la eslora de flotación, m	6,309
Superficie mojada, m ²	153,335
Area de flotación, m ²	104,683
Coficiente prismático (C _p)	0,567
Coficiente de bloque (C _b)	0,310
Coficiente de la maestra (C _m)	0,667
Coficiente de flotación (C _{wp})	0,782
LCB , (+ve fwd) m	8,691
LCF, (+ve fwd) m	8,072
KB, m	1,383
KG, m	2,532
BMt, m	2,017
BML, m	21,256
GMt corregido, m	0,867
GML, m	20,106
KMt, m	3,398
KML, m	22,625
Toneladas por cm de inmersión, tonne/cm	1,073
MTc, tonne.m	1,426
Ángulo de trimado, deg	2,007

Tabla 12. Equilibrio del buque en rosca

6.2. DESPLAZAMIENTO EN LA CONDICIÓN DE MÁXIMA CARGA

El desplazamiento es realmente un peso variable, pues dependerá de cada condición de carga, del peso muerto. Sin embargo, los cálculos que se harán en los siguientes capítulos como, por ejemplo, el cálculo de la resistencia al avance, estarán basados en la condición de desplazamiento más desfavorable, es decir, en la condición de máxima carga. Por ello, en este apartado se hace una estimación del desplazamiento para la condición de máxima carga, con todos los alumnos a bordo y los tanques a su máxima

capacidad. Más adelante, se realizará el estudio de la estabilidad en distintas condiciones de carga.

El desplazamiento del buque en cuestión está compuesto por las siguientes partidas de pesos:

- Peso en rosca (Estructura, equipos, etc.)
- Peso muerto
 - Tanques de agua.
 - Tanques de combustible.
 - Tanques de aceite.
 - Pasajeros y tripulantes.
 - Pertrechos y otros consumibles.

Una vez desglosadas las componentes del desplazamiento, se muestra en la siguiente tabla el cálculo de la composición del buque a plena carga. Es importante destacar que el peso de los fluidos (agua, combustible y aceite) vendrá dado por la capacidad de los tanques correspondientes. Para realizar los cálculos se han considerado los tanques a un 98% de su capacidad. Además, se ha considerado que el peso específico del combustible Diesel Oil es de 0.84 t/m^3 , mientras que el del aceite es de 0.92 t/m^3 y el del agua dulce es 1 t/m^3 .

CONCEPTO	CANTIDAD (%)	PESO UNIDAD (t)	PESO TOTAL (t)	VOLUMEN UNIDAD (m ³)	VOLUMEN TOTAL (m ³)	XG (m)	KG (m)	ZG (m)
A. DULCE TA 1	0,980	4,731	4,636	4,731	4,636	18,591	2,775	0,000
AGUA DULCE TA.5 BR	0,980	2,667	2,614	2,667	2,614	7,319	0,861	-1,683
AGUA DULCE TA.5 ER	0,980	2,667	2,614	2,667	2,614	7,319	0,861	1,683
SUBTOTAL TANQUES DE AGUA	-	-	9,864	-	9,864	12,617	1,761	0,000
COMB. TC 2	0,980	3,125	3,063	3,720	3,646	16,292	0,887	0,000
COMB. TC 3 BR	0,980	2,780	2,724	3,310	3,244	13,505	0,739	-0,739
COMB. TC 3 ER	0,980	2,791	2,735	3,322	3,256	13,507	0,742	0,741
COMB. TC 4 BR	0,980	3,475	3,406	4,137	4,054	10,538	0,587	-0,883
COMB. TC 4 ER	0,980	3,475	3,406	4,137	4,054	10,538	0,587	0,883
COMB. TSD. 1	0,980	0,618	0,606	0,736	0,721	2,592	2,620	-2,435
COMB. TSD. 2	0,980	0,992	0,972	1,181	1,157	2,584	2,389	-1,643
COMB. TC. 6 BR	0,980	4,207	4,123	5,008	4,908	0,332	2,748	-1,865
COMB. TC. 6 ER	0,980	5,990	5,870	7,131	6,988	0,985	2,691	1,897
SUBTOTAL TANQUES DE COMBUSTIBLE	-	-	26,904	-	32,028	7,681	1,553	0,014
AC. H. TAC. 7	0,980	1,338	1,311	1,455	1,426	2,578	2,222	-0,812
AC. H. TAC. 8	0,980	1,598	1,566	1,737	1,702	2,570	2,065	0,025
SUBTOTAL TANQUES DE ACEITE	-	-	2,877	-	3,128	2,574	2,137	-0,356
SUBTOTAL PERSONAS	15,000	0,100	1,500	-	-	15,500	5,000	0,000
SUBTOTAL PERTRECHOS	1,000	0,750	0,750	-	-	17,500	3,200	0,000
SUBTOTAL PESO EN ROSCA	-	-	138,340	-	-	8,731	2,532	0,005
DESPLAZAMIENTO PLENA CARGA	-	-	180,235	-	-	8,782	2,361	0,000

Tabla 13. Hoja de cálculo para obtener la composición del buque a plena carga.

Del mismo modo que se hizo con la condición de rosca, se ha calculado el equilibrio del buque a plena carga:

EQUILIBRIO PLENA CARGA	
Calado en la sección media, m	2,590
Desplazamiento, t	180,200
Volumen desplazado, m ³	175,839
Escora, deg	0,000
Calado en proa, m	2,366
Calado en popa, m	2,814
Calado en LCF, m	2,626
Trimado (positivo a popa), m	0,447
Eslora en la flotación, m	21,402
Manga máxima en la eslora de flotación, m	6,350
Superficie mojada, m ²	171,533
Area de flotación, m ²	109,943
Coeficiente prismático (C _p)	0,603
Coeficiente de bloque (C _b)	0,366
Coeficiente de la maestra (C _m)	0,705
Coeficiente de flotación (C _{wp})	0,809
LCB , (+ve fwd) m	8,764
LCF, (+ve fwd) m	8,167
KB, m	1,622
KG, m	2,377
BMt, m	1,714
BML, m	17,992
GMt corregido, m	0,959
GML, m	17,237
KMt, m	3,336
KML, m	19,61
Toneladas por cm de inmersión, tonne/cm	1,127
MTc, tonne.m	1,593
Ángulo de trimado, deg	1,314

Tabla 14. Equilibrio a plena carga

7. Resistencia al avance

Uno de los factores más influyentes en las características de la planta propulsora de un buque es la resistencia al avance, de ahí la importancia de estimarla correctamente. En las etapas iniciales de un proyecto, la predicción de la resistencia se realiza por medio de métodos analíticos. Dentro del campo de los métodos analíticos se pueden aplicar series sistemáticas o métodos numéricos. En este caso, se aplicarán métodos numéricos.

Los métodos numéricos se fundamentan en la utilización de bases de datos de buques similares entre sí. De estas bases de datos, se extraen relaciones entre las distintas magnitudes del buque. Para seleccionar el método más adecuado se debe analizar primero la información disponible del buque en cuestión, contrastándola con las características de los buques en los que se base el método que estemos analizando. En este caso, por el tipo de buque que tenemos, se aplicarán los métodos de Amadeo García, Holtrop y Van Oortmerssen.

7.1. MÉTODO DE AMADEO GARCÍA

Existe un método de predicción de potencia diseñado especialmente para buques pesqueros: el método de Amadeo García. Este método, distingue entre buques con proa convencional y buques con bulbo de proa. Asimismo, tiene en cuenta distintos apéndices, como el timón y la tobera.

Actualmente, la hélice del buque va instalada en el interior de una tobera, lo cual es bastante útil para obtener un alto par a bajas revoluciones, es decir, en condición de arrastre. Sin embargo, debido al nuevo propósito del buque, se decide no instalar la tobera, ya que las condiciones de navegación serán distintas.

La aplicación de este método, que se desarrolla a continuación, viene explicada con detalle en una publicación de Amadeo García². García Gómez, Amadeo. “*Predicción de potencia y optimización del bulbo de proa en buques pesqueros*”.

La resistencia total al avance viene dada por la siguiente expresión:

$$R_T = C_T \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S_{CAP} \cdot v^2 \quad (7.1)$$

- C_T es el coeficiente de resistencia total.
- ρ es la densidad del agua de mar.
- S_{CAP} es la superficie mojada del buque teniendo en cuenta los apéndices, en metros cuadrados.
- v es la velocidad del buque, en metros por segundo.

A su vez, el coeficiente de resistencia total se puede separar en tres componentes:

$$C_T = C_F + C_R + C_A \quad (7.2)$$

Siendo C_F , C_R y C_A los coeficientes de fricción, resistencia residuo y correlación, respectivamente.

El coeficiente de fricción viene dado por la línea ITTC-57:

² García Gomez, Amadeo. “*Predicción de potencia y optimización del bulbo de proa en buques pesqueros*”.

$$C_F = \frac{0.075}{(\log Rn - 2)^2} \quad (7.3)$$

Donde el número de Reynolds se calcula para la eslora en la flotación correspondiente. Este valor se obtiene del equilibrio a plena carga calculado anteriormente, pues esta es la condición de diseño que se ha impuesto anteriormente.

El coeficiente de correlación se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$C_A = \left(69 + 200 \cdot \frac{C_B \cdot B}{L_{PP}} - 0,26 \cdot L_{PP} + \frac{1300}{L_{PP}} - 29,5 \cdot \log L_{PP} + 17 \cdot \left(\frac{B}{T}\right) - \left(\frac{B}{T}\right)^2 \right) \cdot 10^{-5} \quad (7.4)$$

Y coeficiente de resistencia residuo:

$$C_R = C_T \cdot \left(\frac{RR}{RT}\right) \quad (7.5)$$

$$\left(\frac{RR}{RT}\right) = \frac{1.24 \cdot C_B \cdot B}{L_{PP}} + 0,265 \cdot Fn^2 + 2.151 \cdot Fn - 0,298 \quad (7.6)$$

Por tanto, el coeficiente de resistencia total será:

$$C_T = \frac{C_F + C_A}{\left(1 - \frac{RR}{RT}\right)} \quad (7.8)$$

Por otra parte, la superficie mojada con apéndices será la suma de la superficie mojada del buque, obtenida de la condición de equilibrio, más la superficie mojada del timón. No se conoce con exactitud esta última. Sin embargo, el autor proporciona una expresión para estimarla:

$$S_T = 0.1 \cdot L_{PP} \cdot T_m = 5,186 \text{ m}^2 \quad (7.9)$$

De hecho, a partir del plano de formas, se calcula que el área mojada del timón es de unos 5 metros cuadrados. Por tanto, la aproximación es válida.

De este modo, se calcula la resistencia al avance correspondiente a un rango de velocidades comprendido entre 0,5 y 12 nudos.

Además, se calcula la potencia efectiva a cada una de estas velocidades:

$$EHP = \frac{R_T \cdot v}{75} \quad (7.10)$$

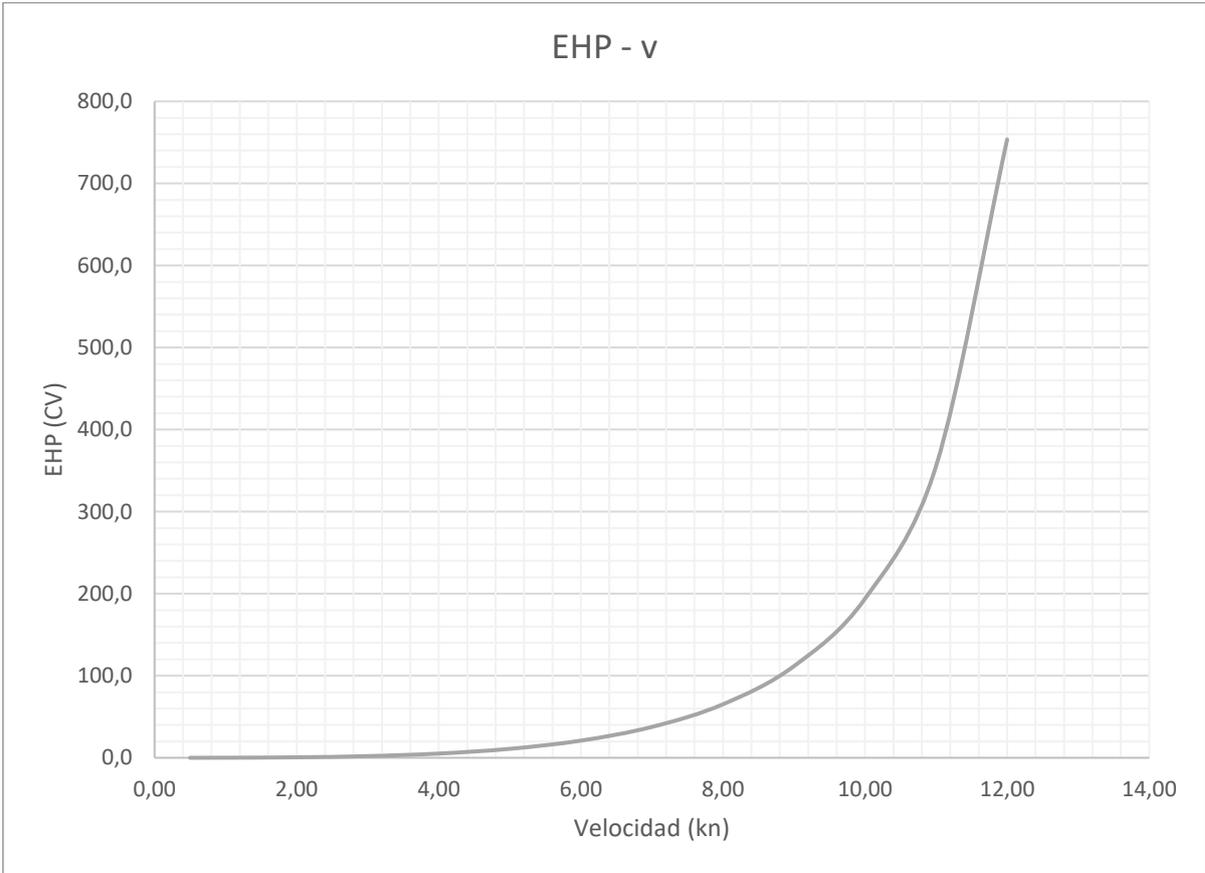


Gráfico 9. Curva potencia-velocidad obtenida del método de Amadeo García.

v(kn)	v (m/s)	Rn	C_F	Fn	RR/RT	C_T	C_R	C_T	R_T (kg)	EHP (CV)
0,50	0,257	4626159,2	0,003446	0,018598	-0,110116	0,004474	-0,000493	0,004474	2,73	0,01
1,00	0,514	9252318,4	0,003041	0,037196	-0,069837	0,004264	-0,000298	0,004264	10,42	0,07
2,00	1,029	18504636,8	0,002703	0,074391	0,011271	0,004272	0,000048	0,004272	41,76	0,57
3,00	1,543	27756955,2	0,002531	0,111587	0,093112	0,004468	0,000416	0,004468	98,27	2,02
4,00	2,058	37009273,6	0,002419	0,148782	0,175686	0,004779	0,000840	0,004779	186,87	5,13
5,00	2,572	46261592,0	0,002337	0,185978	0,258993	0,005205	0,001348	0,005205	318,04	10,91
6,00	3,087	55513910,4	0,002273	0,223173	0,343034	0,005774	0,001981	0,005774	508,00	20,91
7,00	3,601	64766228,8	0,002221	0,260369	0,427808	0,006538	0,002797	0,006538	782,99	37,60
8,00	4,116	74018547,2	0,002177	0,297565	0,513315	0,007597	0,003900	0,007597	1188,32	65,21
9,00	4,630	83270865,6	0,002140	0,334760	0,599555	0,009140	0,005480	0,009140	1809,35	111,70
10,00	5,145	92523184,0	0,002107	0,371956	0,686529	0,011572	0,007944	0,011572	2828,05	193,99
11,00	5,659	101775502,4	0,002078	0,409151	0,774236	0,015939	0,012341	0,015939	4713,42	355,64
12,00	6,173	111027820,8	0,002052	0,446347	0,862676	0,026016	0,022443	0,026016	9155,57	753,61

Tabla 15. Estimación de la resistencia al avance por el método de Amadeo García

7.2. MÉTODOS DE HOLTROP Y VAN OORTMERSSEN

La base de datos con la que se han realizado los métodos de Holtrop y Van Oortmerssen no solo abarca buques pesqueros, sino que también se incluyen otros tipos de buques, tales como remolcadores o buques de carga general. Por tanto, en principio se podría predecir que el resultado proporcionado por el método de Amadeo García se adapta mejor a las características del buque proyecto.

Estos métodos se describen detalladamente en las publicaciones³ de Holtrop y Van Oortmerssen. Sin embargo, también vienen implementados en *Maxsurf Resistance*, siendo esta la solución adoptada en el desarrollo del proyecto, aprovechando que se ha creado el modelo 3D en el módulo *Modeler*.

Para realizar los cálculos, basta con abrir el archivo *.msd* que se ha creado en *Maxsurf Modeler* e introducir en el apartado de *Análisis* que queremos obtener la estimación según Holtrop y Van Oortmerssen. Automáticamente aparecen los resultados, tanto en forma gráfica como tabulados.

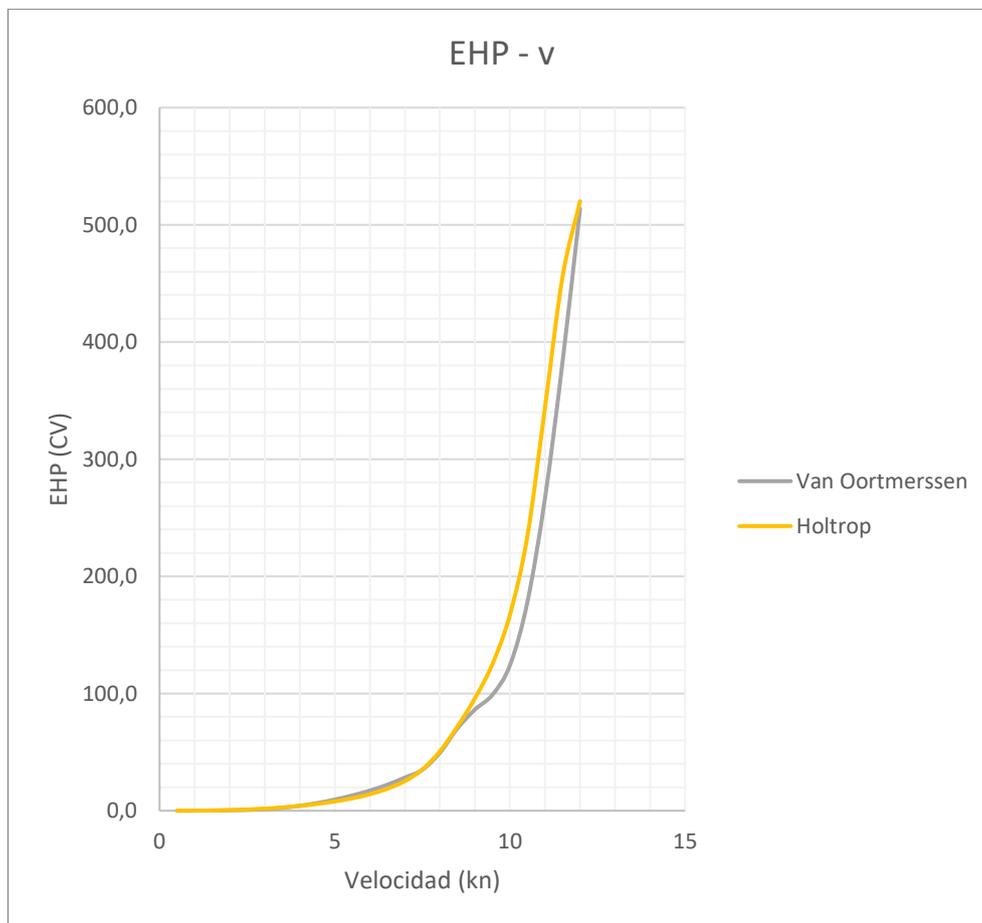


Gráfico 10. Curva potencia-velocidad obtenida del método de Holtrop

³ Holtrop, J. "A statistical re-analysis of resistance and propulsion data". International Shipbuilding Progress. 1984.

Van Oortmerssen, G. "A power prediction method and its application to small ships". International Shipbuilding Progress. 1971.

v (kn)	RT (kN)	EHP (kW)	RT (kg)	EHP (CV)
0	--	--	-	-
0,5	0,000	0,008	0,000	0,011
1	0,100	0,058	10,194	0,078
1,5	0,200	0,185	20,387	0,248
2	0,400	0,422	40,775	0,566
2,5	0,600	0,8	61,162	1,073
3	0,900	1,349	91,743	1,809
3,5	1,200	2,099	122,324	2,815
4	1,500	3,082	152,905	4,133
4,5	1,900	4,331	193,680	5,808
5	2,300	5,9	234,455	7,912
5,5	2,800	7,887	285,423	10,577
6	3,400	10,474	346,585	14,046
6,5	4,200	13,988	428,135	18,758
7	5,200	18,864	530,071	25,297
7,5	6,800	26,233	693,170	35,179
8	9,200	37,868	937,819	50,782
8,5	12,200	53,565	1243,629	71,832
9	15,500	71,564	1580,020	95,969
9,5	19,100	93,352	1946,993	125,187
10	24,300	124,782	2477,064	167,335
10,5	32,400	175,038	3302,752	234,730
11	45,300	256,621	4617,737	344,134
11,5	57,400	339,608	5851,172	455,422
12	62,800	387,851	6401,631	520,117

Tabla 16. Estimación de la resistencia al avance por el método de Holtrop.

v (kn)	Fn	R_T (kN)	EHP (kW)	R_T (kg)	EHP (CV)
0	0	-	-	-	-
0,5	0,018	0	0,006	0,000	0,008
1	0,036	0,1	0,04	10,194	0,054
1,5	0,053	0,2	0,128	20,387	0,172
2	0,071	0,3	0,291	30,581	0,390
2,5	0,089	0,4	0,565	40,775	0,758
3	0,107	0,7	1,043	71,356	1,399
3,5	0,124	1	1,867	101,937	2,504
4	0,142	1,5	3,142	152,905	4,213
4,5	0,16	2,1	4,897	214,067	6,567
5	0,178	2,8	7,112	285,423	9,537
5,5	0,195	3,4	9,756	346,585	13,083
6	0,213	4,2	12,84	428,135	17,219
6,5	0,231	5	16,553	509,684	22,198
7	0,249	5,9	21,124	601,427	28,328
7,5	0,266	6,8	26,076	693,170	34,968
8	0,284	9	36,865	917,431	49,437
8,5	0,302	12	52,386	1223,242	70,251
9	0,32	13,9	64,407	1416,922	86,371
9,5	0,337	15,1	73,799	1539,246	98,966
10	0,355	18	92,621	1834,862	124,207
10,5	0,373	24,6	133,043	2507,645	178,414
11	0,391	35,2	198,937	3588,175	266,779
11,5	0,408	48,2	285,441	4913,354	382,783
12	0,426	62,1	383,063	6330,275	513,696

Tabla 17. Estimación de la resistencia al avance por el método de Van Oortmerssen.

7.3. COMPARATIVA DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

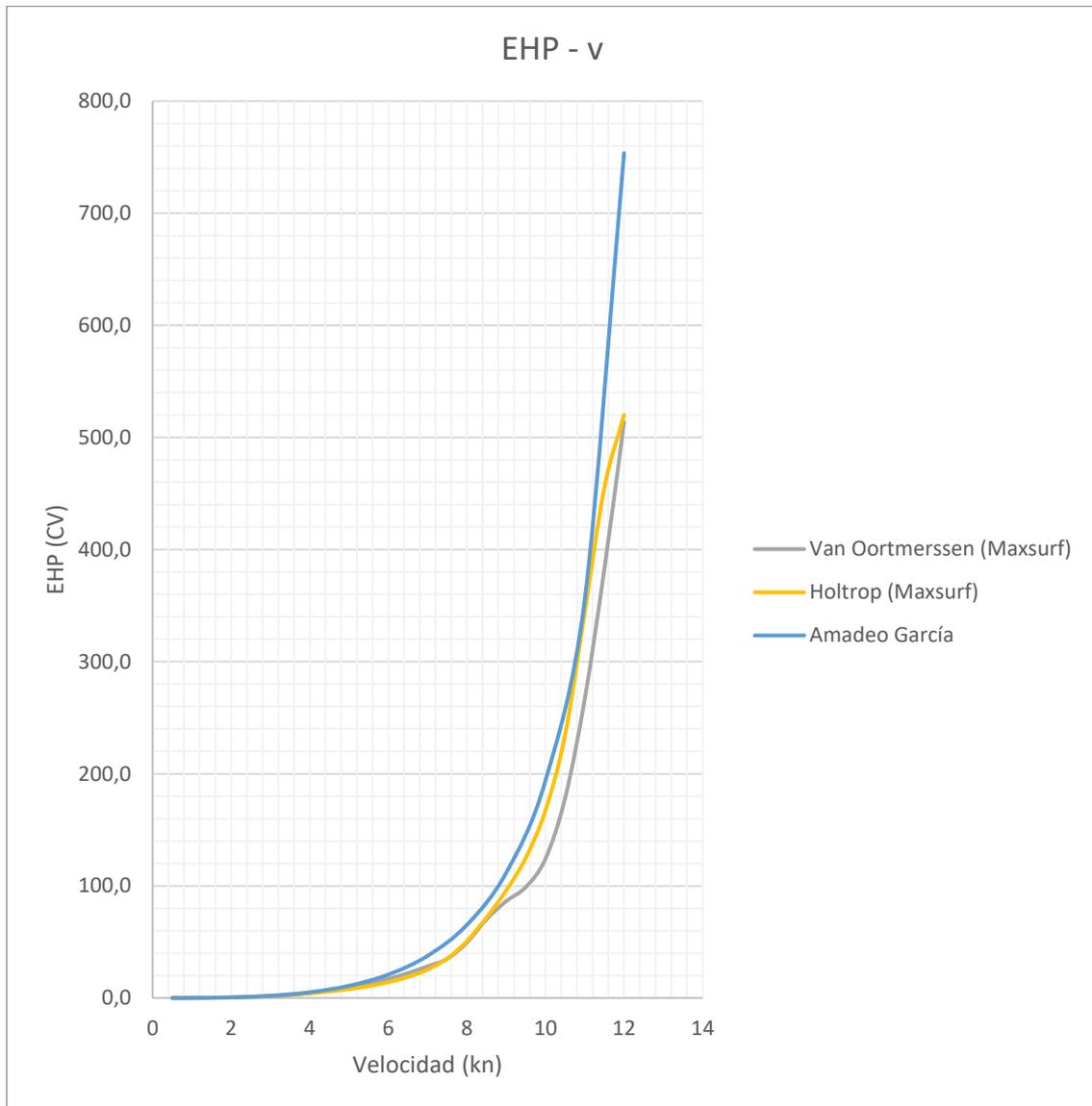


Gráfico 11. Curva potencia-velocidad comparando los métodos de Holtrop y Amadeo García.

Como se puede comprobar en el gráfico, hasta velocidades de 11 nudos las curvas son bastante similares, a excepción del método de Van Oortmerssen que se desvía ligeramente. Sin embargo, a partir de esta velocidad se observa claramente la diferencia entre ambos métodos.

Puesto que ambos procesos se basan en métodos estadísticos, no se puede afirmar con total seguridad que uno de ellos sea el correcto. Sin embargo, para futuros cálculos vamos a trabajar con lo obtenido por el método de Amadeo García ya que, como se ha mencionado en el apartado correspondiente, es un método más optimizado para el tipo de buque con el que se está trabajando.

8. Sistema propulsivo

En este capítulo se va a redimensionar el sistema propulsivo teniendo en cuenta los nuevos valores de desplazamiento y resistencia al avance. El proceso llevado a cabo ha sido iterativo:

En primer lugar, se ha estimado una potencia mínima necesaria (BHP), a partir de la potencia efectiva a la velocidad de proyecto (EHP), calculada en el capítulo anterior. Con el valor de BHP obtenido y una estimación inicial de las revoluciones, se selecciona un motor propulsor. A continuación, se utilizan las expresiones polinómicas de las curvas $B_p - \delta$ para seleccionar el propulsor óptimo en estas condiciones. En caso de que el motor instalado no tenga potencia suficiente, o potencia excesiva, se seleccionará otro. Así, de forma iterativa, se alcanzará llegar a un motor adecuado y un propulsor óptimo.

Para poder realizar los cálculos, previamente será necesario estimar tanto los coeficientes propulsivos como el diámetro máximo de la hélice, en función del espacio disponible en el vano del codaste.

8.1. COEFICIENTES PROPULSIVOS

Al igual que ocurría con los métodos de estimación de resistencia al avance, el cálculo de los coeficientes propulsivos está sujeto a ecuaciones obtenidas por métodos estadísticos. Por ello, a la hora de seleccionar la ecuación a aplicar hay que tener en cuenta el tipo de buque a proyectar.

El coeficiente de estela es el factor que relaciona la velocidad del buque con la velocidad del agua que llega a la hélice. En el método de Harvald se propone una ecuación válida para estimar el coeficiente de estela en este tipo de buques:

$$w = 0.9 \cdot \frac{B}{L_{PP}} + \frac{3}{20} \cdot (2 \cdot C_B - 1) \quad (8.1)$$

En cuanto al coeficiente de succión, este representa la pérdida de empuje de la hélice, expresada como una fracción del empuje total. Heckscher, según la publicación *Ship Design for efficiency and economy*, propone la siguiente expresión para calcular el coeficiente de succión:

$$t = 0.77 \cdot C_p - 0.30 \quad (8.2)$$

Por último, el rendimiento rotativo-relativo representa la relación entre el rendimiento del propulsor tras el casco y en aguas abiertas. Según Helm, en la misma publicación que se indicó para el caso del coeficiente de succión, una buena aproximación de este rendimiento para estos buques viene dada por:

$$\eta_R = 0.826 + 0.01 \cdot \frac{L}{\sqrt{3}} + 0.02 \cdot \frac{B}{T} + 0.1 \cdot C_M \quad (8.3)$$

Se obtienen los siguientes resultados:

Coefficiente de estela (w)	0,253
Coefficiente de succión (t)	0,164
Rto. Rotativo-relativo	0,984

Tabla 18. Coeficientes propulsivos.

8.2. DIÁMETRO MÁXIMO DEL PROPULSOR

Un parámetro clave en la selección del propulsor óptimo es el diámetro máximo del mismo. Este está condicionado, principalmente, por el espacio disponible en la zona del codaste. Además, es necesario que existan unos huelgos de seguridad que vendrán impuestos por las Sociedades de Clasificación. En este caso, se ha utilizado la normativa del *Lloyds Register of Shipping*, referente a los huelgos hélice-carena recomendados. En esta norma se da un esquema de la zona del codaste similar a la del *Ciudad de Cartagena*.

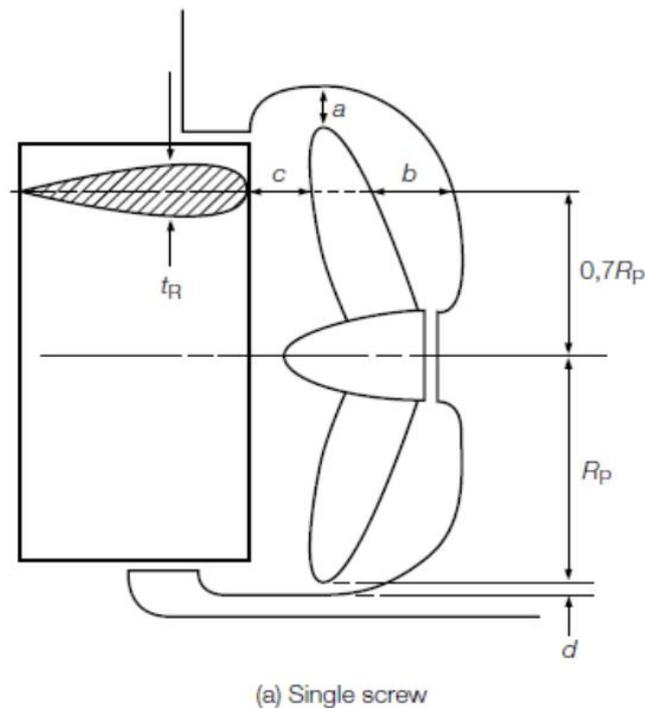


Figura 25. Esquema del codaste. Fuente: García López, D. "15. Proyecto de hélices".

Para el cálculo de cada una de las distancias acotadas en la figura anterior se dispone de la siguiente tabla:

Number of blades	Hull clearances for single screw, in metres, see Fig. 6.7.7(a)				Hull clearances for twin screw, in metres, see Fig. 6.7.7(b)	
	a	b	c	d	e	f
3	1,20Kδ	1,80Kδ	0,12δ	0,03δ	1,20Kδ	1,20Kδ
4	1,00Kδ	1,50Kδ	0,12δ	0,03δ	1,00Kδ	1,20Kδ
5	0,85Kδ	1,275Kδ	0,12δ	0,03δ	0,85Kδ	0,85Kδ
6	0,75Kδ	1,125Kδ	0,12δ	0,03δ	0,75Kδ	0,75Kδ
Minimum value	0,10δ	0,15δ	t _R	—	3 and 4 blades, 0,20δ 5 and 6 blades, 0,16δ	0,15δ
Symbols						
L as defined in 1.4.1 C _b = moulded block coefficient at load draught $K = \left(0,1 + \frac{L}{3050}\right) \left(\frac{3,48C_b P}{L^2} + 0,3\right)$				t _R = thickness of rudder, in metres, measured at 0,7R _p above the shaft centreline P = designed power on one shaft, in kW (shp) R _p = propeller radius, in metres δ = propeller diameter, in metres		
$\left(K = \left(0,1 + \frac{L}{3050}\right) \left(\frac{2,56C_b P}{L^2} + 0,3\right)\right)$						
NOTE The above recommended minimum clearances also apply to semi-spade type rudders.						

Tabla 19. Huelgos hélice-carena recomendados por Lloyd's Register. Fuente: García López, D. "15. Proyecto de hélices".

Para determinar el tamaño máximo de la hélice, se mide en el plano de distribución general el espacio vertical disponible en el vano del codaste, que resulta ser de 2.05 metros. A continuación, de forma iterativa se suponen diámetros inferiores a esta longitud, calculando para cada uno de ellos el espacio necesario, hasta encontrar el mayor diámetro que cumpla los requisitos.

D _{PROP} (m)	a	b	c	d	Dist. necesaria. (m)
2,05	0,625	0,938	0,246	0,062	2,737
2,00	0,610	0,915	0,240	0,060	2,670
1,95	0,595	0,892	0,234	0,059	2,603
1,90	0,579	0,869	0,228	0,057	2,536
1,85	0,564	0,846	0,222	0,056	2,470
1,80	0,549	0,823	0,216	0,054	2,403
1,75	0,534	0,800	0,210	0,053	2,336
1,70	0,518	0,778	0,204	0,051	2,269
1,65	0,503	0,755	0,198	0,050	2,203
1,60	0,488	0,732	0,192	0,048	2,136
1,55	0,473	0,709	0,186	0,047	2,069
1,50	0,457	0,686	0,180	0,045	2,002

Tabla 20. Cálculo iterativo del diámetro máximo.

Por tanto:

$$D_{\text{máximo}} = 1,50 \text{ metros}$$

8.3. SELECCIÓN DEL PROPULSOR

Se hace una primera estimación de la potencia mínima a instalar. Para ello, se supone un rendimiento mecánico (η_M) de 0.95, pues es un valor común para este tipo de buques. Además, se van a realizar todos los cálculos para un factor de utilización de potencia (K_P) del 90%. Por otra parte, los cálculos se realizan para una velocidad de proyecto de 11 nudos.

La potencia mínima que instalar, por tanto, será:

$$BHP = \frac{EHP}{\eta_P \cdot K_P} \quad (8.4)$$

En esta etapa del proyecto no se conoce el rendimiento propulsivo, η_P . Sin embargo, este rendimiento es el producto entre el rendimiento mecánico y el rendimiento cuasi-propulsivo (η_D).

$$\eta_P = \eta_D \cdot \eta_M \quad (8.5)$$

Se puede estimar el rendimiento cuasi-propulsivo según la siguiente ecuación, obtenida experimentalmente en el Canal de El Pardo:

$$\eta_D = 0,943 - 0,000187 \cdot N \cdot \sqrt{L_{PP}} + 0,023 \cdot \frac{B}{T} - 0.2 \cdot C_B + ,00013 \cdot N \cdot C_B \cdot \sqrt{L_{PP}} \quad (8.6)$$

Suponiendo $N=250$ rpm como primera aproximación, se obtiene un valor de 0.772 para el rendimiento cuasi-propulsivo. Por tanto:

$$BHP = \frac{EHP}{\eta_D \cdot \eta_M \cdot K_P} = 538,61 \text{ CV} \quad (8.7)$$

Obtenido este valor, se sigue un proceso iterativo probando distintos motores hasta alcanzar un resultado satisfactorio. En primer lugar, se elige un motor cuya potencia sea superior a la que se acaba de calcular. En este punto del proyecto, se observa que es necesaria la instalación de una reductora, pues para el tipo de motor que va a montar el buque (motor rápido) las revoluciones son muy superiores a las de funcionamiento del propulsor. Las reductoras son utilizadas para convertir las revoluciones de salida del eje del motor a las requeridas por el propulsor.

Para seleccionar el propulsor se supone un valor de la relación A_E/A_0 y con este se realizan los cálculos indicados a continuación:

Como se puede comprobar en la hoja de cálculo que se adjunta con este proyecto, se programan las expresiones $B_P - \delta$ en una hoja de cálculo para agilizar el proceso de selección. Para ello, se calcula en primer lugar la potencia absorbida por la hélice en aguas abiertas:

$$DHP = BHP \cdot \frac{1}{1,026} \cdot \eta_M \eta_R \quad (8.8)$$

Se calcula ahora B_P , teniendo en cuenta que N es la velocidad de giro del propulsor en revoluciones por minuto y v_A es la velocidad de avance en nudos:

$$B_P = \frac{N\sqrt{DHP}}{v_A^{2.5}} \quad (8.9)$$

El valor de δ óptimo viene dado por:

$$\delta_{OPT} = \sum_{i=0}^{n_1} \sum_{j=0}^{n_2} c_{i,j} \left(\frac{A_E}{A_0}\right)^i \left(\frac{\sqrt{B_P}}{10}\right)^j \quad (8.10)$$

Los términos i , j y k vienen tabulados en función del número de palas del propulsor en una publicación de las *Transactions RINA*⁴. Además, este valor δ no podrá superar un cierto valor, dado por:

$$\delta_{MAX} = \frac{N \cdot D_{m\acute{a}x}}{v_A} \quad (8.11)$$

Por tanto, con el menor de los dos valores calculados para δ , se calcula el grado de avance óptimo:

$$J = \frac{30,86}{\delta} \quad (8.13)$$

A partir de la ecuación del grado de avance, se obtiene el valor del diámetro óptimo. Con estos valores ya se puede calcular entonces el rendimiento del propulsor aislado:

$$\eta_0 = \sum_{i=0}^{n_1} \sum_{j=0}^{n_2} \sum_{k=0}^{n_3} e_{i,j,k} \left(\frac{A_E}{A_0}\right)^i \left(\frac{\sqrt{B_P}}{10}\right)^j \cdot \left(\frac{\delta}{100}\right)^k \quad (8.14)$$

El empuje del propulsor será:

$$T = \frac{BHP \cdot K_P \cdot \eta_R \cdot \eta_M \cdot \eta_0 \cdot 75}{v_A} \quad (8.15)$$

Por otra parte, la relación (A_E/A_0) mínima para que no se produzca cavitación viene dada por la ecuación de Keller:

$$\left(\frac{A_E}{A_0}\right)_{MIN} = \frac{(1,3 + 0,3 \cdot Z) \cdot T}{(P_0 - P_V) \cdot D^2} + 0,20 \quad (8.16)$$

Tras realizar los cálculos, hay que comprobar que se cumplen las siguientes condiciones:

- La relación A_E/A_0 estimada debe ser inferior a la relación $(A_E/A_0)_{MIN}$ para evitar la cavitación del propulsor.

⁴ Yide Shen, "Expressions of the B_P - δ diagrams in polynomial for marine propeller series", *Transactions RINA* 1993.

- La potencia necesaria ($BHP_{NECESARIA}$) debe ser inferior a la instalada.
- El diámetro óptimo debe ser menor o igual que el diámetro máximo.
- Debido a que durante el proceso de cálculo se han utilizado métodos estadísticos, como la estimación de potencia o el cálculo de coeficientes propulsivos, es recomendable que la potencia instalada tenga un margen de seguridad sobre la potencia realmente necesaria. Además, se debe aplicar un margen para compensar futuros aumentos de la resistencia al avance durante el ciclo de vida útil del buque. Se tomará un margen total de entre un 5 y un 10%.

En caso de no cumplirse los requisitos, se debe estimar un nuevo valor para la relación (A_E/A_0) hasta que el resultado sea válido. Del mismo modo, si la potencia necesaria fuese superior a la instalada, se selecciona un nuevo motor y se repite el proceso. A continuación, se muestran las distintas opciones que se han probado hasta llegar a la solución final:

Motor	3508 C	GUASCOR F360	3508 C	3508 C	C32
BHP (CV)	1050	900	1100	1000	1200
N (rpm)	1600	1500	1600	1600	1800
N_{PROP} (rpm)	270	255	270	270	305
A_E/A_0	0,69	0,78	0,712	0,823	0,919
Margen potencia	7,69%	-1,72%	10,60%	6,44%	19,07%
Rto. Prop.	0,41	-	0,40	0,42	0,41
N_{PALAS}	3	5	3	5	5

Tabla 21. Iteraciones realizadas hasta seleccionar motor.

La mejor opción en principio sería la que ofrezca un mayor rendimiento propulsivo. Por esto, se elige el motor 3508 C de Caterpillar, de 1000 CV de potencia, por lo que finalmente se decide sustituir el motor actual (GUASCOR F360), como ya se adelantó en el cálculo del desplazamiento del buque.

Por otra parte, las revoluciones del propulsor vendrán condicionadas por la relación de reducción de la reductora. De este modo, la selección del reductor se basará en buscar aquél que permita obtener una velocidad de giro próxima a las revoluciones óptimas del propulsor. Previamente se deben estimar las revoluciones óptimas de funcionamiento del propulsor. Para ello, se hace la selección del propulsor adecuado haciendo uso de las expresiones polinómicas programadas en la hoja de cálculo. Las revoluciones óptimas, en principio, serán aquellas que ofrezcan el mayor rendimiento propulsivo. Los resultados obtenidos son los siguientes:

n_i (rpm)	D (m)	H/D	A_E/A_0	η_0	Margen pot. Inst.-nec.
400,00	1,500	0,966	0,720	0,427	14,89%
350,00	1,500	1,172	0,706	0,418	13,45%
300,00	1,500	1,422	0,690	0,405	9,90%
250,00	1,500	1,708	0,672	0,390	3,22%
200,00	1,500	2,012	0,656	0,376	-8,33%

Tabla 22. Estimación de las revoluciones óptimas.

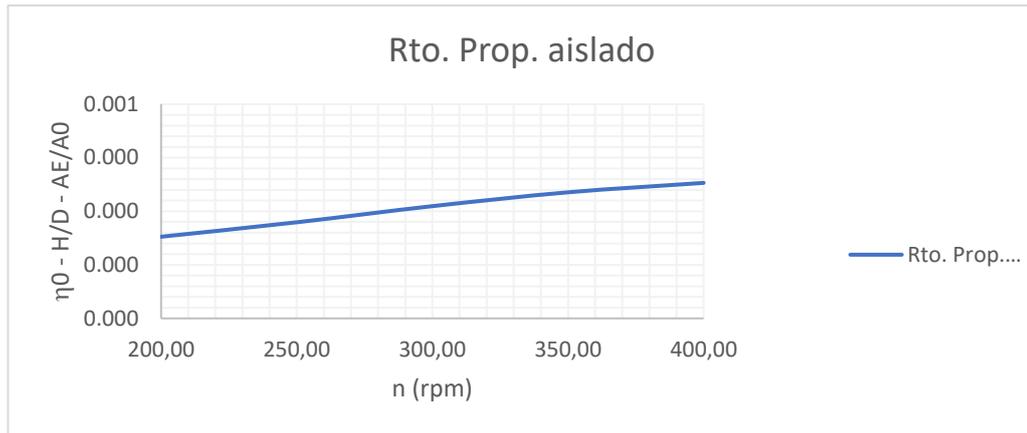


Tabla 23. Estimación de las revoluciones óptimas.

Siguiendo el criterio de seleccionar las revoluciones que ofrezcan un mayor rendimiento, deberían seleccionarse 400 revoluciones por minuto. Sin embargo, como se puede comprobar en la tabla anterior, el margen de la potencia instalada sobre la potencia necesaria excede el 10% que se ha fijado anteriormente, por lo que probablemente se montaría un motor cuyo peso y coste sean desproporcionados con las características de este proyecto. Por tanto, teniendo en cuenta tanto rendimiento como margen de potencia, parece que la mejor solución sería encontrar un propulsor que funcione entre las 250 y las 300 revoluciones por minuto.

El objetivo ahora es buscar una reductora que permita al propulsor trabajar dentro de este rango de revoluciones.

$$\frac{1600}{r_{REDUCTORA,SUP}} = 250 \rightarrow r_{REDUCTORA,SUP} = 6,4$$

$$\frac{1600}{r_{REDUCTORA,INF}} = 300 \rightarrow r_{REDUCTORA,INF} = 5,3$$

Se debe seleccionar una reductora cuya ratio de reducción se encuentre entre 5,3 y 6,4. En el catálogo del fabricante MASSON-MARINE se encuentra el modelo MM W4400, con una ratio de reducción de 5,913. Según este catálogo, la relación kW/rpm debe ser de 0,54 máximo y la potencia máxima a 1600 rpm es de 864 kW. Por tanto, tras validar estos requisitos, se decide instalar esta reductora, siendo las revoluciones del propulsor:

$$N_{PROPULSOR} = \frac{N_{MOTOR}}{r_{REDUCTORA}} = \frac{1600}{5,913} = 270,59 \text{ rpm} \quad (8.17)$$

Por último, se debe buscar de nuevo el propulsor ideal para estas revoluciones. Este proceso ha sido aplicado a propulsores de tres y cinco palas. Finalmente, se ha llegado a la conclusión de instalar un propulsor de cinco palas ya que se obtiene un rendimiento propulsivo mayor, además de un mejor margen de potencia.

Número de palas	3	5
Relación A_E/A_0	0,680	0,823
Relación $(A_E/A_0)_{MIN}$	0,679	0,822
¿Cavita?	NO	NO
Potencia instalada (CV)	1000,00	1000,00
Potencia necesaria (CV)	954,58	935,60
Margen potencia inst./nec.	4,54%	6,44%
Rendimiento propulsivo	0,41	0,42
Relación H/D	1,59	1,57
Diámetro óptimo (m)	1,50	1,50

Tabla 24. Opciones para seleccionar el propulsor.

Por tanto, el propulsor seleccionado será:

Número de palas	5,000
Diámetro (m)	1,500
Relación A_E/A_0	0,823
Relación H/D	1,573

Tabla 25. Características del propulsor seleccionado

8.4. DISEÑO DEL PROPULSOR

Como se ha mencionado en otros capítulos, a medida que se avanza en el proyecto se está desarrollando el modelo virtual del buque. Por ello, resulta necesaria la obtención de un modelo en 3D de la geometría de la hélice. El propulsor seleccionado pertenece a la Serie B del Canal de Wageningen. Se utilizarán las directrices indicadas en esta serie para crear el modelo del propulsor.

Todos los propulsores pertenecientes a esta serie tienen unas características comunes:

- La forma de los perfiles es de tipo de avión para $r \leq 0,7$ y de arco de círculo para $r > 0,7$.
- La ley de espesores máximos es lineal.
- El ángulo de lanzamiento es de 15° .

Además, la serie se divide en familias de propulsores, teniendo cada una de ellas parámetros constantes:

- El número de palas, Z.
- La relación (A_E/A_0) .

8.4.1. Dimensionamiento del propulsor

Para dimensionar el propulsor, es necesario en primer lugar calcular la cuerda de cada una de las secciones, de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$c(r) = \frac{K(r) \cdot D \cdot A_E / A_0}{Z} \quad (8.18)$$

Los valores $K(r)$ se dan tabulados. En la tabla siguiente se muestran estos valores, así como los resultados obtenidos para la cuerda y el skew, en milímetros:

r/R	K (r)	c (r)	skew / c (r)	skew
0,200	1,600	395,1	0,081	32,01
0,300	1,832	452,4	0,084	38,00
0,400	2,023	499,6	0,080	39,97
0,500	2,163	534,2	0,070	37,39
0,600	2,243	553,9	0,052	28,80
0,700	2,247	554,9	0,024	13,32
0,800	2,132	526,5	-0,020	-10,53
0,850	2,005	495,1	-0,052	-25,75
0,900	1,798	444,0	-0,098	-43,51
0,950	1,434	354,1	-0,182	-64,45
0,975	1,220	301,3	-0,273	-82,25
1,000	0,000	0,0	0,000	0,00

Tabla 26. Cuerda y skew.

La ley de pasos, al ser un propulsor de tres palas, es constante. Se ha obtenido un paso (H) de 2360 milímetros.

Para determinar el espesor de las secciones se utiliza la siguiente ecuación:

$$t_{\text{máx}} = D \cdot (A(r) - B(r)) \cdot Z \quad (8.19)$$

Los valores de $A(r)$ y $B(r)$ se muestran en la siguiente tabla, así como los resultados obtenidos para el espesor máximo:

r/R	A (r)	B (r)	t_{máx}
0,200	0,0526	0,0040	48,91
0,300	0,0464	0,0035	43,36
0,400	0,0402	0,0030	37,81
0,500	0,0340	0,0025	32,26
0,600	0,0278	0,0020	26,71
0,700	0,0216	0,0015	21,15
0,800	0,0154	0,0010	15,60
0,900	0,0092	0,0005	10,05
1,000	0,0032	0,0000	4,80

Tabla 27. Espesores máximos.

En la siguiente figura se muestra un esquema de las dimensiones de una sección:

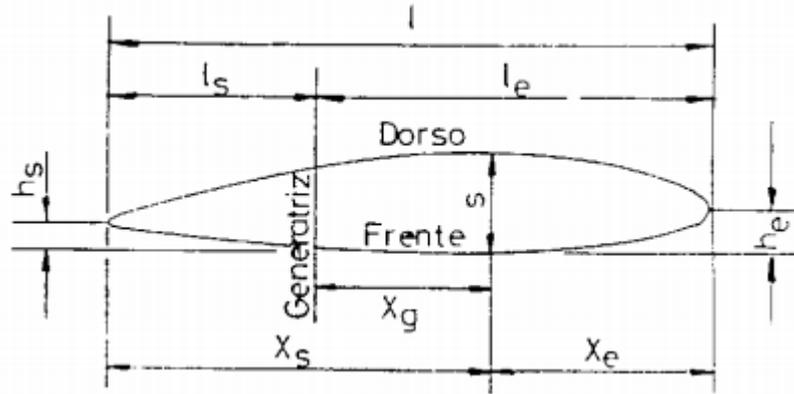


Figura 26. Croquis de una sección de la pala. Fuente: Geometría de la Serie B de Wageningen.

Siendo:

- l la longitud de la cuerda.
- l_e y l_s las distancias desde la generatriz hasta los bordes de entrada y salida, respectivamente.
- s es el espesor máximo de la sección.
- x_e y x_s las distancias desde el punto de máximo espesor hasta los bordes de entrada y salida, respectivamente.
- x_g es la distancia desde la generatriz hasta el punto de máximo espesor.
- h_e y h_s las distancias desde los bordes de entrada y salida hasta la línea de paso.

El valor de x_e y x_s se calcula a partir de $x_{m\acute{a}x}$, que viene tabulado, ya que este último coincide con la distancia desde el punto de máximo espesor hasta el borde de entrada. Del mismo modo, se calculan l_e y l_s .

r/R	$x_{m\acute{a}x} / c (r)$	x_e	x_s	$l_e / c (r)$	l_e	l_s
0,200	0,350	138,3	256,8	0,617	243,8	151,3
0,300	0,350	158,3	294,1	0,613	277,3	175,1
0,400	0,351	175,4	324,2	0,601	300,3	199,3
0,500	0,355	189,6	344,5	0,586	313,0	221,1
0,600	0,389	215,5	338,4	0,561	310,8	243,2
0,700	0,443	245,8	309,1	0,524	290,8	264,1
0,800	0,486	255,9	270,6	0,463	243,8	282,7
0,900	0,500	222,0	222,0	0,351	155,9	288,2
1,000	0,500	0,0	0,0	0	0,0	0,0

Tabla 28. Valores de x_e , x_s , l_e y l_s .

8.4.2. Contornos proyectados

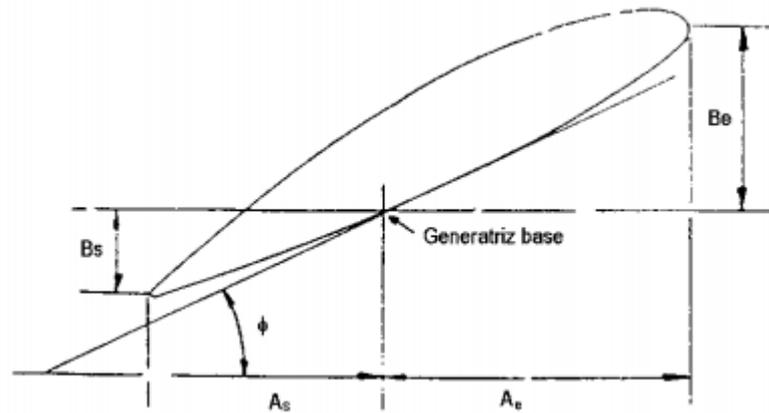


Figura 27. Croquis del contorno proyectado de una sección de la pala. Fuente: Geometría de la Serie B de Wageningen.

Para el cálculo de los contornos proyectados, el cálculo de las proyecciones frontal y lateral de los bordes de cada sección de la pala pueden hacerse a partir de las siguientes ecuaciones:

$$\phi = \arctan\left(\frac{H}{2 \cdot \Pi \cdot r}\right) \quad (8.20)$$

$$A_e = I_e \cdot \cos(\phi) - h_e \cdot \sin(\phi) \quad (8.21)$$

$$A_s = I_s \cdot \cos(\phi) + h_s \cdot \sin(\phi) \quad (8.22)$$

$$B_e = I_e \cdot \sin(\phi) + h_e \cdot \cos(\phi) \quad (8.23)$$

$$B_s = I_s \cdot \sin(\phi) - h_s \cdot \cos(\phi) \quad (8.24)$$

Los valores h_e y h_s vienen expresados en tanto por ciento del espesor máximo. Los resultados obtenidos son:

r/R	r	ϕ	h_e (% $t_{\text{máx}}$)	h_s (% $t_{\text{máx}}$)	h_e	h_s	A_e	A_s	B_e	B_s
0,200	150,03	68,22	0,40	0,30	19,56	14,67	168,39	83,66	-177,38	-126,96
0,300	225,05	59,07	0,38	0,25	16,28	10,99	-234,87	-135,88	148,38	110,96
0,400	300,07	51,38	0,35	0,18	13,04	6,75	121,82	94,68	274,74	175,55
0,500	375,09	45,04	0,30	0,10	9,81	3,13	146,16	112,00	276,98	190,71
0,600	450,10	39,84	0,25	0,05	6,54	1,36	-173,53	-130,34	257,87	205,29
0,700	525,12	35,57	0,16	0,00	3,40	0,00	-150,68	-139,49	-248,71	-224,30
0,800	600,14	32,04	0,07	0,00	1,15	0,00	197,44	229,78	142,98	164,74
0,900	675,15	29,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,000	750,17	26,59	0,00	0,00	0,00	0,00	17,03	31,49	154,92	286,45

Tabla 29. Resultados contorno proyectado.

8.4.3. Contorno expandido

El contorno expandido representa la intersección de cilindros coaxiales con el eje con la pala. Se dibuja cada perfil sobre su radio correspondiente y la línea que une todos los extremos forma el contorno expandido.

Las ecuaciones que describen la geometría del perfil, diferenciadas para la cara de presión y la cara de succión, son:

$$y_{c.p.} = V_1 \cdot (t_{m\acute{a}x} - t_{b.e.}) \quad \text{para } P > 0 \quad (8.25)$$

$$y_{c.s.} = (V_1 + V_2) \cdot (t_{m\acute{a}x} - t_{b.e.}) + t_{b.e.} \quad \text{para } P > 0 \quad (8.26)$$

$$y_{c.p.} = V_1 \cdot (t_{m\acute{a}x} - t_{b.s.}) \quad \text{para } P \leq 0 \quad (8.27)$$

$$y_{c.s.} = (V_1 + V_2) \cdot (t_{m\acute{a}x} - t_{b.s.}) + t_{b.s.} \quad \text{para } P \leq 0 \quad (8.28)$$

Siendo:

- $y_{c.p.}$ e $y_{c.s.}$ las ordenadas verticales correspondientes a la cara de presión y de succión, respectivamente, respecto a la línea de paso.
- $t_{b.e.}$ y $t_{b.s.}$ son los espesores de la sección cilíndrica en los bordes de entrada y de salida.
- V_1 y V_2 son valores tabulados en función de r/R y P , siendo P una coordenada adimensional a lo largo de la línea de paso ($P=1$ en el borde de ataque y $P=-1$ para el borde de salida).

Los valores de $t_{b.e.}$ y $t_{b.s.}$ están fijados por la serie para las secciones $0.2 \cdot R$, $0.6 \cdot R$ y $0.975 \cdot R$. Para el resto de las secciones se obtiene por interpolación:

r/R	t_{b.e.}	t_{b.s.}
0,200	3,31	3,31
0,300	2,93	2,93
0,400	2,56	2,56
0,500	2,18	2,18
0,600	1,81	1,81
0,700	1,56	1,56
0,800	1,32	1,32
0,900	1,08	1,08
1,000	0,00	0,00

Tabla 30. Espesor de los bordes de entrada y salida.

Los resultados obtenidos son:

<i>Cara de presión. Borde de salida. ($y_{cp}=v_1(t_{max}-t_{bs})$; $P<0$)</i>									
r/R	100%	95%	90%	80%	70%	60%	50%	40%	20%
0,20	12,89	11,99	10,95	8,97	7,16	5,50	4,01	2,70	0,78
0,30	9,32	8,25	7,24	5,39	3,81	2,52	1,52	0,82	0,13
0,40	5,17	4,23	3,43	2,22	1,39	0,75	0,41	0,16	0,00
0,50	1,57	1,26	0,99	0,57	0,30	0,12	0,04	0,00	0,00
0,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Cara de presión. Borde de entrada. ($y_{cp}=v_1(t_{max}-t_{be})$; $P>0$)</i>									
r/R	100%	95%	90%	80%	70%	60%	50%	40%	20%
0,20	16,24	12,87	10,73	7,68	5,38	3,67	2,37	1,39	0,22
0,30	11,82	8,84	7,12	4,82	3,19	2,03	1,21	0,60	0,11
0,40	7,69	5,17	3,84	2,25	1,26	0,67	0,32	0,12	0,00
0,50	3,84	2,34	1,50	0,63	0,26	0,10	0,02	0,00	0,00
0,60	0,95	0,42	0,17	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

<i>Cara de succión. Borde de salida. ($y_{cs}=(v_1+v_2)(t_{max}-t_{bs})+t_{bs}$; $P<0$)</i>									
r/R	100%	95%	90%	80%	70%	60%	50%	40%	20%
0,20	16,19	18,22	20,89	26,23	31,15	35,45	39,22	42,42	47,17
0,30	12,25	43,52	16,92	21,81	26,49	30,50	34,11	37,16	42,21
0,40	7,73	9,98	12,36	17,11	21,72	25,71	29,49	32,38	36,56
0,50	3,75	6,30	8,78	13,47	17,94	21,67	25,32	27,61	31,17
0,60	1,81	4,21	6,50	10,73	14,53	17,78	20,56	22,79	25,74
0,70	1,56	3,47	5,29	8,62	11,56	14,10	16,26	18,02	20,37
0,80	1,32	2,72	4,04	6,47	8,61	10,46	12,03	13,32	15,03
0,90	1,08	1,96	2,79	4,31	5,66	6,82	7,81	8,62	9,69
1,00	0,00	0,47	0,91	1,73	2,45	3,07	3,60	4,03	4,61
<i>Cara de succión. Borde de entrada. ($y_{cs}=(v_1+v_2)(t_{max}-t_{be})+t_{be}$; $P>0$)</i>									
r/R	100%	95%	90%	80%	70%	60%	50%	40%	20%
0,20	19,54	23,29	26,99	32,78	36,92	40,16	42,94	45,17	47,99
0,30	14,75	19,41	22,97	28,49	32,42	36,04	38,23	39,90	42,46
0,40	10,24	14,55	17,80	23,20	27,05	31,10	34,76	34,57	36,84
0,50	6,02	9,78	12,88	17,97	21,78	25,24	27,34	28,99	31,39
0,60	2,76	5,92	8,82	13,32	16,90	19,82	21,97	23,69	25,93
0,70	1,56	3,99	6,14	9,68	12,56	14,96	16,94	18,53	20,52
0,80	1,32	2,82	4,22	6,70	8,84	10,67	12,23	13,49	15,08
0,90	1,08	1,96	2,79	4,31	5,66	6,82	7,81	8,62	9,69
1,00	0,00	0,75	0,91	1,73	2,45	3,07	3,60	4,03	4,61

Tabla 31. Parámetros de presión y succión del contorno expandido.

Por tanto, el espesor en los bordes de entrada y de salida se calcula haciendo la diferencia entre los valores de y de las caras de succión y presión.

$$t_x = y_{c.s.,x} - y_{c.p.,x} \quad (8.29)$$

Los resultados obtenidos se recogen en la siguiente tabla:

<i>Espesor en la zona del borde de entrada (P>0)</i>										
r/R	100%	95%	90%	80%	70%	60%	50%	40%	20%	0%
0,20	3,31	10,42	16,26	25,09	31,54	36,49	40,57	43,78	47,77	48,91
0,30	2,93	10,57	15,86	23,67	29,23	34,00	37,02	39,30	42,35	43,36
0,40	2,56	9,38	13,96	20,96	25,79	30,43	34,44	34,45	36,84	37,81
0,50	2,18	7,44	11,37	17,34	21,52	25,14	27,32	28,99	31,39	32,26
0,60	1,81	5,50	8,65	13,31	16,90	19,82	21,97	23,69	25,93	26,71
0,70	1,56	3,99	6,14	9,68	12,56	14,96	16,94	18,53	20,52	21,15
0,80	1,32	2,82	4,22	6,70	8,84	10,67	12,23	13,49	15,08	15,60
0,90	1,08	1,96	2,79	4,31	5,66	6,82	7,81	8,62	9,69	10,05
1,00	0,00	0,75	0,91	1,73	2,45	3,07	3,60	4,03	4,61	4,80
<i>Espesor en la zona del borde de salida (P<0)</i>										
r/R	100%	95%	90%	80%	70%	60%	50%	40%	20%	0%
0,20	3,31	6,22	9,94	17,26	23,99	29,95	35,21	39,72	46,38	48,91
0,30	2,93	35,27	9,68	16,42	22,68	27,98	32,59	36,35	42,08	43,36
0,40	2,56	5,75	8,94	14,89	20,32	24,95	29,08	32,22	36,56	37,81
0,50	2,18	5,04	7,79	12,90	17,64	21,55	25,28	27,61	31,17	32,26
0,60	1,81	4,21	6,50	10,73	14,53	17,78	20,56	22,79	25,74	26,71
0,70	1,56	3,47	5,29	8,62	11,56	14,10	16,26	18,02	20,37	21,15
0,80	1,32	2,72	4,04	6,47	8,61	10,46	12,03	13,32	15,03	15,60
0,90	1,08	1,96	2,79	4,31	5,66	6,82	7,81	8,62	9,69	10,05
1,00	0,00	0,47	0,91	1,73	2,45	3,07	3,60	4,03	4,61	4,80

Tabla 32. Espesores en los bordes de entrada y salida

8.4.4. Comprobación de la resistencia mecánica de las palas

Por último, para validar el cálculo de la hélice se debe comprobar la resistencia mecánica de las palas. Para ello, se utiliza la norma correspondiente de *Lloyd's Register of Shipping*. La comprobación se basa en el cálculo de los espesores mínimos para las dos secciones consideradas críticas: $0.25 \cdot R$ y $0.60 \cdot R$. Estos espesores mínimos, en milímetros, vienen dados por las siguientes ecuaciones:

$$t_{0.25R} = \frac{K C A}{E F U L Z} + 100 \sqrt{\frac{3150 M P}{E F N U L Z}} \quad (8.30)$$

$$t_{0.6R} = \frac{K C A}{9.81 \cdot E F U L Z} + 27.4 \sqrt{\frac{3150 M P}{E F N U L Z}} \quad (8.31)$$

Donde:

- P es la potencia máxima del eje, en kW.
- S es la potencia máxima del eje, en HP.
- N son las revoluciones por minuto del propulsor.
- D es el diámetro del propulsor, en metros.
- H es el paso correspondiente a cada sección, en metros.
- Z es el número de palas.
- B es la relación A_D/A_0 .
- L es la longitud de la cuerda en la sección correspondiente, en milímetros.
- A es la caída de la punta de la pala medida en el eje de la hélice, siendo positiva a popa y negativa a proa, en milímetros.
- K viene dado por la ecuación siguiente:

$$K = \frac{G B D^3 \cdot N^2}{675} \quad (8.32)$$

- E , para este tipo de palas tiene el valor de 1.25.
- Los parámetros C , F y M se calculan aplicando la ecuación correspondiente a la sección, de forma general:

$$C = \begin{pmatrix} 1.0 & \text{si } r = 0,25 \cdot R \\ 1.6 & \text{si } r = 0,60 \cdot R \end{pmatrix} \quad (8.33)$$

$$F = \frac{H}{D} + CTE \quad (8.34)$$

$$M = CTE + \frac{5D}{H} + CTE \cdot \frac{H}{D} \quad (8.35)$$

- G y U son la densidad del material y el esfuerzo admisible, dados por la siguiente tabla:

Material	Unidades S.I.			Unidades métricas		
	Resistencia a la tracción mínima especificada	G Densidad	U Esfuerzo admisible.	Resistencia a la tracción mínima especificada	G Densidad	U Esfuerzo admisible
	N/mm ²	g/cm ³	N/mm ²	kgf/mm ²	g/cm ³	kgf/mm ²
Fundición gris	250	7,2	17,2	25	7,2	1,75
Fundición de grafito esferoidal o nodular	400	7,3	20,6	41	7,3	2,1
Aceros al carbono o de baja aleación	400	7,9	20,6	41	7,9	2,1
Aceros inoxidables al 13% de cromo	500	7,7	41,2	51	7,7	4,2
Acero inoxidable austenítico al cromo-níquel	450	7,9	41,2	46	7,9	4,2
Bronce-manganeso (latón de alta resistencia)	440	8,3	43,1	45	8,3	4,4
Bronce-níquel-manganeso (latón de alta resistencia)	440	8,3	43,1	45	8,3	4,4
Bronce-níquel-aluminio	590	7,6	56,0	60	7,6	5,7
Bronce-níquel- aluminio	630	7,5	51,0	64	7,5	5,2

Tabla 33. Propiedades del material del propulsor.

Para decidir de qué material se va a construir el propulsor, se elabora la siguiente tabla, en la que se comprueba la validez de cada material según los criterios explicados anteriormente.

Material	Densidad (g/cm ³)	Esfuerzo adm.(N/mm ²)	¿Válido?	Peso (g)	Peso (kg)
Fundición gris	7,2	17,2	NO	303983,24	303,98
Fundición de grafito	7,3	20,6	NO	308205,23	308,21
Acero al carbono	7,9	20,6	NO	333537,17	333,54
Acero inoxidable al cromo	7,7	41,2	SI	325093,19	325,09
Acero inoxidable austenítico	7,9	41,2	SI	333537,17	333,54
Bronce-Manganeso	8,3	43,1	SI	350425,13	350,43
Bronce-Níquel-Manganeso	8,3	43,1	SI	350425,13	350,43
Bronce-Níquel-Aluminio	7,6	56	SI	320871,20	320,87

Tabla 34. Materiales para la construcción del propulsor.

Se obtendrán varios materiales válidos atendiendo únicamente al espesor. Sin embargo, se decide utilizar la aleación Bronce-Níquel-Aluminio, ya que es la que ofrece un menor peso. Para calcular el peso se ha utilizado el modelo 3D de la hélice cuya construcción se explica en el apartado siguiente.

8.4.5. Representación del propulsor

Con los datos calculados, ya se está en disposición de representar el propulsor. Para ello, simplemente se han interpretado los resultados obtenidos para crear el modelo del propulsor. Para agilizar el proceso, se ha programado una hoja de cálculo que permite traducir los valores obtenidos en parejas de puntos para introducir en *Rhinoceros*.

El primer paso ha sido crear los contornos expandidos de cada una de las secciones. Después, se han desplazado para conseguir el ángulo de lanzamiento de 15° propio de los propulsores pertenecientes a esta serie. Además, se ha rotado cada una de las secciones de acuerdo con el ángulo de paso de cada una. Por último, se ha dado la curvatura necesaria a todas las secciones según su radio correspondiente.

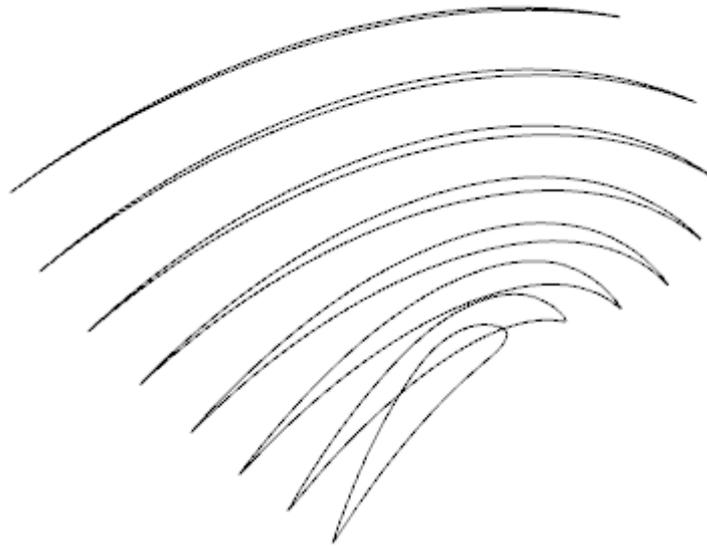


Figura 28. Secciones del propulsor curvadas y giradas.

Por último, se han unido las secciones, obteniendo el modelo de la pala en 3D.

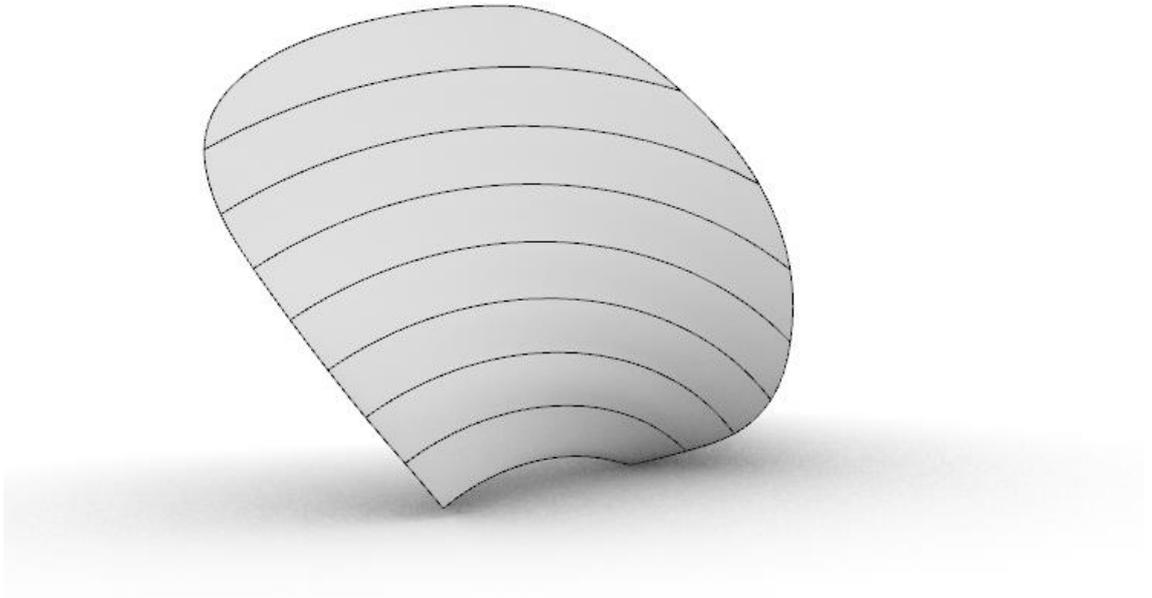


Figura 29. Modelo 3D de una pala del propulsor.

Con una pala creada y habiendo calculado el diámetro del núcleo según la Geometría de la Serie B de Wageningen, se obtiene el modelo del propulsor completo:

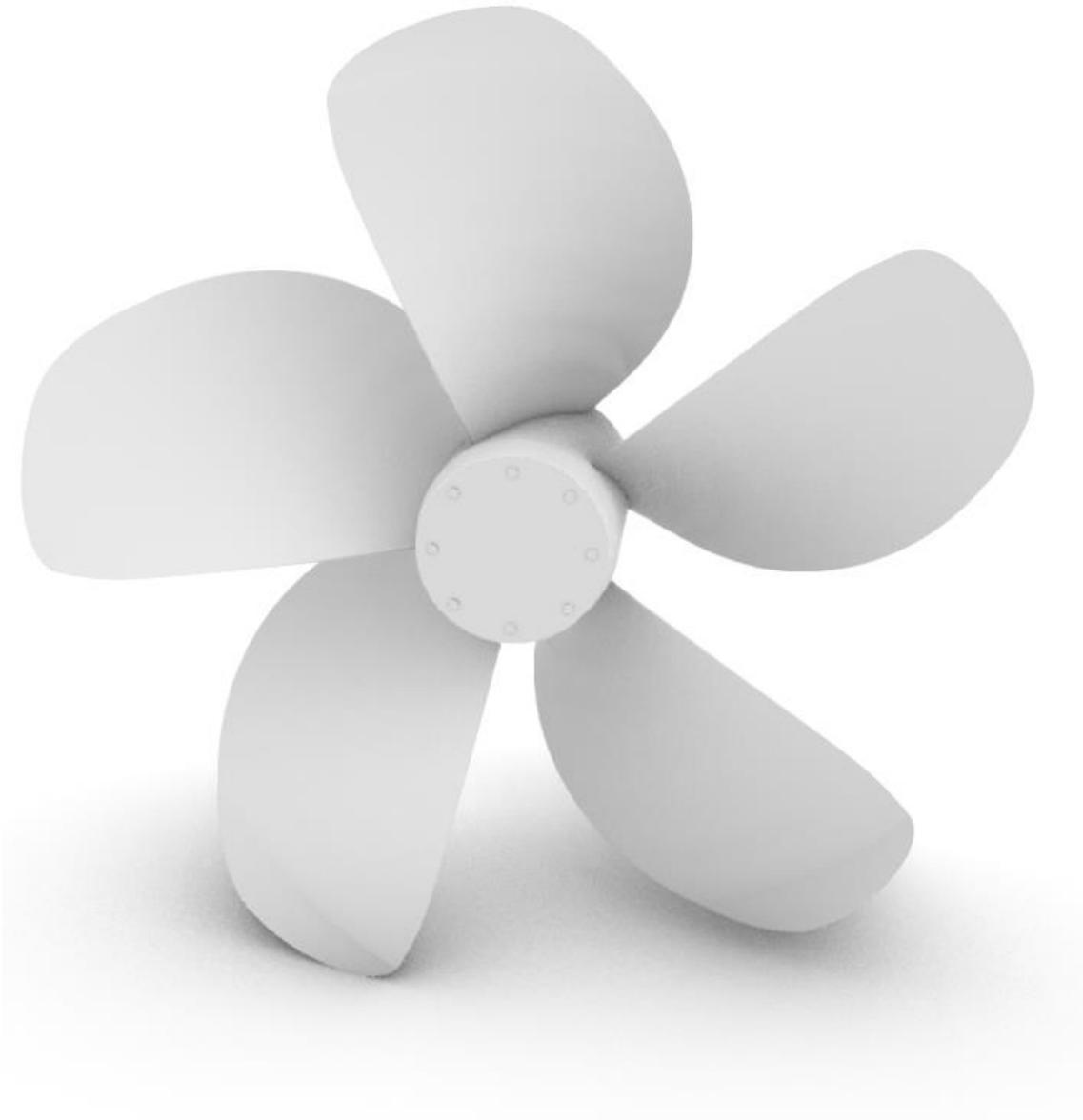


Figura 30. Modelo 3D del propulsor.

A partir de este modelo, se puede obtener fácilmente la cartilla de trazado del propulsor (Anexo V), utilizando planos de corte y proyecciones del propulsor sobre distintos planos. Se incluyen las siguientes vistas:

- Proyección lateral. Resulta de proyectar la pala sobre un plano longitudinal, con el observador desde el lado de estribor. En ella se representan la ley de espesores y el ángulo de lanzamiento. La ley de espesores consiste en un corte ficticio en el máximo espesor de cada sección.
- Proyección frontal. Consiste en una proyección transversal del propulsor. En ella se observa el contorno desarrollado y la línea de máximo espesor.
- Perfil expandido. Consiste en la representación de las secciones obtenidas de la intersección de cilindros de distintos radios con la pala. En esta vista se observa el contorno expandido.
- Se representa también la ley de pasos.

9. Planta eléctrica

9.1. DISPOSICIÓN DE LA PLANTA ELÉCTRICA

La planta eléctrica del buque debe estar dimensionada de tal forma que sea capaz de abastecer a todos los consumidores instalados a bordo en cualquiera de sus distintas condiciones operativas. Además, se debe garantizar el correcto funcionamiento de la planta bajo unas condiciones específicas de seguridad y protección. De este modo, los consumidores a bordo se dividen fundamentalmente en dos grupos: vitales y no vitales. Se diferencian unos de otros en que los vitales son aquellos cuyo funcionamiento es esencial para la seguridad en caso de emergencia, al contrario que los no vitales.

Tras la reforma del buque se modifica la lista de consumidores instalados, por lo que resulta necesario comprobar que la planta eléctrica actual es válida para la nueva demanda eléctrica.

La planta eléctrica del buque está compuesta actualmente por un generador principal, dos generadores auxiliares y un generador de emergencia sobre la cubierta principal. El funcionamiento de la planta eléctrica se basa en la producción de energía eléctrica en el generador principal. Esta energía se distribuye desde el cuadro principal a los distintos consumidores. De forma análoga, los generadores de emergencia y el auxiliar producen energía y, desde sus respectivos cuadros, esta se distribuye por el buque. Es importante que el sistema de emergencia sea independiente del resto con el objetivo de que un fallo en el sistema principal no produzca la caída del sistema de emergencia. Además, se dispone de una toma de tierra para recibir la corriente eléctrica del puerto cuando el buque está amarrado.

En cuanto al generador principal, de 134 kW, está compuesto por un alternador acoplado a un motor auxiliar marino. El alternador es un Leroy Somer LSA-M-44.2 L12.



Figura 31. Alternador Leroy Somer LSA-M-44.2 L12.

Por otra parte, los generadores auxiliares tienen una potencia de 41 kW cada uno. Tanto el generador principal como los auxiliares están montados en la cámara de máquinas. Además, como es frecuente en Europa, la energía eléctrica generada a bordo es de 380V a una frecuencia de 50 Hz. Por tanto, para alimentar a consumidores que requieran un voltaje menor, se necesitan transformadores.

Se desconoce cuál es el diagrama unifilar exacto del buque. Sin embargo, teniendo en cuenta todo lo anterior, se ha desarrollado en *Rhinoceros* un diagrama que podría asimilarse bastante al real (Anexo VIII).

DIAGRAMA UNIFILAR DE LA PLANTA ELÉCTRICA

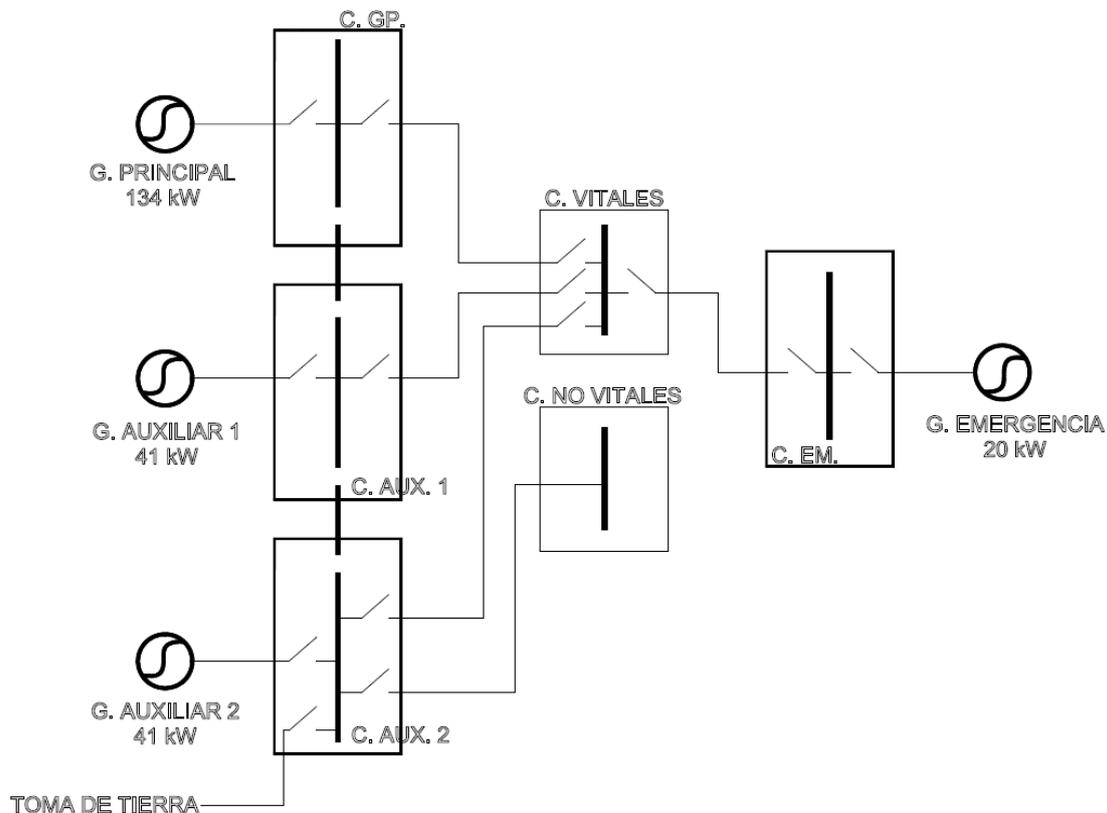


Figura 32. Diagrama unifilar de la planta eléctrica.

9.2. ANÁLISIS DE POTENCIA Y CARGAS ELÉCTRICAS

El balance eléctrico de un buque es el proceso de cálculo que se realiza para la estimación de la potencia eléctrica necesaria para que un buque cumpla con su función de operatividad. El balance eléctrico se emplea, por tanto, para determinar las exigencias de la potencia instalada de todos los servicios consumidores de energía eléctrica, según las distintas condiciones de trabajo del buque.

Se deben asignar factores de utilización a cada uno de los consumidores. Estos factores, multiplicados por la potencia demandada por cada consumidor, permiten obtener la potencia que realmente requiere dicho consumidor a la hora de dimensionar la planta eléctrica. El factor de simultaneidad representa el hecho de que no todos los consumidores se usan al mismo tiempo y que, además, su uso depende de la condición en la que esté operando el buque.

Para el dimensionamiento de la planta eléctrica se debe establecer previamente una serie de situaciones que representan las distintas condiciones de operación del buque. Para este caso, las condiciones que se han tenido en cuenta son:

- Buque en puerto.
- Buque fondeado.
- Buque en navegación.
- Buque operando ROV u otras operaciones con la grúa.
- Emergencia.

El procedimiento para realizar el balance eléctrico sería obtener una potencia demandada para cada una de estas cinco condiciones. El sistema de generación eléctrica principal se dimensionará en base a la mayor potencia de las cuatro primeras condiciones. Sin embargo, el generador de emergencia será dimensionado atendiendo únicamente a la condición de emergencia.

Los factores de utilización se estiman en base a la experiencia. En este caso, se han tomado como referencia los apuntes de la asignatura *Sistemas eléctricos y electrónicos*, de cuarto curso del Grado. Una vez determinados estos factores, se procede como se explica a continuación:

- La carga instalada de cada consumidor se multiplica por su respectivo factor de utilización, obteniendo la carga demandada por ese consumidor. Se realiza esto para todas las condiciones.
- La carga total demandada para cada condición de trabajo se obtiene sumando las cargas individuales.

Además, las cargas se agrupan según conceptos. Estos son:

1. Propulsión
2. Planta eléctrica.
3. Mando y vigilancia.
4. Sistemas auxiliares.
5. Habilitación.

Con todo lo anterior se realiza el balance eléctrico que se adjunta en el Anexo VII. A modo de resumen, se presenta la siguiente tabla de resultados, donde se muestra la carga demandada por cada grupo de consumidores para todas las situaciones planteadas:

GRUPO	Carga (kW)	Puerto kW	Fondeo kW	Navegación kW	Operando kW	Emergencia kW
Propulsión	2,60	0,26	1,26	5,04	1,26	1,97
Planta eléctrica	10,82	3,55	4,28	4,28	4,28	4,01
Mando y vigilancia	2,00	0,10	1,10	1,80	1,10	1,10
Sistemas auxiliares	23,95	5,52	6,4	15,81	6,62	5,74
Habilitación	43,25	0,67	0,67	0,62	34,90	0,50
TOTAL	82,62	10,10	13,71	27,55	48,16	13,32

Tabla 35. Demanda eléctrica en cada condición de funcionamiento.

Además, es recomendable añadir un margen debido a distintos factores, como cambios a lo largo del proyecto o como factor de seguridad. En este caso se considera oportuno tomar un margen del 5%. De esta forma, se obtienen los siguientes valores:

Descripción	Margen	Puerto	Fondo	Navegación	Operando	Emergencia
		kW	kW	kW	kW	kW
Potencia sin margen	-	10,10	13,71	27,55	48,16	13,32
Margen de proyecto (kW)	5%	0,51	0,69	1,38	2,41	0,67
Potencia total (kW)	-	10,61	14,40	28,93	50,57	13,99

Tabla 36. Potencia demandada en cada situación aplicando margen de proyecto.

Resulta, por tanto, que la condición más desfavorable es la de operación del ROV y la grúa. Por tanto, la potencia mínima necesaria es de 50,57 kW, por lo que no es necesario modificar la planta eléctrica.

10. Criterios de estabilidad

Para poder validar el proyecto es necesario que, tras la reforma, el buque cumpla los criterios de estabilidad impuestos por la Administración. En este caso, al no existir una norma específica para este tipo de buque, se ha aplicado el Código de Estabilidad Sin Avería de la Organización Marítima Internacional (OMI) referente a todo tipo de buques. La última actualización de este Código viene descrita en la resolución A. 749(18).

El cumplimiento de esta normativa garantiza que el buque puede navegar en condiciones de seguridad suficientes. Para ello, como indica en la resolución mencionada anteriormente, es necesario comprobar que los siguientes parámetros del buque se encuentran dentro de un rango admisible de valores:

- Criterios referentes a la altura metacéntrica.
- Curva de brazos adrizantes.
- Criterio de viento y balance intensos.
- Efecto de superficies libres.

Para comprobar que se cumple el Código resulta muy útil *Maxsurf Stability*, ya que incorpora una amplia base de datos que incluye distintas normas referentes a criterios de estabilidad. Para realizar la comprobación, hay que realizar el estudio de la estabilidad a grandes ángulos en la condición de carga deseada e introducir el rango de escoras a estudiar. Además, se puede fijar un trimado o, como se hará en este caso, permitir al buque trimar libremente en función de la condición de carga seleccionada. Por otra parte, en este tipo de buques es necesario indicar que la corrección de GZ no se haga simulando el movimiento del fluido en los tanques.

A continuación, dentro del apartado *Criteria*, se seleccionan los criterios que se quieran comprobar. En este caso, como ya se ha mencionado, se estudiarán los criterios descritos dentro de la resolución A. 749 (18) del Código de Estabilidad Sin Avería, Capítulo 3. Por último, se ejecuta el análisis de estabilidad a grandes ángulos en la condición de carga deseada y se comprueba que se cumplan los criterios.

Cabe destacar que para que el programa pueda calcular el criterio de viento y balance intensos es necesario introducir el valor del área expuesta al viento, así como la altura de su centro de gravedad. Para ello, con los calados obtenidos del equilibrio de cada condición de carga, se traza el área expuesta al viento en *Rhinoceros* y se calcula su valor.

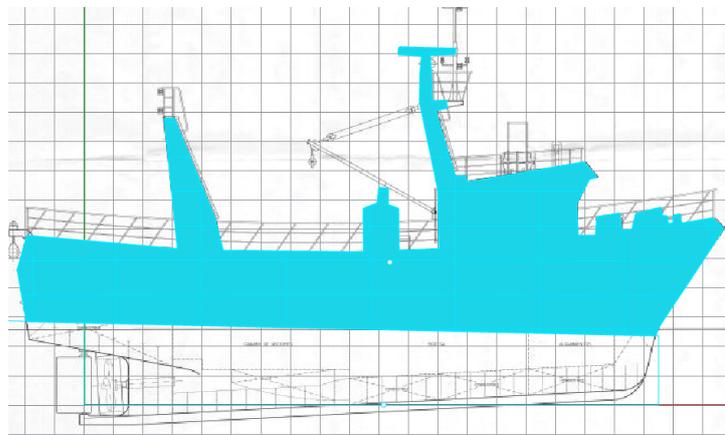


Figura 33. Cálculo del área expuesta al viento y su centro de gravedad.

Se han establecido dos condiciones de carga que pueden ser críticas para la estabilidad:

- Salida de puerto a plena carga.
- Llegada a puerto con tanques al 10% de su capacidad.

10.0.1. Condición: Salida de puerto a plena carga

Calado en popa (m)	2,814
Calado en proa (m)	2,366
Área expuesta al viento (m ²)	87,903
Altura de centroide de área (m)	4,868

Tabla 37. Área expuesta al viento a plena carga.

Criterio	Referencia	Actual
Área 0 a 30	≥ 3,1513 m·deg	7,4143
Área 0 a 40	≥ 5,1566 m·deg	13,1531
Área 30 a 40	≥ 1,7189 m·deg	5,7387
Máx. GZ a 30 o sup.	≥ 0,200 m	1,112
Ángulo de GZ máximo	≥ 25 deg	80
Inicial GMt	≥ 0,150 m	0,959
Pasaje: ángulo de equilibrio	≤ 10 deg	0
Ángulo de equilibrio	≤ 10 deg	0
Viento y balance intensos (escora perm.)	≤ 16 deg	5,7

Tabla 38. Comprobación de criterios de estabilidad en la condición de plena carga.

10.0.2. Condición: Llegada a Puerto

Calado en popa (m)	2,542
Calado en proa (m)	1,960
Área expuesta al viento (m ²)	95,016
Altura de centroide de área (m)	4,685

Tabla 39. Área expuesta al viento en llegada a puerto.

Criterio	Referencia	Actual
Área 0 a 30	≥ 3,1513 m·deg	5,8194
Área 0 a 40	≥ 5,1566 m·deg	10,0867
Área 30 a 40	≥ 1,7189 m·deg	4,2673
Máx. GZ a 30 o sup.	≥ 0,200 m	1,029
Ángulo de GZ máximo	≥ 25 deg	77,3
Inicial GMt	≥ 0,150 m	0,848
Pasaje: ángulo de equilibrio	≤ 10 deg	0,3
Ángulo de equilibrio	≤ 10 deg	0,3
Viento y balance intensos (escora perm.)	≤ 16 deg	9,3

Tabla 40. Comprobación de criterios de estabilidad en la condición de llegada a puerto.

Como se puede comprobar, todos los parámetros actuales cumplen el criterio impuesto por la normativa vigente.

10.1. EFECTO DEL IZADO DE PESOS CON LA GRÚA

Cuando un buque posee una grúa a bordo, el estudio de la estabilidad debe prestar especial atención al izado de pesos. Esto es importante porque, en el momento en que la grúa iza un peso, la estabilidad del buque se ve penalizada. El principio básico para estudiar el efecto del izado de pesos es “suponer que el centro de gravedad del peso a elevar se sitúa en el punto del cual pende”, como se ha estudiado en distintas asignaturas del Grado.

Al igual que ocurre con los criterios de estabilidad, *Maxsurf* también incorpora en su base de datos los criterios referentes al izado de pesos. Los criterios de estabilidad que debe cumplir un buque cuando levanta un peso con la grúa vienen dados por la resolución MSC.415(97), en el apartado 2.9. En concreto, se aplicará el subapartado 2.9.7.

Por tanto, bastará con introducir los datos necesarios y calcular la estabilidad a grandes ángulos para comprobar que la estabilidad del buque durante las operaciones de carga y descarga es correcta.

Es importante señalar que la grúa se ha seleccionado especialmente para los movimientos de carga y descarga del ROV, siendo el peso total del conjunto de 610 kilogramos. Sin embargo, el estudio de estabilidad se hará para la condición más desfavorable: Cargando el máximo peso que puede cargar la grúa (SWL) y llevándolo hasta el brazo máximo de la misma.

Los datos necesarios son:

Peso (t)	1,095
Altura alcanzada (m)	7,30
Altura estiba peso (m)	5,30
Brazo (m)	5,40
XG (m)	9,50

Tabla 41. Datos necesarios para calcular el efecto del izado de pesos.

De nuevo, se comprobará este criterio tanto para la condición de plena carga como llegada a puerto. Para ello, es necesario crear añadir un peso en cada una de las condiciones, que corresponda con las características de la tabla anterior.

Plena carga			
Criterio	Referencia	Actual	Estado
Elevación de pesos (escora)	< 10 deg	4,1	Válido

Tabla 42. Efecto del izado de pesos en la condición de plena carga.

Llegada a puerto			
Criterio	Referencia	Actual	Estado
Elevación de pesos (escora)	< 10 deg	6,1	Válido

Tabla 43. Efecto del izado de pesos en la condición de llegada a puerto.

Las tablas mostradas en este apartado corresponden a un breve resumen de los cálculos. En el anexo IX se puede encontrar el informe realizado por *Maxsurf Stability* donde se reflejan todos los cálculos.

11. Disposición general

Una vez que se ha comprobado que la distribución de pesos diseñada permite cumplir los criterios de estabilidad, se realiza a continuación el nuevo plano de disposición general. La distribución de los mamparos es prácticamente la misma que la del pesquero, a excepción del mamparo del local de compresores. A continuación, se realiza una descripción de la nueva disposición. El plano se encuentra en el Anexo IV.

Como ya se mencionó en el capítulo destinado a la descripción del buque, el *Ciudad de Cartagena* se divide en tres cubiertas: principal, superior e inferior.

En cuanto a la cubierta superior, en la parte más a proa queda el nuevo equipo de fondeo del buque, así como las escotillas que dan acceso a la caja de cadenas y a la zona de la habilitación. A popa de este espacio se encuentra el puente de mando y la derrota, manteniendo el acceso que hay desde este espacio hasta el pañol 1.

Hacia la sección media de la cubierta superior se encuentra la grúa, en crujía, y el ROV en la banda de babor. Más a popa, y también la banda de babor se encuentra el acceso a las nuevas escalas, que comunican la cubierta superior y la principal. Se mantienen los conductos del guardacalor, uno a cada banda.

A popa de la cubierta principal, en crujía, se encuentra el generador de emergencia en la zona del parque de pesca. En el local que queda hacia la sección media se ha instalado el aula. Desde el aula se accede a la habilitación, que queda a proa de esta cubierta.

La zona de habilitación se divide en cuatro compartimentos: una cocina y un aseo, en la banda de babor, y dos pañoles en estribor. En crujía se encuentra el acceso a los alojamientos, en la cubierta inferior. A proa de la cubierta principal se encuentra la caja de cadenas, en el pique de proa.

La parte de popa de la cubierta inferior mantiene la distribución: sobre el vano del codaste está el local del servo y, a proa de este, la cámara de máquinas. A proa de esta cubierta se encuentran los alojamientos, también manteniendo su distribución inicial. Sin embargo, entre la cámara de máquinas y los alojamientos ahora se encuentra la sala de ordenadores y control del ROV.

Por último, en el doble fondo se encuentran los tanques de agua y combustible. Los tanques de aceite, así como los de servicio diario, se encuentran en un espacio destinado a tal fin, entre la cámara de máquinas y el local del servo. En este último local, a cada banda hay un tanque de combustible y a popa un tanque seco.

El plano de disposición general puede encontrarse, como ya se ha mencionado, en el Anexo IV.

12. Resistencia estructural

La disposición estructural del buque se mantiene durante la reforma. Sin embargo, al instalar la grúa para el *ROV* sobre la cubierta superior, resulta necesario estudiar si la resistencia estructural de la misma es capaz de soportar la carga a la que será sometida. En caso de que los refuerzos actuales sean insuficientes para sostener la nueva carga, se deberá proponer una solución. En este caso, como se puede comprobar en la ficha técnica de la grúa, el fabricante ya proporciona el anclaje que se debe utilizar, definiendo el número y tipo de tornillos.

12.1. DEFINICIÓN DE CARGAS

Puesto que se trata de una grúa, no basta únicamente con tener en cuenta su peso propio en reposo, si no que será necesario añadir algunas cargas adicionales para tener en cuenta distintas condiciones de operatividad de la grúa. Para ello, se procederá según lo dispuesto en la normativa de la Sociedad de Clasificación *DNV-ST-0378*. Este documento tiene un apartado específico para grúas dedicadas al lanzamiento y la recuperación de *ROVs*. Trata todos los aspectos relacionados con la instalación y construcción de la grúa, desde materiales hasta equipamiento y maquinaria. Es en la sección 4 (*Structural Design and Strength*) donde se define cada una de las cargas a considerar.

Al igual que se hizo en el apartado del estudio de la estabilidad, se comprobará la resistencia de la cubierta teniendo en cuenta el máximo peso que pueda cargar la grúa, aunque en un principio se haya instalado para operar el *ROV*. Por tanto, las cargas a tener en cuenta a la hora de instalar una grúa, según la normativa, son:

- Cargas principales.
- Cargas verticales debidas a movimientos operacionales.
- Cargas horizontales debidas a movimientos operacionales.
- Cargas debidas al movimiento del buque en el que se monta la grúa.
- Cargas debidas a efectos climáticos.
- Otras cargas.

Se procede, por tanto, a calcular cada una de ellas. El proceso detallado se encuentra en la hoja de cálculo adjunta.

12.1.1. Cargas principales

Las cargas principales se dividen en tres componentes:

- Cargas debidas al peso de los componentes de la grúa (S_G). En este caso, según el fabricante, el peso es de 900 kilogramos.
- Cargas debido a la carga de trabajo (S_L). Será el peso máximo que puede cargar la grúa, ya que se está estudiando la condición más desfavorable.
- Cargas debidas al pretensado. En este caso, no aplica.

$$S_G = PESO_{GRÚA} = 0,90 \text{ toneladas}$$

$$S_L = 1,095 \text{ toneladas}$$

Por tanto:

$$\text{Cargas principales} = S_G + S_L = 19,57 \text{ kN} \quad (12.1)$$

12.1.2. Cargas verticales debidas a movimientos operacionales

Este concepto de carga viene dado en función del factor dinámico Ψ , que se calcula según la siguiente ecuación:

$$\Psi = 1 + V_R \cdot \sqrt{\frac{C}{W \cdot g}} \quad (12.2)$$

Donde:

- C es el coeficiente de rigidez geométrica referido a la posición del gancho, en kN/m. Este dato viene dado por el fabricante.
- g es la aceleración de la gravedad ($9,81 \text{ m/s}^2$).
- W es la carga de trabajo (S_L), en kN.
- V_R es la velocidad relativa entre la carga y el gancho, en m/s. Este dato también lo proporciona el fabricante de la grúa.

$$\Psi = 1,25$$

El valor de las cargas verticales es el producto del factor dinámico por el valor de la carga de trabajo. Por tanto:

$$\text{Cargas verticales} = \Psi \cdot S_L = 13,44 \text{ kN} \quad (12.3)$$

12.1.3. Cargas horizontales debidas a movimientos operacionales

Estas fuerzas (S_H) son:

- Fuerzas de inercia debidas a la aceleración o deceleración de movimientos horizontales.
- Fuerzas centrífugas.
- Fuerzas transversales.
- Cargas de amortiguamiento (S_T).

Las fuerzas de inercia se pueden estimar como un 15% de la carga vertical:

$$\text{Fuerzas de inercia} = 0,15 \cdot \text{Carga vertical} = 1,20 \text{ Kn} \quad (12.4)$$

La grúa en cuestión no permite el giro sobre sí misma, por tanto, no se estimará la acción de las fuerzas centrífugas.

El cálculo de las fuerzas transversales debido al movimiento de la carga viene dado por:

$$\text{Fuerzas transversales} = 0,1 \cdot \text{PESO}_{\text{UNIDAD DE ELEVACIÓN}} \quad (12.5)$$

O, si es mayor, se tomará como:

$$\text{Fuerzas transversales} = \lambda \cdot \text{CARGA}_{\text{RODAMIENTO}} \quad (12.6)$$

Donde λ se obtiene de la siguiente gráfica:

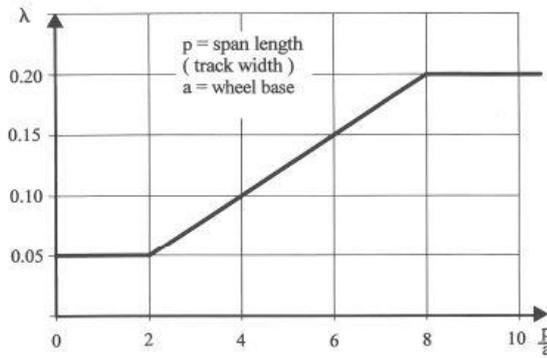


Gráfico 12. Obtención de λ .

En este caso, la carga del rodamiento se calcularía sumando la carga de trabajo al peso de los brazos de la grúa. Sin embargo, el valor que se toma para las fuerzas transversales es:

$$\text{Fuerzas transversales} = 0,10 \cdot \text{PESO}_{\text{UNIDAD DE ELEVACIÓN}} = 0,882 \text{ Kn} \quad (12.7)$$

Las cargas por amortiguamiento (S_T), según dice la norma, no se tendrán en cuenta para velocidades de elevación menores de 0,7 m/s. En este caso, la velocidad es de 0,5 m/s, por tanto, no se considerará este concepto.

En definitiva, las cargas horizontales serán:

$$\mathbf{S_H = 2,90 \text{ kN}}$$

12.1.4. Cargas debidas al movimiento del buque

Como se indica en la normativa que se está aplicando, este apartado se calcula según *Rules for Classification of Ships, Pt.3 Ch.1 Sec.4 Ships Motions and Accelerations*.

Se deben calcular, en primer lugar, las aceleraciones en los sentidos vertical, transversal y longitudinal:

$$a_V = 1,0 \cdot g = 9,81 \text{ m/s}^2 \quad (12.8)$$

$$a_T = 0,7 \cdot g = 6,87 \text{ m/s}^2 \quad (12.9)$$

$$a_L = 0,3 \cdot g = 2,94 \text{ m/s}^2 \quad (12.10)$$

Las cargas debido a los movimientos del buque son:

$$P_V = (g_0 + 0,5 \cdot a_V) \cdot M = 2692,84 \text{ N} \quad (12.11)$$

$$P_T = (0,27 \cdot a_T) \cdot M = 339,29 \text{ N} \quad (12.12)$$

$$P_L = (0,67 \cdot a_L) \cdot M = 360,84 \text{ N} \quad (12.13)$$

Siendo M el desplazamiento del buque.

Por tanto, la carga debida al movimiento del buque será:

$$S_M = P_V + P_T + P_L = 3,39 \text{ kN} \quad (12.14)$$

12.1.5. Cargas debidas a efectos climáticos

Las posibles cargas debidas a efectos climáticos son:

- Debidas al viento.
- Debidas a hielo y nieve.
- Debidas a variaciones de temperatura.

Realmente, las cargas debido a hielo no afectan a este buque debido a su zona de operación. Por otra parte, las cargas debido a variaciones de temperatura, según indica en la norma, sólo deben tenerse en cuenta en casos especiales, como en casos en que los materiales de la grúa no se puedan expandir. Como el fabricante no dice nada de esto último, en este estudio se tendrán en cuenta solamente las cargas debidas al viento.

Los efectos del viento se calculan según el Apéndice A de la normativa que se está utilizando. La carga será:

$$P = A \cdot q \cdot C \cdot \sin(\alpha) \quad (12.15)$$

- P es la fuerza del viento, en N.
- A es el área expuesta, en m^2 .
- q es la presión debida a la velocidad del aire.
- C es el coeficiente de presión medio para la superficie expuesta.
- α es el ángulo entre la dirección del viento y la superficie expuesta.

Se supondrá la condición más desfavorable: un viento que incide perpendicularmente sobre el lateral de la grúa, de forma que el área expuesta será máxima, así como $\sin(\alpha)$.

Para el cálculo de q se utiliza la siguiente ecuación:

$$q = q_{10} \cdot (0,9 + 0,01 \cdot H) \quad (12.16)$$

Donde q_{10} es la presión debida a la velocidad del aire a una altura de 10 metros. Este valor viene tabulado en la norma:

Location	Crane condition	v_{10}	q_{10}
Inland and sheltered conditions	"Working"	≈ 20	250
Ship in harbour	"Out of service"	≈ 36	800
Offshore and open areas	"Working"	≈ 24	360
Ship at sea	"Out of service"	≈ 44	1200

Tabla 44. Valor de q_{10} .

Tomando la condición más desfavorable, la condición de buque fuera de puerto, se tiene un valor de $q_{10} = 1200 \text{ N/m}^2$.

Por tanto, siendo H la altura considerada, en metros:

$$q = 342 \text{ N/m}^2 \quad (12.17)$$

Considerando que $C=2$, como indica la norma para superficies planas, la carga debida al viento es:

$$P = 714,78 N = 0,715 kN \quad (12.18)$$

12.1.6. Casos de carga

Se distinguen ahora tres casos de carga distintos para su análisis. Estos son:

- Grúa trabajando sin viento.
- Grúa trabajando con viento.
- Grúa expuesta a cargas excepcionales.

A continuación, se analizan las tres condiciones. Se tomará, como es lógico, la condición para la que se obtenga la mayor carga.

Grúa trabajando sin viento (Caso I):

En esta condición se incluyen las cargas presentes en condiciones normales. Estas son: las cargas principales, las cargas verticales debidas a movimientos de operación del buque y las cargas horizontales. Por tanto:

$$CARGA_I = S_G + \Psi \cdot S_L + S_H = 35,91 kN \quad (12.19)$$

Grúa trabajando con viento (Caso II):

Se incluyen las mismas cargas que en el caso anterior, añadiendo las cargas debido a trabajo con viento (S_W):

$$CARGA_{II} = S_G + \Psi \cdot S_L + S_H + S_W = 36,63 kN \quad (12.20)$$

Grúa expuesta a cargas excepcionales (Caso III):

Se tienen en cuenta cargas que únicamente aparecen en casos excepcionales, como son las cargas de amortiguamiento, las fuerzas de inercia debidas al movimiento del buque y las cargas debidas al buque fuera de servicio. De esta forma, se tienen dos casos, de los cuales se tomará el más desfavorable:

$$CARGA_{III-A} = S_G + S_L + S_T = 19,57 kN \quad (12.21)$$

$$CARGA_{III-B} = S_G + S_M + S_W = 12,94 kN \quad (12.22)$$

Una vez calculados todos los casos de carga, se concluye que es el segundo el más desfavorable. Como era de esperar, la condición más adversa es aquella en la que la grúa opera con viento. Por tanto, a continuación, se debe comprobar que la cubierta sobre la que se instala el equipo es capaz de soportar los 36.63 kN de carga que ofrece la grúa.

12.2. COMPROBACIÓN DE LA RESISTENCIA

La comprobación de la resistencia se hará por medio del cálculo del módulo del perfil con plancha asociada en la zona que está instalada la grúa. Para ello, en primer

lugar, es necesario señalar que la grúa está situada de tal forma que su centro de gravedad se encuentra sobre el bao correspondiente a la cuaderna número 20.

Una vez definida la posición exacta de la grúa, se va a considerar que esta se apoya únicamente sobre un bao. Esto realmente no es así, puesto que también descansa sobre un refuerzo longitudinal. Sin embargo, se toma esta decisión con el objetivo de asegurar que la cubierta tiene un amplio margen para cargar este peso.

Se calculará en primer lugar el módulo del perfil con plancha asociada requerido para resistir la carga estimada. Para ello, se utiliza la siguiente ecuación, obtenida del reglamento del DNV:

$$Z_{requerido}(cm^3) = \frac{0,63 \cdot l^2 \cdot s \cdot p \cdot w_k}{f_1} \quad (12.23)$$

Donde:

- s es el espaciado entre refuerzos, en metros.
- p es la presión, en kPa.
- l es el vano del refuerzo, en metros.
- w_k es la adición por corrosión, que se tomará un valor de 1.
- f_1 es el factor del material, que en este caso es 1.

Por tanto:

$$Z_{requerido} = 302,21 \text{ cm}^3$$

A continuación, se va a calcular el módulo del perfil con plancha asociada que tiene la disposición actual. Para ello, se divide el conjunto en segmentos, de forma que se calcula para cada uno de ellos:

- El área. Como el conjunto ha quedado dividido en rectángulos, se obtendrá haciendo el producto entre la base y la altura de cada uno de ellos.
- La altura del centro de gravedad sobre la línea de referencia. En este caso, como línea de referencia se tomará la horizontal que pasa por el punto más bajo del conjunto.
- El momento de primer orden. Se obtiene del producto entre área y altura.
- El momento de segundo orden. Es el producto entre el momento de primer orden y la altura.
- La inercia propia de cada segmento. Al tratarse de rectángulos, se puede calcular como $\left(\frac{1}{12}\right) \cdot a \cdot b^3$.
- La inercia total, como la suma del momento de segundo orden y la inercia propia.

Se obtienen los resultados siguientes:

Segmento	A (cm ²)	y (cm)	M ₁ (cm ³)	M ₂ (cm ⁴)	I _p (cm ⁴)	It (cm ⁴)
1	5,60	0,35	1,96	0,69	0,23	0,91
2	3,43	3,15	10,80	34,03	6,86	40,90
3	39,60	5,90	233,64	1378,48	1,19	1379,66
Total	48,63		246,40			1421,48

Tabla 45. Tabla para calcular el módulo del perfil actual.

A continuación, se obtienen la altura del eje neutro, la inercia en el eje neutro (aplicando el Teorema de Steiner) y, por último, el módulo:

$$y_{E.N.} = \frac{M_1}{A} \quad (12.24)$$

$$I_{E.N.} = I_t - A \cdot y_{E.N.}^2 \quad (12.25)$$

$$Z = \frac{I_{E.N.}}{d} \quad (12.26)$$

Los resultados obtenidos son:

y_{EN}	5,07 cm
I_{EN}	172,96 cm ⁴
d_{ala}	5,07 cm
d_{plancha}	1,13 cm
Z_{ala}	34,14 cm ³
Z_{plancha}	152,65 cm ³

Tabla 46. Módulo del perfil actual.

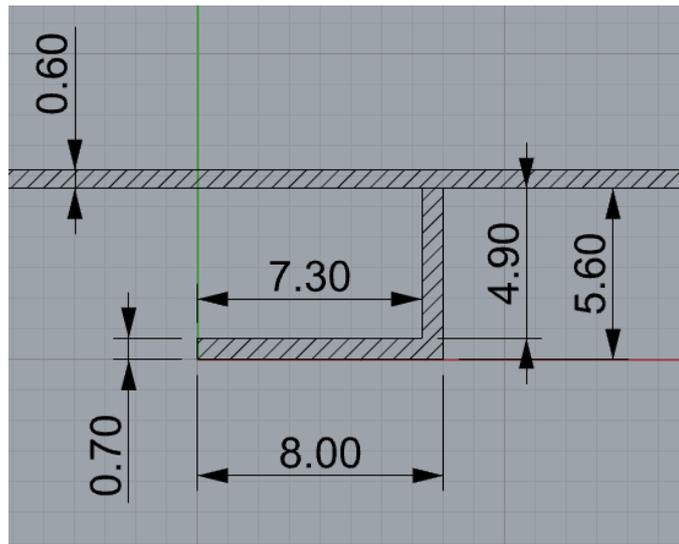


Figura 34. Esquema de la distribución refuerzos actual en la zona de la grúa.

Como se puede comprobar en la tabla anterior, el módulo mínimo actual es menor que el requerido, por lo que se debe buscar una solución para poder instalar la grúa.

Se decide sustituir el bao correspondiente a la cuaderna 20, que es sobre el que se coloca la grúa, por otro que permita obtener un módulo mayor en esa sección. Para ello, se han estudiado dos opciones: mantener el perfil tipo L o cambiar a un perfil tipo H.

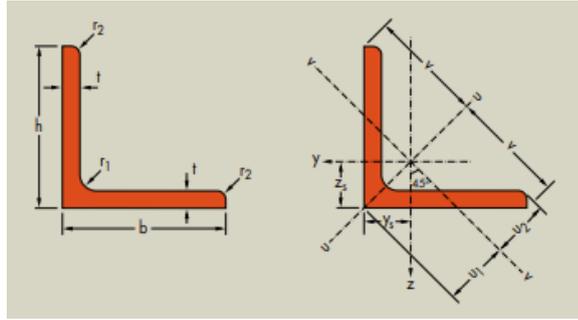


Figura 35. Perfiles tipo L.

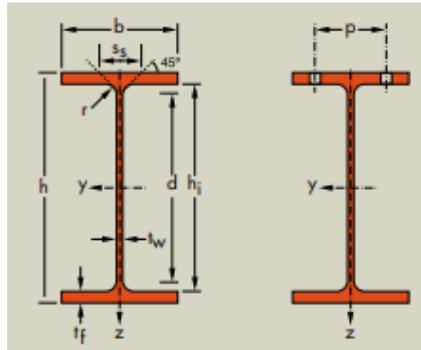


Figura 36. Perfiles tipo HE.

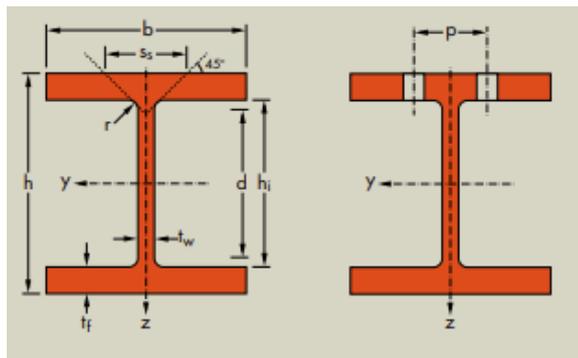


Figura 37. Perfiles tipo HD.

El proceso de cálculo, que se puede comprobar en la hoja de cálculo adjunta, ha sido el mismo que se ha explicado anteriormente para el cálculo del módulo del perfil con plancha asociada. A continuación, se muestra la tabla utilizada para tomar la decisión:

Tipo	$Z_{MÍN}$	Z_{REQ}	Margen (%)	kg/m
L 11*11*1,2	181,06	302,21	-40,09	19,70
L 13*13*1	212,25	302,21	-29,77	19,80
L 13*13*1,6	320,99	302,21	6,21	30,80
L 15*15*1,2	329,41	302,21	9,00	27,30
HD 26*54,1	633,57	302,21	109,64	54,10
HE 120 B	35,49	302,21	-88,26	26,70

Tabla 47. Tabla comparativa entre distintos tipos de perfil.

Como se puede comprobar en la tabla, se han probado tres tipos de perfil que cumplen el requisito de que su módulo sea mayor que el requerido. Para seleccionar uno de los tres, se ha tomado el criterio de instalar aquél que presente un menor peso por metro. Como se observa visualmente, gracias a una herramienta incorporada en la hoja de cálculo, el perfil óptimo para los requisitos impuestos es el de tipo L 15·15·1,2.

13. Potencia del servomotor. Diseño de la pala del timón.

No se dispone información sobre el timón que monta el buque actualmente. Por tanto, en este capítulo se va a proponer una nueva pala, diseñada bajo los requisitos que impone el nuevo propósito del buque. Una vez diseñada, esta nueva pala va a requerir una cierta potencia del servomotor, por lo que se propondrá también un servomotor óptimo para las nuevas condiciones.

Para llevar a cabo este proceso, han sido de gran utilidad los apuntes de la asignatura *Proyectos*, de cuarto curso del Grado. Estos, a su vez, se apoyan en otras publicaciones y normativas.

En primer lugar, es necesario definir el tipo de timón que llevará el buque. Debido a la disposición que presenta el buque antes de la reforma, se decide mantener el tipo de timón: Timón apoyado.

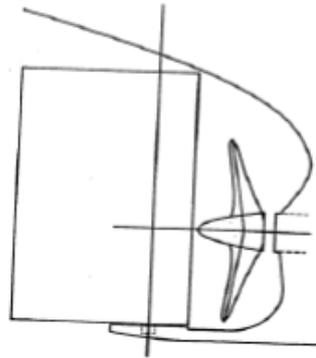


Figura 38. Esquema de timón tipo Simplex. Fuente: Apuntes de Proyectos.

En este punto, es necesario recordar que el buque monta una hélice y un timón. Por tanto, ambos elementos estarán situados en el plano diametral del buque, estando la hélice a proa del timón.

13.1. Superficie de la pala del timón

La superficie de la pala es un parámetro fundamental en el diseño del timón, pues de ella derivan otras características. Varios autores han establecido mediante la experiencia distintas tablas que relacionan la superficie de deriva y el área del timón. En este caso, se toman unos valores de referencia (disponibles en los ya mencionados apuntes de la asignatura *Proyectos*) establecidos por el autor Braun. Por tanto, teniendo en cuenta que estamos transformando un pesquero en un buque que podría considerarse de pasaje, se puede tomar el área del timón como un 5% de la superficie de deriva.

$$A_T = \frac{5}{100} \cdot L \cdot T = 2,77 \text{ m}^2 \quad (13.1)$$

13.2. Relación de compensación

La relación de compensación permite hacer una idea de la distribución de la superficie de la pala, tomando como referencia el eje de giro. En este caso, se va a diseñar un timón semi-compensado, con el objetivo de disminuir el par de torsión y, por tanto, la potencia del servomotor.

La compensación para un determinado timón viene tabulada por distintos autores en función del tipo de timón. Al igual que sucedía con la superficie de la pala, estas tablas se realizan en base a la experiencia:

	Rel. de compensación
Timón compensado, grandes buques	32%
Timón compensado normal para embarcaciones	25%
Timón semi-compensado para embarcaciones	20%
Timón compensado para lanchas rápidas	16%
Timón compensado para buques costeros	21%

Tabla 48. Relación de compensación en función del tipo de timón. Fuente: Apuntes de Proyectos.

Por tanto, se tomará un 20%.

13.3. Relación de alargamiento

También conocida como relación de aspecto, hace referencia al cociente entre la altura del timón (h) y su cuerda media (c). Como indica el autor Baquero Mayor en su publicación⁵, el proyecto del timón deberá realizarse en función del diámetro de giro (si $C_B < 0.75$) o de la estabilidad de ruta (si $C_B > 0.75$). En este caso, se debe proyectar el timón según el diámetro de giro, comprobando después que se cumplan la estabilidad de ruta y el cambio de rumbo. El procedimiento para determinar este valor es:

Se fija la relación de alargamiento en $\lambda = 2$. Entonces:

$$\lambda = \frac{h}{c} \rightarrow h = 2c \quad (13.2)$$

$$A_T = h \cdot c = 2c \cdot c = 2c^2 \rightarrow c = \sqrt{\frac{A_T}{2}} = 1,18 \text{ m} \quad (13.3)$$

Por tanto:

$$h = 2 \cdot 1,18 = 2,35 \text{ m} \quad (13.4)$$

Este último valor debe ser menor o igual que:

$$0,86 \cdot H = 1,96 \text{ m} \quad (13.5)$$

Siendo H el vano total del codaste medido a la altura de la mecha, en metros. Este valor, medido sobre el plano del buque, da un valor de 2,28 metros. Como se observa, la altura calculada es superior al umbral fijado, por tanto, se fijará la altura en 1,96 metros y se recalculará la cuerda media, c , y la relación de alargamiento.

$$h = 1,96 \text{ m}$$

⁵ Baquero Mayor, A. Consideraciones sobre la maniobrabilidad del buque durante la fase de anteproyecto del mismo. Ingeniería Naval, 1982, 566.

$$c = 1,41 \text{ m}$$

$$\frac{h}{c} = 1,39$$

El timón tendrá un contorno rectangular, esto es, todas las secciones serán iguales, lo que resulta más económico.

13.4. Tipo de perfil

El tipo de perfil de la pala debe permitir que el centro de presiones no oscile excesivamente con el aumento del ángulo del timón. Se utilizará el perfil NACA 0015, ampliamente utilizado en la construcción de timones de buques, debido a su simetría.

Se ha obtenido una tabla correspondiente a este tipo de perfil. En ella, se dan las abscisas y ordenadas en tanto por ciento de la longitud de la cuerda, esto es, en forma adimensional.

NACA Profile 0015			
Abscisas y ordenadas dadas en tanto por ciento de la longitud de la cuerda			
x	y	dy/dx	(x.xx,y.yy)
0,000	0,000	*****	0,0
0,500	1,527	1,477	0.5,1.5266
0,750	1,856	1,187	0.75,1.8561
1,250	2,367	0,895	1.25,2.3674
2,500	3,268	0,597	2.5,3.2684
5,000	4,443	0,379	5,4.4434
7,500	5,250	0,276	7.5,5.2499
10,000	5,854	0,211	10,5.8535
15,000	6,682	0,127	15,6.6815
20,000	7,172	0,072	20,7.1719
25,000	7,427	0,032	25,7.4266
30,000	7,502	0,000	30,7.5022
35,000	7,436	-0,026	35,7.4358
40,000	7,254	-0,047	40,7.2538
45,000	6,976	-0,064	45,6.9759
50,000	6,618	-0,079	50,6.6175
55,000	6,191	-0,092	55,6.1905
60,000	5,704	-0,103	60,5.7042
65,000	5,166	-0,113	65,5.1656
70,000	4,580	-0,122	70,4.5799
75,000	3,950	-0,130	75,3.9504
80,000	3,279	-0,139	80,3.2789
85,000	2,566	-0,147	85,2.5657
90,000	1,810	-0,156	90,1.8096
95,000	1,008	-0,165	95,1.0082
100,000	0,158	-0,175	100,0.1575

Tabla 49. Abscisas y ordenadas en tanto por ciento de la longitud de la cuerda. NACA 0015.

A partir de estos datos, y con ayuda de los obtenidos anteriormente, resulta sencillo construir un modelo 3D de la pala del timón en *Rhinoceros*. Para ello, se traslada a *Rhino* la última columna de la tabla, que corresponde a los puntos concatenados, y, una vez importados, se escalará en función del valor de la cuerda obtenido anteriormente.

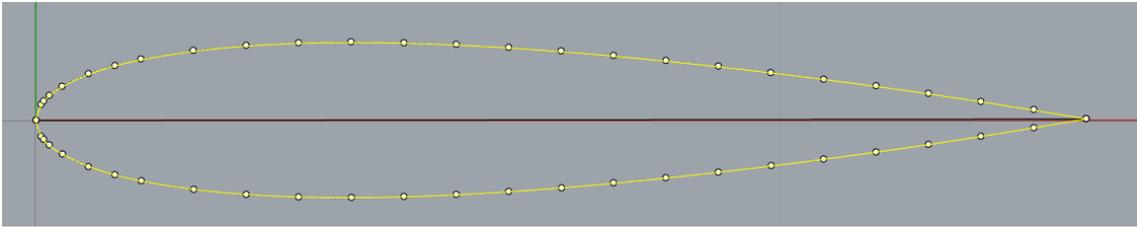


Figura 39. Perfil NACA 0015 escalado.

Una vez creado el perfil, conocida la altura del timón, se pueden crear las superficies que conforman el conjunto de la pala del timón.

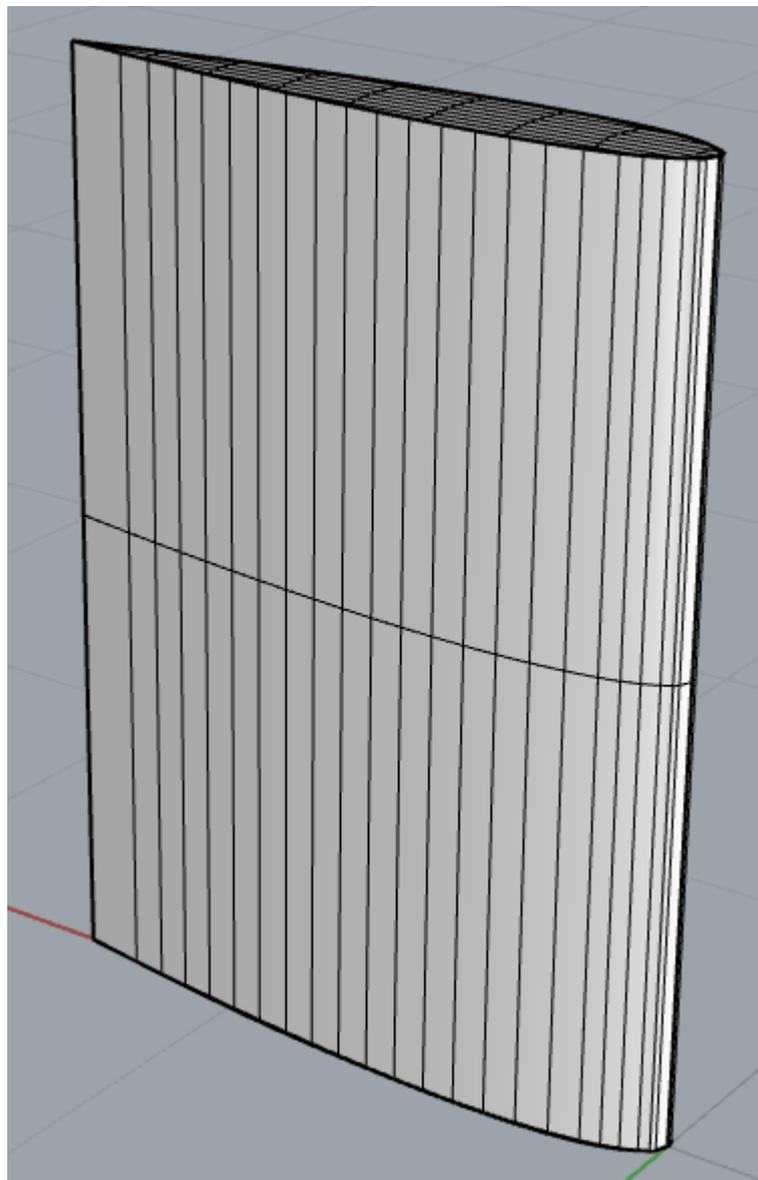


Figura 40. Pala del timón.

13.5. Cálculo de la fuerza sobre el timón

Se procede a calcular a partir de ahora las fuerzas y momentos ejercidos sobre la pala. Para ello, se utiliza el método recomendado por la *International Association of Classification Societies (IACS)*.

Para determinar la fuerza sobre el timón, resulta necesario recordar que la velocidad máxima del buque es de 11 nudos. Además, es necesario calcular los siguientes parámetros:

$$\lambda = \frac{b^2}{A_T} = 1,39 \quad (13.6)$$

Siendo b la altura media de la superficie de la pala. Por tanto:

$$X_1 = \frac{\lambda + 2}{3} = 1,13 \quad (13.7)$$

El factor X_2 viene tabulado en función de la clase del perfil utilizado. En este caso, al utilizar un perfil de la serie NACA 00, X_2 toma un valor de 1.10 avante y 0.80 cuando.

El factor X_3 es función de la disposición del timón. Al tener colocado el timón tras la hélice: $X_3 = 1.00$.

Perfil/clase timón	X_2	
	Avante	Ciando
Serie NACA 00	1,10	0,80
Perfil sin curvatura	1,35	0,90
Perfil con curvatura	1,10	0,90

Tabla 50. Valores de X_2 según el tipo de perfil. Fuente: Apuntes de Proyectos.

Disposición del timón	X_3
Detrás de la hélice	1,00
Para timones tras propulsores en tobera	1,15
Fuera de la estela de la hélice	0,80

Tabla 51. Valores de X_3 en función de la disposición del timón. Fuente: Apuntes de Proyectos.

Por otra parte, el coeficiente t relaciona un coeficiente de empuje unitario y el coeficiente de empuje del buque real. Por tanto:

$$C_T = \frac{T}{\frac{1}{2} \rho D^2 v_A^2} = 2,86 \rightarrow t = 0,35 \quad (13.8)$$

Finalmente, la fuerza sobre el timón será:

$$F_{R,avante} = 132 X_1 X_2 X_3 A_T v^2 t = 19199,15 N = 19,2 kN \quad (13.9)$$

$$F_{R,ciando} = 132 X_1 X_2 X_3 A_T v^2 t = 4887,06 N = 4,89 kN \quad (13.10)$$

13.6. Cálculo del par de torsión

El brazo de palanca estimado se calcula según:

$$r_{avante} = c(\alpha_{avante} - k) = 0,21(0,33 - 0,25) = 0,0168 \text{ m} \quad (13.11)$$

$$k = \frac{A_{PR}}{A_{PP}} = \frac{A_{PR}}{A_T - A_{PR}} = 0,25 \quad (13.12)$$

$$r_{ciando} = c(\alpha_{ciando} - k) = 0,21(0,66 - 0,25) = 0,0861 \text{ m} \quad (13.13)$$

Sin embargo, debe tener el siguiente valor mínimo:

$$r = 0,1 \cdot c = 0,02 \text{ m} \quad (13.14)$$

Por tanto:

$$r_{avante} = 0,02 \text{ m}$$

$$r_{ciando} = 0,09 \text{ m}$$

El par de torsión viene dado por:

$$Q_R = F_R \cdot r \quad (13.15)$$

Por tanto:

$$Q_{R,avante} = 403,18 \text{ Nm}$$

$$Q_{R,ciando} = 420,78 \text{ Nm}$$

13.7. Diámetro de la mecha del timón

Para realizar este cálculo existen diversos métodos. En este caso se ha utilizado el método propuesto por *Lloyd's Register of Shipping*. Los cálculos a realizar se detallan a continuación:

El coeficiente del timón K_R viene tabulado. Toma un valor de 0,248 en la condición de avante y un valor de 0,185 cuando.

Los parámetros X_{PF} y X_{PA} hacen referencia a la distancia horizontal del centro de presión al eje de la mecha, avante y cuando, respectivamente. Siendo X_B la anchura del timón, en metros:

$$X_{PF} = X_A - 0,25X_B = 1,08 \text{ m} \quad (13.16)$$

$$X_{PA} = 0,33X_B - X_L = 0,03 \text{ m} \quad (13.17)$$

Siendo $X_L = 0,28 \text{ m}$. y $X_A = 1,13 \text{ m}$. las distancias desde los bordes de ataque y salida, respectivamente, al eje de la mecha. Estos valores se han obtenido con ayuda del modelo creado en *Rhinoceros*.

Por otra parte, N es un coeficiente que depende de la distribución de los apoyos del timón. En este caso, al tener un apoyo, vendrá dado por la ecuación siguiente:

$$N = A_1(0,67y_1 + 0,17y_2) = 1,54 \quad (13.18)$$

Los términos de la ecuación anterior vienen especificados en la siguiente figura:

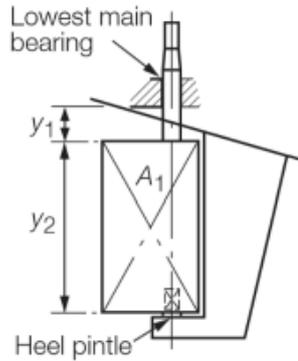


Figura 41. Coeficientes para el cálculo de N . Fuente: Apuntes de Proyectos.

Con todo lo anterior, se puede calcular el diámetro de la mecha, siendo el mayor de los siguientes valores:

$$D = 83,3 \cdot K_R \cdot \sqrt[3]{(V_F + 3)^2 \cdot \sqrt{A_T^2 \cdot X_{PF}^2 + N^2}} = 179,82 \text{ mm} \quad (13.19)$$

$$D = 83,3 \cdot K_R \cdot \sqrt[3]{(V_A + 3)^2 \cdot \sqrt{A_T^2 \cdot X_{PA}^2 + N^2}} = 74,09 \text{ mm} \quad (13.20)$$

Por tanto:

$$D = 179,82 \text{ mm}$$

13.8. Potencia del servomotor

Para calcular la potencia del servomotor es necesario conocer la velocidad angular de la pala, ω . Como indica el Convenio Internacional para la Seguridad de la Vida Humana en el Mar (SEVIMAR), la velocidad debe permitir el desplazamiento del timón de 30° a una banda a 35° en la otra. Por tanto:

$$\omega = \frac{(30 + 35) \cdot \Pi}{180 \cdot 28} = 0,0405 \text{ rad/s} \quad (13.21)$$

Aplicando un rendimiento de 0.65, la potencia será:

$$P = Q_R \cdot \omega \cdot \eta_R = 0,26 \text{ W} \quad (13.22)$$

Por tanto, el servomotor que hay instalado actualmente es válido para el nuevo timón.

14. Renderizado del buque

En este capítulo final simplemente se muestran las imágenes del buque renderizado. Como ya se ha mencionado, de forma paralela al desarrollo del proyecto, se ha creado un modelo virtual del buque, así como de la mayoría de sus componentes.

El renderizado del buque se ha realizado de forma íntegra en *Rhinoceros*, al igual que el modelado de todos los componentes que aparecen en las imágenes que se muestran a continuación. Para el renderizado, se ha utilizado la biblioteca de materiales que incorpora el programa.



Figura 42. Vista en perspectiva del buque renderizado.



Figura 43. Vista de perfil del buque renderizado.

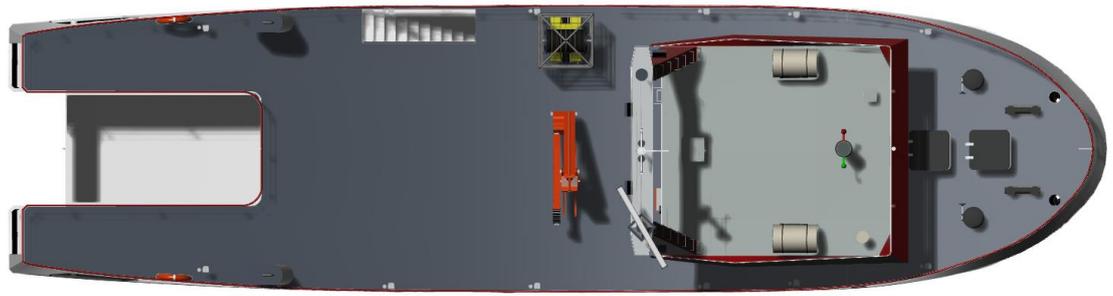


Figura 44. Vista en planta del buque renderizado.



Figura 45. Vista frontal del buque renderizado.



Figura 46. Vista trasera del buque renderizado.



Figura 47. Vista de la grúa y el sistema del ROV renderizados.



Figura 48. Renderizado de la zona de proa de la cubierta principal.

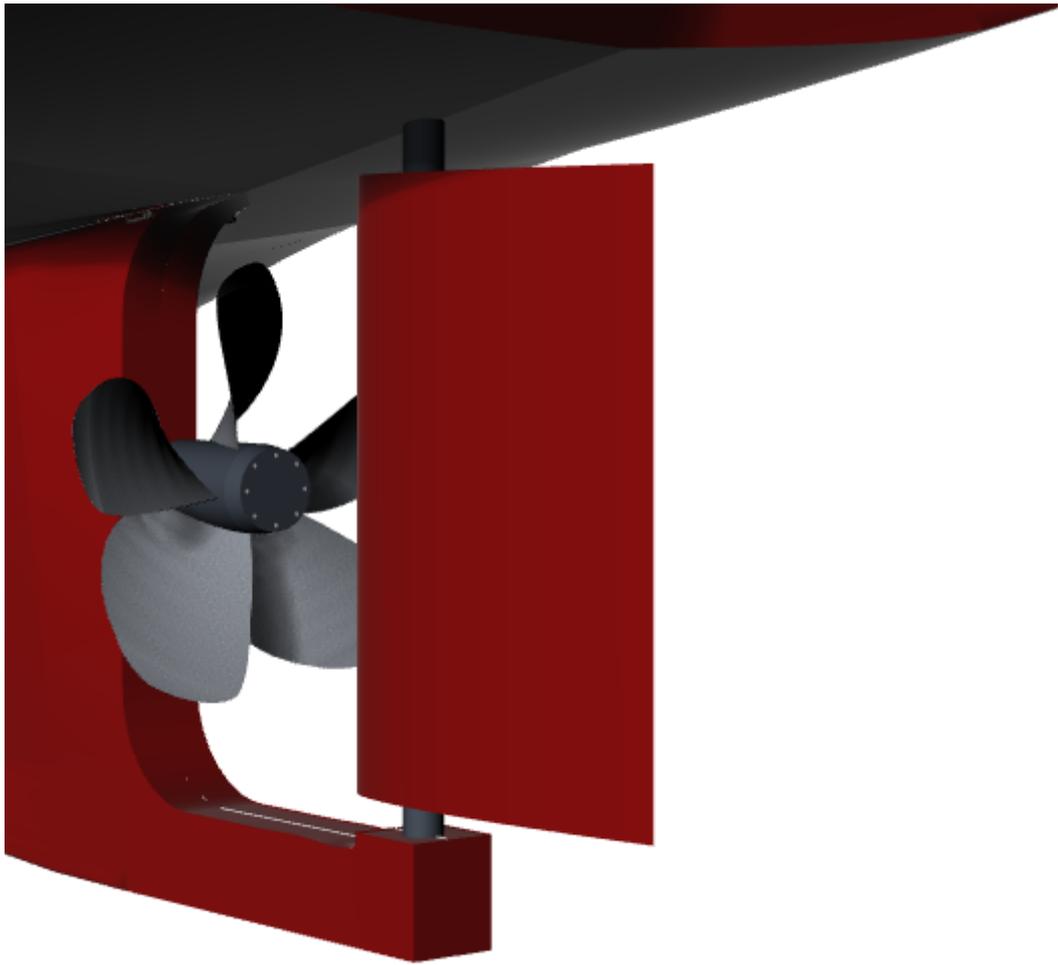


Figura 49. Renderizado del codaste.

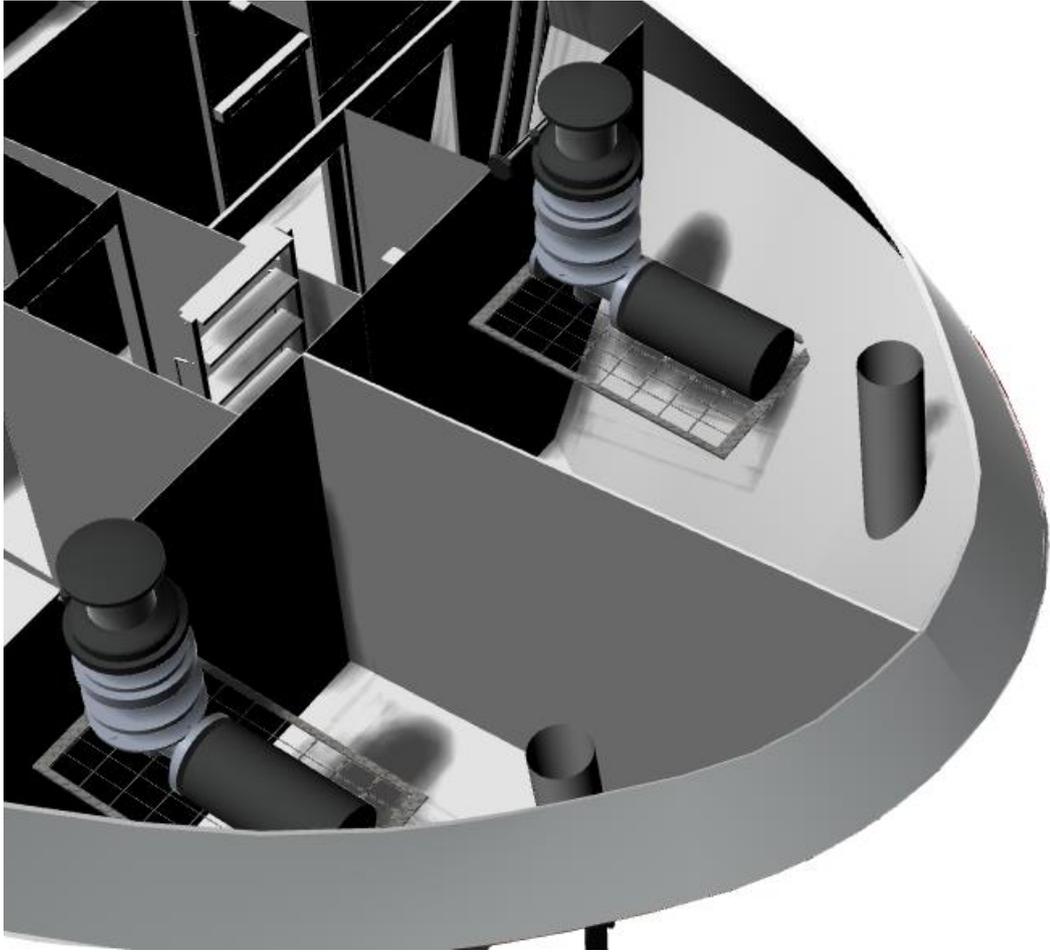


Figura 50. Renderizado del pique de proa.

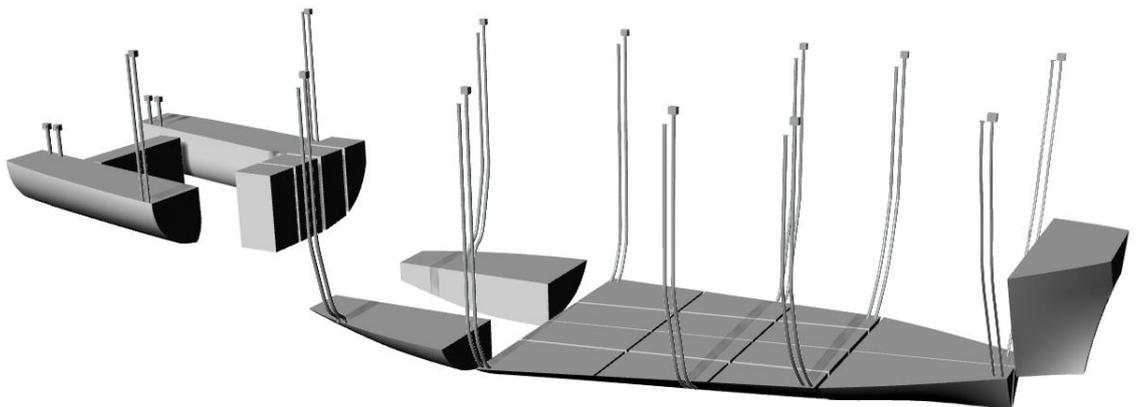
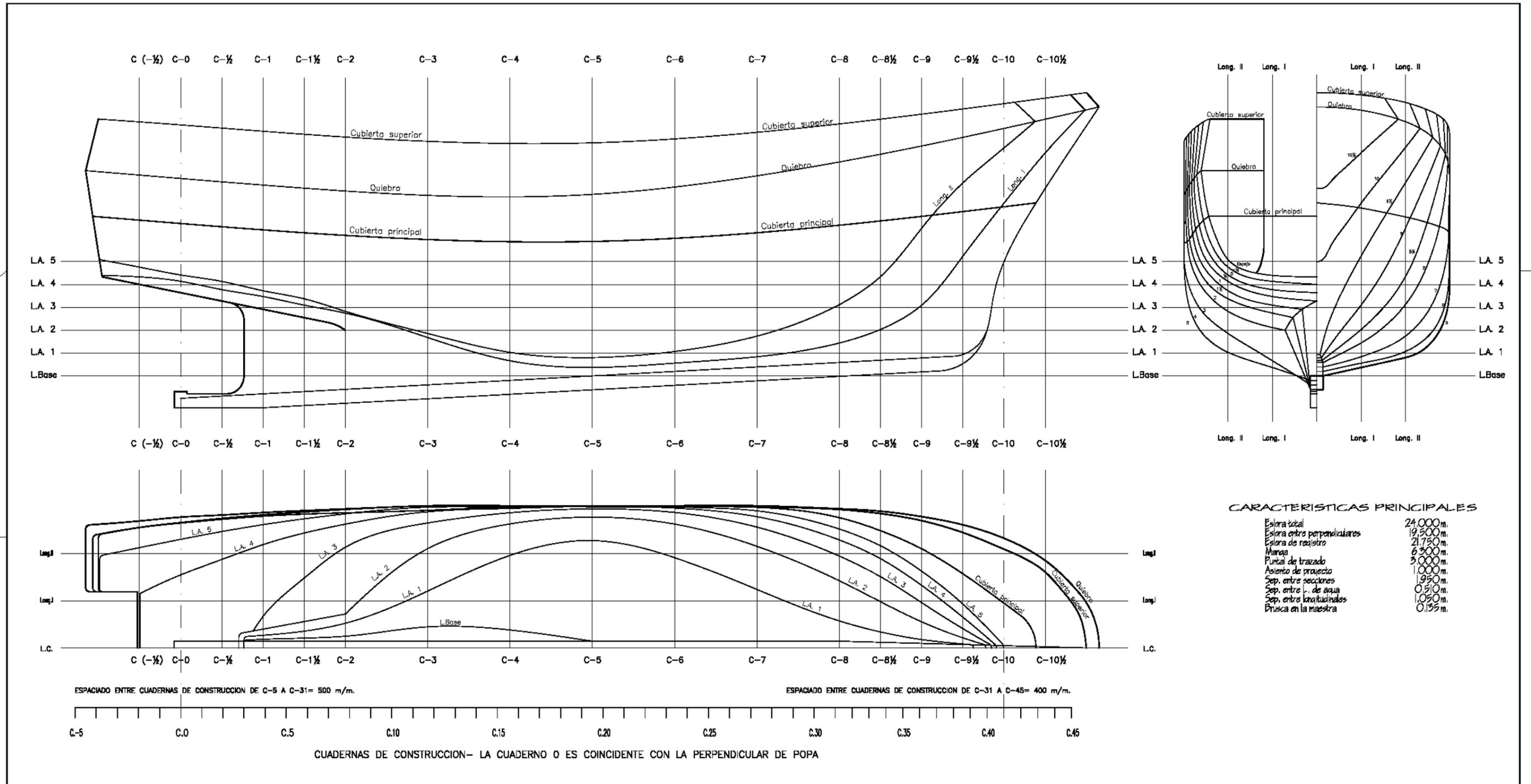


Figura 51. Tanques, atmosféricos y sondas.

Anexos

ANEXO I. PLANO DE FORMAS



CARACTERISTICAS PRINCIPALES

Eslera total	24.000 m.
Eslera entre perpendiculares	19.500 m.
Eslera de registro	21.750 m.
Manga	6.300 m.
Punta de trazo	3.000 m.
Asiento de proa	1.000 m.
Sep. entre secciones	0.950 m.
Sep. entre l. de agua	0.510 m.
Sep. entre longitudinales	1.050 m.
Brusca en la maestra	0.135 m.

ANEXO II. PLANO DE DISPOSICIÓN GENERAL ACTUAL

ANEXO III. HIDROSTÁTICAS

Trimado de -0.5 metros

Calado (m)	1.85	1.95	2.05	2.15	2.25	2.35	2.45	2.55	2.65	2.75	2.85	2.95	3.05
Desplazamiento (t)	100,8	109,5	118,5	127,9	137,5	147,6	157,9	168,6	179,4	190,6	202,0	213,5	225,2
Volumen (m ³)	98,327	106,807	115,607	124,737	134,192	143,977	154,069	164,441	175,037	185,906	197,045	208,336	219,731
Trimado (m) (Positivo a popa)	-0,500	-0,500	-0,500	-0,500	-0,500	-0,500	-0,500	-0,500	-0,500	-0,500	-0,500	-0,500	-0,500
Eslora en la flotación (m)	18,284	18,694	19,147	19,634	20,152	20,561	20,614	20,668	21,121	21,646	21,720	21,795	21,871
Manga (m)	6,209	6,242	6,269	6,288	6,305	6,320	6,335	6,350	6,353	6,345	6,339	6,336	6,334
Superficie mojada (m ²)	124,603	129,942	135,525	141,259	146,879	152,697	158,360	163,941	168,925	174,945	180,738	185,504	190,288
Área de flotación (m ²)	83,266	86,400	89,673	92,988	96,269	99,450	102,328	104,965	107,349	110,145	112,427	113,469	114,490
Coefficiente prismático	0,635	0,628	0,621	0,614	0,607	0,603	0,611	0,618	0,614	0,607	0,614	0,620	0,626
Coefficiente de bloque	0,368	0,373	0,377	0,381	0,384	0,388	0,400	0,410	0,414	0,416	0,427	0,437	0,446
Coefficiente de la maestra	0,623	0,636	0,649	0,661	0,672	0,683	0,693	0,702	0,712	0,722	0,731	0,740	0,747
Coefficiente de flotación	0,733	0,740	0,747	0,753	0,758	0,765	0,784	0,800	0,800	0,802	0,817	0,822	0,826
LCB (m)	9,969	9,954	9,929	9,894	9,852	9,802	9,748	9,691	9,636	9,579	9,520	9,464	9,415
LCF (m)	9,842	9,702	9,542	9,373	9,202	9,043	8,917	8,810	8,722	8,588	8,492	8,504	8,518
KB (m)	1,123	1,185	1,247	1,309	1,371	1,433	1,495	1,557	1,619	1,680	1,742	1,803	1,863
BM _T (m)	1,980	1,928	1,882	1,838	1,794	1,750	1,709	1,670	1,634	1,603	1,565	1,505	1,450
BM _L (m)	15,992	16,108	16,331	16,590	16,870	17,103	17,146	17,075	16,912	17,070	17,062	16,501	15,988
KM _T (m)	3,103	3,113	3,128	3,147	3,164	3,182	3,203	3,226	3,252	3,283	3,306	3,307	3,313
KM _L (m)	17,110	17,287	17,572	17,893	18,235	18,530	18,636	18,626	18,525	18,744	18,798	18,299	17,846
TCI (t/cm)	0,853	0,886	0,919	0,953	0,987	1,019	1,049	1,076	1,100	1,129	1,152	1,163	1,174
MTC (t·m)	0,753	0,827	0,913	1,006	1,107	1,210	1,303	1,390	1,471	1,584	1,684	1,726	1,768

Trimado de -0.25 metros

Calado (m)	1.85	1.95	2.05	2.15	2.25	2.35	2.45	2.55	2.65	2.75	2.85	2.95	3.05
Desplazamiento (t)	100,8	109,7	118,9	128,5	138,4	148,7	159,2	170,0	181,1	192,4	203,9	215,5	227,1
Volumen (m³)	98,349	107,000	115,997	125,354	135,050	145,050	155,331	165,833	176,654	187,728	198,917	210,207	221,597
Trimado (m) (Positivo a popa)	-0,250	-0,250	-0,250	-0,250	-0,250	-0,250	-0,250	-0,250	-0,250	-0,250	-0,250	-0,250	-0,250
Eslora en la flotación (m)	18,686	19,166	19,687	20,251	20,467	20,503	20,543	21,327	21,522	21,594	21,666	21,739	21,814
Manga (m)	6,213	6,246	6,272	6,291	6,307	6,323	6,338	6,354	6,350	6,343	6,338	6,336	6,334
Superficie mojada (m²)	125,772	131,422	137,134	143,105	148,922	154,572	160,155	165,267	171,527	176,745	181,481	186,230	190,992
Área de flotación (m²)	84,805	88,235	91,819	95,321	98,504	101,363	104,031	106,663	109,723	111,386	112,406	113,413	114,408
Coefficiente prismático	0,615	0,608	0,601	0,593	0,596	0,605	0,613	0,600	0,603	0,611	0,617	0,624	0,629
Coefficiente de bloque	0,344	0,349	0,353	0,356	0,365	0,377	0,389	0,387	0,396	0,407	0,418	0,428	0,438
Coefficiente de la maestra	0,622	0,635	0,647	0,659	0,670	0,681	0,691	0,700	0,710	0,720	0,729	0,738	0,746
Coefficiente de flotación	0,730	0,737	0,744	0,748	0,763	0,782	0,799	0,787	0,803	0,813	0,819	0,823	0,828
LCB (m)	9,759	9,740	9,711	9,672	9,624	9,571	9,516	9,463	9,405	9,346	9,293	9,246	9,204
LCF (m)	9,612	9,451	9,271	9,089	8,933	8,807	8,699	8,596	8,443	8,398	8,410	8,422	8,437
KB (m)	1,119	1,182	1,245	1,309	1,372	1,435	1,498	1,561	1,624	1,686	1,748	1,809	1,869
BM_T (m)	2,012	1,964	1,920	1,871	1,823	1,778	1,738	1,705	1,680	1,624	1,558	1,498	1,444
BM_L (m)	16,921	17,132	17,474	17,816	17,960	17,903	17,749	17,626	17,834	17,470	16,853	16,295	15,787
KM_T (m)	3,131	3,146	3,165	3,180	3,195	3,213	3,236	3,266	3,303	3,309	3,306	3,307	3,313
KM_L (m)	18,039	18,313	18,718	19,123	19,331	19,336	19,246	19,186	19,456	19,155	18,599	18,102	17,655
TCI (t/cm)	0,869	0,904	0,941	0,977	1,010	1,039	1,066	1,093	1,125	1,142	1,152	1,162	1,173
MTC (t·m)	0,801	0,887	0,986	1,092	1,191	1,280	1,364	1,451	1,570	1,639	1,679	1,719	1,760

Trimado de 0 metros

Calado (m)	1.85	1.95	2.05	2.15	2.25	2.35	2.45	2.55	2.65	2.75	2.85	2.95	3.05
Desplazamiento (t)	101,1	110,2	119,7	129,5	139,7	150,1	160,8	171,8	183,1	194,5	205,9	217,5	229,2
Volumen (m³)	98,644	107,502	116,750	126,346	136,253	146,414	156,863	167,636	178,625	189,715	200,906	212,194	223,579
Trimado (m) (Positivo a popa)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Eslora en la flotación (m)	19,216	19,774	20,354	20,387	20,422	20,733	21,358	21,411	21,479	21,548	21,618	21,690	21,763
Manga (m)	6,218	6,250	6,275	6,293	6,310	6,326	6,342	6,358	6,348	6,342	6,338	6,335	6,334
Superficie mojada (m²)	127,357	133,227	139,342	145,174	150,840	155,852	161,854	168,109	172,823	177,533	182,252	186,981	191,720
Área de flotación (m²)	86,735	90,569	94,293	97,524	100,428	102,991	106,088	109,357	110,400	111,405	112,395	113,369	114,331
Coefficiente prismático	0,591	0,584	0,577	0,587	0,596	0,597	0,590	0,598	0,606	0,613	0,620	0,626	0,632
Coefficiente de bloque	0,321	0,325	0,329	0,343	0,355	0,363	0,365	0,376	0,388	0,400	0,410	0,420	0,430
Coefficiente de la maestra	0,621	0,633	0,647	0,659	0,670	0,680	0,690	0,699	0,710	0,719	0,727	0,735	0,743
Coefficiente de flotación	0,726	0,733	0,738	0,760	0,779	0,785	0,783	0,803	0,810	0,815	0,820	0,825	0,829
LCB (m)	9,534	9,511	9,476	9,431	9,382	9,332	9,279	9,221	9,164	9,115	9,071	9,032	8,997
LCF (m)	9,348	9,157	8,967	8,819	8,698	8,605	8,460	8,301	8,308	8,318	8,330	8,344	8,359
KB (m)	1,120	1,185	1,249	1,314	1,378	1,442	1,506	1,570	1,633	1,696	1,757	1,818	1,878
BM_T (m)	2,048	2,004	1,956	1,903	1,853	1,809	1,780	1,767	1,687	1,615	1,550	1,491	1,437
BM_L (m)	18,071	18,461	18,828	18,892	18,765	18,459	18,531	18,675	17,932	17,255	16,643	16,089	15,585
KM_T (m)	3,168	3,189	3,205	3,216	3,231	3,251	3,286	3,337	3,321	3,311	3,308	3,309	3,315
KM_L (m)	19,191	19,646	20,078	20,206	20,143	19,901	20,037	20,245	19,566	18,950	18,400	17,907	17,463
TCI (t/cm)	0,889	0,928	0,966	1,000	1,029	1,056	1,087	1,121	1,132	1,142	1,152	1,162	1,172
MTC (t·m)	0,863	0,966	1,076	1,173	1,260	1,335	1,442	1,559	1,598	1,635	1,674	1,713	1,753

Trimado de 0.25 metros

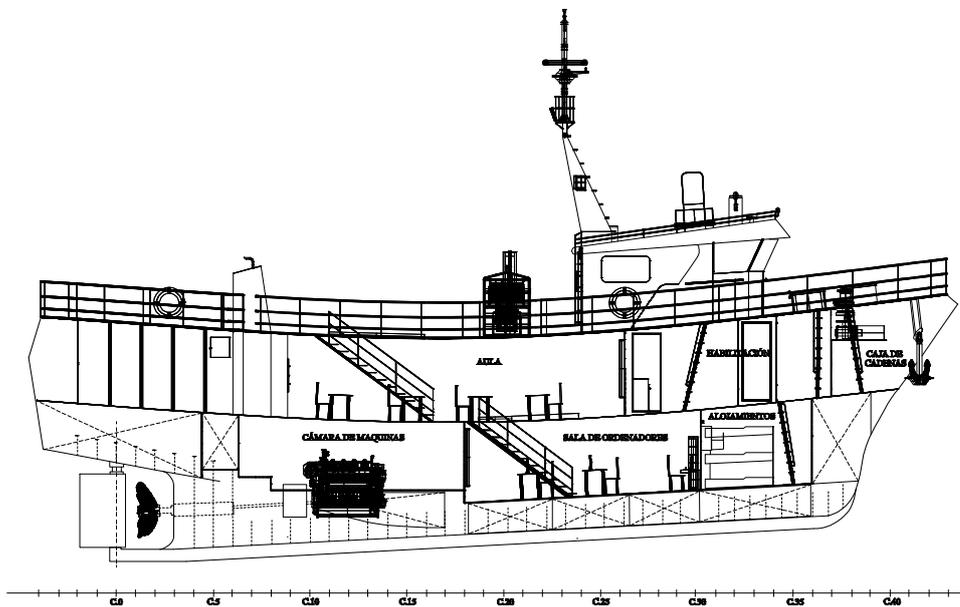
Calado (m)	1.85	1.95	2.05	2.15	2.25	2.35	2.45	2.55	2.65	2.75	2.85	2.95	3.05
Desplazamiento (t)	101,7	111,1	120,8	130,9	141,2	151,8	162,8	174,0	185,2	196,6	208,1	219,6	231,3
Volumen (m³)	99,266	108,391	117,879	127,684	137,740	148,125	158,835	169,725	180,722	191,816	203,006	214,292	225,672
Trimado (m) (Positivo a popa)	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250
Eslora en la flotación (m)	19,909	20,295	20,320	20,348	21,068	21,289	21,340	21,392	21,445	21,509	21,577	21,647	21,718
Manga (m)	6,223	6,254	6,278	6,296	6,313	6,330	6,346	6,355	6,347	6,341	6,337	6,335	6,334
Superficie mojada (m²)	129,342	135,569	141,433	147,118	152,251	158,546	164,275	168,980	173,659	178,347	183,045	187,750	192,527
Área de flotación (m²)	89,236	93,153	96,476	99,423	102,185	105,549	108,272	109,473	110,463	111,428	112,384	113,325	114,270
Coefficiente prismático	0,565	0,565	0,575	0,586	0,577	0,581	0,590	0,599	0,607	0,615	0,621	0,627	0,633
Coefficiente de bloque	0,297	0,305	0,319	0,332	0,334	0,343	0,355	0,367	0,379	0,391	0,401	0,411	0,421
Coefficiente de la maestra	0,622	0,635	0,647	0,658	0,669	0,679	0,689	0,698	0,709	0,719	0,728	0,736	0,743
Coefficiente de flotación	0,720	0,734	0,756	0,776	0,768	0,783	0,799	0,805	0,812	0,817	0,822	0,826	0,831
LCB (m)	9,292	9,262	9,222	9,176	9,131	9,080	9,024	8,972	8,927	8,887	8,852	8,821	8,793
LCF (m)	9,030	8,842	8,700	8,582	8,482	8,320	8,215	8,222	8,230	8,241	8,255	8,270	8,285
KB (m)	1,126	1,192	1,258	1,324	1,389	1,454	1,519	1,584	1,647	1,709	1,770	1,830	1,890
BM_T (m)	2,090	2,043	1,989	1,935	1,889	1,862	1,832	1,755	1,678	1,607	1,542	1,483	1,430
BM_L (m)	19,590	19,927	19,895	19,671	19,394	19,551	19,311	18,477	17,712	17,036	16,430	15,879	15,386
KM_T (m)	3,216	3,236	3,247	3,259	3,278	3,316	3,351	3,339	3,324	3,315	3,312	3,314	3,320
KM_L (m)	20,715	21,118	21,151	20,994	20,782	21,004	20,829	20,059	19,357	18,743	18,198	17,709	17,276
TCI (t/cm)	0,915	0,955	0,989	1,019	1,047	1,082	1,110	1,122	1,132	1,142	1,152	1,162	1,171
MTC (t·m)	0,948	1,058	1,152	1,238	1,320	1,436	1,525	1,561	1,596	1,632	1,669	1,706	1,745

Trimado de 0.5 metros

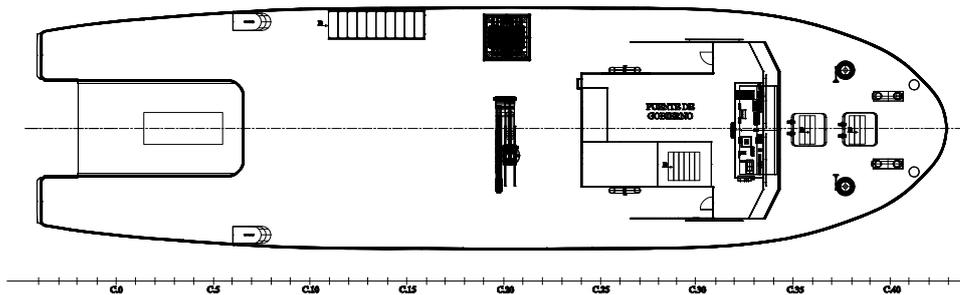
Calado (m)	1.85	1.95	2.05	2.15	2.25	2.35	2.45	2.55	2.65	2.75	2.85	2.95	3.05
Desplazamiento (t)	102,8	112,4	122,3	132,5	143,1	154,0	165,0	176,2	187,5	198,9	210,3	221,9	233,6
Volumen (m³)	100,297	109,661	119,330	129,307	139,629	150,245	161,024	171,923	182,926	194,025	205,214	216,497	227,871
Trimado (m) (Positivo a popa)	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500
Eslora en la flotación (m)	20,246	20,270	20,363	21,185	21,229	21,277	21,328	21,379	21,431	21,483	21,543	21,611	21,681
Manga (m)	6,228	6,259	6,281	6,299	6,316	6,334	6,350	6,353	6,345	6,340	6,336	6,335	6,334
Superficie mojada (m²)	131,761	137,677	142,860	148,869	155,298	160,434	165,160	169,843	174,521	179,184	183,901	188,615	193,345
Área de flotación (m²)	91,859	95,303	98,214	101,504	104,975	107,124	108,459	109,551	110,545	111,462	112,399	113,312	114,211
Coefficiente prismático	0,552	0,563	0,573	0,562	0,572	0,582	0,592	0,600	0,608	0,616	0,623	0,629	0,635
Coefficiente de bloque	0,281	0,295	0,308	0,310	0,323	0,335	0,347	0,359	0,371	0,382	0,393	0,403	0,412
Coefficiente de la maestra	0,626	0,638	0,650	0,661	0,672	0,682	0,691	0,701	0,711	0,721	0,730	0,738	0,745
Coefficiente de flotación	0,728	0,751	0,768	0,761	0,783	0,795	0,801	0,807	0,813	0,818	0,823	0,828	0,832
LCB (m)	9,028	8,994	8,956	8,914	8,865	8,814	8,768	8,728	8,694	8,663	8,637	8,613	8,593
LCF (m)	8,708	8,572	8,478	8,335	8,171	8,127	8,134	8,147	8,159	8,170	8,180	8,196	8,214
KB (m)	1,139	1,206	1,273	1,340	1,406	1,472	1,537	1,601	1,663	1,725	1,786	1,846	1,906
BM_T (m)	2,133	2,078	2,022	1,979	1,955	1,902	1,823	1,743	1,667	1,597	1,534	1,475	1,422
BM_L (m)	21,100	20,973	20,550	20,525	20,630	19,957	19,068	18,250	17,506	16,821	16,226	15,682	15,186
KM_T (m)	3,272	3,284	3,295	3,318	3,361	3,373	3,360	3,343	3,330	3,322	3,319	3,321	3,327
KM_L (m)	22,232	22,173	21,816	21,858	22,030	21,422	20,599	19,845	19,164	18,540	18,006	17,523	17,087
TCI (t/cm)	0,942	0,977	1,007	1,040	1,076	1,098	1,112	1,123	1,133	1,142	1,152	1,161	1,171
MTC (t·m)	1,037	1,130	1,208	1,311	1,429	1,489	1,526	1,561	1,595	1,629	1,665	1,701	1,738

**ANEXO IV. PLANO DE DISPOSICIÓN GENERAL TRAS LA
REFORMA**

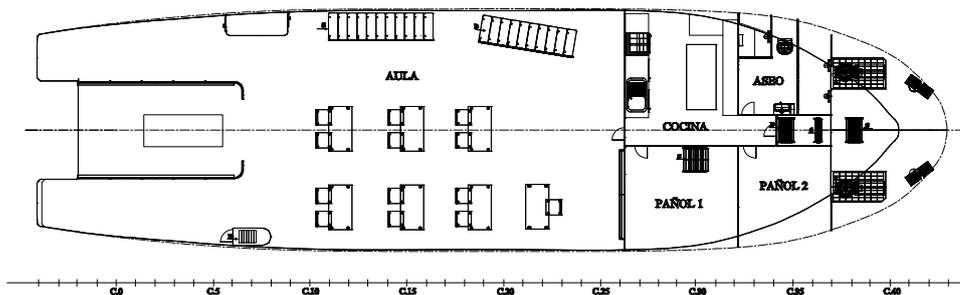
PERFIL



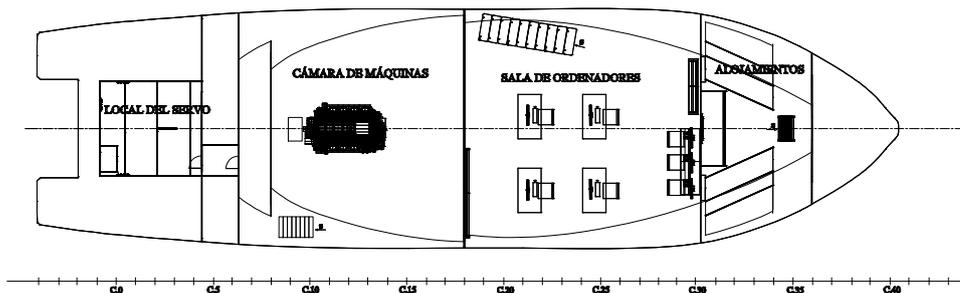
CUBIERTA SUPERIOR



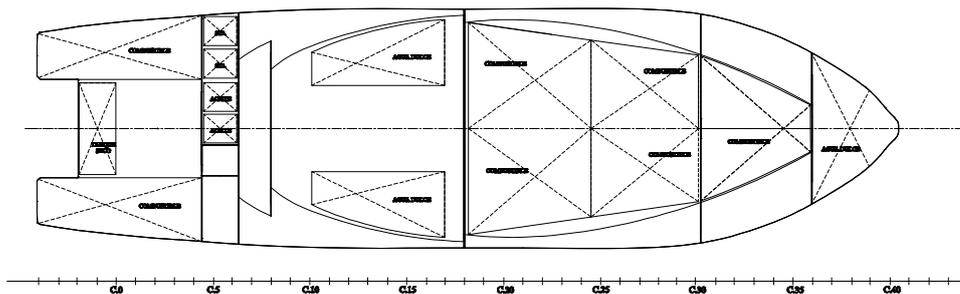
CUBIERTA PRINCIPAL



CUBIERTA INFERIOR



TANQUES



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA		DISPOSICIÓN GENERAL
ARQUITECTURA NAVAL E INGENIERÍA DE SISTEMAS MARINOS		
ESCALA	1:200	
FECHA	05/08/20	
AUTOR	DAVID SANDOVAL ALEMÁN	
PROYECTO	TRABAJO FINAL DE GRADO	

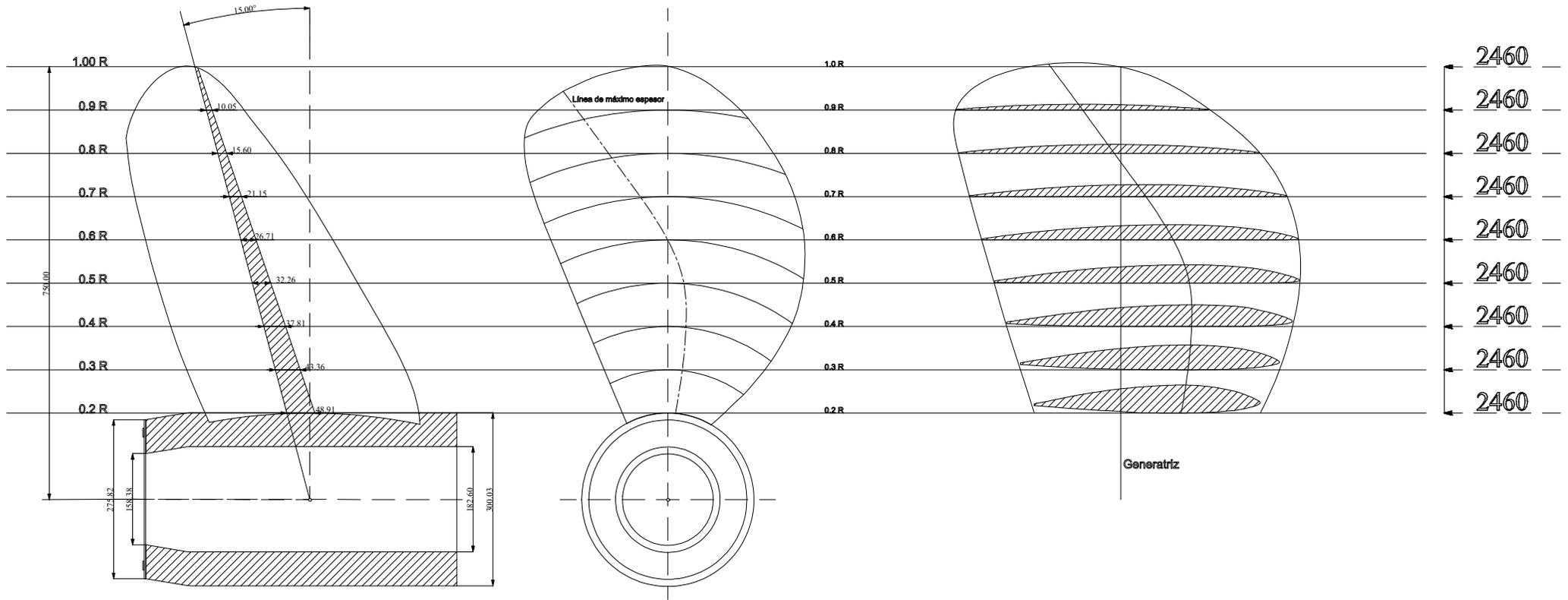
ANEXO V. CARTILLA DE TRAZADO DEL PROPULSOR

PROYECCIÓN LATERAL

PROYECCIÓN FRONTAL

PERFILES EXPANDIDOS

LEY DE PASOS



DATOS DEL PROPULSOR

SERIE	SERIE B DE WAGENINGEN
NÚMERO DE PALAS	5
DIÁMETRO	1500 MILÍMETROS
PASO	2460 MILÍMETROS
RELACIÓN H/D	1.573
RELACIÓN AE/AO	0.823
ÁNGULO DE LANZAMIENTO	15°
MATERIAL	Br-Ni-Al
PESO	320.87 KG

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

ARQUITECTURA NAVAL E INGENIERÍA DE SISTEMAS MARINOS

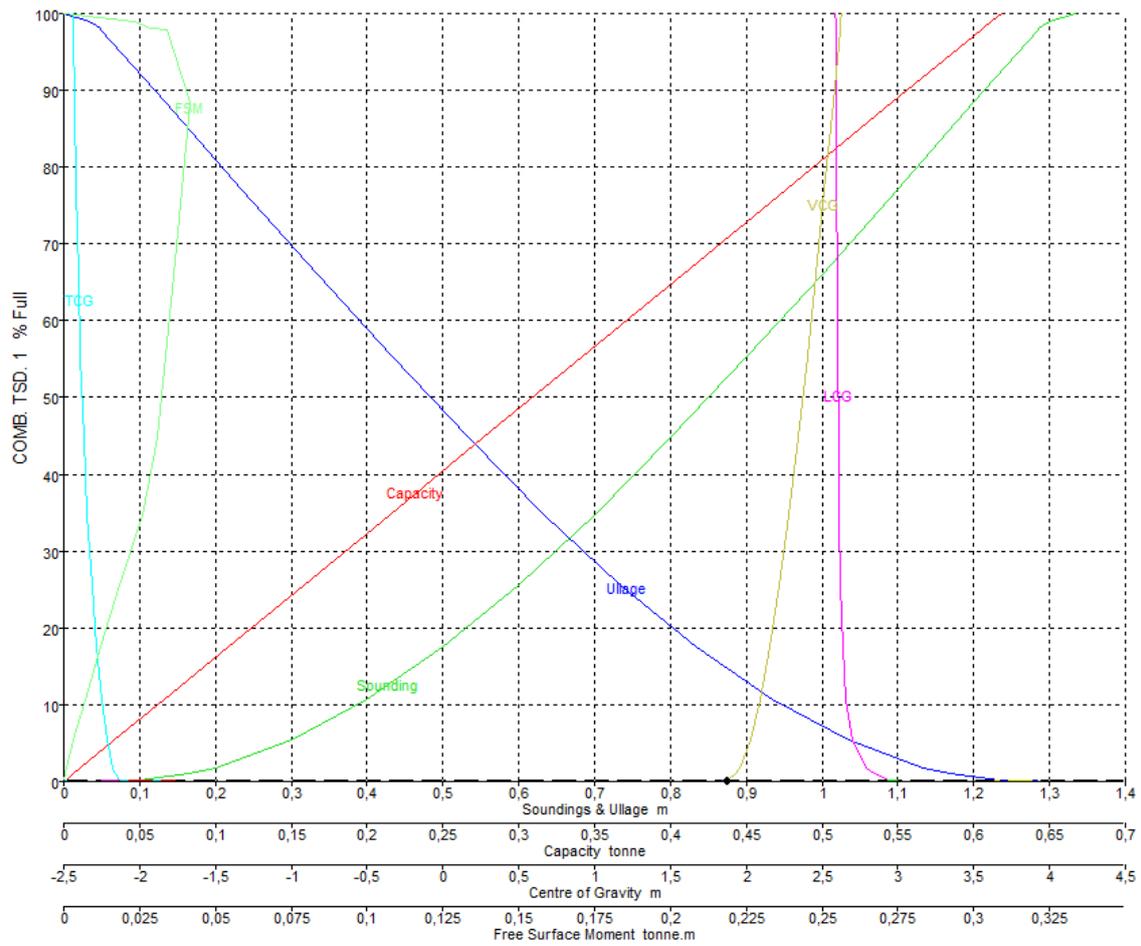
ESCALA	1:10
FECHA	08/05/20
AUTOR	DAVID SANDOVAL ALEMÁN
PROYECTO	TRABAJO FINAL DE GRADO

PROPULSOR

ANEXO VI. CALIBRACIÓN DE TANQUES

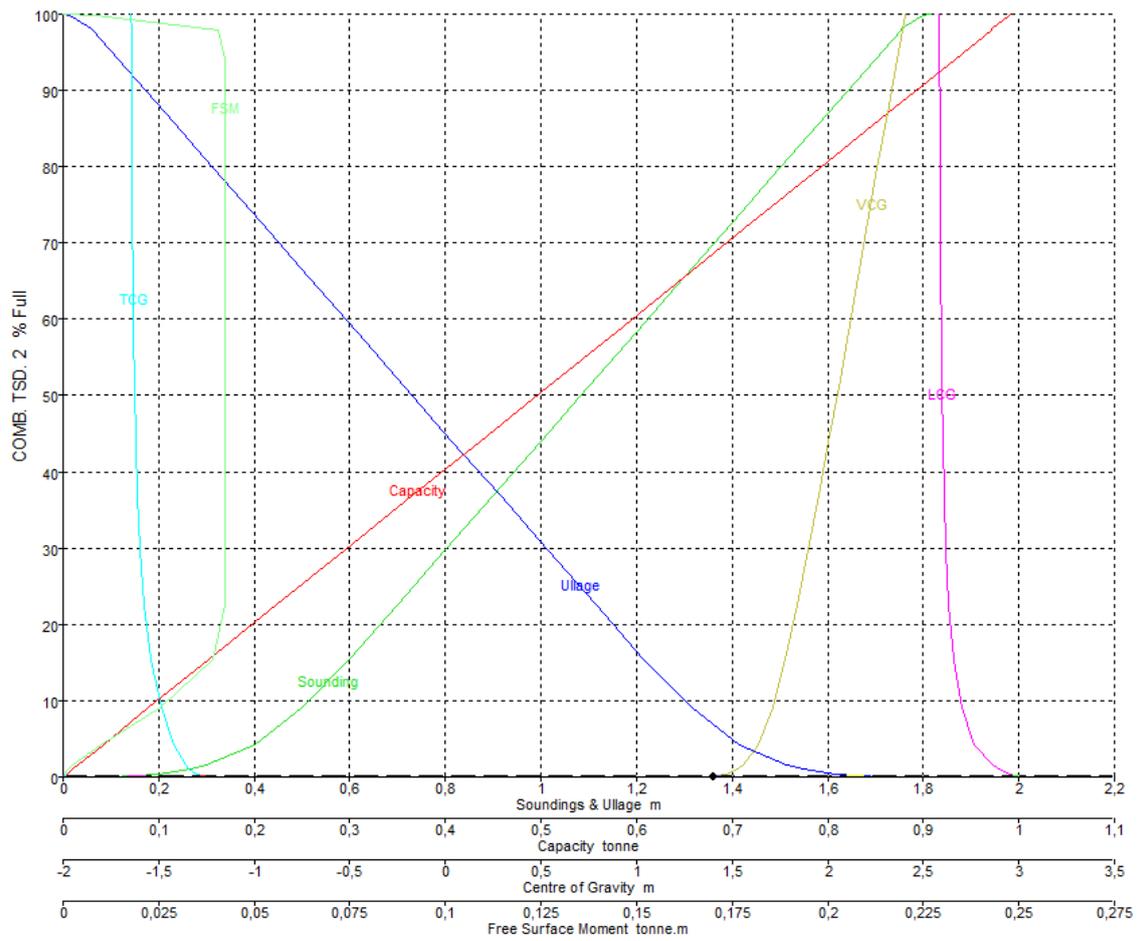
COMB. TSD 1

Sonda (m)	Altura libre (m)	% Llenado	Capacidad (m3)	Capacidad (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	M.S.L. (t·m)
1,334	0,000	100,000	0,736	0,618	2,587	-2,436	2,630	0,000
1,300	0,034	98,982	0,728	0,612	2,590	-2,436	2,625	0,023
1,286	0,048	98,000	0,721	0,606	2,592	-2,435	2,620	0,029
1,285	0,049	97,900	0,720	0,605	2,592	-2,435	2,619	0,034
1,200	0,134	88,361	0,650	0,546	2,595	-2,427	2,573	0,042
1,100	0,234	77,078	0,567	0,476	2,597	-2,416	2,517	0,039
1,000	0,334	66,043	0,486	0,408	2,600	-2,404	2,460	0,036
0,900	0,434	55,279	0,407	0,342	2,603	-2,389	2,403	0,034
0,800	0,534	44,810	0,330	0,277	2,608	-2,370	2,344	0,031
0,700	0,634	34,726	0,256	0,215	2,615	-2,344	2,282	0,026
0,600	0,734	25,565	0,188	0,158	2,624	-2,316	2,219	0,018
0,500	0,834	17,532	0,129	0,108	2,638	-2,285	2,156	0,012
0,400	0,934	10,760	0,079	0,067	2,660	-2,251	2,092	0,007
0,300	1,034	5,428	0,040	0,034	2,700	-2,214	2,026	0,003
0,200	1,134	1,791	0,013	0,011	2,791	-2,174	1,956	0,001
0,165	1,169	1,000	0,007	0,006	2,843	-2,159	1,930	0,001
0,100	1,234	0,221	0,002	0,001	2,936	-2,130	1,881	0,000
0,000	1,334	0,000	0,000	0,000	3,064	-1,391	1,806	0,000



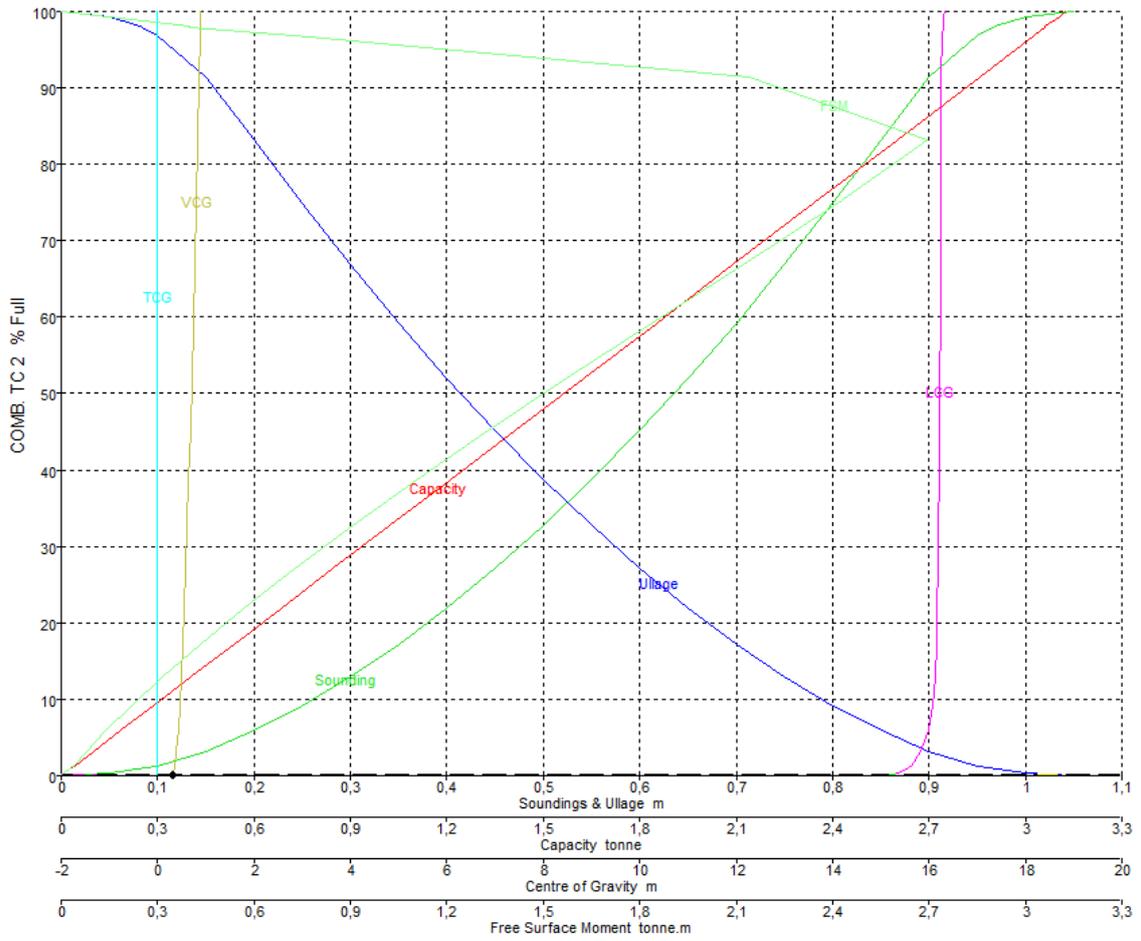
COMB. TSD 2

Sonda (m)	Altura libre (m)	% Llenado	Capacidad (m3)	Capacidad (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	M.S.L. (t·m)
1,815	0,000	100,000	1,181	0,992	2,580	-1,644	2,403	0,000
1,800	0,015	99,878	1,179	0,991	2,580	-1,644	2,402	0,008
1,754	0,060	98,000	1,157	0,972	2,584	-1,643	2,389	0,038
1,753	0,062	97,900	1,156	0,971	2,584	-1,643	2,388	0,040
1,700	0,115	94,122	1,111	0,933	2,585	-1,643	2,362	0,042
1,600	0,215	86,965	1,027	0,862	2,586	-1,641	2,311	0,042
1,500	0,315	79,808	0,942	0,791	2,587	-1,639	2,261	0,042
1,400	0,415	72,650	0,858	0,721	2,589	-1,637	2,210	0,042
1,300	0,515	65,493	0,773	0,650	2,591	-1,634	2,159	0,042
1,200	0,615	58,336	0,689	0,579	2,594	-1,630	2,108	0,042
1,100	0,715	51,179	0,604	0,508	2,597	-1,626	2,056	0,042
1,000	0,815	44,022	0,520	0,437	2,601	-1,620	2,005	0,042
0,900	0,915	36,865	0,435	0,366	2,607	-1,612	1,952	0,042
0,800	1,015	29,708	0,351	0,295	2,616	-1,599	1,898	0,042
0,700	1,115	22,551	0,266	0,224	2,631	-1,579	1,842	0,042
0,600	1,215	15,438	0,182	0,153	2,658	-1,542	1,781	0,039
0,500	1,315	9,030	0,107	0,090	2,699	-1,483	1,712	0,025
0,400	1,415	4,281	0,051	0,042	2,765	-1,418	1,638	0,010
0,300	1,515	1,513	0,018	0,015	2,865	-1,360	1,557	0,002
0,267	1,547	1,000	0,012	0,010	2,896	-1,342	1,529	0,001
0,200	1,615	0,383	0,005	0,004	2,947	-1,303	1,468	0,000
0,100	1,715	0,048	0,001	0,000	3,004	-1,234	1,357	0,000
0,000	1,815	0,000	0,000	0,000	3,064	-0,827	1,325	0,000



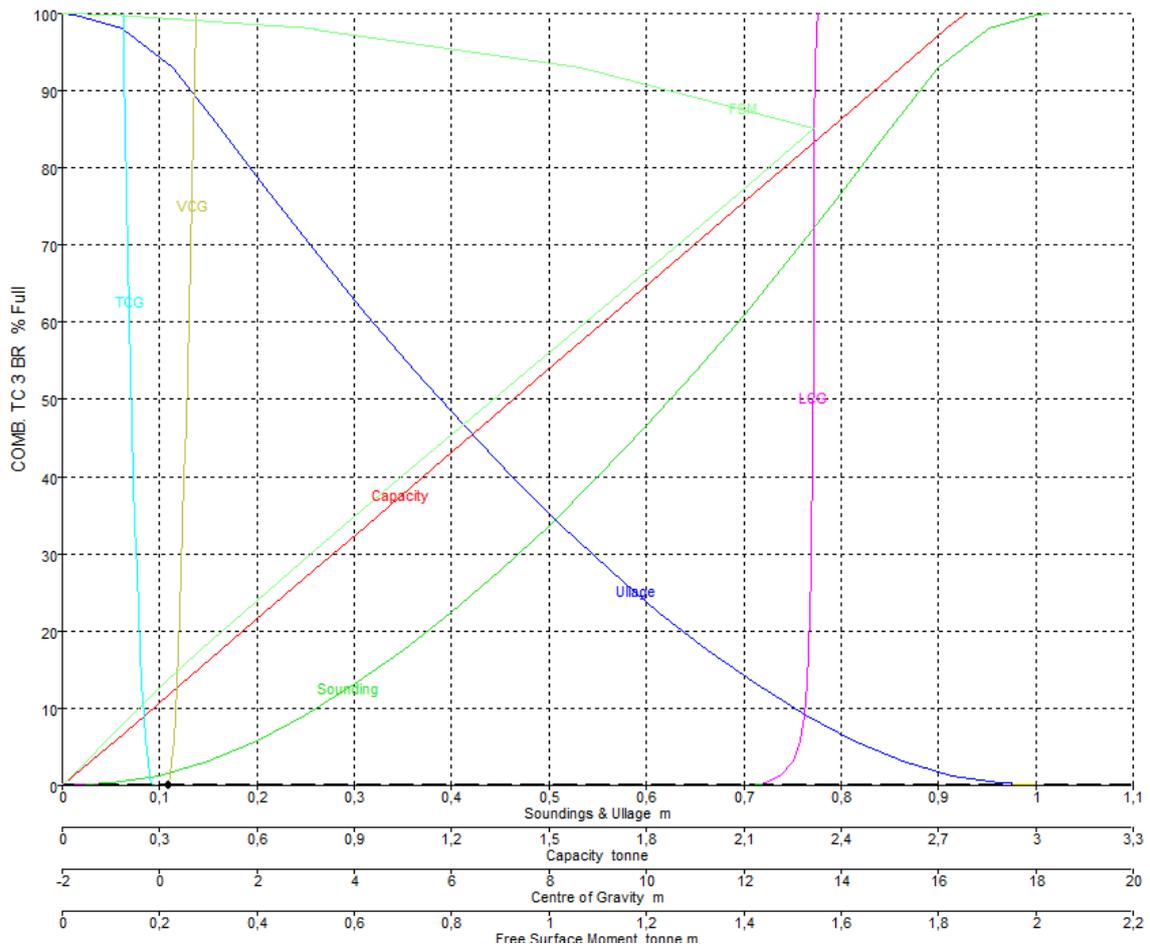
COMB. TC. 2

Sonda (m)	Altura libre (m)	% Llenado	Capacidad (m3)	Capacidad (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	M.S.L. (t·m)
1,050	0,000	100,000	3,720	3,125	16,315	0,000	0,895	0,000
1,000	0,050	99,354	3,696	3,105	16,306	0,000	0,893	0,148
0,968	0,082	98,000	3,646	3,062	16,292	0,000	0,887	0,398
0,966	0,084	97,900	3,642	3,059	16,291	0,000	0,887	0,398
0,950	0,100	96,798	3,601	3,025	16,282	0,000	0,883	0,723
0,900	0,150	91,413	3,401	2,857	16,256	0,000	0,864	2,141
0,850	0,200	83,215	3,096	2,600	16,251	0,000	0,834	2,695
0,800	0,250	74,918	2,787	2,341	16,248	0,000	0,803	2,415
0,750	0,300	66,913	2,489	2,091	16,243	0,000	0,771	2,121
0,700	0,350	59,263	2,205	1,852	16,236	0,000	0,740	1,837
0,650	0,400	52,003	1,935	1,625	16,229	0,000	0,708	1,572
0,600	0,450	45,144	1,679	1,411	16,222	0,000	0,677	1,329
0,550	0,500	38,696	1,440	1,209	16,212	0,000	0,646	1,107
0,500	0,550	32,666	1,215	1,021	16,202	0,000	0,614	0,906
0,450	0,600	27,064	1,007	0,846	16,189	0,000	0,583	0,727
0,400	0,650	21,902	0,815	0,684	16,172	0,000	0,552	0,569
0,350	0,700	17,189	0,639	0,537	16,151	0,000	0,521	0,432
0,300	0,750	12,941	0,481	0,404	16,121	0,000	0,490	0,316
0,250	0,800	9,173	0,341	0,287	16,076	0,000	0,458	0,218
0,200	0,850	5,907	0,220	0,185	15,996	0,000	0,427	0,140
0,150	0,900	3,196	0,119	0,100	15,834	0,000	0,393	0,080
0,100	0,950	1,305	0,049	0,041	15,617	0,000	0,359	0,036
0,089	0,961	1,000	0,037	0,031	15,564	0,000	0,351	0,029
0,050	1,000	0,285	0,011	0,009	15,371	0,000	0,322	0,010
0,000	1,050	0,000	0,000	0,000	15,103	0,000	0,290	0,000



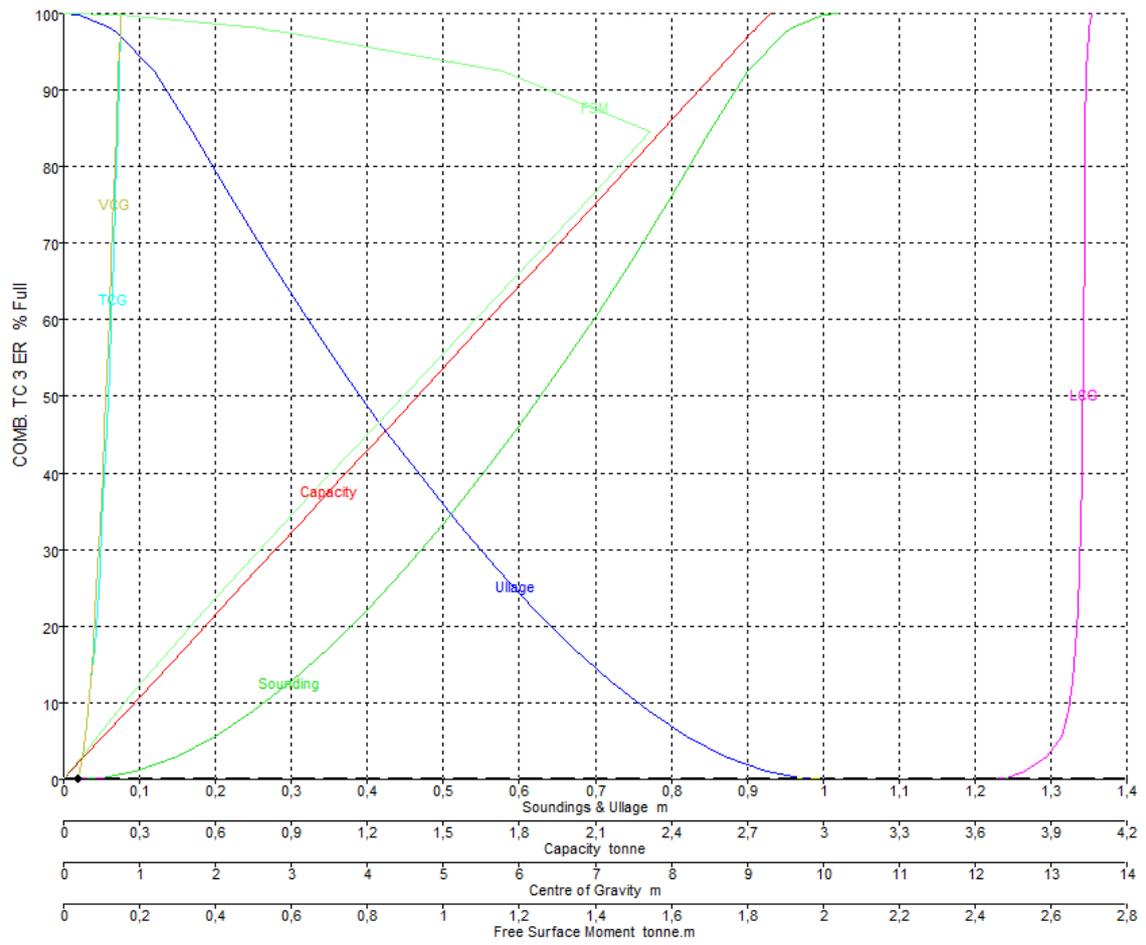
COMB. TC. 3. BR

Sonda (m)	Altura libre (m)	% Llenado	Capacidad (m3)	Capacidad (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	M.S.L. (t·m)
1,013	0,000	100,000	3,310	2,780	13,528	-0,742	0,747	0,000
1,000	0,013	99,910	3,307	2,778	13,527	-0,741	0,746	0,101
0,952	0,061	98,000	3,243	2,724	13,505	-0,739	0,739	0,519
0,950	0,063	97,900	3,240	2,722	13,504	-0,739	0,739	0,518
0,950	0,063	97,877	3,239	2,721	13,504	-0,739	0,739	0,517
0,900	0,113	92,961	3,077	2,584	13,470	-0,729	0,721	1,064
0,850	0,163	85,120	2,817	2,366	13,455	-0,707	0,693	1,545
0,800	0,213	76,738	2,540	2,133	13,450	-0,681	0,662	1,389
0,750	0,263	68,675	2,273	1,909	13,444	-0,654	0,631	1,239
0,700	0,313	60,943	2,017	1,694	13,437	-0,626	0,601	1,093
0,650	0,363	53,558	1,773	1,489	13,429	-0,598	0,570	0,953
0,600	0,413	46,536	1,540	1,294	13,421	-0,568	0,539	0,820
0,550	0,463	39,892	1,320	1,109	13,410	-0,537	0,507	0,695
0,500	0,513	33,647	1,114	0,935	13,398	-0,504	0,476	0,578
0,450	0,563	27,819	0,921	0,773	13,383	-0,471	0,445	0,470
0,400	0,613	22,430	0,742	0,624	13,363	-0,436	0,414	0,372
0,350	0,663	17,508	0,579	0,487	13,338	-0,399	0,382	0,284
0,300	0,713	13,081	0,433	0,364	13,304	-0,361	0,351	0,207
0,250	0,763	9,185	0,304	0,255	13,254	-0,322	0,319	0,142
0,200	0,813	5,864	0,194	0,163	13,173	-0,282	0,287	0,089
0,150	0,863	3,174	0,105	0,088	13,020	-0,244	0,254	0,049
0,100	0,913	1,270	0,042	0,035	12,750	-0,210	0,219	0,019
0,090	0,923	1,000	0,033	0,028	12,691	-0,203	0,212	0,015
0,050	0,963	0,277	0,009	0,008	12,452	-0,176	0,184	0,005
0,000	1,013	0,000	0,000	0,000	12,152	-0,096	0,150	0,000



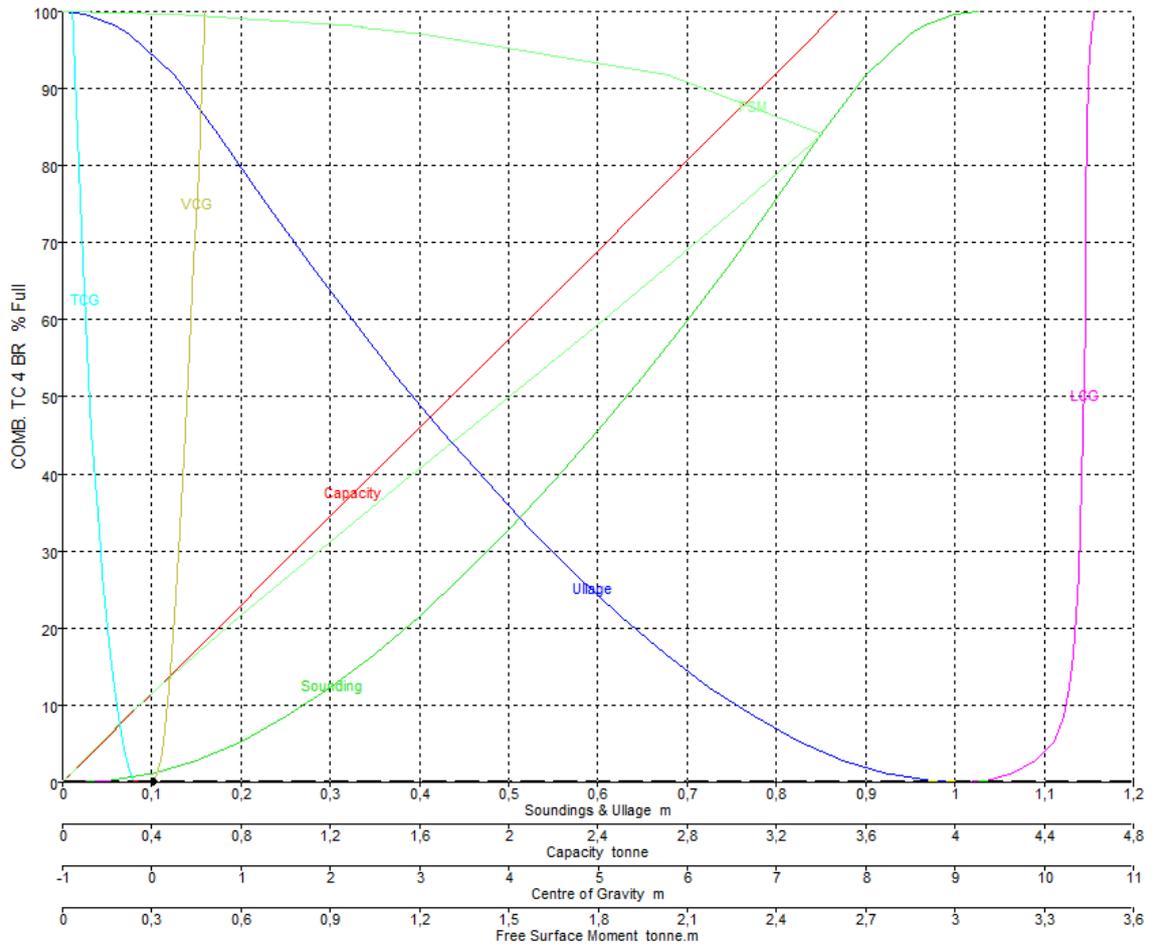
COMB. TC. 3. ER

Sonda (m)	Altura libre (m)	% Llenado	Capacidad (m3)	Capacidad (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	M.S.L. (t·m)
1,020	0,000	100,000	3,322	2,791	13,530	0,744	0,750	0,000
1,000	0,020	99,799	3,315	2,785	13,527	0,744	0,749	0,148
0,957	0,063	98,000	3,256	2,735	13,507	0,741	0,742	0,525
0,956	0,064	97,900	3,252	2,732	13,506	0,741	0,742	0,524
0,950	0,070	97,493	3,239	2,721	13,502	0,741	0,741	0,586
0,900	0,120	92,421	3,070	2,579	13,468	0,730	0,722	1,155
0,850	0,170	84,576	2,810	2,360	13,453	0,709	0,694	1,545
0,800	0,220	76,226	2,532	2,127	13,448	0,683	0,664	1,389
0,750	0,270	68,192	2,265	1,903	13,442	0,656	0,633	1,239
0,700	0,320	60,490	2,010	1,688	13,435	0,628	0,602	1,093
0,650	0,370	53,133	1,765	1,483	13,427	0,600	0,571	0,953
0,600	0,420	46,137	1,533	1,287	13,417	0,570	0,540	0,820
0,550	0,470	39,518	1,313	1,103	13,406	0,539	0,509	0,695
0,500	0,520	33,296	1,106	0,929	13,393	0,507	0,478	0,578
0,450	0,570	27,490	0,913	0,767	13,377	0,474	0,447	0,470
0,400	0,620	22,122	0,735	0,617	13,356	0,439	0,415	0,372
0,350	0,670	17,218	0,572	0,480	13,329	0,403	0,384	0,284
0,300	0,720	12,808	0,425	0,357	13,290	0,365	0,353	0,207
0,250	0,770	8,926	0,297	0,249	13,233	0,327	0,321	0,142
0,200	0,820	5,618	0,187	0,157	13,137	0,288	0,288	0,089
0,150	0,870	2,945	0,098	0,082	12,945	0,252	0,254	0,048
0,100	0,920	1,161	0,039	0,032	12,688	0,217	0,219	0,018
0,094	0,926	1,000	0,033	0,028	12,655	0,212	0,214	0,016
0,050	0,970	0,248	0,008	0,007	12,415	0,179	0,183	0,004
0,000	1,020	0,000	0,000	0,000	12,152	0,096	0,150	0,000



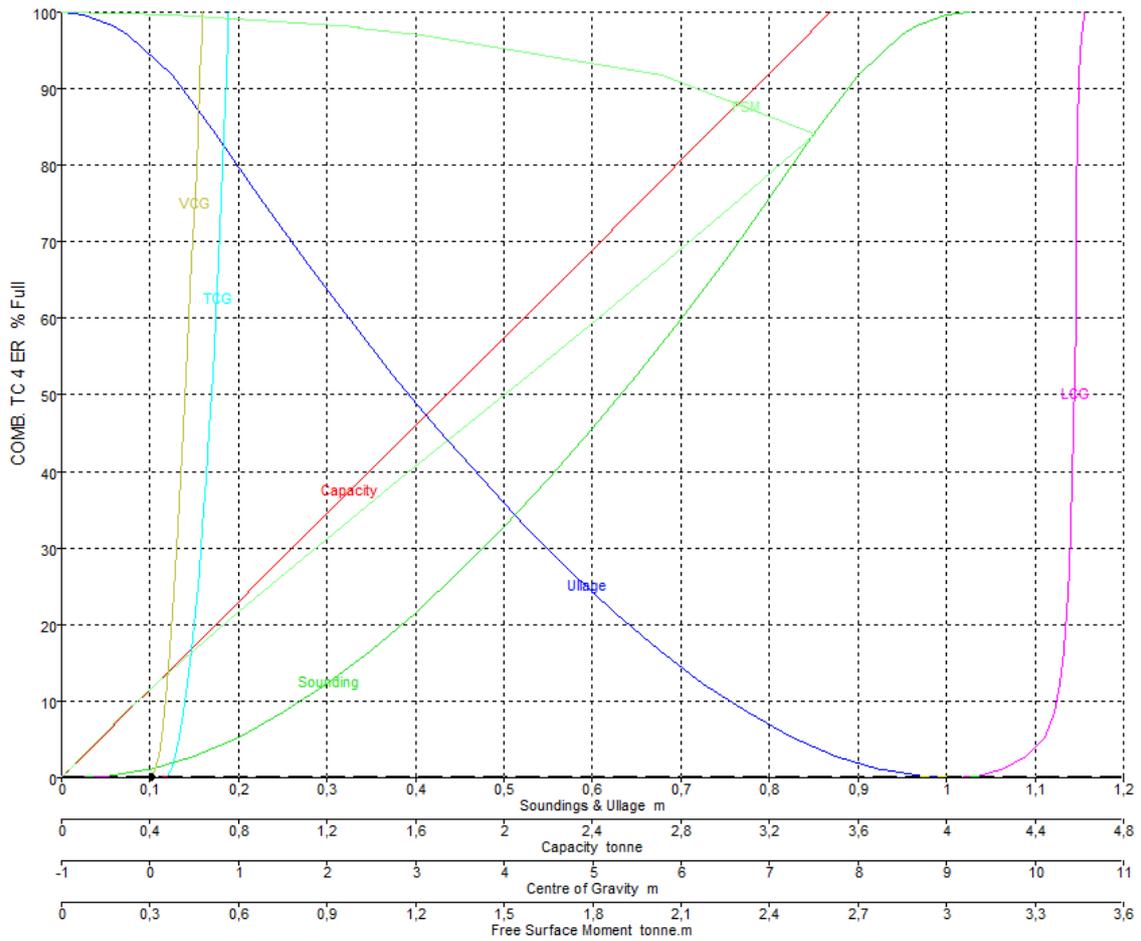
COMB. TC. 4. BR

Sonda (m)	Altura libre (m)	% Llenado	Capacidad (m3)	Capacidad (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	M.S.L. (t·m)
1,025	0,000	100,000	4,137	3,475	10,562	-0,888	0,594	0,000
1,000	0,025	99,668	4,124	3,464	10,557	-0,888	0,593	0,376
0,963	0,062	98,000	4,055	3,406	10,538	-0,883	0,587	1,008
0,962	0,063	97,900	4,050	3,402	10,537	-0,883	0,586	1,005
0,950	0,075	97,033	4,015	3,372	10,529	-0,880	0,583	1,218
0,900	0,125	91,762	3,797	3,189	10,494	-0,865	0,564	2,036
0,850	0,175	83,982	3,475	2,919	10,478	-0,838	0,536	2,554
0,800	0,225	75,675	3,131	2,630	10,472	-0,808	0,506	2,303
0,750	0,275	67,667	2,800	2,352	10,465	-0,776	0,475	2,056
0,700	0,325	59,975	2,481	2,084	10,458	-0,743	0,444	1,815
0,650	0,375	52,619	2,177	1,829	10,448	-0,708	0,413	1,582
0,600	0,425	45,617	1,887	1,585	10,438	-0,672	0,382	1,359
0,550	0,475	38,989	1,613	1,355	10,425	-0,634	0,351	1,147
0,500	0,525	32,759	1,355	1,138	10,409	-0,595	0,320	0,948
0,450	0,575	26,949	1,115	0,937	10,389	-0,554	0,289	0,765
0,400	0,625	21,588	0,893	0,750	10,364	-0,511	0,257	0,598
0,350	0,675	16,705	0,691	0,581	10,331	-0,466	0,226	0,450
0,300	0,725	12,334	0,510	0,429	10,285	-0,420	0,194	0,322
0,250	0,775	8,516	0,352	0,296	10,217	-0,373	0,162	0,216
0,200	0,825	5,298	0,219	0,184	10,106	-0,325	0,129	0,132
0,150	0,875	2,744	0,114	0,095	9,896	-0,282	0,095	0,070
0,100	0,925	1,072	0,044	0,037	9,624	-0,241	0,059	0,026
0,097	0,928	1,000	0,041	0,035	9,607	-0,239	0,057	0,025
0,050	0,975	0,229	0,009	0,008	9,342	-0,199	0,024	0,006
0,000	1,025	0,000	0,000	0,000	9,051	-0,105	-0,010	0,000



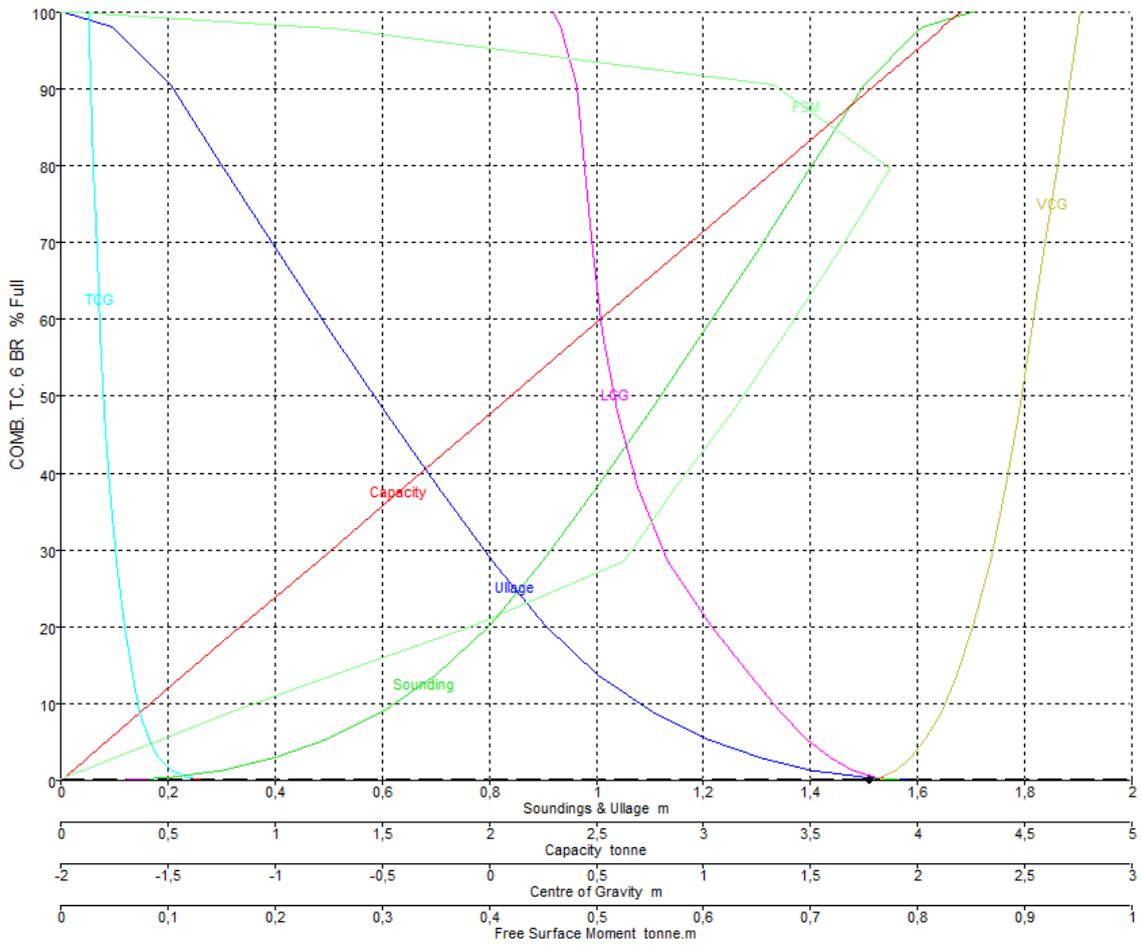
COMB. TC. 4. ER

Sonda (m)	Altura libre (m)	% Llenado	Capacidad (m3)	Capacidad (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	M.S.L. (t·m)
1,025	0,000	100,000	4,137	3,475	10,562	0,888	0,594	0,000
1,000	0,025	99,668	4,124	3,464	10,557	0,888	0,593	0,376
0,963	0,062	98,000	4,055	3,406	10,538	0,883	0,587	1,008
0,962	0,063	97,900	4,050	3,402	10,537	0,883	0,586	1,005
0,950	0,075	97,033	4,015	3,372	10,529	0,880	0,583	1,218
0,900	0,125	91,762	3,797	3,189	10,494	0,865	0,564	2,036
0,850	0,175	83,982	3,475	2,919	10,478	0,838	0,536	2,554
0,800	0,225	75,675	3,131	2,630	10,472	0,808	0,506	2,303
0,750	0,275	67,667	2,800	2,352	10,465	0,776	0,475	2,056
0,700	0,325	59,975	2,481	2,084	10,458	0,743	0,444	1,815
0,650	0,375	52,619	2,177	1,829	10,448	0,708	0,413	1,582
0,600	0,425	45,617	1,887	1,585	10,438	0,672	0,382	1,359
0,550	0,475	38,989	1,613	1,355	10,425	0,634	0,351	1,147
0,500	0,525	32,759	1,355	1,138	10,409	0,595	0,320	0,948
0,450	0,575	26,949	1,115	0,937	10,389	0,554	0,289	0,765
0,400	0,625	21,588	0,893	0,750	10,364	0,511	0,257	0,598
0,350	0,675	16,705	0,691	0,581	10,331	0,466	0,226	0,450
0,300	0,725	12,334	0,510	0,429	10,285	0,420	0,194	0,322
0,250	0,775	8,516	0,352	0,296	10,217	0,373	0,162	0,216
0,200	0,825	5,298	0,219	0,184	10,106	0,325	0,129	0,132
0,150	0,875	2,744	0,114	0,095	9,896	0,282	0,095	0,070
0,100	0,925	1,072	0,044	0,037	9,624	0,241	0,059	0,026
0,097	0,928	1,000	0,041	0,035	9,607	0,239	0,057	0,025
0,050	0,975	0,229	0,009	0,008	9,342	0,199	0,024	0,006
0,000	1,025	0,000	0,000	0,000	9,051	0,105	-0,010	0,000



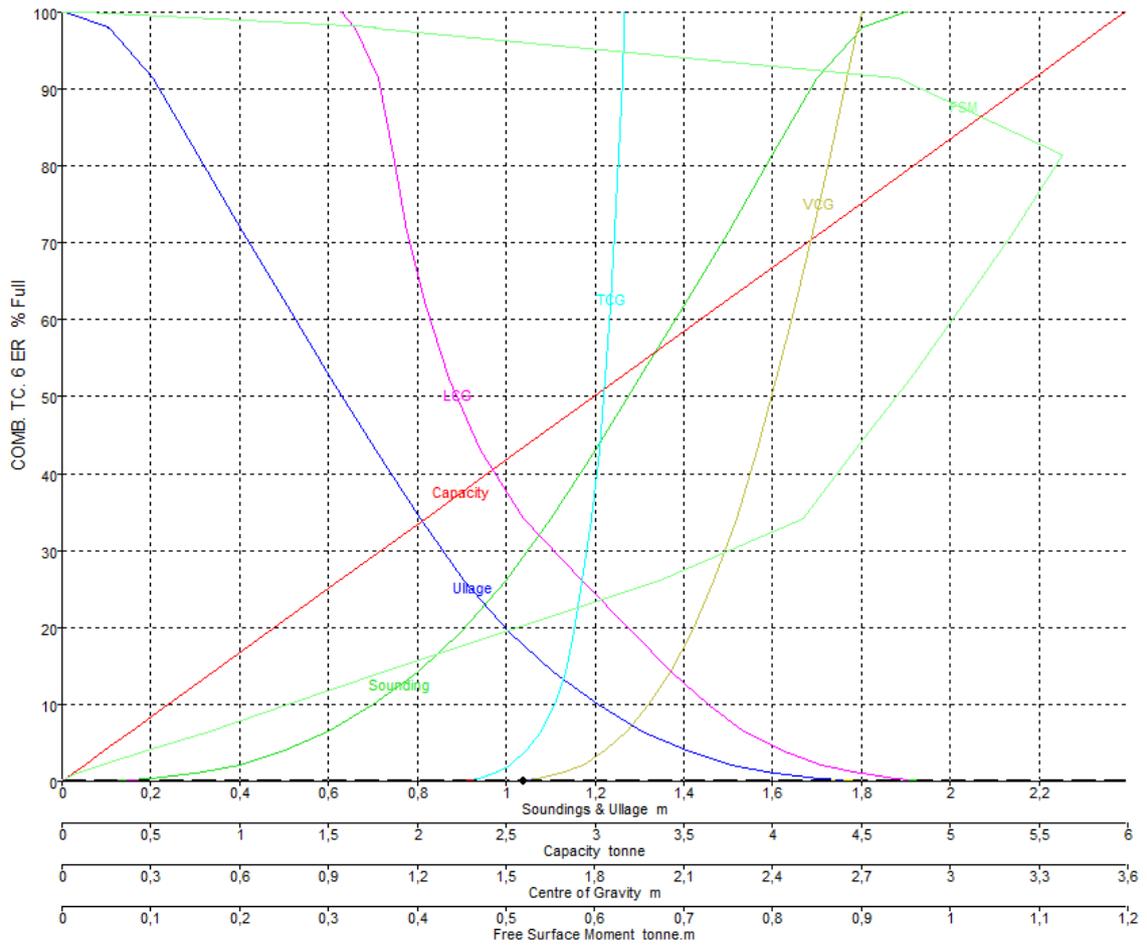
COMB. TC. 6. BR

Sonda (m)	Altura libre (m)	% Llenado	Capacidad (m3)	Capacidad (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	M.S.L. (t·m)
1,705	0,000	100,000	5,000	4,200	0,299	-1,865	2,758	0,000
1,700	0,005	99,993	4,999	4,200	0,299	-1,865	2,758	0,013
1,608	0,097	98,000	4,900	4,116	0,334	-1,865	2,747	0,230
1,606	0,099	97,900	4,895	4,112	0,336	-1,865	2,746	0,253
1,600	0,105	97,626	4,881	4,100	0,340	-1,865	2,745	0,275
1,500	0,205	90,552	4,527	3,803	0,408	-1,860	2,708	0,665
1,400	0,305	79,671	3,983	3,346	0,444	-1,846	2,648	0,774
1,300	0,405	68,842	3,442	2,891	0,482	-1,831	2,591	0,726
1,200	0,505	58,296	2,915	2,448	0,531	-1,815	2,533	0,677
1,100	0,605	48,049	2,402	2,018	0,597	-1,796	2,472	0,627
1,000	0,705	38,113	1,906	1,601	0,691	-1,772	2,409	0,575
0,900	0,805	28,615	1,431	1,202	0,832	-1,739	2,339	0,526
0,800	0,905	20,061	1,003	0,843	1,036	-1,699	2,260	0,385
0,700	1,005	13,627	0,681	0,572	1,221	-1,667	2,184	0,254
0,600	1,105	8,931	0,447	0,375	1,358	-1,631	2,111	0,160
0,500	1,205	5,445	0,272	0,229	1,479	-1,590	2,039	0,096
0,400	1,305	2,947	0,147	0,124	1,592	-1,541	1,967	0,050
0,300	1,405	1,302	0,065	0,055	1,699	-1,478	1,894	0,020
0,274	1,431	1,000	0,050	0,042	1,727	-1,459	1,875	0,014
0,200	1,505	0,397	0,020	0,017	1,807	-1,402	1,819	0,004
0,100	1,605	0,048	0,002	0,002	1,943	-1,330	1,745	0,000
0,000	1,705	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,670	0,000



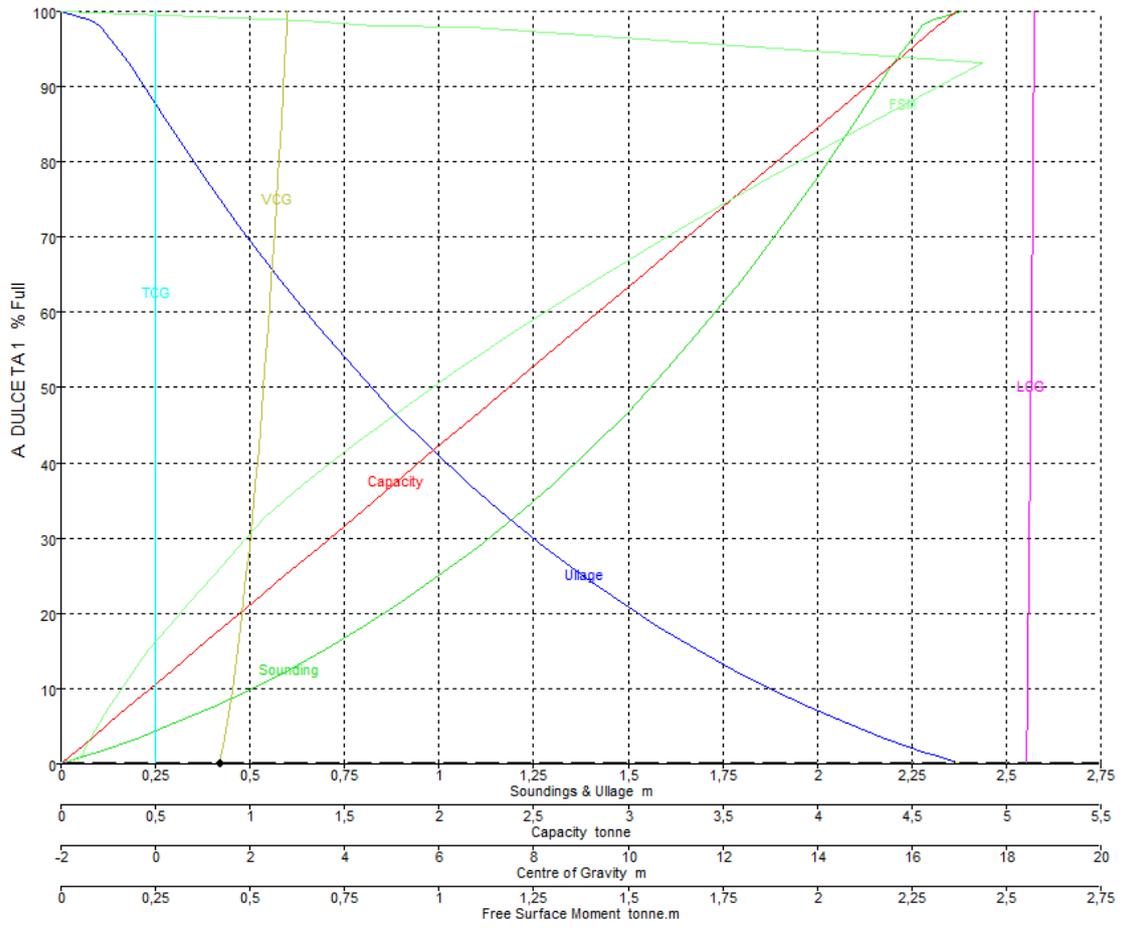
COMB. TC. 6. ER

Sonda (m)	Altura libre (m)	% Llenado	Capacidad (m3)	Capacidad (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	M.S.L. (t·m)
1,906	0,000	100,000	7,123	5,983	0,942	1,896	2,703	0,000
1,900	0,006	99,991	7,122	5,982	0,943	1,896	2,703	0,024
1,804	0,103	98,000	6,980	5,863	0,987	1,897	2,690	0,353
1,801	0,105	97,900	6,973	5,857	0,989	1,897	2,690	0,353
1,800	0,106	97,853	6,970	5,855	0,990	1,897	2,690	0,352
1,700	0,206	91,427	6,512	5,470	1,070	1,893	2,653	0,941
1,600	0,306	81,479	5,803	4,875	1,117	1,880	2,593	1,127
1,500	0,406	71,538	5,095	4,280	1,166	1,867	2,535	1,071
1,400	0,506	61,820	4,403	3,699	1,228	1,852	2,475	1,014
1,300	0,606	52,339	3,728	3,131	1,307	1,836	2,413	0,956
1,200	0,706	43,106	3,070	2,579	1,414	1,815	2,348	0,893
1,100	0,806	34,210	2,437	2,047	1,562	1,789	2,278	0,835
1,000	0,906	26,036	1,854	1,558	1,755	1,758	2,201	0,673
0,900	1,006	19,459	1,386	1,164	1,925	1,731	2,126	0,499
0,800	1,106	14,221	1,013	0,851	2,059	1,700	2,054	0,360
0,700	1,206	9,969	0,710	0,596	2,183	1,663	1,982	0,254
0,600	1,306	6,566	0,468	0,393	2,304	1,621	1,910	0,167
0,500	1,406	3,953	0,282	0,237	2,430	1,569	1,836	0,096
0,400	1,506	2,114	0,151	0,126	2,564	1,512	1,759	0,045
0,304	1,602	1,000	0,071	0,060	2,697	1,461	1,684	0,017
0,300	1,606	0,968	0,069	0,058	2,702	1,459	1,682	0,017
0,200	1,706	0,356	0,025	0,021	2,818	1,406	1,605	0,004



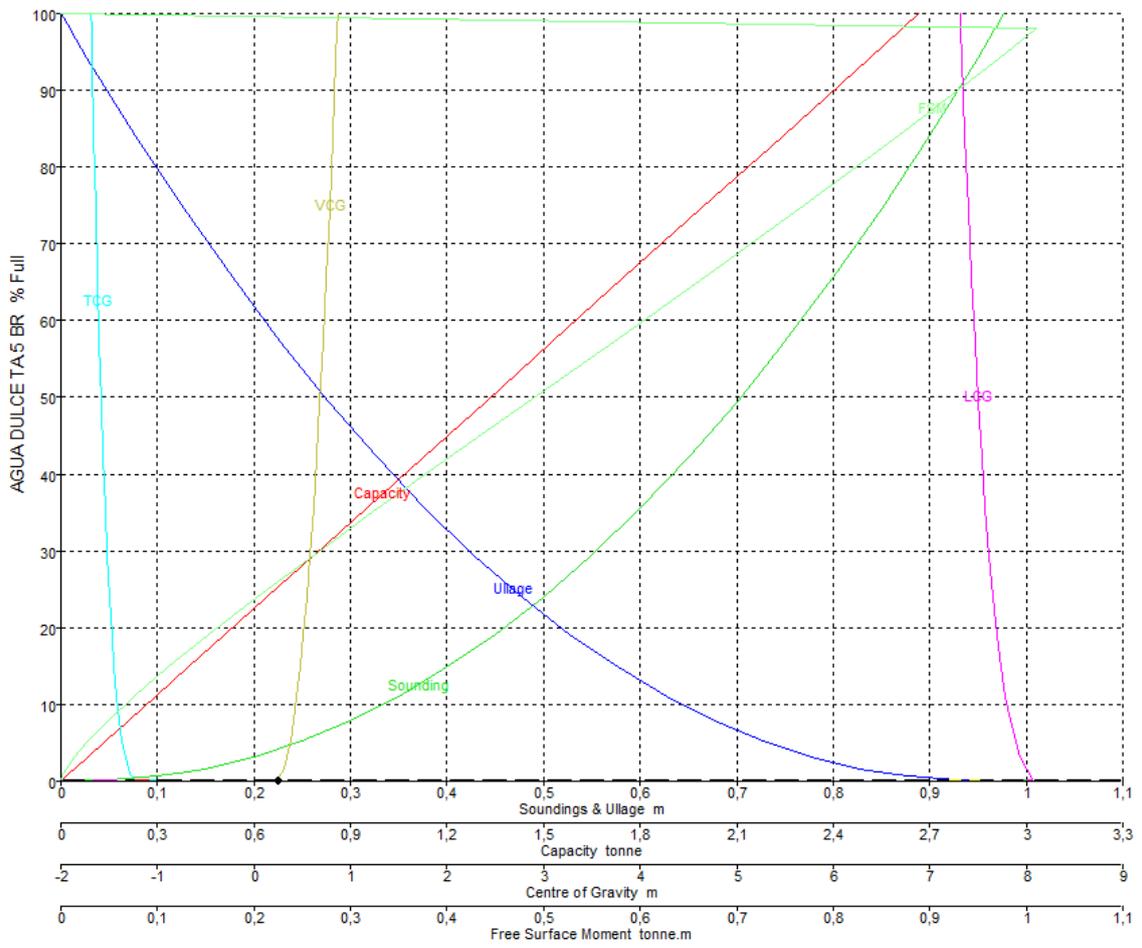
AGUA DULCE TA.1

Sonda (m)	Altura libre (m)	% Llenado	Capacidad (m3)	Capacidad (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	M.S.L. (t·m)
2,380	0,000	100,000	4,731	4,731	18,603	0,000	2,793	0,000
2,300	0,080	98,849	4,676	4,676	18,595	0,000	2,782	0,643
2,277	0,103	98,000	4,636	4,636	18,591	0,000	2,775	0,832
2,274	0,106	97,900	4,631	4,631	18,591	0,000	2,774	1,084
2,200	0,180	93,150	4,407	4,407	18,580	0,000	2,733	2,439
2,100	0,280	85,354	4,038	4,038	18,572	0,000	2,662	2,144
2,000	0,380	77,953	3,688	3,688	18,563	0,000	2,592	1,875
1,900	0,480	70,947	3,356	3,356	18,554	0,000	2,522	1,633
1,800	0,580	64,335	3,043	3,043	18,545	0,000	2,452	1,415
1,700	0,680	58,116	2,749	2,749	18,536	0,000	2,383	1,220
1,600	0,780	52,288	2,474	2,474	18,526	0,000	2,314	1,046
1,500	0,880	46,847	2,216	2,216	18,517	0,000	2,246	0,893
1,400	0,980	41,788	1,977	1,977	18,508	0,000	2,178	0,758
1,300	1,080	37,106	1,755	1,755	18,500	0,000	2,112	0,641
1,200	1,180	32,792	1,551	1,551	18,492	0,000	2,048	0,538
1,100	1,280	28,780	1,361	1,361	18,486	0,000	1,985	0,468
1,000	1,380	25,012	1,183	1,183	18,479	0,000	1,920	0,403
0,900	1,480	21,486	1,016	1,016	18,472	0,000	1,859	0,342
0,800	1,580	18,207	0,861	0,861	18,466	0,000	1,798	0,286
0,700	1,680	15,187	0,718	0,718	18,460	0,000	1,734	0,234
0,600	1,780	12,420	0,588	0,588	18,455	0,000	1,676	0,193
0,500	1,880	9,859	0,466	0,466	18,450	0,000	1,619	0,158
0,400	1,980	7,502	0,355	0,355	18,445	0,000	1,562	0,127
0,300	2,080	5,344	0,253	0,253	18,440	0,000	1,508	0,101
0,200	2,180	3,385	0,160	0,160	18,436	0,000	1,448	0,079
0,100	2,280	1,608	0,076	0,076	18,433	0,000	1,396	0,061
0,063	2,317	1,000	0,047	0,047	18,432	0,000	1,377	0,055
0,000	2,380	0,000	0,000	0,000	18,430	0,000	1,350	0,000



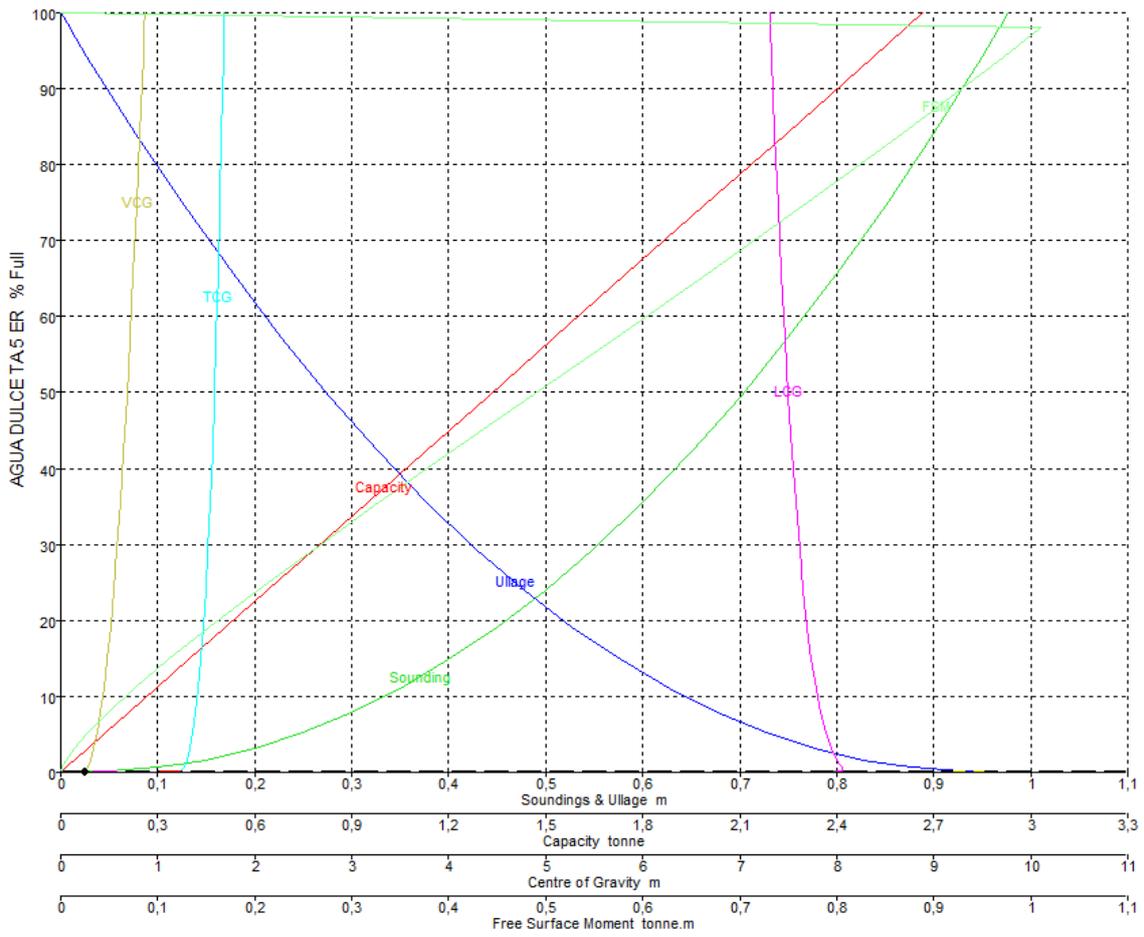
AGUA DULCE TA.5 BR

Sonda (m)	Altura libre (m)	% Llenado	Capacidad (m3)	Capacidad (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	M.S.L. (t·m)
0,977	0,000	100,000	2,667	2,667	7,313	-1,686	0,867	0,000
0,968	0,009	98,000	2,614	2,614	7,319	-1,683	0,861	1,011
0,967	0,010	97,900	2,611	2,611	7,320	-1,683	0,861	1,010
0,950	0,027	94,250	2,514	2,514	7,331	-1,677	0,849	0,973
0,900	0,077	84,145	2,244	2,244	7,363	-1,659	0,816	0,868
0,850	0,127	74,600	1,990	1,990	7,396	-1,641	0,782	0,766
0,800	0,177	65,624	1,750	1,750	7,431	-1,623	0,749	0,667
0,750	0,227	57,226	1,526	1,526	7,467	-1,603	0,715	0,573
0,700	0,277	49,416	1,318	1,318	7,503	-1,583	0,681	0,484
0,650	0,327	42,194	1,125	1,125	7,540	-1,563	0,647	0,402
0,600	0,377	35,557	0,948	0,948	7,578	-1,541	0,614	0,328
0,550	0,427	29,503	0,787	0,787	7,616	-1,519	0,580	0,262
0,500	0,477	24,028	0,641	0,641	7,656	-1,496	0,546	0,204
0,450	0,527	19,130	0,510	0,510	7,697	-1,472	0,512	0,153
0,400	0,577	14,806	0,395	0,395	7,741	-1,447	0,478	0,111
0,350	0,627	11,054	0,295	0,295	7,786	-1,420	0,445	0,076
0,300	0,677	7,868	0,210	0,210	7,835	-1,393	0,411	0,049
0,250	0,727	5,244	0,140	0,140	7,886	-1,364	0,377	0,029
0,200	0,777	3,173	0,085	0,085	7,942	-1,334	0,342	0,015
0,150	0,827	1,643	0,044	0,044	7,999	-1,302	0,308	0,006
0,121	0,856	1,000	0,027	0,027	8,032	-1,283	0,289	0,003
0,100	0,877	0,634	0,017	0,017	8,053	-1,268	0,274	0,002
0,050	0,927	0,112	0,003	0,003	8,059	-1,233	0,239	0,000
0,000	0,977	0,000	0,000	0,000	7,877	-0,800	0,203	0,000



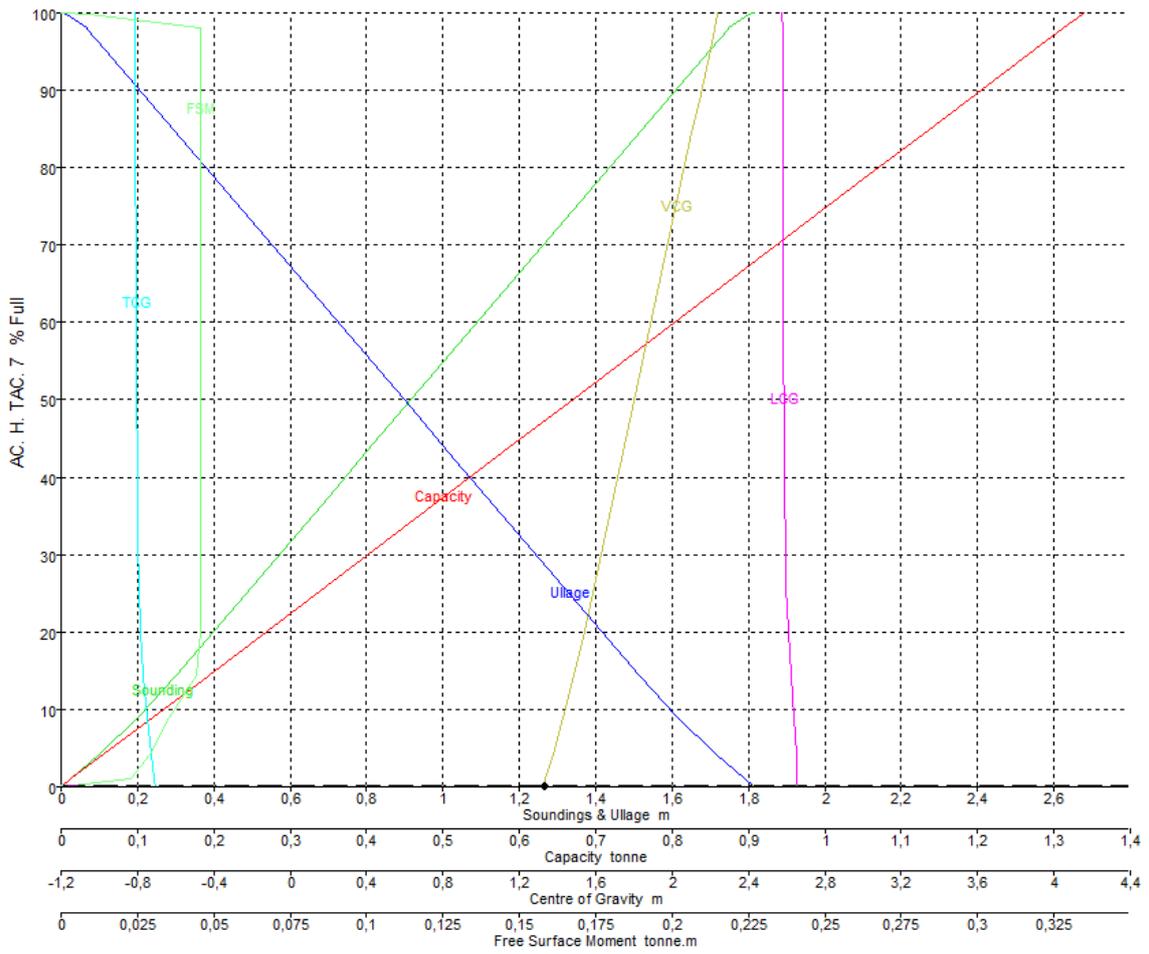
AGUA DULCE TA.5 ER

Sonda (m)	Altura libre (m)	% Llenado	Capacidad (m3)	Capacidad (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	M.S.L. (t·m)
0,977	0,000	100,000	2,667	2,667	7,313	1,686	0,867	0,000
0,968	0,009	98,000	2,614	2,614	7,319	1,683	0,861	1,011
0,967	0,010	97,900	2,611	2,611	7,320	1,683	0,861	1,010
0,950	0,027	94,250	2,514	2,514	7,331	1,677	0,849	0,973
0,900	0,077	84,145	2,244	2,244	7,363	1,659	0,816	0,868
0,850	0,127	74,600	1,990	1,990	7,396	1,641	0,782	0,766
0,800	0,177	65,624	1,750	1,750	7,431	1,623	0,749	0,667
0,750	0,227	57,226	1,526	1,526	7,467	1,603	0,715	0,573
0,700	0,277	49,416	1,318	1,318	7,503	1,583	0,681	0,484
0,650	0,327	42,194	1,125	1,125	7,540	1,563	0,647	0,402
0,600	0,377	35,557	0,948	0,948	7,578	1,541	0,614	0,328
0,550	0,427	29,503	0,787	0,787	7,616	1,519	0,580	0,262
0,500	0,477	24,028	0,641	0,641	7,656	1,496	0,546	0,204
0,450	0,527	19,130	0,510	0,510	7,697	1,472	0,512	0,153
0,400	0,577	14,806	0,395	0,395	7,741	1,447	0,478	0,111
0,350	0,627	11,054	0,295	0,295	7,786	1,420	0,445	0,076
0,300	0,677	7,868	0,210	0,210	7,835	1,393	0,411	0,049
0,250	0,727	5,244	0,140	0,140	7,886	1,364	0,377	0,029
0,200	0,777	3,173	0,085	0,085	7,942	1,334	0,342	0,015
0,150	0,827	1,643	0,044	0,044	7,999	1,302	0,308	0,006
0,121	0,856	1,000	0,027	0,027	8,032	1,283	0,289	0,003
0,100	0,877	0,634	0,017	0,017	8,053	1,268	0,274	0,002
0,050	0,927	0,112	0,003	0,003	8,059	1,233	0,239	0,000
0,000	0,977	0,000	0,000	0,000	7,877	0,800	0,203	0,000



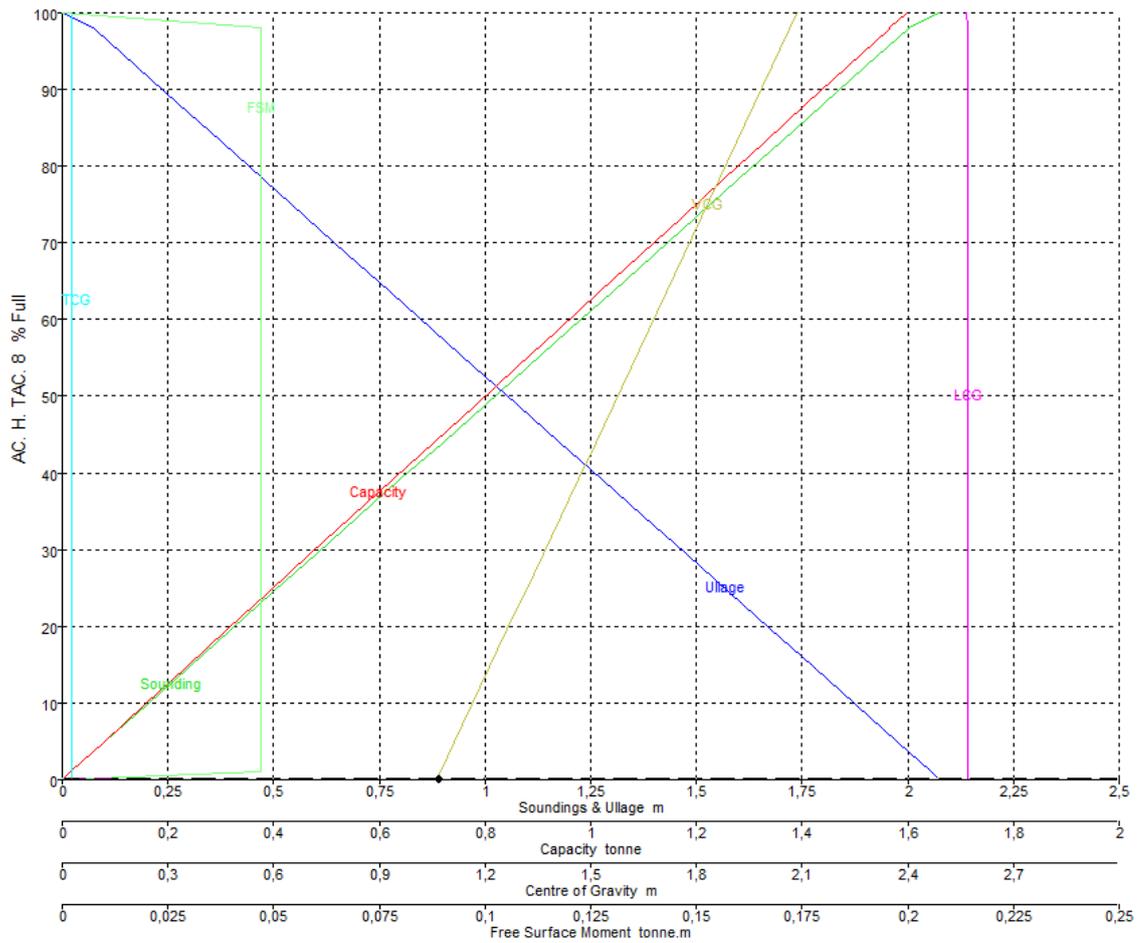
AC. H. TAC. 7

Sonda (m)	Altura libre (m)	% Llenado	Capacidad (m3)	Capacidad (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	M.S.L. (t·m)
1,815	0,000	100,000	1,455	1,338	2,574	-0,812	2,239	0,000
1,800	0,015	99,897	1,453	1,337	2,575	-0,812	2,239	0,009
1,748	0,067	98,000	1,426	1,312	2,578	-0,812	2,222	0,045
1,746	0,069	97,900	1,424	1,310	2,578	-0,812	2,221	0,045
1,700	0,115	95,236	1,385	1,275	2,578	-0,812	2,198	0,045
1,600	0,215	89,461	1,301	1,197	2,578	-0,811	2,148	0,045
1,500	0,315	83,687	1,217	1,120	2,579	-0,811	2,098	0,045
1,400	0,415	77,912	1,133	1,043	2,579	-0,810	2,047	0,045
1,300	0,515	72,138	1,049	0,965	2,580	-0,809	1,997	0,045
1,200	0,615	66,363	0,965	0,888	2,581	-0,809	1,947	0,045
1,100	0,715	60,589	0,881	0,811	2,582	-0,807	1,897	0,045
1,000	0,815	54,814	0,797	0,734	2,583	-0,806	1,846	0,045
0,900	0,915	49,040	0,713	0,656	2,585	-0,804	1,796	0,045
0,800	1,015	43,265	0,629	0,579	2,587	-0,802	1,745	0,045
0,700	1,115	37,491	0,545	0,502	2,590	-0,800	1,694	0,045
0,600	1,215	31,716	0,461	0,424	2,593	-0,796	1,643	0,045
0,500	1,315	25,942	0,377	0,347	2,598	-0,791	1,592	0,045
0,400	1,415	20,167	0,293	0,270	2,607	-0,782	1,539	0,045
0,300	1,515	14,401	0,209	0,193	2,621	-0,767	1,485	0,044
0,200	1,615	8,971	0,131	0,120	2,638	-0,747	1,429	0,035
0,100	1,715	4,187	0,061	0,056	2,649	-0,728	1,376	0,029
0,025	1,790	1,000	0,015	0,013	2,655	-0,712	1,338	0,023
0,000	1,815	0,000	0,000	0,000	2,656	-0,706	1,325	0,000



AC. H. TAC. 8

Sonda (m)	Altura libre (m)	% Llenado	Capacidad (m3)	Capacidad (t)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	M.S.L. (t·m)
2,076	0,000	100,000	1,737	1,598	2,567	0,025	2,086	0,000
2,003	0,073	98,000	1,702	1,566	2,570	0,025	2,065	0,047
2,001	0,075	97,900	1,700	1,564	2,570	0,025	2,064	0,047
2,000	0,076	97,871	1,700	1,564	2,570	0,025	2,064	0,047
1,900	0,176	92,978	1,615	1,486	2,570	0,025	2,014	0,047
1,800	0,276	88,084	1,530	1,408	2,570	0,025	1,964	0,047
1,700	0,376	83,191	1,445	1,329	2,570	0,025	1,914	0,047
1,600	0,476	78,297	1,360	1,251	2,570	0,025	1,864	0,047
1,500	0,576	73,403	1,275	1,173	2,570	0,025	1,814	0,047
1,400	0,676	68,510	1,190	1,095	2,570	0,025	1,764	0,047
1,300	0,776	63,616	1,105	1,017	2,570	0,025	1,714	0,047
1,200	0,876	58,723	1,020	0,938	2,570	0,025	1,664	0,047
1,100	0,976	53,829	0,935	0,860	2,570	0,025	1,614	0,047
1,000	1,076	48,936	0,850	0,782	2,570	0,025	1,564	0,047
0,900	1,176	44,042	0,765	0,704	2,570	0,025	1,514	0,047
0,800	1,276	39,149	0,680	0,626	2,570	0,025	1,464	0,047
0,700	1,376	34,255	0,595	0,547	2,570	0,025	1,414	0,047
0,600	1,476	29,361	0,510	0,469	2,570	0,025	1,364	0,047
0,500	1,576	24,468	0,425	0,391	2,570	0,025	1,314	0,047
0,400	1,676	19,574	0,340	0,313	2,570	0,025	1,264	0,047
0,300	1,776	14,681	0,255	0,235	2,570	0,025	1,214	0,047
0,200	1,876	9,787	0,170	0,156	2,570	0,025	1,164	0,047
0,100	1,976	4,894	0,085	0,078	2,570	0,025	1,114	0,047
0,020	2,056	1,000	0,017	0,016	2,570	0,025	1,074	0,047
0,000	2,076	0,000	0,000	0,000	2,570	0,025	1,064	0,000



ANEXO VII. BALANCE ELÉCTRICO

1. PROPULSIÓN											
CONSUMIDOR	POT. INSTALADA (kW)	PUERTO		FONDEADO		NAVEGACIÓN		OPERANDO ROV		EMERGENCIA	
		CS	Kw.	CS	Kw.	CS	Kw.	CS	Kw.	CS	Kw.
BOMBA DE TRASIEGO DE COMBUSTIBLE	1,5	0,1	0,15	0,1	0,15	0,9	1,35	0,1	0,15	0,5	0,75
BOMBA DE TRASIEGO DE ACEITE	1,1	0,1	0,11	0,1	0,11	0,9	0,99	0,1	0,11	0,2	0,22
BOMBA LUBRIC. REDUCTORA	1,5	0,0	0	0	0	0,5	0,75	0	0	0,2	0,3
BOMBA LUBRIC. MOTOR PPAL.	1,5	0,0	0	0	0	0,5	0,75	0	0	0,2	0,3
CALENTADORES DE AGUA Y ACEITE	2	0,0	0	0,5	1	0,6	1,2	0,5	1	0,2	0,4
CARGA TOTAL	2,6		0,3		1,26		5,04		1,26		1,97

2. PLANTA ELÉCTRICA											
CONSUMIDOR	POT, INSTALADA (kW)	PUERTO		FONDEADO		NAVEGACIÓN		OPERANDO ROV		EMERGENCIA	
		CS	Kw,	CS	Kw,	CS	Kw,	CS	Kw,	CS	Kw,
ALUMBRADO HABILITACIÓN	0,9	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0	0
ALUMBRADO CC.MM. Y LOCAL SERVO	0,32	0,9	0,288	0,9	0,3	0,9	0,3	0,9	0,3	0,9	0,288
ALUMBRADO EXTERIOR	1,2	0,1	0,1	0,5	0,6	0,5	0,6	0,5	0,6	0,5	0,6
LUCES DE NAVEGACIÓN	0,5	0	0	0,5	0,3	0,5	0,3	0,5	0,3	0,5	0,25
ALUMBRADO PUENTE	5,4	0,3	1,6	0,3	1,6	0,3	1,6	0,3	1,6	0,3	1,62
FUENTE DE ALIMENTACIÓN	1,5	0,5	0,8	0,5	0,8	0,5	0,8	0,5	0,8	0,5	0,75
CARGADOR DE BATERÍAS	1	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
CARGA TOTAL	10,82		3,5		4,3		4,3		4,3		4,008

3. MANDO Y VIGILANCIA											
CONSUMIDOR	POT, INSTALADA (kW)	PUERTO		FONDEADO		NAVEGACIÓN		OPERANDO ROV		EMERGENCIA	
		CS	Kw,	CS	Kw,	CS	Kw,	CS	Kw,	CS	Kw,
EQUIPOS DE NAVEGACIÓN	1	0	0,0	0,2	0,2	0,9	0,9	0,2	0,2	0,2	0,2
COMUNICACIONES	1	0,1	0,1	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
CARGA TOTAL	2		0,1		1,1		1,8		1,1		1,1

4. SISTEMAS AUXILIARES											
CONSUMIDOR	POT, INSTALADA (kW)	PUERTO		FONDEADO		NAVEGACIÓN		OPERANDO ROV		EMERGENCIA	
		CS	Kw,	CS	Kw,	CS	Kw,	CS	Kw,	CS	Kw,
BOMBA DEL GENERADOR	2,2	0,5	1,1	0,5	1,1	0,5	1,1	0,6	1,3	0,5	1,1
BOMBA DEL SERVOMOTOR	2,2	0	0,0	0	0,0	0,9	2,0	0	0,0	0,9	1,98
BOMBA SANITARIA	1,1	0,5	0,6	0,5	0,6	0,5	0,6	0,5	0,6	0	0
VENTILADOR CC.MM. (1)	1,1	0,1	0,1	0,5	0,6	0,9	1,0	0,5	0,6	0,2	0,22

VENTILADOR CC.MM. (2)	1,1	0,1	0,1	0,5	0,6	0,9	1,0	0,5	0,6	0,2	0,22
PLANTA HIDRÁULICA	10	0,2	2,0	0,2	2,0	0,9	9,0	0,2	2,0	0	0
CABRESTANTE PARA FONDEO	2,25	0,2	0,45	0,2	0,5	0	0,0	0,2	0,5	0,1	0,225
INSTALACIÓN C.I,	4	0,3	1,2	0,3	1,2	0,3	1,2	0,3	1,2	0,5	2
CARGA TOTAL	23,95		5,5		6,4		15,8		6,6		5,745

5. EQUIPOS Y HABILITACIÓN											
CONSUMIDOR	POT, INSTALADA (kW)	PUERTO		FONDEADO		NAVEGACIÓN		OPERANDO ROV		EMERGENCIA	
		CS	Kw,	CS	Kw,	CS	Kw,	CS	Kw,	CS	Kw,
COCINA	5	0,1	0,5	0,1	0,5	0,1	0,5	0,1	0,5	0,1	0,5
ROV	8	0,0	0,0	0	0	0	0	0,9	7,2	0	0
LARS (GRÚA LANZAMIENTO ROV)	25	0	0,0	0	0	0	0	0,9	22,5	0	0
CONTROL ROV	5	0	0,0	0	0	0	0	0,9	4,5	0	0
ORDENADORES AULA	0,25	0,7	0,2	0,7	0,175	0,5	0,125	0,8	0,2	0	0
CARGA TOTAL	43,25		0,7		0,7		0,6		34,9		0,5

RESUMEN DE CARGAS						
GRUPO	CARGA (kW)	PUERTO	FONDEADO	NAVEGACIÓN	OPERANDO ROV	EMERGENCIA
		Kw,	Kw,	Kw,	Kw,	Kw,
PROPULSIÓN	2,6	0,26	1,26	5,04	1,26	1,97
PLANTA ELÉCTRICA	10,82	3,548	4,278	4,278	4,278	4,008
MANDO Y VIGILANCIA	2	0,1	1,1	1,8	1,1	1,1
SISTEMAS AUXILIARES	23,95	5,52	6,4	15,81	6,62	5,745
HABILITACIÓN	43,25	0,675	0,675	0,625	34,9	0,5
TOTAL	82,62	10,103	13,713	27,553	48,158	13,323

CRITERIO DE SELECCIÓN DE PLANTA ELÉCTRICA						
DESCRIPCIÓN	MARGEN	PUERTO	FONDEADO	NAVEGACIÓN	OPERANDO ROV	EMERGENCIA
		Kw,	Kw,	Kw,	Kw,	Kw,
Potencia sin margen	-	10,10	13,71	27,55	48,16	13,32
Margen de proyecto (kW)	5%	0,51	0,69	1,38	2,41	0,67
Potencia total (kW)	-	10,61	14,40	28,93	50,57	13,99

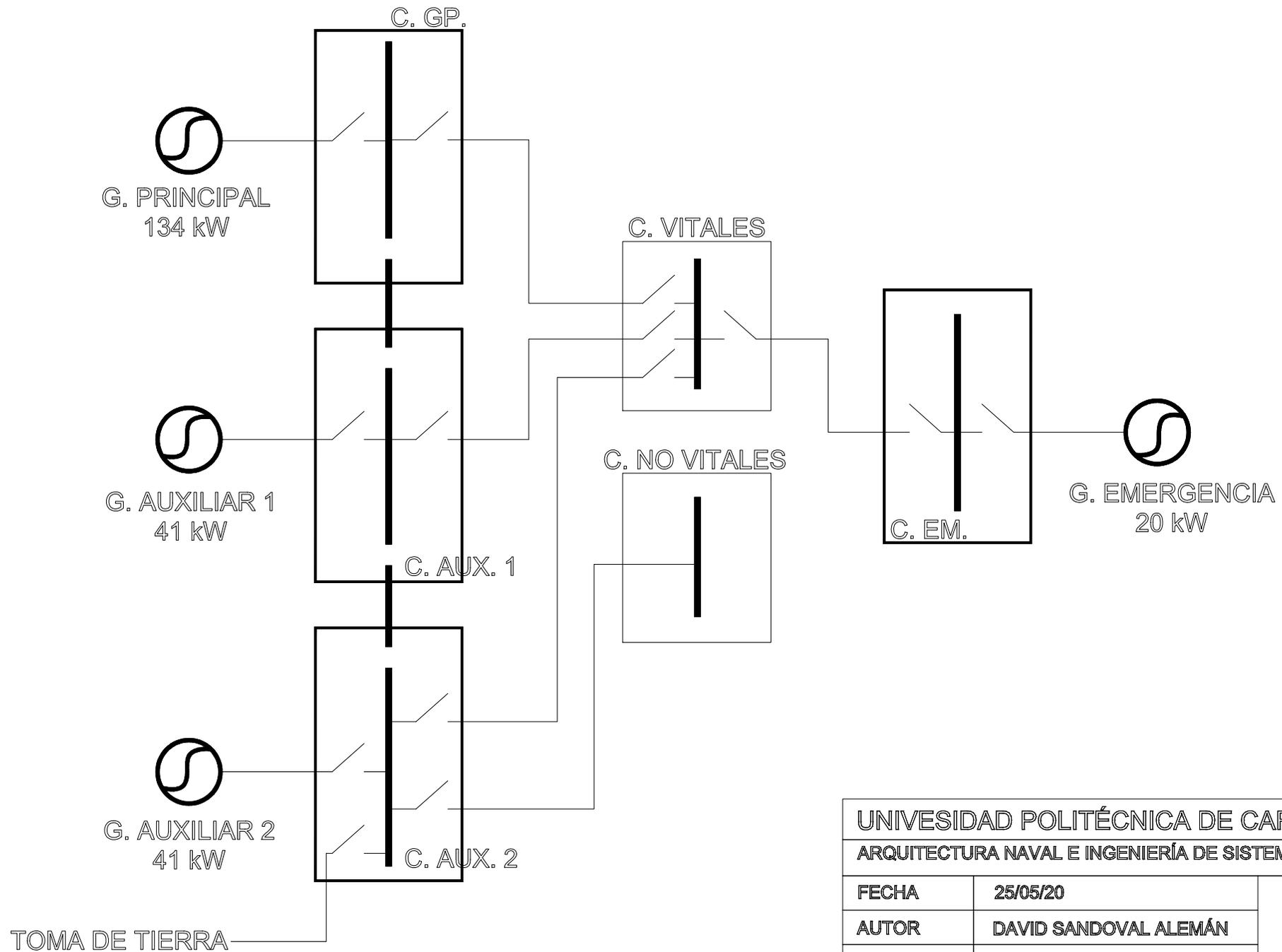
Potencia Mínima Generador (kW)	50,57
Número de generadores	1
Potencia / cosF	63,21
kVA	70,23

Potencia mínima generador emergencia (kW)
Generadores auxiliares

13,99
2

**ANEXO VIII. DIAGRAMA UNIFILAR DE LA PLANTA
ELÉCTRICA.**

DIAGRAMA UNIFILAR DE LA PLANTA ELÉCTRICA



UNIVESIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA		
ARQUITECTURA NAVAL E INGENIERÍA DE SISTEMAS MARINOS		
FECHA	25/05/20	DIAGRAMA UNIFILAR
AUTOR	DAVID SANDOVAL ALEMÁN	
PROYECTO	TRABAJO FINAL DE GRADO	

ANEXO IX. ESTUDIO DE ESTABILIDAD

Stability calculation - Ciudad de Cartagena

Stability 22.03.00.121, build: 121

Model file: C:\Users\Usuario\Desktop\TFG\Modelo 3D\Maxsurf\Estudio de estabilidad\Ciudad de Cartagena (Highest precision, 221 sections, Trimming off, Skin thickness not applied). Long. datum: AP; Vert. datum: Baseline. Analysis tolerance - ideal(worst case): Disp.‰: 0,00100(0,010); Trim%(LCG-TCG): 0,00100(0,010); Heel%(LCG-TCG): 0,00100(0,010)

Loadcase - Plena carga

Damage Case - Intact

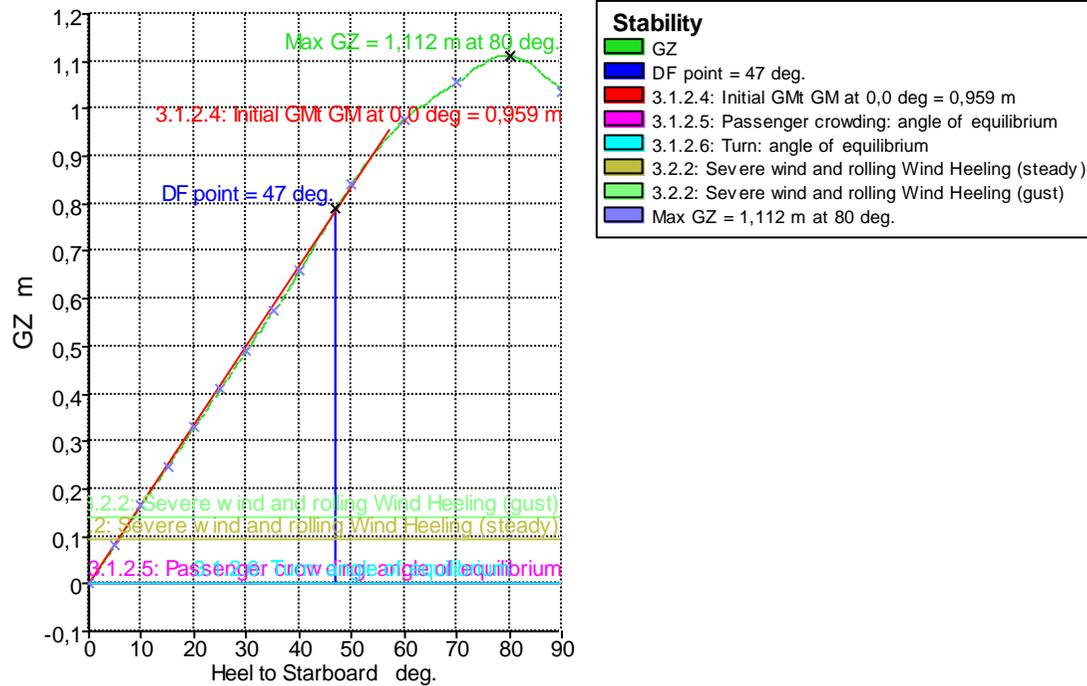
Free to Trim

Specific gravity = 1,025; (Density = 1,025 tonne/m³)

Fluid analysis method: Use corrected VCG

Item Name	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m ³	Total Volume m ³	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m	Total FSM tonne.m	FSM Type
Rosca	1	138,340	138,340			8,731	0,005	2,532	0,000	
SUBTOTAL ROSCA			138,340			8,731	0,005	2,532	0,000	
.										
A. DULCE TA 1	98%	4,731	4,636	4,731	4,636	18,591	0,000	2,775	1,299	IMO A.749(18)
AGUA DULCE TA.5 BR	98%	2,667	2,614	2,667	2,614	7,319	-1,683	0,861	0,000	IMO A.749(18)
AGUA DULCE TA.5 ER	98%	2,667	2,614	2,667	2,614	7,319	1,683	0,861	0,000	IMO A.749(18)
SUBTOTAL TANQUES DE AGUA	98%	10,065	9,863	10,065	9,863	12,617	0,000	1,761	1,299	
.										
COMB. TC 2	98%	3,125	3,062	3,720	3,646	16,292	0,000	0,887	1,686	IMO A.749(18)
COMB. TC 3 BR	98%	2,780	2,724	3,310	3,243	13,505	-0,739	0,739	0,000	IMO A.749(18)
COMB. TC 3 ER	98%	2,791	2,735	3,322	3,256	13,507	0,741	0,742	0,000	IMO A.749(18)
COMB. TC 4 BR	98%	3,475	3,406	4,137	4,055	10,538	-0,883	0,587	0,000	IMO A.749(18)
COMB. TC 4 ER	98%	3,475	3,406	4,137	4,055	10,538	0,883	0,587	0,000	IMO A.749(18)
COMB. TSD. 1	98%	0,618	0,606	0,736	0,721	2,592	-2,435	2,620	0,000	IMO A.749(18)
COMB. TSD. 2	98%	0,992	0,972	1,181	1,157	2,584	-1,643	2,389	0,000	IMO A.749(18)
COMB. TC. 6 BR	98%	4,207	4,123	5,008	4,908	0,332	-1,865	2,748	0,000	IMO A.749(18)
COMB. TC. 6 ER	98%	5,990	5,870	7,131	6,988	0,985	1,897	2,691	0,000	IMO A.749(18)
SUBTOTAL TANQUES DE COMBUSTIBLE	98%	27,452	26,903	32,682	32,028	7,681	0,014	1,553	1,686	
.										
AC. H. TAC. 7	98%	1,338	1,312	1,455	1,426	2,578	-0,812	2,222	0,000	IMO A.749(18)
AC. H. TAC. 8	98%	1,598	1,566	1,737	1,702	2,570	0,025	2,065	0,000	IMO A.749(18)
SUBTOTAL TANQUES DE ACEITE	98%	2,936	2,878	3,192	3,128	2,573	-0,357	2,137	0,000	
.										
PERSONAS	15	0,100	1,500			15,500	0,000	5,000	0,000	User Specified
PERTRECHOS	1	0,750	0,750			17,500	0,000	3,200	0,000	User Specified
Total Loadcase			180,235	45,938	45,019	8,782	0,000	2,361	2,984	

Item Name	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m^3	Total Volume m^3	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m	Total FSM tonne.m	FSM Type
FS correction								0,017		
VCG fluid								2,377		



Heel to Starboard deg	0,0	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	50,0	60,0	70,0	80,0	90,0
GZ m	0,000	0,084	0,166	0,248	0,329	0,410	0,491	0,573	0,659	0,841	0,976	1,055	1,112	1,037
Area under GZ curve from zero heel m.deg	0,0000	0,2084	0,8341	1,8704	3,3120	5,1602	7,4143	10,0765	13,1531	20,6689	29,8094	39,9777	50,8850	61,7159
Displacement t	180,2	180,2	180,2	180,2	180,2	180,2	180,2	180,2	180,2	180,2	180,2	180,2	180,2	180,2
Draft at FP m	2,366	2,365	2,363	2,362	2,362	2,357	2,342	2,312	2,258	2,053	1,694	0,984	-1,118	n/a
Draft at AP m	2,814	2,811	2,800	2,774	2,731	2,670	2,588	2,480	2,342	1,954	1,381	0,424	-1,997	n/a

Heel to Starboard deg	0,0	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	50,0	60,0	70,0	80,0	90,0
WL Length m	21,402	21,435	21,468	21,502	21,537	21,572	21,607	21,640	21,647	21,581	21,494	22,417	22,993	22,349
Beam max extents on WL m	6,350	6,355	6,402	6,483	6,585	6,639	6,671	6,721	6,807	6,356	5,885	5,888	5,541	5,093
Wetted Area m^2	171,533	171,556	171,145	170,798	170,859	171,359	172,190	173,431	175,126	179,910	183,777	185,757	174,040	173,750
Waterpl. Area m^2	109,943	110,018	109,670	109,607	110,122	110,852	112,050	113,984	116,788	118,829	115,187	112,816	104,332	96,929
Prismatic coeff. (Cp)	0,603	0,603	0,604	0,607	0,612	0,618	0,625	0,632	0,641	0,666	0,698	0,694	0,698	0,744
Block coeff. (Cb)	0,366	0,365	0,366	0,369	0,375	0,390	0,414	0,445	0,444	0,478	0,526	0,520	0,560	0,653
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	8,764	8,764	8,765	8,765	8,767	8,769	8,772	8,775	8,778	8,785	8,792	8,796	8,794	8,788
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	8,167	8,172	8,249	8,347	8,438	8,520	8,594	8,670	8,753	8,913	9,090	9,258	9,541	9,708
Max deck inclination deg	1,3138	5,1671	10,0789	15,0443	20,0249	25,0130	30,0059	35,0020	40,0004	50,0003	60,0011	70,0010	80,0003	90,0000
Trim angle (+ve by stern) deg	1,3138	1,3101	1,2843	1,2088	1,0856	0,9214	0,7225	0,4936	0,2445	-0,2917	-0,9180	-1,6438	-2,5812	n/a

Key point	Type	Immersion angle deg	Emergence angle deg
Margin Line (immersion pos = -1,043 m)		33,1	n/a
Deck Edge (immersion pos = -1,043 m)		34,5	n/a
DF point	Downflooding point	47	0
DF point	Downflooding point	Not immersed in positive range	0

Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 0 to 30	3,1513	m.deg	7,4143	Pass	+135,28
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 0 to 40	5,1566	m.deg	13,1531	Pass	+155,07
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 30 to 40	1,7189	m.deg	5,7387	Pass	+233,86
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.2: Max GZ at 30 or greater	0,200	m	1,112	Pass	+456,00
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.3: Angle of maximum GZ	25,0	deg	80,0	Pass	+220,00
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.4: Initial GMt	0,150	m	0,959	Pass	+539,33
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.5: Passenger crowding: angle of equilibrium	10,0	deg	0,0	Pass	+99,84
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.6: Turn: angle of equilibrium	10,0	deg	0,0	Pass	+99,84
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.2.2: Severe wind and rolling				Pass	
	Angle of steady heel shall not be greater than (<=)	16,0	deg	5,6	Pass	+65,16

Stability calculation - Ciudad de Cartagena

Stability 22.03.00.121, build: 121

Model file: C:\Users\Usuario\Desktop\TFG\Modelo 3D\Maxsurf\Estudio de estabilidad\Ciudad de Cartagena (Highest precision, 221 sections, Trimming off, Skin thickness not applied). Long. datum: AP; Vert. datum: Baseline. Analysis tolerance - ideal(worst case): Disp.%; 0,00100(0,010); Trim%(LCG-TCG): 0,00100(0,010); Heel%(LCG-TCG): 0,00100(0,010)

Loadcase - Llegada a puerto

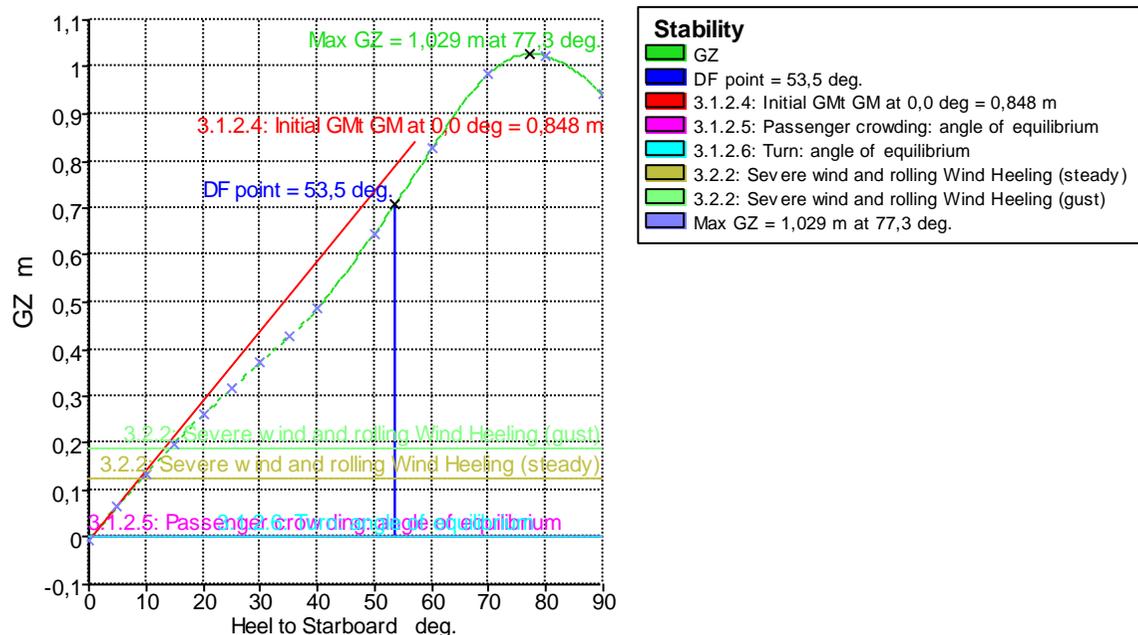
Damage Case - Intact

Free to Trim

Specific gravity = 1,025; (Density = 1,025 tonne/m³)

Fluid analysis method: Use corrected VCG

Item Name	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m ³	Total Volume m ³	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m	Total FSM tonne.m	FSM Type
Rosca	1	138,340	138,340			8,731	0,005	2,532	0,000	
.										
A. DULCE TA 1	10%	4,731	0,473	4,731	0,473	18,450	0,000	1,622	1,299	IMO A.749(18)
AGUA DULCE TA.5 BR	10%	2,667	0,267	2,667	0,267	7,801	-1,412	0,434	0,000	IMO A.749(18)
AGUA DULCE TA.5 ER	10%	2,667	0,267	2,667	0,267	7,801	1,412	0,434	0,000	IMO A.749(18)
SUBTOTAL TANQUES DE AGUA			139,346			8,761	0,005	2,521	1,299	
.										
COMB. TC 2	10%	3,125	0,312	3,720	0,372	16,088	0,000	0,466	1,686	IMO A.749(18)
COMB. TC 3 BR	10%	2,780	0,278	3,310	0,331	13,267	-0,331	0,326	0,000	IMO A.749(18)
COMB. TC 3 ER	10%	2,791	0,279	3,322	0,332	13,253	0,338	0,330	0,000	IMO A.749(18)
COMB. TC 4 BR	10%	3,475	0,348	4,137	0,414	10,248	-0,392	0,175	0,000	IMO A.749(18)
COMB. TC 4 ER	10%	3,475	0,348	4,137	0,414	10,248	0,392	0,175	0,000	IMO A.749(18)
COMB. TSD. 1	10%	0,618	0,062	0,736	0,074	2,664	-2,246	2,083	0,000	IMO A.749(18)
COMB. TSD. 2	10%	0,992	0,099	1,181	0,118	2,691	-1,494	1,724	0,000	IMO A.749(18)
COMB. TC. 6 BR	10%	4,207	0,421	5,008	0,501	1,325	-1,641	2,129	0,000	IMO A.749(18)
COMB. TC. 6 ER	10%	5,990	0,599	7,131	0,713	2,181	1,664	1,983	0,000	IMO A.749(18)
SUBTOTAL TANQUES DE COMBUSTIBLE	10%	27,452	2,745	32,682	3,268	7,953	0,008	1,032	1,686	
.										
AC. H. TAC. 7	10%	1,338	0,134	1,455	0,145	2,635	-0,751	1,440	0,000	IMO A.749(18)
AC. H. TAC. 8	10%	1,598	0,160	1,737	0,174	2,570	0,025	1,166	0,000	IMO A.749(18)
SUBTOTAL TANQUES DE ACEITE	10%	2,936	0,294	3,192	0,319	2,600	-0,329	1,291	0,000	
.										
PERSONAS	15	0,100	1,500			15,500	0,000	5,000	0,000	User Specified
PERTRECHOS	0,1	0,750	0,075			17,500	0,000	3,200	0,000	User Specified
Total Loadcase			143,960	45,938	4,594	8,807	0,004	2,516	2,984	
FS correction								0,021		
VCG fluid								2,537		



Heel to Starboard deg	0,0	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	50,0	60,0	70,0	80,0	90,0
GZ m	-0,004	0,068	0,136	0,200	0,260	0,316	0,371	0,426	0,487	0,647	0,826	0,986	1,025	0,942
Area under GZ curve from zero heel m.deg	0,0000	0,1607	0,6714	1,5108	2,6611	4,1027	5,8194	7,8123	10,0867	15,7366	23,0884	32,2086	42,3830	52,2763
Displacement t	144,0	144,0	144,0	144,0	144,0	144,0	144,0	144,0	144,0	144,0	144,0	144,0	144,0	144,0
Draft at FP m	1,960	1,962	1,967	1,971	1,972	1,966	1,947	1,912	1,853	1,617	1,143	0,219	-2,677	n/a
Draft at AP m	2,542	2,533	2,506	2,464	2,404	2,324	2,221	2,090	1,927	1,461	0,720	-0,583	-4,384	n/a
WL Length m	21,229	21,259	21,289	21,319	21,348	21,376	21,403	21,430	21,456	21,467	21,347	21,978	22,765	23,328
Beam max extents on WL m	6,318	6,332	6,350	6,386	6,371	6,345	6,336	6,354	6,414	6,496	6,086	6,714	5,241	4,943
Wetted Area m^2	155,920	154,930	154,307	154,135	154,085	154,305	154,945	156,064	157,668	162,250	166,119	162,447	151,770	151,617
Waterpl. Area m^2	105,578	104,318	103,373	102,898	102,476	102,538	103,404	105,203	107,981	115,918	116,237	117,303	100,561	95,120
Prismatic coeff. (Cp)	0,573	0,573	0,576	0,581	0,587	0,594	0,602	0,610	0,618	0,635	0,664	0,670	0,675	0,692
Block coeff. (Cb)	0,320	0,320	0,324	0,330	0,345	0,366	0,394	0,430	0,430	0,423	0,463	0,422	0,557	0,607
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	8,774	8,775	8,777	8,779	8,783	8,788	8,793	8,798	8,804	8,814	8,824	8,831	8,836	8,837
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	8,104	8,219	8,321	8,404	8,473	8,532	8,582	8,628	8,678	8,807	8,884	8,992	9,174	9,220

Heel to Starboard deg	0,0	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	50,0	60,0	70,0	80,0	90,0
Max deck inclination deg	1,7108	5,2707	10,1196	15,0634	20,0340	25,0170	30,0073	35,0023	40,0003	50,0006	60,0019	70,0021	80,0012	90,0000
Trim angle (+ve by stern) deg	1,7108	1,6759	1,5835	1,4463	1,2679	1,0520	0,8024	0,5227	0,2173	-0,4558	-1,2439	-2,3545	-5,0028	n/a

Key point	Type	Immersion angle deg	Emergence angle deg
Margin Line (immersion pos = -1,043 m)		41,6	n/a
Deck Edge (immersion pos = -1,043 m)		43	n/a
DF point	Downflooding point	53,5	0
DF point	Downflooding point	Not immersed in positive range	0

Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 0 to 30	3,1513	m.deg	5,8194	Pass	+84,67
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 0 to 40	5,1566	m.deg	10,0867	Pass	+95,61
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 30 to 40	1,7189	m.deg	4,2673	Pass	+148,26
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.2: Max GZ at 30 or greater	0,200	m	1,029	Pass	+414,50
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.3: Angle of maximum GZ	25,0	deg	77,3	Pass	+209,11
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.4: Initial GMt	0,150	m	0,848	Pass	+465,33
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.5: Passenger crowding: angle of equilibrium	10,0	deg	0,3	Pass	+97,09
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.6: Turn: angle of equilibrium	10,0	deg	0,3	Pass	+97,09
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.2.2: Severe wind and rolling				Pass	
	Angle of steady heel shall not be greater than (<=)	16,0	deg	9,3	Pass	+41,99

Stability calculation - Ciudad de Cartagena

Stability 22.03.00.121, build: 121

Model file: C:\Users\Usuario\Desktop\TFG\Modelo 3D\Maxsur\Estudio de estabilidad\Ciudad de Cartagena (Highest precision, 221 sections, Trimming off, Skin thickness not applied). Long. datum: AP; Vert. datum: Baseline. Analysis tolerance - ideal(worst case): Disp.%, 0,00100(0,010); Trim%(LCG-TCG): 0,00100(0,010); Heel%(LCG-TCG): 0,00100(0,010)

Loadcase - Plena carga

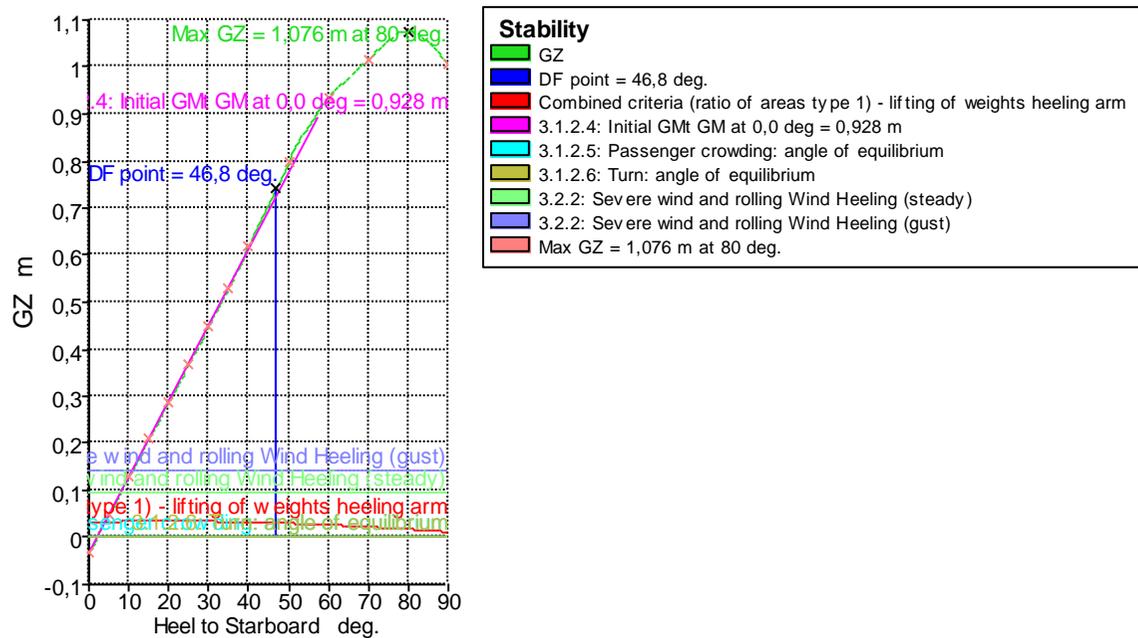
Damage Case - Intact

Free to Trim

Specific gravity = 1,025; (Density = 1,025 tonne/m³)

Fluid analysis method: Use corrected VCG

Item Name	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m^3	Total Volume m^3	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m	Total FSM tonne.m	FSM Type
Rosca	1	138,340	138,340			8,731	0,005	2,532	0,000	
SUBTOTAL ROSCA			138,340			8,731	0,005	2,532	0,000	
.										
A. DULCE TA 1	98%	4,731	4,636	4,731	4,636	18,591	0,000	2,775	1,299	IMO A.749(18)
AGUA DULCE TA.5 BR	98%	2,667	2,614	2,667	2,614	7,319	-1,683	0,861	0,000	IMO A.749(18)
AGUA DULCE TA.5 ER	98%	2,667	2,614	2,667	2,614	7,319	1,683	0,861	0,000	IMO A.749(18)
SUBTOTAL TANQUES DE AGUA	98%	10,065	9,863	10,065	9,863	12,617	0,000	1,761	1,299	
.										
COMB. TC 2	98%	3,125	3,062	3,720	3,646	16,292	0,000	0,887	1,686	IMO A.749(18)
COMB. TC 3 BR	98%	2,780	2,724	3,310	3,243	13,505	-0,739	0,739	0,000	IMO A.749(18)
COMB. TC 3 ER	98%	2,791	2,735	3,322	3,256	13,507	0,741	0,742	0,000	IMO A.749(18)
COMB. TC 4 BR	98%	3,475	3,406	4,137	4,055	10,538	-0,883	0,587	0,000	IMO A.749(18)
COMB. TC 4 ER	98%	3,475	3,406	4,137	4,055	10,538	0,883	0,587	0,000	IMO A.749(18)
COMB. TSD. 1	98%	0,618	0,606	0,736	0,721	2,592	-2,435	2,620	0,000	IMO A.749(18)
COMB. TSD. 2	98%	0,992	0,972	1,181	1,157	2,584	-1,643	2,389	0,000	IMO A.749(18)
COMB. TC. 6 BR	98%	4,207	4,123	5,008	4,908	0,332	-1,865	2,748	0,000	IMO A.749(18)
COMB. TC. 6 ER	98%	5,990	5,870	7,131	6,988	0,985	1,897	2,691	0,000	IMO A.749(18)
SUBTOTAL TANQUES DE COMBUSTIBLE	98%	27,452	26,903	32,682	32,028	7,681	0,014	1,553	1,686	
.										
AC. H. TAC. 7	98%	1,338	1,312	1,455	1,426	2,578	-0,812	2,222	0,000	IMO A.749(18)
AC. H. TAC. 8	98%	1,598	1,566	1,737	1,702	2,570	0,025	2,065	0,000	IMO A.749(18)
SUBTOTAL TANQUES DE ACEITE	98%	2,936	2,878	3,192	3,128	2,573	-0,357	2,137	0,000	
.										
PERSONAS	15	0,100	1,500			15,500	0,000	5,000	0,000	User Specified
PERTRECHOS	1	0,750	0,750			17,500	0,000	3,200	0,000	User Specified
PESO GRUA	1	1,095	1,095			9,500	5,400	7,200	0,000	User Specified
Total Loadcase			181,330	45,938	45,019	8,786	0,033	2,390	2,984	
FS correction								0,016		
VCG fluid								2,406		



Heel to Starboard deg	0,0	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	50,0	60,0	70,0	80,0	90,0
GZ m	-0,033	0,048	0,129	0,209	0,288	0,369	0,449	0,531	0,617	0,799	0,934	1,015	1,076	1,006
Area under GZ curve from zero heel m.deg	0,0000	0,0389	0,4834	1,3288	2,5716	4,2150	6,2605	8,7124	11,5785	18,6754	27,3987	37,1568	47,6776	58,1693
Displacement t	181,3	181,3	181,3	181,3	181,3	181,3	181,3	181,3	181,3	181,3	181,3	181,3	181,3	181,3
Draft at FP m	2,381	2,380	2,377	2,377	2,376	2,371	2,357	2,327	2,274	2,070	1,715	1,013	-1,060	n/a
Draft at AP m	2,820	2,817	2,806	2,780	2,738	2,678	2,596	2,488	2,351	1,966	1,398	0,450	-1,936	n/a
WL Length m	21,408	21,441	21,474	21,508	21,543	21,578	21,613	21,647	21,652	21,587	21,516	22,433	22,990	22,358
Beam max extents on WL m	6,349	6,356	6,403	6,485	6,589	6,646	6,680	6,731	6,818	6,350	5,880	5,872	5,556	5,098
Wetted Area m^2	171,990	172,019	171,633	171,288	171,340	171,852	172,690	173,936	175,634	180,432	184,298	186,323	174,725	174,307
Waterpl. Area m^2	110,045	110,142	109,831	109,784	110,315	111,079	112,292	114,235	117,043	118,861	115,131	112,774	104,492	97,102

Heel to Starboard deg	0,0	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	50,0	60,0	70,0	80,0	90,0
Prismatic coeff. (Cp)	0,604	0,604	0,605	0,608	0,612	0,618	0,625	0,633	0,642	0,667	0,698	0,695	0,699	0,745
Block coeff. (Cb)	0,367	0,366	0,367	0,370	0,377	0,391	0,414	0,446	0,445	0,479	0,528	0,522	0,560	0,653
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	8,768	8,768	8,769	8,770	8,771	8,774	8,776	8,780	8,783	8,790	8,796	8,800	8,798	8,792
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	8,171	8,174	8,249	8,348	8,440	8,523	8,597	8,674	8,758	8,919	9,097	9,264	9,551	9,711
Max deck inclination deg	1,2890	5,1609	10,0759	15,0427	20,0239	25,0125	30,0056	35,0019	40,0003	50,0003	60,0011	70,0010	80,0003	90,0000
Trim angle (+ve by stern) deg	1,2890	1,2851	1,2601	1,1856	1,0633	0,9001	0,7020	0,4742	0,2264	-0,3072	-0,9312	-1,6544	-2,5733	n/a

Key point	Type	Immersion angle deg	Emergence angle deg
Margin Line (immersion pos = -1,043 m)		32,9	n/a
Deck Edge (immersion pos = -1,043 m)		34,3	n/a
DF point	Downflooding point	46,8	0
DF point	Downflooding point	Not immersed in positive range	0

Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
Heeling arm, combined criteria (stand alone)	Combined criteria (ratio of areas type 1) - lifting of weights heeling arm				Pass	
	Angle of steady heel shall be less than (<)	10,0	deg	4,1	Pass	+59,25
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 0 to 30	3,1513	m.deg	6,2605	Pass	+98,67
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 0 to 40	5,1566	m.deg	11,5785	Pass	+124,54
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 30 to 40	1,7189	m.deg	5,3180	Pass	+209,38
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.2: Max GZ at 30 or greater	0,200	m	1,076	Pass	+438,00
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.3: Angle of maximum GZ	25,0	deg	80,0	Pass	+220,00
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.4: Initial GMt	0,150	m	0,928	Pass	+518,67
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.5: Passenger crowding: angle of equilibrium	10,0	deg	2,0	Pass	+79,79
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.6: Turn: angle of equilibrium	10,0	deg	2,0	Pass	+79,79
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.2.2: Severe wind and rolling				Pass	
	Angle of steady heel shall not be greater than (<=)	16,0	deg	7,9	Pass	+50,78

Stability calculation - Ciudad de Cartagena

Stability 22.03.00.121, build: 121

Model file: C:\Users\Usuario\Desktop\TFG\Modelo 3D\Maxsurf\Estudio de estabilidad\Ciudad de Cartagena (Highest precision, 221 sections, Trimming off, Skin thickness not applied). Long. datum: AP; Vert. datum: Baseline. Analysis tolerance - ideal(worst case): Disp.%; 0,00100(0,010); Trim%(LCG-TCG): 0,00100(0,010); Heel%(LCG-TCG): 0,00100(0,010)

Loadcase - Llegada a puerto

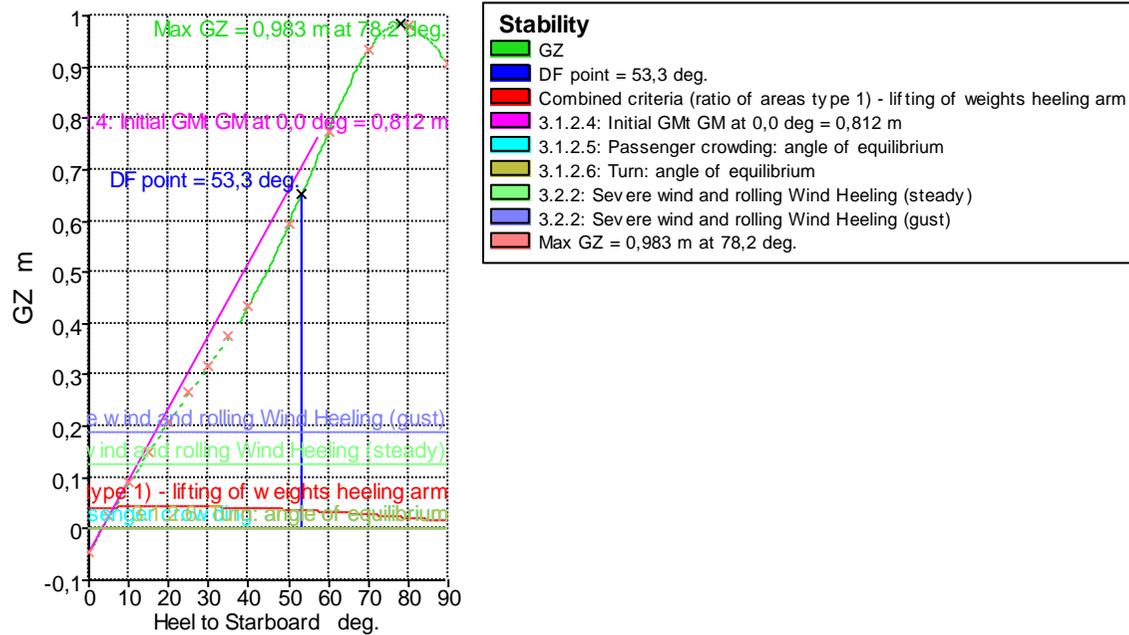
Damage Case - Intact

Free to Trim

Specific gravity = 1,025; (Density = 1,025 tonne/m³)

Fluid analysis method: Use corrected VCG

Item Name	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m ³	Total Volume m ³	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m	Total FSM tonne.m	FSM Type
Rosca	1	138,340	138,340			8,731	0,005	2,532	0,000	
.										
A. DULCE TA 1	10%	4,731	0,473	4,731	0,473	18,450	0,000	1,622	1,299	IMO A.749(18)
AGUA DULCE TA.5 BR	10%	2,667	0,267	2,667	0,267	7,801	-1,412	0,434	0,000	IMO A.749(18)
AGUA DULCE TA.5 ER	10%	2,667	0,267	2,667	0,267	7,801	1,412	0,434	0,000	IMO A.749(18)
SUBTOTAL TANQUES DE AGUA			139,346			8,761	0,005	2,521	1,299	
.										
COMB. TC 2	10%	3,125	0,312	3,720	0,372	16,088	0,000	0,466	1,686	IMO A.749(18)
COMB. TC 3 BR	10%	2,780	0,278	3,310	0,331	13,267	-0,331	0,326	0,000	IMO A.749(18)
COMB. TC 3 ER	10%	2,791	0,279	3,322	0,332	13,253	0,338	0,330	0,000	IMO A.749(18)
COMB. TC 4 BR	10%	3,475	0,348	4,137	0,414	10,248	-0,392	0,175	0,000	IMO A.749(18)
COMB. TC 4 ER	10%	3,475	0,348	4,137	0,414	10,248	0,392	0,175	0,000	IMO A.749(18)
COMB. TSD. 1	10%	0,618	0,062	0,736	0,074	2,664	-2,246	2,083	0,000	IMO A.749(18)
COMB. TSD. 2	10%	0,992	0,099	1,181	0,118	2,691	-1,494	1,724	0,000	IMO A.749(18)
COMB. TC. 6 BR	10%	4,207	0,421	5,008	0,501	1,325	-1,641	2,129	0,000	IMO A.749(18)
COMB. TC. 6 ER	10%	5,990	0,599	7,131	0,713	2,181	1,664	1,983	0,000	IMO A.749(18)
SUBTOTAL TANQUES DE COMBUSTIBLE	10%	27,452	2,745	32,682	3,268	7,953	0,008	1,032	1,686	
.										
AC. H. TAC. 7	10%	1,338	0,134	1,455	0,145	2,635	-0,751	1,440	0,000	IMO A.749(18)
AC. H. TAC. 8	10%	1,598	0,160	1,737	0,174	2,570	0,025	1,166	0,000	IMO A.749(18)
SUBTOTAL TANQUES DE ACEITE	10%	2,936	0,294	3,192	0,319	2,600	-0,329	1,291	0,000	
.										
PERSONAS	15	0,100	1,500			15,500	0,000	5,000	0,000	User Specified
PERTRECHOS	0,1	0,750	0,075			17,500	0,000	3,200	0,000	User Specified
PESO GRUA	1	1,095	1,095			9,500	5,400	7,200	0,000	User Specified
Total Loadcase			145,055	45,938	4,594	8,813	0,045	2,551	2,984	
FS correction								0,021		
VCG fluid								2,572		



Heel to Starboard deg	0,0	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	50,0	60,0	70,0	80,0	90,0
GZ m	-0,045	0,024	0,089	0,151	0,210	0,265	0,319	0,374	0,435	0,596	0,776	0,936	0,981	0,905
Area under GZ curve from zero heel m.deg	0,0000	-0,0505	0,2349	0,8368	1,7400	2,9276	4,3859	6,1182	8,1316	13,2671	20,1135	28,7263	38,4272	47,9182
Displacement t	145,1	145,1	145,1	145,1	145,1	145,1	145,1	145,1	145,1	145,1	145,1	145,1	145,1	145,1
Draft at FP m	1,975	1,978	1,982	1,987	1,988	1,982	1,964	1,929	1,870	1,635	1,165	0,250	-2,610	n/a
Draft at AP m	2,548	2,539	2,513	2,471	2,412	2,332	2,229	2,099	1,936	1,473	0,735	-0,560	-4,328	n/a
WL Length m	21,233	21,264	21,294	21,324	21,354	21,382	21,409	21,436	21,462	21,471	21,354	21,997	22,781	23,341
Beam max extents on WL m	6,320	6,333	6,352	6,390	6,380	6,355	6,347	6,366	6,427	6,493	6,079	6,714	5,246	4,947
Wetted Area m^2	156,426	155,450	154,810	154,650	154,613	154,842	155,489	156,614	158,227	162,813	166,606	163,100	152,420	152,211
Waterpl. Area m^2	105,765	104,512	103,564	103,118	102,727	102,805	103,684	105,490	108,278	116,107	116,200	117,481	100,713	95,304
Prismatic coeff. (Cp)	0,574	0,574	0,577	0,582	0,588	0,595	0,603	0,611	0,619	0,637	0,666	0,670	0,676	0,693
Block coeff. (Cb)	0,322	0,322	0,325	0,332	0,346	0,367	0,395	0,431	0,431	0,424	0,465	0,423	0,557	0,607
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	8,779	8,780	8,782	8,785	8,788	8,793	8,798	8,804	8,809	8,820	8,829	8,836	8,841	8,842

Heel to Starboard deg	0,0	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	50,0	60,0	70,0	80,0	90,0
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	8,105	8,219	8,323	8,405	8,475	8,535	8,586	8,632	8,683	8,813	8,885	9,000	9,187	9,227
Max deck inclination deg	1,6832	5,2624	10,1159	15,0613	20,0327	25,0162	30,0069	35,0021	40,0002	50,0007	60,0020	70,0021	80,0012	90,0000
Trim angle (+ve by stern) deg	1,6832	1,6494	1,5581	1,4216	1,2438	1,0282	0,7789	0,4996	0,1948	-0,4760	-1,2646	-2,3776	-5,0332	n/a

Key point	Type	Immersion angle deg	Emergence angle deg
Margin Line (immersion pos = -1,043 m)		41,4	n/a
Deck Edge (immersion pos = -1,043 m)		42,8	n/a
DF point	Downflooding point	53,3	0
DF point	Downflooding point	Not immersed in positive range	0

Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
Heeling arm, combined criteria (stand alone)	Combined criteria (ratio of areas type 1) - lifting of weights heeling arm				Pass	
	Angle of steady heel shall be less than (<)	10,0	deg	6,3	Pass	+36,55
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 0 to 30	3,1513	m.deg	4,3859	Pass	+39,18
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 0 to 40	5,1566	m.deg	8,1316	Pass	+57,69
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.1: Area 30 to 40	1,7189	m.deg	3,7457	Pass	+117,91
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.2: Max GZ at 30 or greater	0,200	m	0,983	Pass	+391,50
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.3: Angle of maximum GZ	25,0	deg	78,2	Pass	+212,74
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.4: Initial GMt	0,150	m	0,812	Pass	+441,33
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.5: Passenger crowding: angle of equilibrium	10,0	deg	3,2	Pass	+67,80
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.1.2.6: Turn: angle of equilibrium	10,0	deg	3,2	Pass	+67,80
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships	3.2.2: Severe wind and rolling				Pass	
	Angle of steady heel shall not be greater than (<=)	16,0	deg	12,9	Pass	+19,63

Bibliografía

- García López, D. Hidrostática, apuntes de clase. Universidad Politécnica de Cartagena. 2019.
- García López, D. Hidrodinámica, apuntes de clase. Universidad Politécnica de Cartagena. 2020.
- Gutiérrez Romero, J.E. Proyectos: Proyecto del timón, apuntes de clase. Universidad Politécnica de Cartagena, 2020.
- Holtrop, J. A statistical re-analysis of resistance and propulsion data. International Shipbuilding Progress. 1984.
- Van Oortmerssen, G. A power prediction method and its application to small ships. International Shipbuilding Progress. 1971.
- Baquero Mayor, A. Consideraciones sobre la maniobrabilidad del buque durante la fase de anteproyecto del mismo. Ingeniería Naval, 1982, 566.
- García Gomez, Amadeo. Predicción de potencia y optimización del bulbo de proa en buques pesqueros.
- Yide Shen, Expressions of the B_P - δ diagrams in polynomial for marine propeller series, Transactions RINA 1993.
- Van Oortmerssen, G. A power prediction method and its application to small ships. International Shipbuilding Progress. 1971.
- Holtrop, J. A statistical re-analysis of resistance and propulsion data. International Shipbuilding Progress. 1984.
- Martín Pérez, FJ. Apuntes de electricidad aplicada a los buques. 2ª Edición. ECU. 2009.
- Campuzano de Paco, J.V. TFG Elaboración de recursos didácticos a bordo de un buque. Universidad Politécnica de Cartagena. 2017.
- Morcillo Martínez, D. TFG Reconversión de un buque portacontenedores a un buque de carga general. Universidad Politécnica de Cartagena.
- www.armada.defensa.gob.es
- www.boe.es
- www.marinevision.es

- www.iguerra.com
- www.isotools.org
- www.dnvgl.es
- www.rtrillo.com
- www.lofrans.com.es