



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

Diseño preliminar del buque de guerra: estudio y análisis de las formas, coeficientes, y estabilidad estática de la plataforma PAM.

Grado en Ingeniería Mecánica

ALUMNO: Ana M^a Andúa Conde

DIRECTORES: Pedro Jesús Carrasco Pena

Gerardo González-Cela Echevarría

CURSO ACADÉMICO: 2023-2024

Universida_{de}Vigo



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

Diseño preliminar del buque de guerra: estudio y análisis de las formas, coeficientes, y estabilidad estática de la plataforma PAM.

Grado en Ingeniería Mecánica
Intensificación en Tecnología Naval
Cuerpo General

UniversidadeVigo

RESUMEN

El estudio del diseño conceptual de una plataforma para buques patrulleros de altura (PAM) culminó con el desarrollo de una propuesta final apoyada en el estudio de una base de datos sobre la que se aplicaron métodos estadísticos y matemáticos tradicionales en ingeniería naval para la obtención de los parámetros básicos dimensionales del buque. Asimismo, se elaboró en paralelo que tuviera en consideración la importancia del medio ambiente y cómo afectaría su construcción al mismo.

Siguiendo esta misma línea, la segunda etapa de diseño -diseño preliminar- requiere entre otras cosas la definición final de formas y contornos del buque para efectuar los cálculos de estabilidad estática del buque intacto. Las formas necesarias se ordenan como en una matriz de datos sobre la que se aplicaron métodos numéricos.

De esta forma, se calcularon los parámetros y coeficientes necesarios para analizar la estabilidad de la plataforma con técnicas de integración aproximadas y aproximación de funciones en base a polinomios de distintos grados o regresiones lineales entre otras.

Una vez obtenidas las curvas hidrostáticas de la plataforma, se verificaron los criterios de estabilidad de Rahola, OMI y OTAN, concluyendo que la plataforma es viable y, por tanto, se puede llevar a cabo el resto de cálculos de esta fase, siendo necesario un cálculo en profundidad del KG (centro de gravedad) del PAM.

PALABRAS CLAVE

Diseño preliminar, estabilidad inicial, métodos numéricos, Simpson, curvas hidrostáticas.

AGRADECIMIENTOS

Mis primeras palabras de agradecimiento van dirigidas a mi familia y amigos, por el apoyo constante que me han dado a lo largo de estos 5 años. Gracias también a Mane, mi pareja, que no ha dejado de motivarme para sacar lo mejor de mí.

Para mis tutores, TN Pedro Jesús Carrasco Pena y CF Gerardo González-Cela Echevarría, solo tengo palabras de agradecimiento. Sin su atención e implicación desde el primer día, no habría sido posible sacar adelante este trabajo.

Por último, agradecer a mi promoción 424-154, en especial a mis compañeras y amigas de camareta. Cada uno de ellos ha aportado su granito de arena para hacer de estos años, los más recordados de mi vida.

CONTENIDO

Contenido	1
Índice de Figuras	1
Índice de Tablas.....	3
ACRÓNIMOS	4
1 Introducción y objetivos.....	5
1.1 Motivación del trabajo	5
1.2 Caracterización del problema: la importancia de la estabilidad.	5
1.2.1 Buque “Estonia”.	5
1.2.2 Buque “Herald of Free Enterprise”.....	6
1.2.3 Vasa	6
1.2.4 Réplica de la nao “Victoria”	7
1.3 Objetivos	8
1.4 Metodología.	8
2 Estado del arte	9
2.1 El proyecto conceptual de la plataforma PAM	9
2.1.1 Conclusiones del TFG 21-22	9
2.2 Actualidad del buque de guerra y el concepto de patrullero.....	10
2.3 Recordatorio de las fases de diseño del buque de guerra y la plataforma PAM.....	11
2.3.1 Primera Fase: Estudios de pre-vialidad y diseño conceptual.....	11
2.3.2 Segunda Fase: Estudios de viabilidad y diseño preliminar	11
2.3.3 Tercera Fase: Definición del proyecto y proyecto de contrato	13
2.3.4 Cuarta Fase: Proyecto de detalle y construcción del buque prototipo.....	13
2.4 Reglamentación.....	14
2.4.1 Organización Marítima Internacional.....	14
2.4.2 Las sociedades de clasificación	14

2.4.3 Publicación I-CP-03 (B) de Armada.....	14
2.5 Cálculo numérico aproximado e integración mecánica.	14
2.5.1 Coeficientes de forma.	15
2.6 Introducción al cálculo numérico.....	16
2.6.1 Regla del trapecio	18
2.6.2 Primera regla de Simpson.....	19
2.7 Análisis de estabilidad	21
2.7.1 Las curvas hidrostáticas.....	22
2.7.2 Cartilla de trazado.....	22
2.7.4 Curva de KB	23
2.7.5 Curva de volumen y desplazamiento.....	23
2.7.6 Curva de radio metacéntrico.....	23
2.7.7 Curvas de áreas de flotación y toneladas por centímetro de inmersión.....	23
2.7.8 Posición longitudinal del KB.....	24
2.7.9 Curva centro de gravedad de la flotación	24
2.7.10 Cálculo del KG	24
2.7.11 Hidrostáticas	24
2.7.12 Curvas de Bonjean.....	25
2.7.13 Curvas de KN	26
2.7.14 Curvas de estabilidad.....	27
2.8 Principios básicos de estabilidad.....	27
2.9 Criterios de estabilidad.....	28
2.9.1 Criterio de Rahola.....	28
2.9.2 Criterio OTAN.....	29
2.9.3 Criterio de la OMI	29
3 Desarrollo del TFG.....	30
3.1 Ampliación y mejora de planos.	30
3.2 Estudio de la estabilidad de la plataforma PAM.....	31
3.2.1 Cartilla de trazado.....	31
3.2.2 Volumen de carena	32
3.2.3 Curva de centros de carena KB	32
3.2.4 Curva de volumen y desplazamiento.....	33
3.2.5 Radios metacéntricos	34
3.2.6 Curvas de áreas de flotación y toneladas por centímetro de inmersión.....	35
3.2.8 Cálculo del KG	37
3.2.9 Hidrostáticas	38

3.2.10	Curvas de Bonjean	38
3.2.11	Representación gráfica de Bonjean.	39
3.2.12	Posición longitudinal del KB	39
3.2.13	Curvas de KN	40
3.2.14	Curvas de estabilidad	41
3.2.15	Aproximación KG y nuevo cálculo de curvas de estabilidad.	42
3.2.16	Criterios de estabilidad	43
4	Análisis de los resultados.	44
4.1	Análisis de resultados generales del presente TFG.....	44
4.1.1	Volúmenes y centros de carena	44
4.1.2	Parámetros hidrostáticos	44
4.1.3	Coeficientes de forma	45
4.1.4	Curvas de estabilidad estática	45
4.2	Comparación de resultados con el TFG de 2022	45
4.3	Análisis de los criterios estabilidad.....	46
4.3.1	Criterio de la OMI.	46
4.3.2	Criterio de Rahola.	46
4.3.3	Criterio OTAN.....	47
	Conclusiones y líneas futuras	48
4.4	Conclusiones.	48
4.4.1	Conclusiones del TFG	48
4.4.2	Conclusiones personales.	48
4.5	Líneas futuras	49
	Bibliografía.....	50
	Anexo I: Implicaciones Sociales, Económicas y Ambientales	52
	Anexo II: Reflexiones Éticas y Sociales	53
	Anexo III: Cálculos numéricos.....	54
	Anexo IV: Plano de formas	55

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Perfil buque Estonia.	6
Figura 1-2 : Plano del buque “Herald of Free Enterprise”	6
Figura 1-3: Comparación navíos características similares	7
Figura 1-4 : Planos nao “Victoria”	7
Figura 1-5 : Metodología análisis de estabilidad (elaboración propia)	8
Figura 2-1 : Misiones actuales.....	10
Figura 2-2 : Representación geográfica presencia naval.....	10
Figura 2-3 : Proceso de obtención del modelo físico	12
Figura 2-4 : Disposición esquemática de un sistema de combate actual.....	13
Figura 2-5: Dimensiones implicadas en el cálculo de coeficiente de la maestra	15
Figura 2-6: Dimensiones implicadas en el cálculo de coeficiente de área de flotación	16
Figura 2-7: Curva con secciones equidistantes	17
Figura 2-8 : Representación cálculo de momento	18
Figura 2-9: Representación curva con secciones equidistantes.....	19
Figura 2-10: Representación cálculo para tres coordenadas	20
Figura 2-11: Representación cálculo de áreas para $n = \text{par}$	20
Figura 2-12: Representación cálculo de áreas para n impar.....	21
Figura 2-13: Ejemplo curvas hidrostáticas.....	22
Figura 2-14: Representación curvas de Bonjean	25
Figura 2-15 Representación aproximada curvas de Bonjean	25
Figura 2-16: Esquema estabilidad	26
Figura 2-17 : Puntos estudiados en los principios básicos de estabilidad	27
Figura 3-1 : Plano líneas de agua 2022 (arriba) y 2024	30
Figura 3-2: Plano transversales 2022 (arriba) y 2024	31
Figura 3-3: Ejemplo medición semimangas en AutoCAD.....	32
Figura 3-4: Representación cartilla de trazado.....	32

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1:Características PAM (fuente: TFG 2022)	9
Tabla 2-2: Cálculo CKN.....	26
Tabla 2-3 : Resumen “Regla de los mínimos.” [23].....	28
Tabla 2-4: Resumen área bajo curva GZ [24]	29
Tabla 3-1: Resumen cálculo KB.	33
Tabla 3-2 : Resumen valores volumen y desplazamiento	33
Tabla 3-3 : Resumen resultados radios metacéntricos	34
Tabla 3-4 : Resumen Área de flotación y ton/cm inmersión.....	35
Tabla 3-5: Resumen posición KG	37
Tabla 3-6 :Resultados KG	38
Tabla 3-7 : Ecuaciones de áreas por secciones.....	38
Tabla 3-8 : Resumen resultados KBL.	39
Tabla 3-9: Resumen valores obtenidos KN.....	41
Tabla 4-1: Resumen criterios OMI.....	46
Tabla 4-2: Resumen criterios OMI.....	46
Tabla 4-3: Resumen criterios OTAN	47

ACRÓNIMOS

ABS: *American Bureau of Shipping*

L.A: *Línea de agua*

L.B: *Línea base*

Lpp: *Eslora entre perpendiculares*

NST: *Objetivos Tácticos Consolidados*

NSR: *NATO Staff Requirements*

OMI: *Organización Marítima Internacional*

ONST: *Objetivos tácticos Generales*

PAM: *Patrullero de altura multipropósito*

SC: *Sistema de Combate*

ZEE: *Zona Económica Exclusiva*

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1 Motivación del trabajo

Los patrulleros de altura desempeñan un eslabón fundamental en la cadena de la defensa de la soberanía territorial y control y supervisión de la Zona Económica Exclusiva (ZEE). Para conseguir la vigilancia y control del tráfico marítimo, la protección de la navegación o del medio ambiente marino se necesitan buques capaces de desempeñar estas funciones. En este contexto, se destaca la importancia del desarrollo de patrulleros que sean asequibles económicamente y que consigan una capacidad operativa y táctica óptima.

En el marco de este desafío, este trabajo se centra en la fase 2 del desarrollo, con el fin de analizar parámetros relacionados con las formas y la estabilidad fundamentalmente sobre una plataforma de la que se desarrolló el concepto denominado PAM.

Un elemento fundamental en cualquier buque es la estabilidad, que se define de forma general como “todo aquello que se mantiene sin peligro de cambiar, caer o desaparecer”. En los buques, se trata de la propiedad que estos tienen de recuperar el estado inicial y mantenerse a flote en condiciones de no equilibrio, cuando un elemento interno o externo actúa sobre él y provoca un momento [1].

Con el estudio del comportamiento del buque en distintas condiciones de carga se podrá conocer mejor el comportamiento de la plataforma, asegurando que su estabilidad estática es la adecuada.

Uno de los elementos fundamentales para definir el comportamiento estático de un buque son las curvas hidrostáticas. Con estas se puede conocer el estado de la plataforma en diferentes condiciones de carga a partir del plano de formas o cartilla de trazado. Para comprobar la estabilidad de la plataforma PAM en este TFG, será necesario aplicar herramientas matemáticas que nos den razón objetiva sobre la calidad de esta plataforma.

1.2 Caracterización del problema: la importancia de la estabilidad.

Los principales factores para el control de la estabilidad son el reparto de pesos y el estudio de formas del buque. A continuación, presentamos unos accidentes que podían haberse evitado con un correcto análisis de su estabilidad en los estados iniciales del proyecto y en los que la estabilidad fue determinante. En el caso de los dos primeros, “Estonia” y “Herald of Free Enterprise”, la pérdida fue como consecuencia de una inadecuada estabilidad en avería y no en estabilidad estática, como fue el caso del resto que se van a comentar.

1.2.1 Buque “Estonia”.

El 25 de septiembre de 1994, el ferry ‘Estonia’, de 155 metros de eslora y 60 de puntal, pretendía hacer su usual tránsito de Tallin, capital de Estonia, a Estocolmo, capital de Suecia. Ese día se contaban 989 personas a bordo. Navegaba a 26 nudos cuando una tormenta de grandes dimensiones sorprendió al

buque. Durante la tormenta, las amarras que sujetaban las compuertas cedieron. Al abrirse estas, comenzó a entrar agua de forma incontrolable. En 27 minutos el buque yacía a 85 metros de profundidad con 852 personas en su interior [2]. La figura 1-1 muestra el plano de perfil del buque “Estonia” así como un esquema del reparto del puente de gobierno.

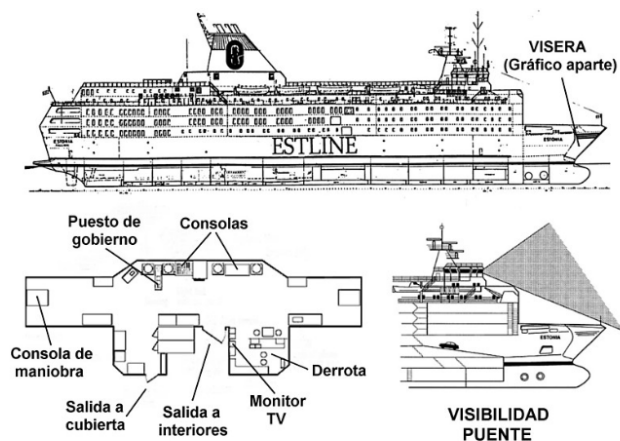


Figura 1-1: Perfil buque Estonia.
(fuente grijalvo.com)

1.2.2 Buque “Herald of Free Enterprise”

En marzo del año 1987, el ferry “Herald of Free Enterprise” realizaba un tránsito entre Zeebrugge (costa de Bélgica) y Dover (Inglaterra). Tras el embarque de 459 pasajeros, 25 coches, 3 autobuses y 47 tráileres, el ferry de 132 metros de eslora salió en demanda del puerto de Dover. Tras una cadena de errores, el buque se hizo a la mar con la compuerta de embarque de vehículos abierta. Lo primeros 30 segundos se embarcaron alrededor de dos mil toneladas de agua. Esto provocó 30 grados de escora y la pérdida de estabilidad. Fallecieron 150 pasajeros y 38 tripulantes [3]. La figura 1-2 muestra el plano de perfil de la plataforma y la vista en planta de la cubierta superior.

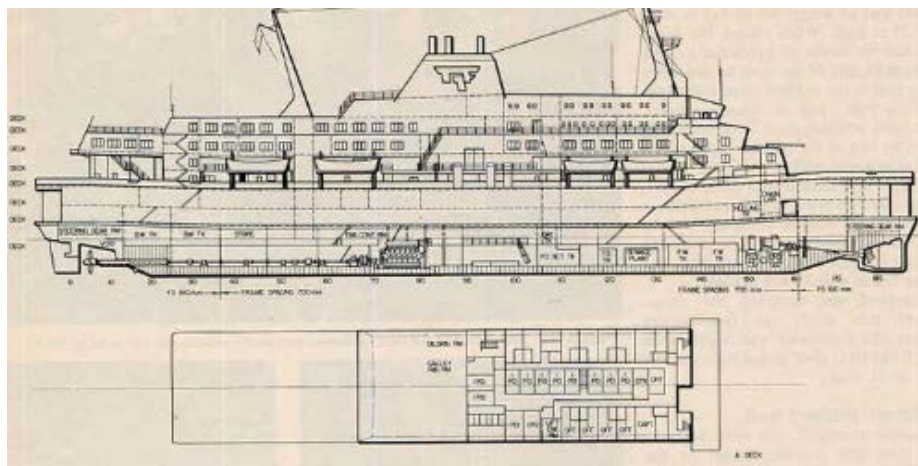


Figura 1-2 : Plano del buque “Herald of Free Enterprise”
(fuente worthpoint.com)

1.2.3 Vasa

El 10 de agosto de 1628 tuvo lugar el primer y último viaje del navío de guerra de la Armada de Suecia. A menos de una milla de puerto, una ráfaga de viento escoró la nave y provocó entradas de agua por las diferentes troneras de los costados. Se hundió a los pocos minutos con 120 tripulantes. Estudios posteriores revelaron que el origen del accidente yacía en el mal cálculo al construirlo; era demasiado alto para su manga [4].

En la figura 1-3 vemos una comparativa entre dos navíos con características muy similares en cuanto a número de cañones, el de la izquierda posee una mayor manga y obra viva que el “Vasa” (derecha)

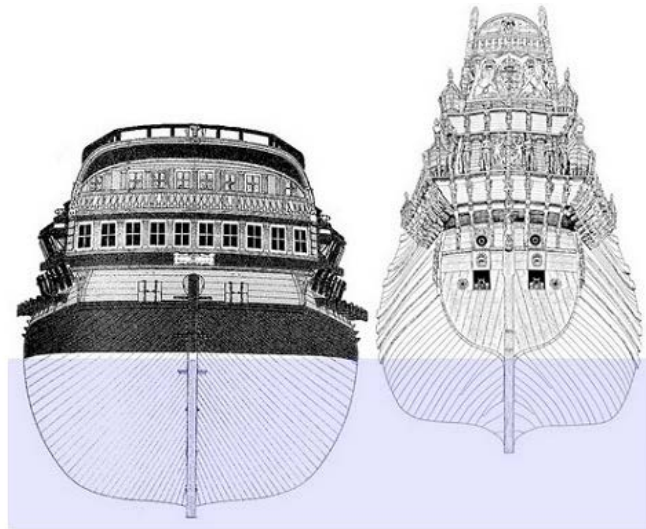


Figura 1-3: Comparación navíos características similares
(fuente academiacajander.com)

1.2.4 Réplica de la nao “Victoria”

El 23 de noviembre de 1991, en Isla Cristina (Huelva), se consiguió botar la primera réplica de las naves que consiguieron dar la vuelta al mundo con Juan Sebastián de Elcano, pero a 20 metros de la rampa de salida, la plataforma volcó. El primer motivo que lo provocó fue que uno de los empujadores tiró hacia el lateral en lugar de hacia el frente. Pero el motivo fundamental fue que la nave debía llevar 60 toneladas como peso de lastre y solo contaba con 5, por lo que no pudo recuperar [5].

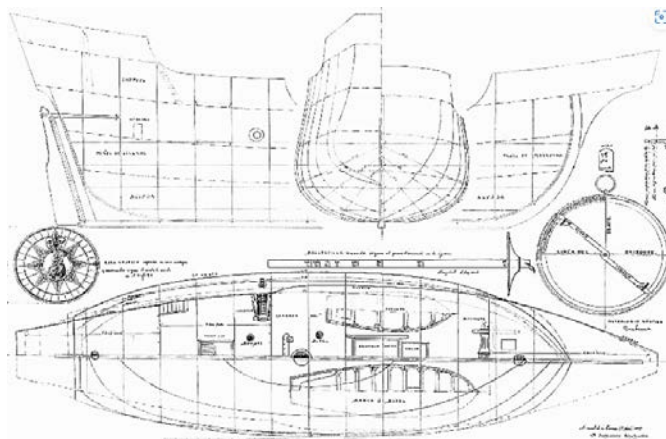


Figura 1-4 : Planos nao “Victoria”
(fuente: Comisión Arqueológica Ejecutiva)

1.2.5 “Nazmiye Ana”

El carguero procedente de Panamá, atracado en el puerto de Castellón, volcó el 28 de mayo de 2021 cuando estaba embarcando un contenedor en la cubierta superior. Este carguero no estaba capacitado para llevar carga en esta cubierta. El reparto inadecuado de pesos provocó su giro de 180°, quedando totalmente invertido y provocando la muerte de dos personas [6].

1.3 Objetivos

El objetivo principal de este TFG es elaborar un estudio de la estabilidad de la plataforma PAM, para conocer cuáles son sus características de estabilidad estática. Además, se consideran los siguientes objetivos intermedios:

- Análisis del estado del arte sobre las bases bibliográficas más recientes que nos permitan conocer herramientas aplicables a este estudio.
- Emplear, explicar y entender modelos matemáticos para analizar las formas obtenidas y su comportamiento como flotador.
- Uso y manejo de aplicaciones utilizadas en arquitectura naval para mejorar el diseño conceptual y verificar su validez o necesidad de mejora.

1.4 Metodología.

La metodología que hemos seguido en este TFG consiste en:

1. Trazado de plano de formas apoyándonos en herramientas informáticas (AutoCad y Excel) para obtener la matriz de datos que define la geometría del flotador.
2. Determinar los parámetros para analizar la estabilidad estática del buque apoyándonos en métodos numéricos, ajustes de curva por regresiones lineales y polinomiales.
3. Obtención de la representación gráfica de las curvas hidrostáticas del buque sobre la base matemática anterior, que nos permita el análisis de la estabilidad.
4. Aplicación de los criterios de estabilidad escogidos para determinar su cumplimiento.
5. Análisis de resultados y obtención de las conclusiones.

La Figura 1-5 muestra una esquematización de los pasos que se han seguido para el desarrollo de este TFG.

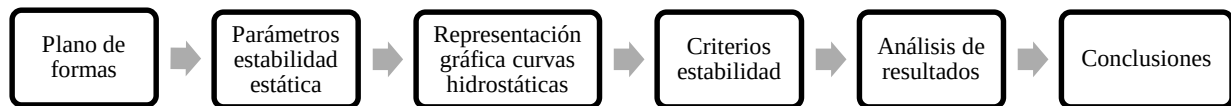


Figura 1-5 : Metodología análisis de estabilidad
(elaboración propia)

2 ESTADO DEL ARTE

Este capítulo se enfoca en examinar la importancia de los buques de guerra en la Armada, especialmente en los patrulleros, así como en analizar sus fases de diseño. También estudiaremos los coeficientes necesarios para conocer si el PAM posee una estabilidad adecuada para poder pasar a la tercera fase de diseño, así como los modelos matemáticos usados para obtener el valor de estos coeficientes. Por último, citaremos los criterios de estabilidad que vamos a usar para verificar si su condición de carga es segura.

2.1 El proyecto conceptual de la plataforma PAM

El desarrollo del proyecto conceptual de la plataforma PAM, dio como resultado un patrullero de navegación oceánica de dimensiones relativamente pequeñas con las características que podemos ver resumidas en la Tabla 2-1:

PAM Características	
Loa (m)	63
Lpp (m)	57
B (m)	11
T (m)	3
D (m)	6
Potencia (kW)	12,800
Δ (t)	870
LS (t)	550
DW (t)	320
S (m ²)	32,615
Am (m ²)	26.70
Af (m ²)	589
LCG (m)	29.35
KG (m)	4.50
Autonomía (nm)	2,500
Velocidad (kn)	24

Tabla 2-1:Características PAM

(fuente: TFG “Diseño conceptual de un patrullero de altura” curso 2021-2022)

2.1.1 Conclusiones del TFG 21-22

Este trabajo culminó cumpliendo el objetivo principal del proyecto, que era el de completar la espiral de diseño conceptual de un patrullero de altura polivalente. Además, en su desarrollo se alcanzaron otros objetivos que valdrán como punto de partida para fases superiores.

Sobre la plataforma se desarrolló un buque que permitiría definir distintas aplicaciones, dada la configuración de espacios amplios que se consideraron en la elaboración de la disposición general, partiendo de los parámetros de diseño y formas. Esto facilitaría la diversificación en fases futuras.

2.2 Actualidad del buque de guerra y el concepto de patrullero.

Las Fuerzas Armadas participan actualmente en 17 misiones por todo el mundo además de llevar a cabo los continuos ejercicios de adiestramiento que se realizan para conseguir la preparación óptima del personal. Más de 3000 militares se encuentran desplegados por tierra y mar en cuatro continentes. Para el año 2024 se prevé que esta cifra siga en ascenso [7]. En la Figura 2-1 podemos ver las zonas de operación aprobadas para el año 2024 para el personal militar español.

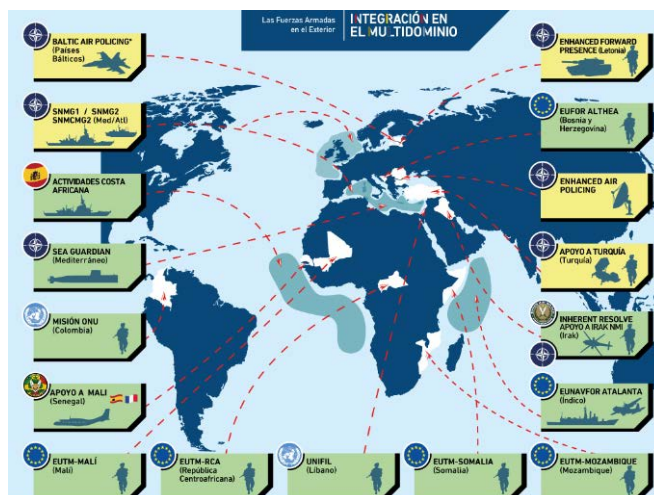


Figura 2-1 : Misiones actuales
(fuente: Ministerio de Defensa)

En este contexto, se aprecia la importancia de la inversión en medios y materiales para la defensa de la soberanía y el mantenimiento de la paz como país miembro de la OTAN.

La Armada cuenta con una gran variedad de unidades. Cada grupo desempeña distintas funciones y son llamadas para distintas actuaciones. Este TFG se centra en los patrulleros de altura.

Los patrulleros realizan la vigilancia en los espacios marítimos de soberanía, analizar el tráfico marítimo, así como llevan a cabo operaciones de rescate y asistencia en la mar [8].

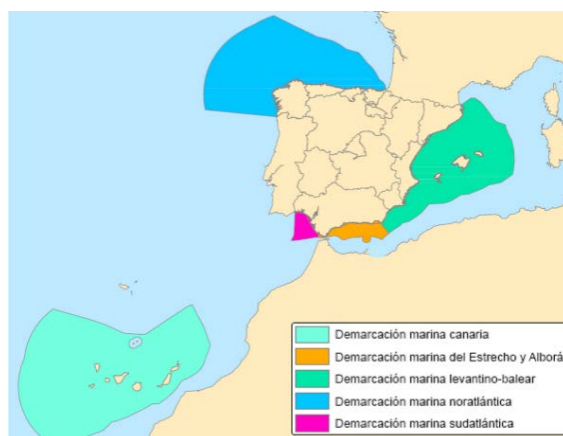


Figura 2-2 : Representación geográfica presencia naval
(fuente: fsupervielle.com)

La Figura 2-2 marca los espacios geográficos que requieren la acción de patrulleros en la actualidad.

Contando con su presencia en la operación Atalanta y en las operaciones que se realizan en el Golfo de Guinea, y siendo estos dos sus principales focos de actuación, la Armada requiere de seis patrulleros para poder ejercer exclusivamente en ambos escenarios. Considerando el ciclo operativo, mientras dos de estos ejecutan sus respectivas misiones, los restantes se encontrarán en diferentes fases de su ciclo, tales como mantenimiento, adiestramiento y alistamiento [8].

Otros espacios requieren de presencia naval, tales como Canarias, el Estrecho, y las zonas norte y este peninsular. Teniendo en cuenta el ciclo operativo mencionado, se requieren otros ocho patrulleros más. Una vez analizados las ubicaciones donde se demanda participación, se puede observar la necesidad de la adquisición de nuevos y duraderos patrulleros que se ajusten a las necesidades actuales. [8]

2.3 Recordatorio de las fases de diseño del buque de guerra y la plataforma PAM

El diseño del buque de guerra se desglosa en cuatro fases fundamentales, que son: el estudio de pre-viabilidad y diseño conceptual, el estudio de viabilidad, proyecto contractual y el proyecto de detalle y construcción, que explicamos brevemente a continuación [9].

2.3.1 Primera Fase: Estudios de pre-viabilidad y diseño conceptual

Esta fase se alcanzó completamente con el proyecto de la plataforma PAM en el año 21-22, cuyos objetivos se describen es el trabajo de 2022 y fundamentalmente pasan por conocer si el estado tecnológico del momento y los requerimientos operativos permiten la obtención de un patrullero adaptado a las necesidades de la Armada.

2.3.2 Segunda Fase: Estudios de viabilidad y diseño preliminar

En la fase de desarrollo del proyecto se establecen una serie de puntos cruciales que deben ser abordados de manera exhaustiva. Estos incluyen la distribución de sensores, armas, sonar y aletas estabilizadoras, así como la configuración de sistemas de combate, mando y control y sistemas de comunicaciones. Además, se definen la disposición de cubiertas, mamparos estancos y compartimentación interna del buque, junto con el estudio de costes de ciclo de vida y la documentación de misiones principales y secundarias. En esta fase se llevan a cabo análisis estructurales y de estabilidad que serán utilizados como base para la continuación del TFG en el desarrollo de fases posteriores. Se realiza una aproximación al dimensionamiento de la plataforma, optimizando los atributos establecidos y considerando factores como masas de sistemas, volúmenes y áreas. Se calculan los coeficientes de formas y el francobordo, y se analiza el estudio de trazado elaborado por la industria, ajustado a los requisitos operativos recogidos en los NST [9].

Otro punto a realizar es la aproximación al dimensionamiento de la plataforma. En el diseño preliminar, los NST fijan las principales características del buque, (velocidad, autonomía, nivel de amenaza y capacidad para combatirla) lo que permite estimar con poco error el peso, volumen y potencia eléctrica necesaria para un funcionamiento adecuado de los sensores. En esta segunda fase y utilizando como referencia los datos obtenidos en la primera fase y otros de similares características, se pueden optimizar los atributos establecidos. Los principales factores para considerar para el cálculo de volúmenes, desplazamiento y áreas son: las masas de los sistemas y los volúmenes y áreas del SC, habitabilidad, etc [9].

Para el cálculo de calado y manga se tendrán en cuenta factores como los diques disponibles o las esclusas de posibles canales en la zona de operaciones de la plataforma. Se establecerá un balance adecuado para conseguir la máxima eficacia afectada por las necesidades de estabilidad inicial. En esta fase también se calcularán los coeficientes de formas y el francobordo de la plataforma.

En este segundo escalón se analizará el estudio de trazado elaborado por la industria, modelo inicial ajustado a los NST. Para ello, se realizará un estudio de los programas desarrollados del SC, cuya detección de errores en etapas posteriores podría ocasionar elevados costes y hasta la detención

de la construcción [9]. Con esto se puede obtener un modelo físico mediante la implementación del siguiente procedimiento:

- 1) Requisitos operativos recogidos en el NST se traducen a lenguaje técnico.
- 2) Lenguaje técnico transformado en función técnica.
- 3) Las funciones anteriores y sus interfaces constituyen el modelo lógico de funciones.
- 4) Asignación de funciones, especificando las que se realizan por “hardware” y las que lo hacen por “software” así como analizar y resolver las interfaces.
- 5) Elaboración de modelo físico que recoja todos los puntos citados, detallando todos los sistemas y equipos del SC.
- 6) Recorrer y evaluar el proceso por si fuera necesario modificación alguna, hasta conseguir el modelo físico definitivo.

En la Figura 2-3 tenemos un esquema que recoge el proceso de obtención del modelo físico que resume los puntos recientemente explicados.

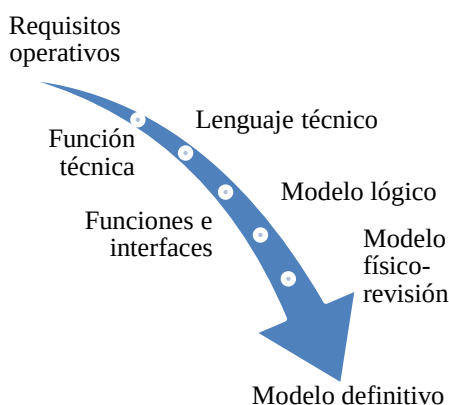


Figura 2-3 : Proceso de obtención del modelo físico
(elaboración propia)

El diseño del SC ha ido evolucionando con los avances de la tecnología, adaptándose a las necesidades de cada plataforma y a la cantidad de amenazas que se desean enfrentar de forma simultánea. Hace años no se tenía la capacidad de ataque y defensa ni los medios para combatir de los que se disponen hoy en día. Esto hace que la arquitectura actual del SC sea más compleja. En la Figura 2-4 se puede observar cómo sería el esquema de la comunicación interior del SC actual [9].

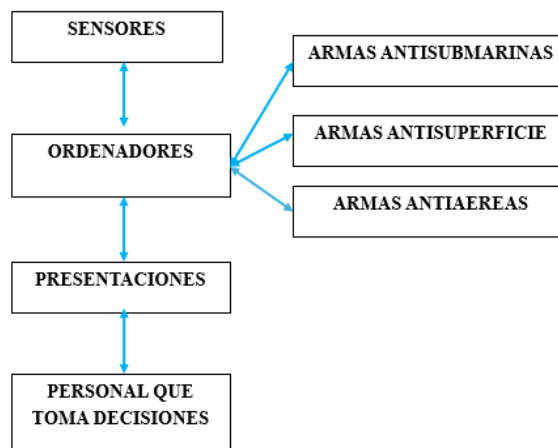


Figura 2-4 : Disposición esquemática de un sistema de combate actual
(elaboración propia)

2.3.3 Tercera Fase: Definición del proyecto y proyecto de contrato

Una vez estudiadas las opciones propuestas en la segunda fase, el objetivo de esta tercera es la elección de una de ellas y elaboración de la definición del proyecto, cumpliendo esta con los Requerimientos Tácticos Finales (NSR NATO Staff Requirements). Los requerimientos son redactados en función de las bases de datos actuales, estudios teóricos y ensayos, de ahí su precisión. Permitirá obtener como mínimo [10]:

- Dimensiones definitivas
- Distribución de compartimentos
- Esquemas de servicios
- Materiales adecuados
- Armas y sensores

En esta etapa del proyecto, se elaboran los documentos esenciales para el contrato, desde los Requerimientos Tácticos Definitivos hasta la aprobación gubernamental. Estos documentos incluyen el dimensionamiento del buque, ensayos, diagramas de sistemas, disposición de la maquinaria, estudios de disponibilidad y fiabilidad, plan logístico, evaluaciones de capacidad de combate y supervivencia, selección de equipos, y análisis de interferencias electromagnéticas, asegurando una correcta ejecución del proyecto [10].

Con el propósito de aumentar la eficiencia operativa y garantizar la sostenibilidad, se llevarán a cabo modelos a escala o de realidad virtual de la disposición de la maquinaria y servicios principales.

Con el Diseño de contrato, el astillero encargado de la construcción debe tener la suficiente información para elaborar el proyecto de contrato [10].

2.3.4 Cuarta Fase: Proyecto de detalle y construcción del buque prototipo.

Una vez se firma el contrato u orden de ejecución, las distintas secciones del astillero constructor desarrollan su parte de forma ordenada y sucesiva. Una vez la Armada recibe el prototipo desarrollado, llega al astillero donde cada una de las secciones se integran de forma sincronizada durante el periodo de garantía, que se extiende hasta el final del año [11].

En esta fase del proyecto, basada en la documentación previa, se establece un orden específico para la elaboración de. Esto incluye la creación de programas detallados de producción, estrategias constructivas, documentación exhaustiva de la construcción, desarrollo de planos de trabajo y especificaciones de compra de equipos principales. Se prioriza la calidad de cada sección de la

plataforma y se actualizan los documentos ante posibles cambios. Además, se emplean modelos a escala real mediante programas de ordenador para prever interferencias y planificar las rutas de mantenimiento necesarias [11].

2.4 Reglamentación

En este capítulo se desarrollarán los principales reglamentos internacionales, considerados como obligatorios por todos los miembros de la Organización Marítima Internacional (IMO).

2.4.1 Organización Marítima Internacional

La OMI, fundada en el año 1959, es el organismo especializado de las Naciones Unidas que se encarga de la seguridad, protección de la navegación y de la prevención de la contaminación del mar por los buques. Para conseguir estos objetivos, la OMI establece una serie de normas buscando que el transporte marítimo sea lo más justo y eficaz.

El transporte marítimo representa aproximadamente el 80% del transporte de mercancías de todo el mundo. Los principales reglamentos asumidos como obligatorios por los 176 miembros de la OMI son [12]:

- 1) SOLAS: Convenio Internacional para la Seguridad de la Vida Humana en el Mar, publicado en el 1974
- 2) MARPOL: Convenio Internacional para prevenir la contaminación por los buques, publicado en 1973 y modificado en 1978 y 1997
- 3) STCW: Convenio Internacional de los estándares de formación, titulación y guardia para la gente de mar modificado en 1995 y 2010.

Además, la OMI tiene otros convenios relacionados con estos tres nombrados. El Reglamento Internacional para prevenir abordajes en la mar (COLREG), el Convenio internacional para el control y la gestión del agua de lastre y los sedimentos de los buques y otro sobre la remoción de precios pueden considerarse de los ejemplos más destacables.

2.4.2 Las sociedades de clasificación

También conocida como sociedad de clasificación naval, es una organización no gubernamental que establece normas y reglamentos para la construcción y mantenimiento de los buques.

Las sociedades de clasificación se ocupan de que los buques cumplan con estándares de seguridad y calidad, emitiendo certificados que verifican que sus características son acordes a las exigidas por los estándares. Realizan inspecciones periódicas de seguridad para asegurar el continuo cumplimiento de las normas [13].

2.4.3 Publicación I-CP-03 (B) de Armada

En esta publicación se encuentra la doctrina sobre los conceptos importantes relacionados con la estabilidad en los buques. El documento abarca una amplia variedad de temas relacionados con la estabilidad y el equilibrio del buque, proporcionando detalles sobre aspectos como la geometría de la carena, los principios de flotabilidad y estabilidad, los efectos del calado en la estabilidad y las condiciones de carga. También incluye información sobre planes de achique, consumo y trasiego de pesos, así como sobre medios para realizar cálculos y evaluar el efecto de los pesos en la estabilidad transversal y longitudinal [14].

2.5 Cálculo numérico aproximado e integración mecánica.

En esta parte del TFG expondré la matemática aplicada a este tipo de estudios, tanto para determinar coeficientes adimensionales como para calcular y analizar la estabilidad y los modelos matemáticos asociados a la plataforma PAM.

2.5.1 Coeficientes de forma.

Para el diseño de un buque se utilizan ciertos coeficientes que comparan el desplazamiento y las dimensiones de este, de los que destacamos los siguientes [15]:

Coeficiente de bloque (Cb)

Se trata de la relación entre el volumen desplazado y el volumen del paralelepípedo que lo contiene; aparece reflejado en la expresión (2-1)

$$C_b = \frac{\nabla}{L \cdot T \cdot B} \quad (2-1)$$

Siendo,

- ∇ : volumen
- L: eslora en la flotación
- T: calado
- B: manga

Según las condiciones de diseño, un coeficiente de bloque bajo, forma tipo en V como el caso de buques de alta velocidad o planeo, y las formas tipo U de buques de desplazamiento como los cargueros tradicionales. A diferencia de un coeficiente de bloque alto, cuya forma es frecuente en los buques de carga, implica mayor estabilidad y resistencia al avance.

Coeficiente de la maestra

Relaciona el área sumergida en la cuaderna maestra y el de un rectángulo del mismo calado y manga, lo podemos ver en la expresión (2-2) [16]:

$$C_m = \frac{Am}{B \cdot T} \quad (2-2)$$

En la Figura 2-5 aparecen las dimensiones utilizadas para calcular el coeficiente de la maestra,

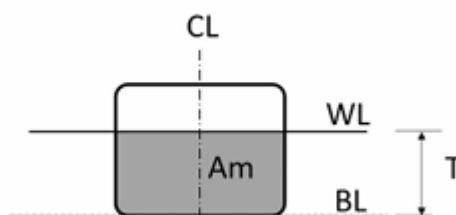


Figura 2-5: Dimensiones implicadas en el cálculo de coeficiente de la maestra
(fuente: Apuntes asignatura “Teoría del buque” año 2024)

El valor suele oscilar entre 0,75 y 0,98.

Coeficiente prismático longitudinal

Relaciona el volumen desplazado con el producto del área sumergida en la maestra y la eslora L, como aparece en la expresión (2-3) [16].

$$C_P = \frac{\nabla}{Am \cdot L} \quad (2-3)$$

Se trata de un parámetro fundamental en el estudio de la resistencia a la marcha de buques. En buques con misma eslora y desplazamiento y distinto coeficiente prismático, el de menor valor tiene mayor área de la maestra y, por tanto, el desplazamiento está concentrado en el centro. El de mayor coeficiente prismático, tendrá una cuaderna menor y para dar el mismo desplazamiento necesita tener secciones de mayor área hacia los extremos, lo que se implica que la flotabilidad se encuentra uniformemente distribuida a lo largo de la eslora.

Coeficiente de área de flotación

Define la relación entre el área en el plano de flotación y el producto de la manga (B) por la eslora (L). La expresión (2-4) muestra esta relación [16].

$$C_{AW} = \frac{A_w}{B \cdot L} \quad (2-4)$$

Este coeficiente varía según el calado que se utilice para el área de flotación. Los buques con una respuesta más rígida al oleaje tienen un coeficiente de área de flotación mayor.

La Figura 2-6 muestra la relación entre el área de flotación y la eslora y manga relacionada con la misma.

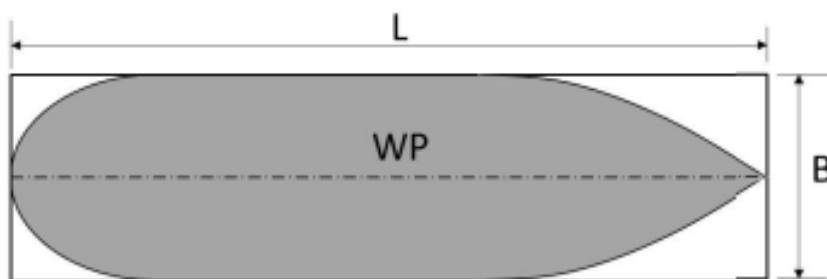


Figura 2-6: Dimensiones implicadas en el cálculo de coeficiente de área de flotación
(fuente:Apuntes asignatura “Teoría del buque” 2024)

Independientemente de los coeficientes de forma, existen otros que relacionan únicamente las dimensiones entre sí:

- -Relación eslora-manga = L_{pp}/B , cuyo valor oscila entre 4 y 10.
- -Relación eslora-calado = L_{pp}/T , cuyo valor oscila entre 10 y 30.
- -Relación manga-calado = B/T , cuyo valor oscila entre 1,8 y 4.

2.6 Introducción al cálculo numérico

En cualquier cálculo relacionado con la geometría del buque, se utilizan áreas de secciones obtenidas por la intersección del buque con una serie de planos: las líneas de agua y las secciones transversales. Estas curvas tienen una característica común: una línea base, una perpendicular en cada extremo y una curva continua ABCDEFG. Cualquiera de los dos puntos de los extremos puede ser 0. La Figura 2-6 muestra las características que acaban de ser mencionadas [17].

Los valores que pueden necesitarse para una figura dada serán: área encerrada bajo la curva, centro de gravedad de esta área, momento de esta área alrededor de cualquier eje vertical u horizontal y momento de inercia del área alrededor de los ejes.

A continuación, se va a desarrollar la expresión matemática correspondiente con cada concepto.

2.6.1 Área.

Sea dA el área elemental de la porción BPQM de la figura 2-6. Tendríamos entonces la expresión (2-5) [17]:

$$dA = BM \cdot dx \quad (2-5)$$

Pero $BM =$ ordenada de la curva $= y$

Sustituyendo en la expresión (2-5) llegamos a la expresión (2-6)

$$dA = y \cdot dx \quad (2-6)$$

Si integráramos esta expresión para toda la curva, tendríamos la expresión (2-7), siendo el límite superior H el límite máximo posible en el eje X para la curva representada en la Figura 2-6.

$$A = \int_0^H y \cdot dx \quad (2-7)$$

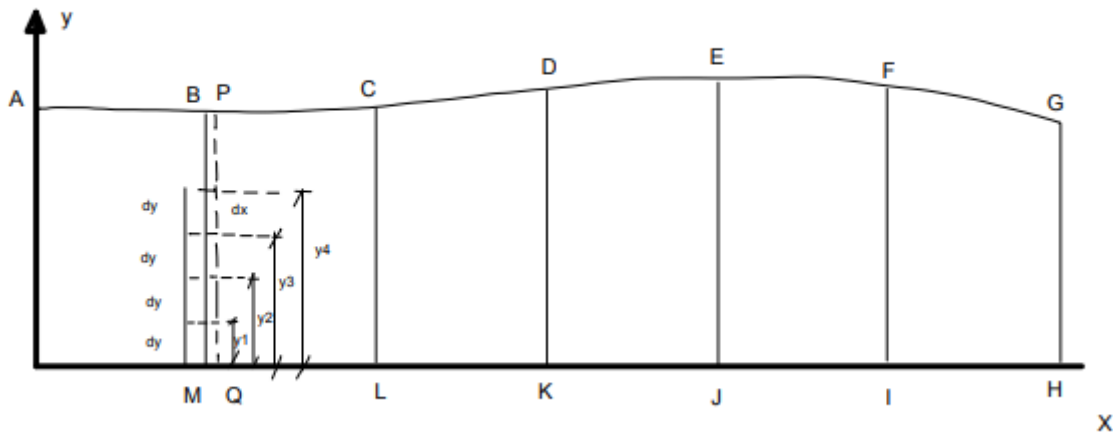


Figura 2-7: Curva con secciones equidistantes
(elaboración propia)

2.6.2 Momento

Calculamos el momento respecto al eje OY para la porción elemental anterior, la expresión del momento llegaríamos a la expresión (2-8) [17]:

$$dM_{OY} = (dA) \cdot x = xy \cdot dx \quad (2-8)$$

Integrando la expresión anterior para toda la curva sería llegaríamos a la expresión (2-9), siendo M el límite superior de la integral al ser el valor máximo de X representado en la Figura 2-8

$$M_{OY} = \int_0^M xy \cdot dx \quad (2-9)$$

Al integrar respecto al eje OX llegaríamos a la expresión (2-10). Como vemos en la Figura 2-8, el momento se calcula con el producto del brazo multiplicado por el diferencial de área.

$$dM_{OX} = (dA) \cdot \frac{y}{2} = \frac{1}{2} y^2 \cdot dx \quad (2-10)$$

Siendo en la expresión (2-10):

- $dA = y \cdot dx$
- brazo del momento = $\frac{y}{2}$

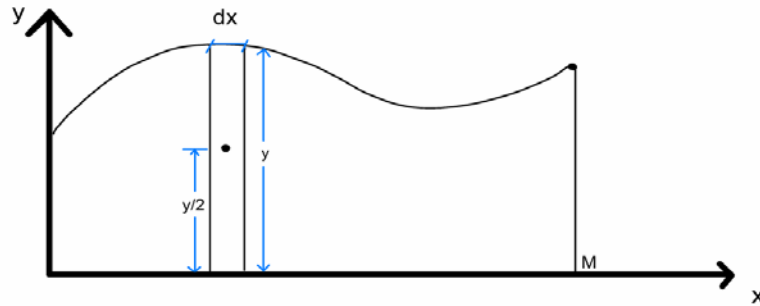


Figura 2-8 : Representación cálculo de momento
(elaboración propia)

Integrando la expresión (2-19), llegaríamos a la expresión (2-11):

$$M_{OX} = \frac{1}{2} \int_0^M y^2 dx \quad (2-11)$$

2.6.3 Momento de inercia

Sea dI_{OY} el momento de inercia de la porción elemental respecto al eje OY , tendríamos la expresión (2-12) [17]:

$$dI_{OY} = x^2 \cdot dA = x^2 y \cdot dx \quad (2-12)$$

Para toda la curva llegaríamos la expresión (2-13),

$$I_{OY} = \int_0^H x^2 y \cdot dx \quad (2-13)$$

Si dI_{OX} fuera el momento de inercia del elemento respecto al eje OX , resulta la expresión (2-14)

$$I_{OX} = \frac{1}{3} \cdot \int_0^H y^3 \cdot dx \quad (2-14)$$

El valor exacto de las expresiones anteriores requiere conocer las ecuaciones de la curva considerada. En la mayoría de los casos es desconocida, por lo que se recurre a procedimientos aproximados de cálculo.

2.6.1 Regla del trapecio

Es la primera aproximación al cálculo de áreas. Se basa en aceptar que el área encerrada bajo la curva es aproximadamente, igual a la encerrada bajo una línea poligonal. [17]

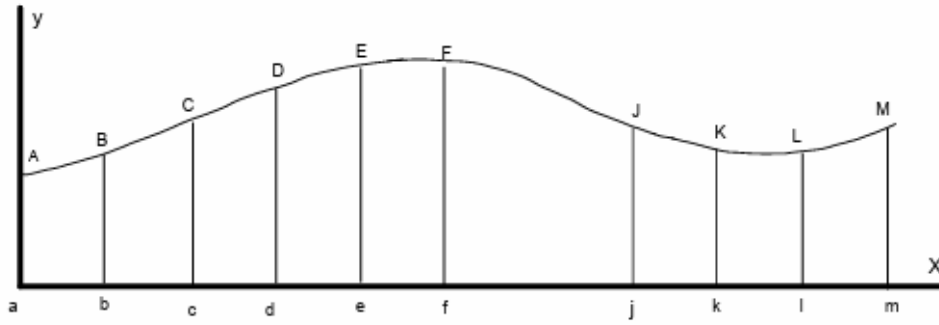


Figura 2-9: Representación curva con secciones equidistantes
(elaboración propia)

En la Figura 2-9 se declara que el espacio entre líneas es igual y que los puntos son unidos entre líneas rectas. Según esto, cada porción de área AS_{ab} , es un trapecio cuya área vendría dada por la expresión (2-15), (2-16), (2-17), seguiríamos el mismo procedimiento hasta la última, siendo en este caso el área comprendida en la expresión (2-18) [17]:

$$\text{Área Abab} = \frac{h}{2} \cdot (Aa + Bb) \quad (2-15)$$

$$\text{Área BCbc} = \frac{h}{2} \cdot (Bb + Cc) \quad (2-16)$$

$$\text{Área BCbc} = \frac{h}{2} \cdot (Bb + Cc) \quad (2-17)$$

.....

$$\text{Área LMlm} = \frac{h}{2} \cdot (Ll + Mm) \quad (2-18)$$

Sumando todas las áreas se llega a la expresión (2-19)

$$\text{Area total} = \frac{h}{2} \cdot (Aa + 2Bb + 7Cc + \dots 2Ll + Mm) \quad (2-19)$$

2.6.2 Primera regla de Simpson

Esta regla supone que la parábola que hemos considerado es de orden par y de segundo grado, como en la expresión (2-20) [17]:

$$y = a_0 + a_1 \cdot x + a_2 \cdot x^2 \quad (2-20)$$

La expresión del área a través de los multiplicadores sería la reflejada en la expresión (2-21)

$$A = p_1 y_1 + p_2 y_2 + p_3 y_3 \quad (2-21)$$

Esta regla solamente puede aplicarse, en primera instancia, a áreas limitadas por tres ordenadas, que encierran dos intervalos iguales, como el caso que podemos ver en la Figura 2-10. Nombrando h a este intervalo igual.

Por las consideraciones anteriores se tiene que:

$$p_1 = p_3$$

$$p_2 \neq 0$$

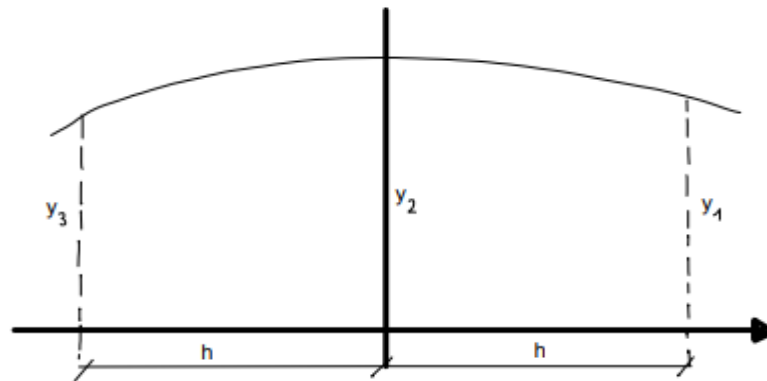


Figura 2-10: Representación cálculo para tres coordenadas
(elaboración propia)

En la Figura 2-11 se representa un caso en el que se requieren más de tres ordenadas o puntos para utilizar la regla de Simpson.

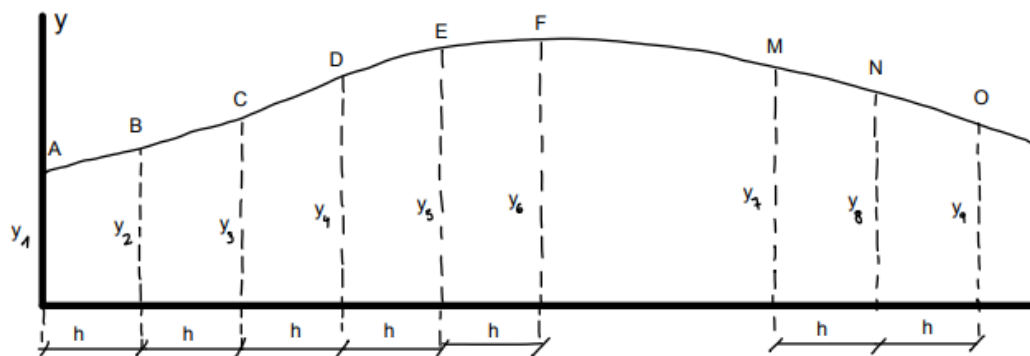


Figura 2-11: Representación cálculo de áreas para n= par
(elaboración propia)

En la Figura 2-12 podemos ver una representación de cálculo de áreas para un número impar de estas, se utilizan las expresiones (2-22), (2-23) y así hasta llegar a la última de este ejemplo, la expresión (2-24).

$$\text{Área de la porción ABC} = \frac{h}{3} \cdot (y_1 + 4y_2 + y_3) \quad (2-22)$$

$$\text{Área de la porción CDE} = \frac{h}{3} \cdot (y_3 + 4y_4 + y_5) \quad (2-23)$$

.....

$$\text{Área de la porción MNO} = \frac{h}{3} \cdot (y_{11} + 4y_{12} + y_{13}) \quad (2-24)$$

La expresión (2-25) muestra cómo sería el sumatorio de todas

$$A = \frac{h}{3} (y_1 + 4y_2 + 2y_3 + 4y_4 + 2y_5 + \dots + 2y_{11} + 4y_{12} + y_{13}) \quad (2-25)$$

Para el cálculo de coeficientes de la expresión (2-25) se ha utilizado la expresión (2-26)

$$\begin{array}{cccccccc} 1 & & 4 & & 1 & & & \\ & & & & 1 & & 4 & & 1 \\ & & & & & & 1 & & 4 & & 1 \\ \hline & & 1 & & 4 & & 2 & & 4 & & 2 & & 4 & & 1 \end{array} \quad (2-26)$$

2.6.3 Segunda regla de Simpson

Esta regla supone que la parábola que consideramos es de orden par, como la que podemos ver en la Figura 2-10 [17].

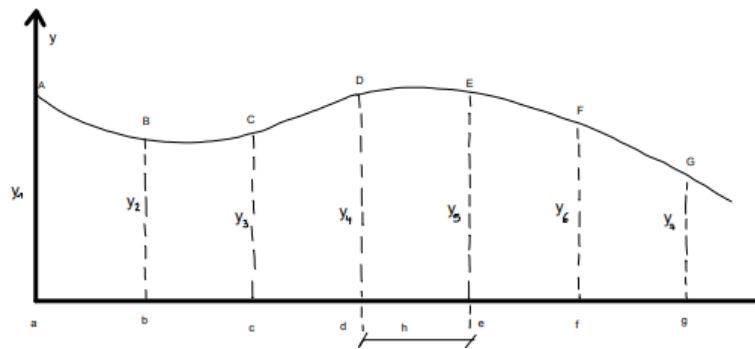


Figura 2-12: Representación cálculo de áreas para n impar
(elaboración propia)

Para sumar de forma independiente cuatro coordenadas tendríamos la expresión (2-27), siendo h la distancia entre los intervalos, como se ve en la Figura 2-12. La expresión (2-28) se utiliza cuando hay más de 4 coordenadas y sigue siendo una secuencia de intervalos pares [17].

$$\text{Area ABCD abcd} = \frac{3}{8} \cdot h(y_1 + 3y_2 + 3y_3 + y_4) \quad (2-27)$$

$$\text{Área total} = \frac{3}{8} h(y_1 + 3y_2 + 3y_3 + 2y_4 + 3y_5 + 3y_6 + y_7) \quad (2-28)$$

Para el cálculo de coeficientes de la expresión (2-28) se ha utilizado la expresión (2-29)

$$\begin{array}{cccccccc} 1 & & 3 & & 3 & & 1 & & \\ & & & & & & 1 & & 3 & & 3 & & 1 \\ \hline & & 1 & & 3 & & 2 & & 3 & & 3 & & 1 \end{array} \quad (2-29)$$

2.7 Análisis de estabilidad

El análisis objetivo de la estabilidad de un buque requiere del cálculo, estudio y análisis de distintos parámetros que describiremos en este apartado.

2.7.1 Las curvas hidrostáticas.

Como ya se ha explicado en puntos anteriores, el buque se asocia con la forma de un cuerpo geométrico que, sumergido en un fluido, sufre un empuje que le hace flotar. Para definir la flotación se emplea el plano de formas, que representa geoméricamente el buque. El empuje debe ser igual al peso del buque. Sabiendo cual es el peso de la plataforma y cuál debe ser el calado final, se debe calcular qué volumen sumergido del buque es capaz de equilibrar el peso de este.

Para el calado conocido y con la definición de las formas del buque, se puede calcular el desplazamiento o volumen sumergido. Sin embargo, el buque, a lo largo de su vida flotará a muy diversos calados. Esto se debe a la variación de condición de carga de este o de situaciones meteorológicas a las que se verá sometido. Para ello, es preciso conocer el valor del empuje para una serie de calados paralelos. Estos calados paralelos, también llamados flotaciones, se representan en un mismo diagrama. [17]

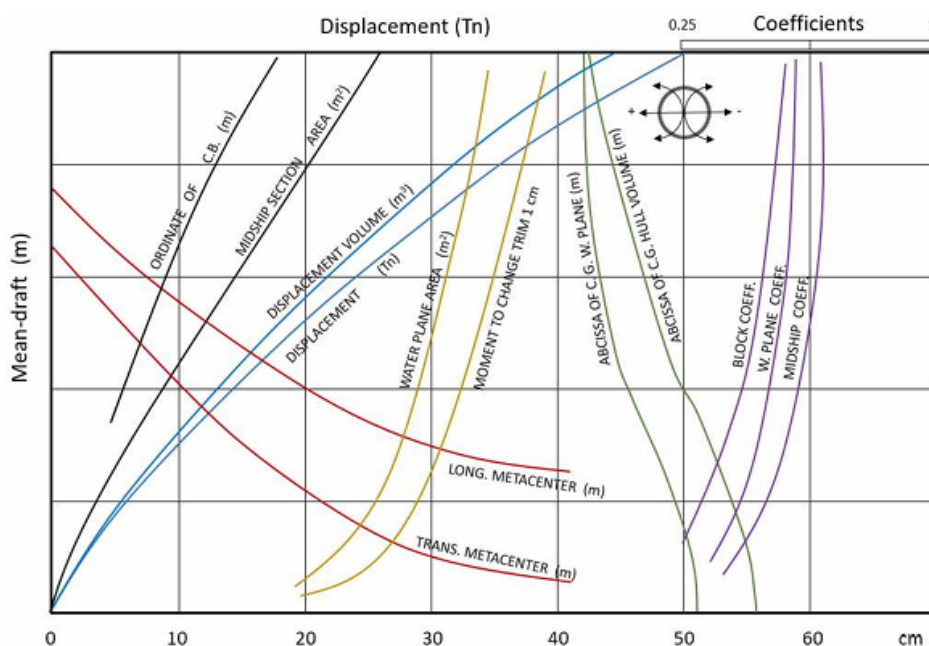


Figura 2-13: Ejemplo curvas hidrostáticas.

(fuente: Apuntes asignatura “Teoría del buque” 2024)

Otro aspecto por estudiar es el área de flotación para cada calado, así como la posición de su centro de gravedad. Estos resultados también se contemplan en un diagrama. Otras curvas dependientes del desplazamiento son las que reflejan las variaciones de coeficientes desarrollados en el punto 2.4.1. Por último, otras curvas de interés significativo desde la perspectiva de la estabilidad son las que recogen los valores de los radios metacéntricos. A este conjunto de curvas, que se dibujarán en un diagrama común, se llama curvas hidrostáticas.

Una muestra de estas curvas se encuentra en la Figura 2-13, donde se puede apreciar en un mismo diagrama a escala todas las curvas necesarias para estudiar la estabilidad. A continuación, se van a definir todos los parámetros que vamos a utilizar para el análisis de estabilidad y el estudio de formas y que, posteriormente, se extenderán en el desarrollo.

2.7.2 Cartilla de trazado

Con los planos de la plataforma se elabora una cartilla de trazado. Se trata de la representación detallada los puntos donde los diferentes planos de la estructura, como las cuadernas, las líneas de agua, el perfil y los planos longitudinales, se interceptan entre sí. Estos planos se pueden ver en el anexo 3.

2.7.3 Volumen de carena

El volumen sumergido (∇) o volumen de carena es el limitado por el casco y por la superficie de flotación [16].

2.7.4 Curva de KB

Esta curva nos permite conocer la variación de la posición del centro de gravedad del volumen sumergido, es decir, el centro de carena [17].

2.7.5 Curva de volumen y desplazamiento.

Esta curva permite conocer la diferencia entre el volumen sumergido de la plataforma, que es el volumen del objeto que ha sido sumergido en el fluido como consecuencia del propio peso de la plataforma [17].

El volumen desplazado es la cantidad de fluido que se desplaza “hacia afuera” por el objeto sumergido. Varía según la densidad del fluido en la que sumerja la plataforma.

2.7.6 Curva de radio metacéntrico

El radio metacéntrico es la distancia entre el centro de gravedad y el metacentro, que es el punto con respecto al cual el buque realiza los movimientos de balance y cabezada. Un radio metacéntrico transversal (BM_t) elevado indica que el barco tiende a recuperar su posición vertical después de ser inclinado. De la misma forma, el radio metacéntrico longitudinal (BM_l) mayor indica que la plataforma tiende a recuperar su posición de proa y popa en condiciones de balanceo [17].

Las fórmulas (2-30) y (2-31) muestran las fórmulas empleadas para el cálculo del radio metacéntrico transversal y longitudinal, que es la relación entre el momento de inercia y el desplazamiento. Como se ha explicado en el capítulo 3.1, el desplazamiento depende del calado.

$$BM_t = \frac{I_T}{\nabla} \quad (2-30)$$

$$BM_l = \frac{I_L}{\nabla} \quad (2-31)$$

Para el cálculo del momento de inercia transversal y longitudinal se utilizan las expresiones (2-32) y (2-33), donde se relaciona la manga y la eslora con el desplazamiento [17].

$$I_t = \frac{1}{12} \cdot B^3 \cdot L \quad (2-32)$$

$$I_L = \frac{1}{12} \cdot L^3 \cdot B \quad (2-33)$$

2.7.7 Curvas de áreas de flotación y toneladas por centímetro de inmersión

Si se dibuja una flotación en el plano de formas, esta encierra una figura con una cierta área. Siendo “y” el valor de la semimanga, el área de flotación viene dado por la expresión (2-34), donde se integra el valor de la eslora para la semimanga y se multiplica por dos para conseguir el área completa de la manga:

$$A = 2 \cdot \int_0^L y \, dx \quad (2-34)$$

Los valores de las semimangas se obtienen del plano de formas. Utilizando la regla de Simpson, estudiado en los apartados 2.5.3 y 2.5.4 se obtiene el valor del área de la flotación correspondiente para cada una de las líneas de agua. Al repetir estos cálculos para una serie de calados, se obtienen los valores que se pueden representar gráficamente en función del calado.

Por otra parte, la curva de tonelada por centímetro de inmersión indica cuanto peso hay que añadir a la plataforma para conseguir que el calado aumente un centímetro. Para el cálculo de la curva de toneladas por centímetro de inmersión, se analiza el estado de la plataforma flotando para un calado T, al aumentar el calado en un centímetro, se supone que el área correspondiente al calado T + 1 centímetro, será sensiblemente igual. De esta forma se puede deducir la expresión (2-35) para el aumento de desplazamiento por cada centímetro de inmersión:

$$A(m^2) \times 0,01m \quad (2-35)$$

2.7.8 Posición longitudinal del KB

Para el cálculo de esta curva se han utilizado las ecuaciones de curvas de áreas por secciones obtenidas mediante las curvas de Bonjean, explicadas en el punto 2.5.12. Se usa como referencia la cuaderna maestra, ya que es la sección más grande del barco y por tanto la más pesada.

2.7.9 Curva centro de gravedad de la flotación

El centro de gravedad de un cuerpo es el punto donde se considera que toda la masa está concentrada. Depende del desplazamiento en rosca y de la distribución de pesos. A medida que aumente el calado el centro de gravedad cambiará su posición, desplazándose hacia la zona más pesada del buque. La curva de centro de gravedad de la flotación nos permite conocer la distribución aproximada de pesos y como va a afectar a la estabilidad de la plataforma. Este cálculo además nos permitirá conocer cuál es el eje de giro de la flotación [17].

2.7.10 Cálculo del KG

En este caso se calcula lo calcularemos usando fórmulas aproximadas de uso habitual en estas fases del diseño y usaremos como valor la media aritmética. Para la determinación exacta del KG se debe tener en cuenta todos los pesos del buque. Su valor exacto debe ser comprobado mediante una experiencia de estabilidad.

Las expresiones (2-36), (2-37) y (2-38) se corresponden con las utilizadas para calcular el KG del PAM [18]:

$$\text{- Taggart} \quad (0,725-0,0007218 \times L) \times D \quad (2-36)$$

$$\text{- Scheekluth} \quad [0,44+0,00155 \times (0,85-C_{BD}) \times (L/D)^2] \times D_s \quad (2-37)$$

$$\text{- ZS} \quad 0,01 \times D \times (46,6+0,135 \times (0,81-C_b) \times L^2 \times D^2) + (L/B-6,5) \times 0,008 \times D \quad (2-38)$$

Donde:

- L: Eslora
- B: Manga
- D: Puntal
- D_s: Puntal en arrufo, generalmente D=D_s
- C_B: Coeficiente de bloque
- C_{BD}: Coeficiente de bloque al puntal

2.7.11 Hidrostáticas

En esta página incluida en el anexo 3 aparece un resumen de todas las curvas y coeficientes desarrolladas a lo largo de este capítulo.

2.7.12 Curvas de Bonjean

Para la obtención de estas curvas se mide la distancia de cada curva respecto a su eje central con el fin de calcular el área sumergida de cada sección del buque para las posibles flotaciones de este. [19]. Estas curvas, aunque no se consideran incluidas en las curvas hidrostáticas, representan las áreas de las secciones a distintos calados del buque.

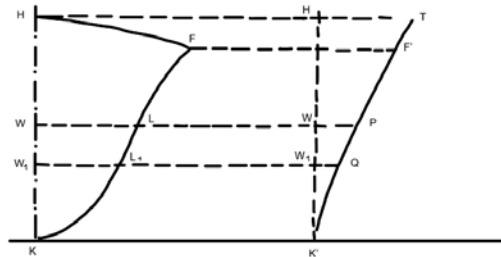


Figura 2-14: Representación curvas de Bonjean
(elaboración propia)

Sea KLFH una semisección de trazado de un buque. El área desde la línea base hasta una flotación puede obtenerse empleando la regla de Simpson, desarrollada en el capítulo 2.5.2.

Por el punto W_1 de la Figura 2-14 se traza una horizontal correspondiente al calado KW_1 , de tal forma que W_1Q represente a escala el área de la semisección KW_1 . Del mismo modo, se representa por la distancia WP , el área de la cuaderna bajo una línea de agua cualquiera. De esta forma, el punto F' representará el área de la semisección hasta la cubierta superior en el costado, mientras que T dará el área hasta la cubierta superior en el centro [20].

La curva que pasa por $K'QPF'T$ representa el área de una sección dada, y debe multiplicarse por dos para obtener la sección entera, ya que en la cartilla de trazado se obtiene el valor de las semimangas.

Suponiendo que se conocen las curvas de áreas de secciones de todas las cuadernas del plano de formas. Se pueden agrupar todas en un diagrama conocido como Curvas de Bojean, siendo similar el obtenido al que se sitúa en la Figura 2-15, donde aparecen representadas todas las curvas para las distintas secciones del buque.

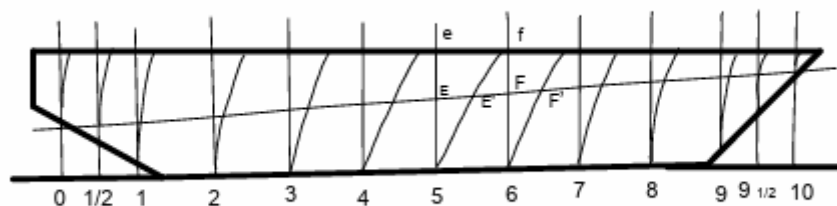


Figura 2-15 Representación aproximada curvas de Bonjean
(elaboración propia)

Uno de los usos de estas curvas, es calcular el volumen de desplazamiento para cualquier flotación, integrando las áreas de las secciones, que, si son de trazado, se obtendrá el desplazamiento de trazado. Estas curvas también resultan útiles para los cálculos de resistencia longitudinal en que la flotación no viene definida por una recta, sino que supone que el barco flota sobre una ola de determinadas características [20].

En la Figura 2-15, el valor de las áreas de las secciones e y j, viene definido por los segmentos EE' y JJ' y, por tanto, el volumen correspondiente a la flotación indicada se puede calcular integrando el área entre una línea base y la curva resultante de levantar perpendicularmente estos segmentos separados por la distancia entre secciones. La posición longitudinal del centro de gravedad de esta área coincide con la del centro de empuje en la flotación [20].

A partir de las curvas de Bonjean, se obtienen los momentos del área de una sección. Se toma como eje la línea base de trazado y se calculan los momentos respecto a ésta, de las áreas bajo varias líneas de agua, que permiten dibujar la curva de momentos verticales. Esta curva es útil en el estudio de la inundación y también para calcular la altura del centro de empuje en cualquier condición de calados a proa y popa [20].

2.7.13 Curvas de KN

La posición del centro de gravedad varía según la condición de carga. Las curvas de KN permiten calcular los brazos GZ independientemente del centro de gravedad y el metacentro. Cuanto mayor sea el brazo de adrizamiento en un determinado ángulo de inclinación, mayor será la capacidad del barco para recuperar su posición de equilibrio. En la Figura 2-16, podemos ver la relación entre el GZ y el KN [20].

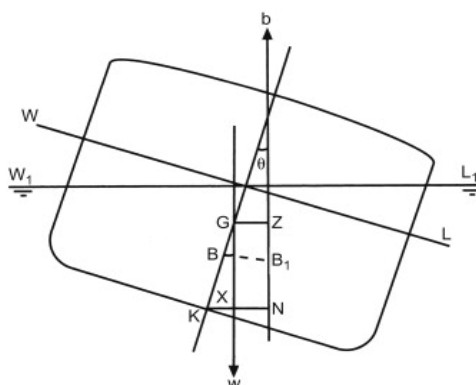


Figura 2-16: Esquema estabilidad
(fuente: Proyecto Menorquín Yacht)

Para calcular las curvas de KN es aceptada de forma general en esta etapa el uso del método de L.K Kupras, que refleja la ecuación (2-39), que relaciona la manga con el coeficiente CKN, que depende de las dimensiones del buque y del ángulo de escora [20].

$$K_N = 0,05125 \cdot B \cdot CKN \quad (2-39)$$

10°	1,043			0,75 D/B	-0,004 B/TS
20°	1,3385		+0,1333A/B	+2,325 D/B	+0,1B/TS
30°	-0,301	-0,1CB	+0,6467 A/B	+5,2 D/B	+0,65 B/TS
40°	-2,28	-0,2CB	+1,333A/B	8,5D/B	+1,1B/TS
50°	-2,9525	-0,3CB	+1,6 AB	+10,375D/B	+1,23B/TS
60°	-2,407	-0,5CB	2,0 A/B	+11,25D/B	+1,036B/TS

Tabla 2-2: Cálculo CKN

La Tabla 2-2 indica cómo calcular el CKN, siendo:

- B: Manga
- D: Puntal
- CB: Coeficiente de bloque
- T: Calado
- A: Arrufo

Este método fue desarrollado sobre una base de datos recogidos por el autor a lo largo de su vida profesional, en las que comparaba los distintos parámetros implicados en la estabilidad y desde los que extrapoló unas ecuaciones numéricas.

2.7.14 Curvas de estabilidad

Para escoras superiores a 15°, el metacentro deja de estar en crujía, el brazo de adrizamiento se calcula utilizando la fórmula (2-40).

$$GZ = KN - KG \cdot \sin\theta \quad (2-40)$$

Esta curva indica como varía el brazo de adrizamiento para distintos ángulos de escora, siendo que capaz también de identificar en qué momento la plataforma perdería la condición adecuada de estabilidad.

2.8 Principios básicos de estabilidad

Para analizar los distintos parámetros de estabilidad, se deben conocer una serie de puntos característicos, que se van a describir a continuación [21]:

- K: Marca la posición de la quilla o situación más baja del buque.
- B: Indica la posición del centro de carena, donde se concentra el volumen de agua desplazada.
- G: Marca la situación del centro de gravedad, donde se concentra toda la masa de la plataforma
- M: Indica la posición del metacentro, es el punto respecto al cual la plataforma pivota, realizando los movimientos de balance o cabezada.

En la Figura 2-17 aparecen simbolizados los puntos que se acaban de mencionar, estando representados en una plataforma que se encuentra en equilibrio estático inicial, de ahí que todos los puntos estén situados en la misma línea vertical [22].

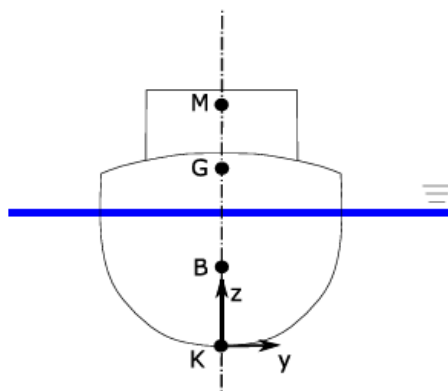


Figura 2-17 : Puntos estudiados en los principios básicos de estabilidad

(fuente: Apuntes asignatura “Teoría del buque” 2024)

Aparecen términos como GM (altura metacéntrica) y GZ (brazo adrizante). El brazo adrizante se puede calcular como indica la expresión (2-41), relacionando trigonométricamente la altura metacéntrica con el ángulo de escora [22].

$$GZ = \overline{GM} \sin \theta \quad (2-41)$$

La expresión (2-42) indica como calcular el valor GM, siendo el resultado de restar la distancia del punto más bajo del barco hasta el metacentro (KM) al centro de gravedad (KG).

$$GM = \overline{KM} - \overline{KG} \quad (2-42)$$

Otra forma de calcular la altura metacéntrica es utilizando la expresión (2-43)

$$GM = \overline{KB} + \overline{BM} - \overline{KG} \quad (2-43)$$

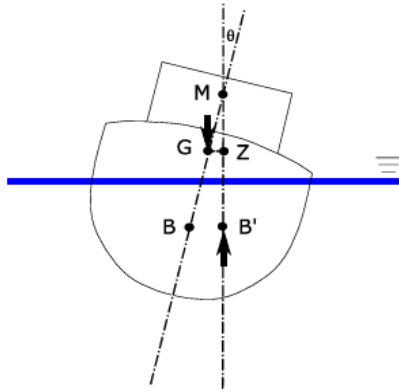


Figura 2 16: Representación Momento de adrizamiento

(fuente: Apuntes asignatura “Teoría del buque” 2024)

La Figura 2-16 representa la situación en la que, debido a la distribución de cargas o a condiciones meteorológicas adversas, la plataforma se encuentra bajo una condición de escora.

2.9 Criterios de estabilidad

En este apartado se van a explicar una serie de criterios utilizados hoy en día por diferentes Armadas para verificar el cumplimiento de las medidas mínimas de seguridad para cumplir con una estabilidad adecuada.

2.9.1 Criterio de Rahola

Rahola fue un profesor finlandés que publicó su tesis doctoral en 1935 basándose en el estudio de accidentes marítimos con una estabilidad inadecuada. Su estudio culminó con ‘La regla de los mínimos.’ Esta se puede simplificar con los siguientes puntos [23]:

- 1) El máximo brazo adrizante (GZ) que garantice la estabilidad debe estar situado entre los 30° y 40° de escora.
- 2) El brazo dinámico para 40° debe ser como mínimo 8cm/radián.
- 3) Valores mínimos de GZ. Estos se pueden ver resumidos en la tabla 10.

Escora	Valor de GZ
20°	14 cm
30°	20 cm
40°	20 cm

Tabla 2-3 : Resumen “Regla de los mínimos.” [23]

2.9.2 Criterio OTAN

Fueron estudiados en profundidad a partir de la Segunda Guerra Mundial y desde entonces son muchas las armadas que los ponen en práctica. Son similares a los estudiados en los puntos 3.5.1 y 3.5.2, ya que se basa principalmente en el análisis del GZ (brazo adrizante), y GM (distancia entre el centro de gravedad y el metacentro) [24].

Se pueden resumir con los siguientes puntos:

Área bajo curva GZ	
De 0 a 30°	≥ 0.080 m.rad
De 0 a 40°	≥ 0.133 m.rad
De 30 a 40°	≥ 0.048 m.rad

Tabla 2-4: Resumen área bajo curva GZ [24]

- El brazo adrizante máximo (GZ máx) debe ser ≥ 0.3 m
- El ángulo de escora correspondiente al brazo adrizante máximo debe ser $\geq 30^\circ$
- La altura metacéntrica transversal (GM) con corrección de superficie libre superará los 0.3 metros

2.9.3 Criterio de la OMI

Las normas que garantizan la estabilidad según la OMI (Organización Marítima Internacional) se pueden resumir en los siguientes puntos:

- La altura metacéntrica corregida por superficie libre debe superar los 0,35 m
- El máximo valor de la curva GZ (distancia entre el centro de gravedad y metacentro) será para las escoras de 30° o superior. En este caso, los brazos deben ser mayor de 0,20m.
- La superficie encerrada dentro de la curva GZ y las ordenadas de 30° y 40° de escora debe ser mayor a 0,03 metros multiplicado por el ángulo en radianes.
- La superficie encerrada por la curva de brazos GZ y la ordenada de escora 30° debe ser igual o superior a 0,055 metros multiplicado por el ángulo en radianes

Sobre la base de las herramientas de cálculo expresadas en este apartado del TFG pasaremos a definir y estudiar los distintos parámetros que están implicados en determinar el comportamiento de la estabilidad estática en condición intacta del buque.

3 DESARROLLO DEL TFG

El presente capítulo analizará los distintos elementos que nos lleven a determinar las características de estabilidad estática de la plataforma PAM. Para ello partiremos del proyecto conceptual del curso 21-22 en el que se hicieron una serie de aproximaciones que van a ser sometidas nuevamente a estudio con mayor profundidad y determinar la validez o no de estos elementos.

3.1 Ampliación y mejora de planos.

El primer paso necesario en este trabajo es la mejora del número de medidas ya desarrolladas durante la fase 1 (Diseño conceptual), con el fin de mejorar la precisión para elaborar las curvas de la plataforma.

Con el objetivo de poder ampliar la información y ejecutar de forma más precisa el análisis de estabilidad, surgió la necesidad de crear una nueva división de formas, añadiendo una nueva sección en el punto intermedio entre las ya existentes. Las nuevas secciones introducidas han sido añadidas exclusivamente con el propósito de facilitar la toma de datos, sin influir en la estructura real del proyecto, es decir, no tienen una existencia tangible [25].

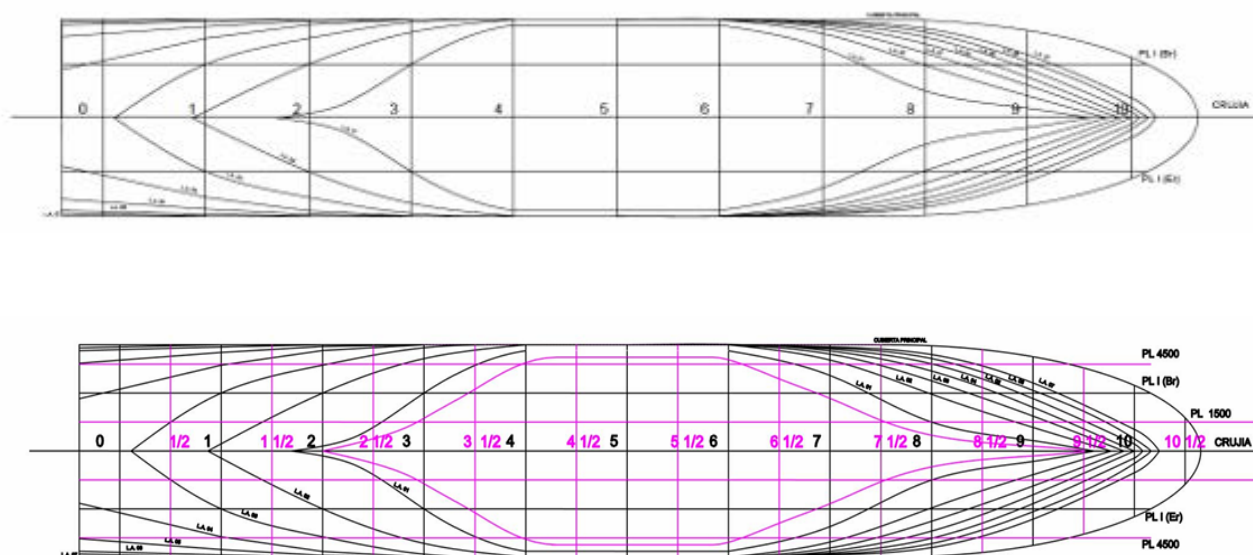


Figura 3-1 : Plano líneas de agua 2022 (arriba) y 2024
(elaboración propia)

En la Figura 3-1 se observa, en la parte inferior, la vista en planta del plano del patrullero una vez realizadas las nuevas secciones. Estas secciones representadas en color morado están espaciadas con una

distancia de 2850 mm, siendo la inicial entre ellas mostradas en la en color negro y distanciadas 5700, como se ve en la parte superior de la figura, que se corresponde con el plano de líneas de aguas inicialmente.

En la Figura 3-2 aparece la representación de la sección correspondiente con la maestra. También se presentan las diferentes líneas de agua de la plataforma, las cuales representan las distintas flotaciones posibles de la plataforma y están separadas 500 mm entre ellas. La parte superior se corresponde con el plano al comienzo, mientras que la parte inferior se corresponde con el plano una vez realizadas las nuevas secciones.

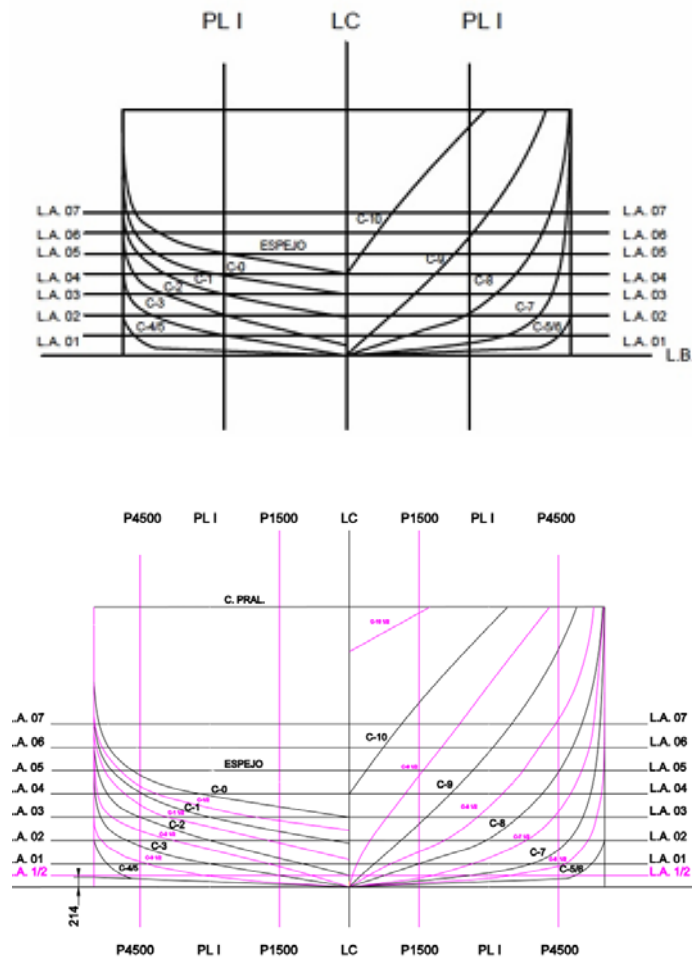


Figura 3-2: Plano transversales 2022 (arriba) y 2024
(elaboración propia) [25]

3.2 Estudio de la estabilidad de la plataforma PAM.

En este apartado vamos a explicar los cálculos realizados en el anexo 3 para, posteriormente, comentar los resultados obtenidos en el apartado correspondiente.

3.2.1 Cartilla de trazado

En el anexo 3 están incluidos todos los datos de las semimangas del buque. Estos datos se utilizarán para hacer las distintas integraciones de formas cuadráticas explicadas en los apartados de este capítulo.

En la Figura 3-3 se ve un ejemplo de cómo han sido calculadas las semimangas del plano del PAM, tomando como origen la línea de crujía y marcando la distancia hasta cada una de las líneas de agua para cada sección. En esta misma figura se ve que la distancia desde crujía en la sección 1 ½ hasta la línea de agua 2 es igual a 1750.38 milímetros.

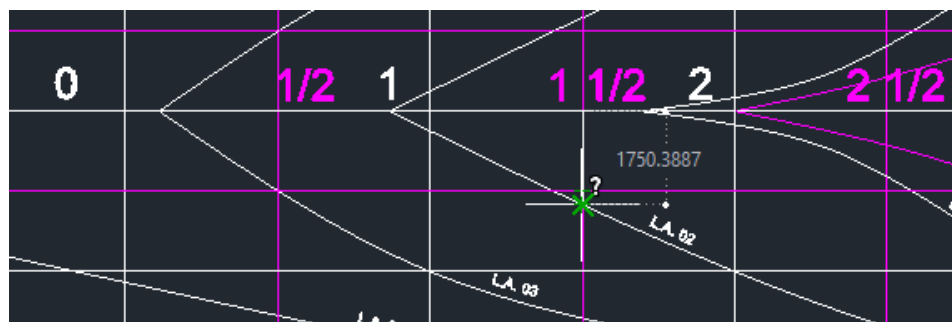


Figura 3-3: Ejemplo medición semimangas en AutoCAD.

En la Figura 3-4 se representan las formas obtenidas según las semimangas para cada flotación en hoja Excel; no son una representación correcta y sirven solo para ver la tendencia de las curvas y hacer un análisis inicial de las tendencias antes de pasar los datos al plano y corregirlos.

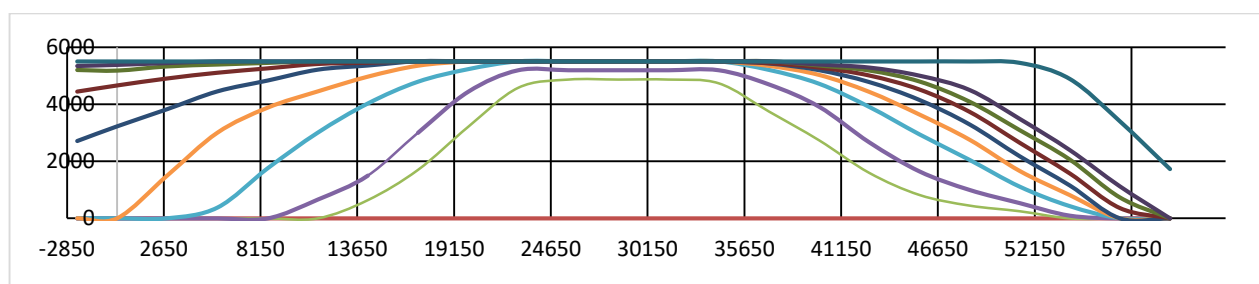


Figura 3-4: Representación cartilla de trazado
(elaboración propia)

3.2.2 Volumen de carena

Para el cálculo del volumen de carena, partimos de los datos obtenidos para las semimangas del plano de formas. A estas semimangas se le aplica el “Método de Simpson”, explicada en el apartado 2.5.3. El sumatorio del total de las semimangas multiplicada por el FS, siendo la distancia entre las secciones 2850 milímetros y por $1/3$, da lugar a la mitad del área de las flotaciones. Aplicando nuevamente “Simpson” para estas áreas, siendo el nuevo FS igual a 500 milímetros como distancia entre las flotaciones y manteniendo el $1/3$ de la regla, se obtiene la mitad de carena. Se multiplica por dos el resultado obtenido para tener el valor total del volumen de carena.

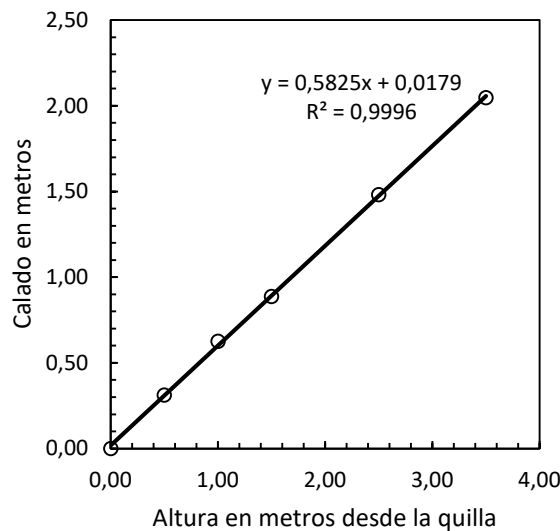
3.2.3 Curva de centros de carena KB

Esta curva viene determinada por las distintas alturas del centro de carena KB, obtenidas integrando las flotaciones en sentido vertical y el KB a distintos calados, consiguiendo así una curva que permite obtener el KB a distintos calados. Para este cálculo utilizamos las áreas totales de la flotación, calculadas en la hoja de volumen de carena. Estas las agrupamos en 3 para aplicar la “Regla de Simpson” y nos da los valores del desplazamiento. Para obtener el valor del desplazamiento agrupamos en 3 los resultados de área de flotación multiplicado por el calado y a este producto le aplicamos nuevamente la Regla de Simpson”. Para conseguir el KB dividimos el valor del momento entre el desplazamiento correspondiente con cada flotación. En la tabla 3-1 vemos un resumen de los cálculos utilizados para el cálculo de KB, estando situado el KB total para un calado de 3,5m a una altura de 2,04 metros de la quilla del barco.

Calado (m)	Desplaza (m ³)	Momento (m ⁴)	KB (m)
0,00	0	0	0,00
0,50	98	31	0,31
1,00	255	159	0,62
1,50	476	422	0,89
2,50	1000	1479	1,48
3,50	1592	3259	2,05

Tabla 3-1: Resumen cálculo KB.

En la Gráfica 3-1 podemos ver la curva resultante utilizando los valores de calado y KB de la tabla 3-1. También incluye la ecuación de la recta resultante. Este parámetro se comporta en realidad de forma lineal y la aproximación numérica así lo demuestra.



Gráfica 3-1: Representación curva de KB
(elaboración propia)

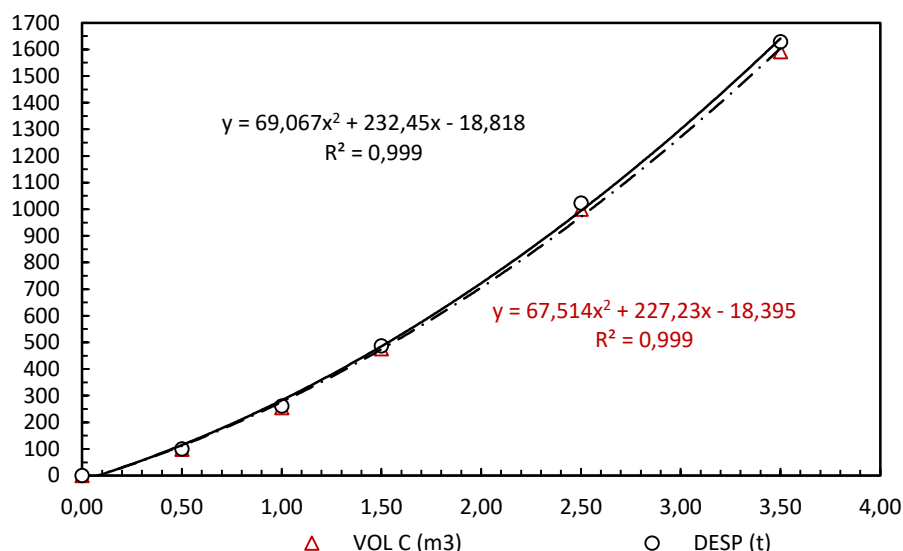
3.2.4 Curva de volumen y desplazamiento.

Esta curva nos permite obtener el valor del desplazamiento en agua salada, considerando como densidad de agua salada 1,023 t/m³ [26, 27]. El volumen de carena coincide con el valor del desplazamiento en agua dulce, considerando el valor de la densidad en agua dulce 1,000 t/m³ [28]. Para esta curva se utilizan las áreas de las flotaciones, calculadas en la hoja de Volumen de carena, se agrupan en 3 para poder aplicar Simpson y se multiplica por la distancia entre líneas de agua, que es 500 milímetros. Estos valores de volumen multiplicados por el valor de la densidad en agua salada nos permiten conseguir la curva de desplazamiento. Los resultados obtenidos aparecen en la Tabla 3-2.

VOL C		
Calados	(m ³)	DESP (t)
0,00	0	0
0,50	98	100
1,00	255	261
1,50	476	487
2,50	1000	1022
3,50	1591	1628

Tabla 3-2 : Resumen valores volumen y desplazamiento

La Gráfica 3-2 muestra la representación de los volúmenes y desplazamientos. La ecuación superior se corresponde con la de desplazamientos y la inferior, en color rojo, es la de volúmenes de carena.



Gráfica 3-2 : Volúmenes y desplazamientos
(elaboración propia)

3.2.5 Radios metacéntricos

Para el cálculo de la curva de radios metacéntricos hemos utilizado las áreas de las flotaciones por secciones para obtener los momentos de primer y segundo orden utilizando el método de Simpson para cada una de las flotaciones. Para el cálculo de momentos de primer orden, hemos multiplicado el valor de la semimanga y factor de Simpson por el valor del brazo, siendo este la distancia desde cada una de las secciones hasta la cuaderna maestra. A este producto le hemos llamado función de área. Hemos establecido como criterio que el signo (+) es para secciones a proa de la cuaderna maestra y el signo (-) para secciones a popa. El cálculo del momento de segundo orden es el resultado de la semimanga al cubo multiplicada por el factor de Simpson.

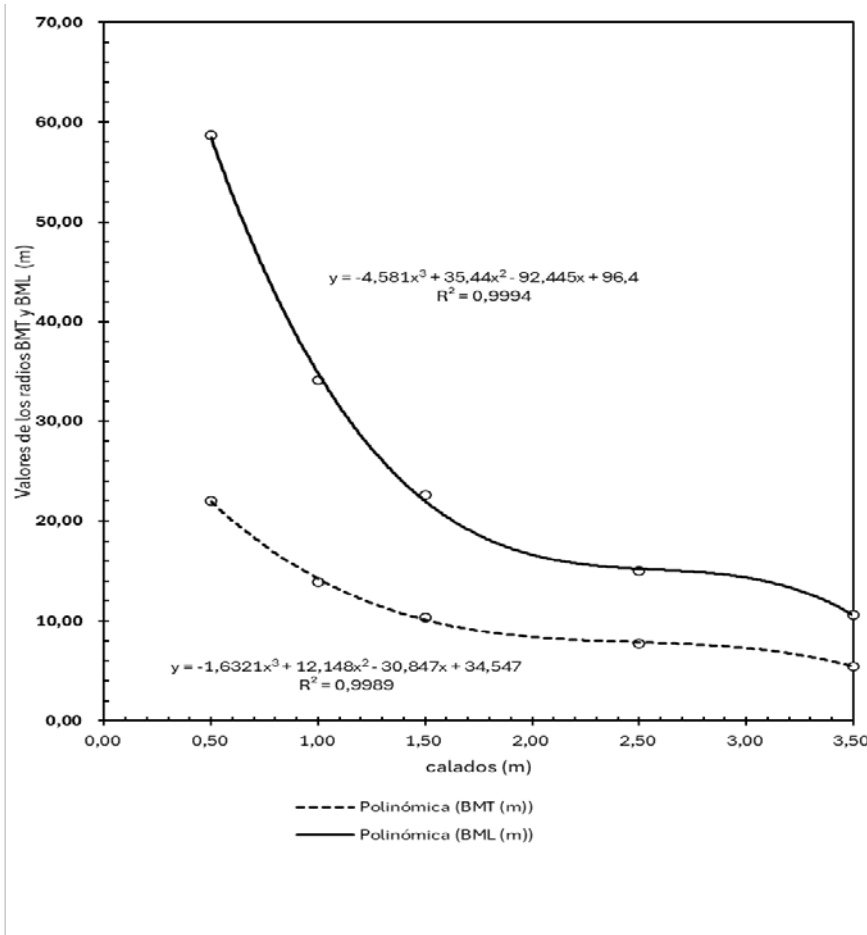
La inercia transversal se obtiene de aplicar la primera regla de Simpson al sumatorio de funciones de área. Para la inercia longitudinal se aplica esta misma regla, pero para el sumatorio de momentos de segundo orden.

La tabla 3-3 muestra un resumen de los resultados obtenidos utilizando los procedimientos explicados. También aparecen los radios metacéntricos longitudinal y transversales que hemos calculado utilizando las expresiones (2-30) y (2-31).

Calados (m)	Vol Carena(m³)	I T (m⁴)	I L (m⁴)	BMT (m)	BML (m)
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,50	98,17	2164,66	5760,27	22,05	58,67
1,00	254,80	3546,01	8701,31	13,92	34,15
1,50	476,03	4940,88	10775,85	10,38	22,64
2,50	999,51	7753,77	14995,96	7,76	15,00
3,50	1591,75	8650,62	16898,07	5,43	10,62

Tabla 3-3 : Resumen resultados radios metacéntricos

La Gráfica 3-3 muestra los resultados de la Tabla 3-3. El longitudinal y su respectiva ecuación se sitúan en la posición superior y el transversal y su ecuación en la parte inferior. Es habitual que el BML sea mucho mayor que el BMT como se confirma en cada uno de los valores obtenidos.



Gráfica 3-3: Curvas BMT y BML calados en metros
(elaboración propia)

3.2.6 Curvas de áreas de flotación y toneladas por centímetro de inmersión.

Para obtener estas curvas hemos utilizado las áreas de flotación obtenidas en la hoja de “Volumen de carena”. Estas áreas las hemos multiplicado por la densidad del agua salada, considerada como 1,023 t/m³ y utilizando la expresión (3-1) se hemos llegado a los valores de toneladas por centímetro de inmersión.

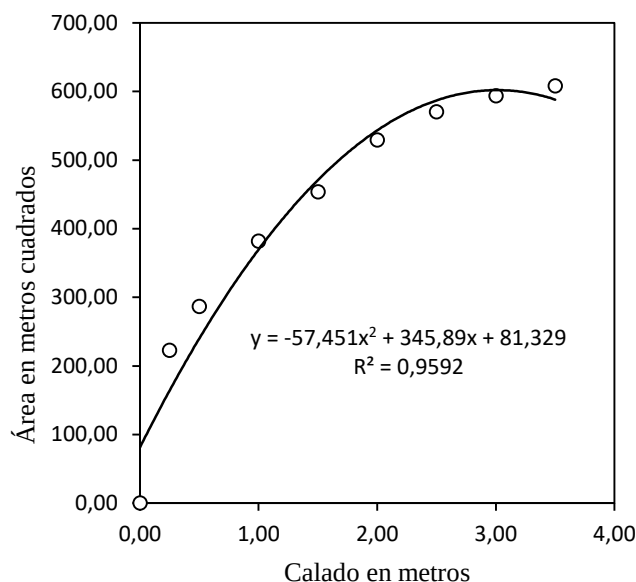
$$A(m^2) \times 0,01m \quad (3-1)$$

En la Tabla 3-4 podemos ver el resumen de los resultados obtenidos para cada flotación.

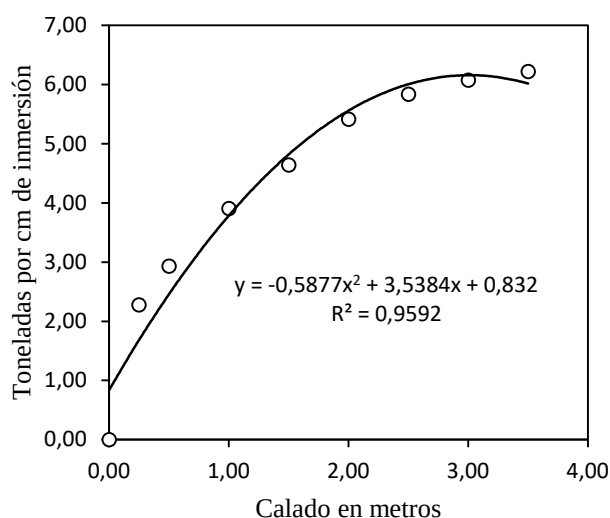
Flotación (m)	Área flotación (m2)	ton/cm inmersión
0,00	0,00	0,00
0,25	222,83	2,28
0,50	286,79	2,93
1,00	381,66	3,90
1,50	453,71	4,64
2,00	529,19	5,41
2,50	570,40	5,84
3,00	593,72	6,07
3,50	608,20	6,22

Tabla 3-4 : Resumen Área de flotación y ton/cm inmersión

Las Gráfica 3-4 y 3-5 muestran la curva de áreas de flotación y toneladas / cm de inmersión en función del calado, elaboradas con los datos de la Tabla 3-4. También aparecen sus correspondientes ecuaciones y coeficiente de determinación R^2 que ofrecen valores cercanos a 1, lo que indica que la polinómica que se ha aproximado es válida.



Gráfica 3-4: Curva áreas de flotación
(elaboración propia)



Gráfica 3-5 : Curva toneladas/cm inmersión
(elaboración propia)

3.2.7 Curva centro de gravedad de la flotación

Para el calcular esta curva se ha elaborado una hoja de cálculo, relacionada en el anexo 3, en la que el centro de gravedad correspondiente con cada flotación se ha calculado con la expresión (3-2), en la que se relaciona el producto de cada distancia a la perpendicular de popa en cada sección, multiplicando la longitud en cada sección y dividido entre el sumatorio de distancias recientemente mencionadas. Los resultados obtenidos estaban referenciados a la perpendicular de popa, por lo que se recalculó su posición para conseguir una gráfica cuyo punto de origen fuera la cuaderna maestra, y poder así analizar su desplazamiento a proa o a popa de esta.

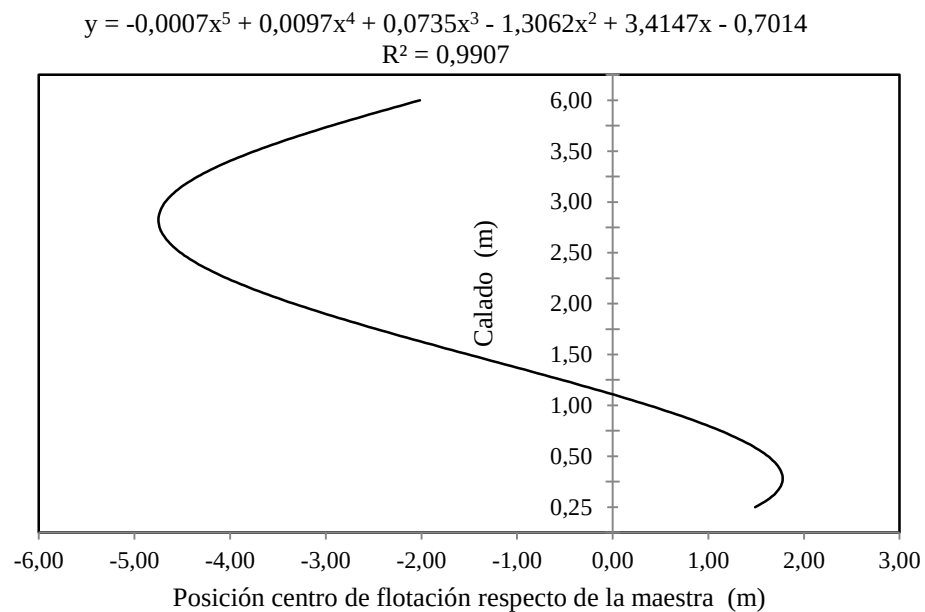
$$C_G = \frac{\sum x_i d_i}{\sum d_i} \quad (3-2)$$

La Tabla 3-5 muestra un resumen de los resultados obtenidos para el cálculo de KG en función del calado. El signo positivo (+) indica la posición a proa de la cuaderna maestra y el negativo (-) hacia popa.

Altura (m)	Posición KG (m)
0,25	1,53
0,50	1,49
1,00	0,45
1,50	-1,22
2,00	-3,79
2,50	-4,45
3,00	-4,38
3,50	-3,97
6,00	-1,96

Tabla 3-5: Resumen posición KG

La Gráfica 3-6 muestra la curva de centro de gravedad y su variación a medida que aumenta el calado. En la parte superior de la gráfica vemos que aparece la ecuación de la curva y la ratio de error.



Gráfica 3-6 : Curva centro de gravedad de la flotación
(elaboración propia)

3.2.8 Cálculo del KG

Para realizar este cálculo hemos utilizado los métodos aproximados desarrollados en el capítulo 2.5.9. Se han obtenido los siguientes resultados. Reflejados en la Tabla 3-6. El valor considerado para el PAM es 5,38, que es la media de los obtenidos.

Método	KG (m)
Taggart	6,83
Scheekluth	4,49
ZS	4,82

Tabla 3-6 :Resultados KG

3.2.9 Hidrostáticas

Esta hoja, también incluida en el Anexo 3, es un resumen de las curvas calculadas anteriormente. También aparece el resultado del cálculo de los coeficientes relacionados en el capítulo 2.4.1. Con ellas se pueden dibujar de forma gráfica todas las curvas anteriores aplicando coeficientes de escala para poder representarlas de forma conjunta sin que pierda su utilidad como herramienta de cálculo manual tradicional.

3.2.10 Curvas de Bonjean

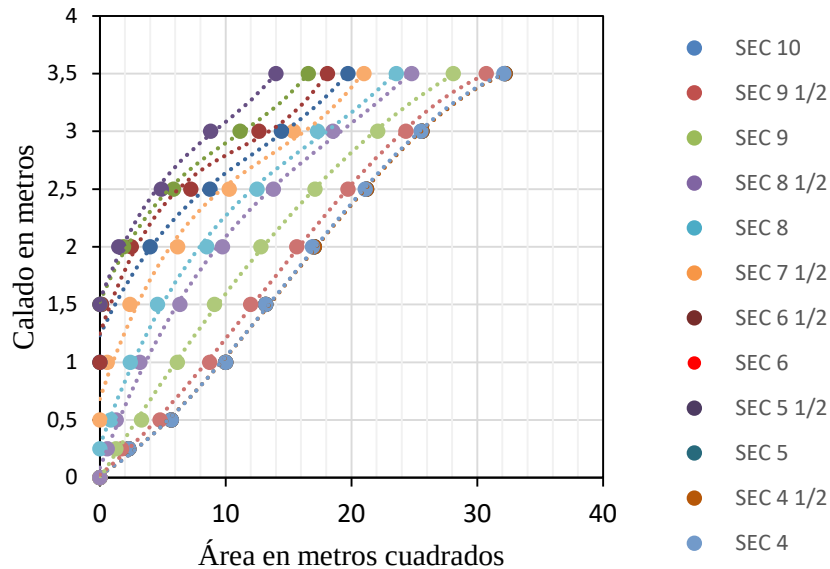
Para el cálculo de estas curvas hemos aplicado el método de Simpson para cada una de las líneas de agua y secciones. Las funciones polinómicas obtenidas para cada flotación aparecen en la Tabla 3-7. Son curvas de grado 3 que ofrecen un valor de coeficiente de determinación R^2 entre 0,9976 y 0,9878.

Secciones	Funciones	
SEC 0	$y = 0,0005x^3 - 0,0173x^2 + 0,2557x + 1,5242$	0,9981
SEC 1/2	$y = 0,0007x^3 - 0,0241x^2 + 0,3224x + 1,2461$	0,9713
SEC 1	$y = 0,0003x^3 - 0,0127x^2 + 0,2334x + 1,2342$	0,9743
SEC 1 1/2	$y = 0,0005x^3 - 0,0188x^2 + 0,3262x + 0,682$	0,9878
SEC 2	$y = 0,0003x^3 - 0,0133x^2 + 0,3064x + 0,2754$	0,9979
SEC 2 1/2	$y = 0,0002x^3 - 0,0108x^2 + 0,2888x + 0,0841$	0,9978
SEC 3	$y = -1E-05x^3 - 0,0016x^2 + 0,1772x - 0,0084$	0,9994
SEC 3 1/2	$y = -9E-05x^3 + 0,0036x^2 + 0,0914x + 0,023$	0,9994
SEC 4	$y = -0,0001x^3 + 0,0047x^2 + 0,0661x + 0,0215$	0,9993
SEC 4 1/2	$y = -0,0001x^3 + 0,0047x^2 + 0,0661x + 0,0216$	0,9994
SEC 5	$y = -0,0001x^3 + 0,0047x^2 + 0,0661x + 0,0217$	0,9994
SEC 5 1/2	$y = -0,0001x^3 + 0,0047x^2 + 0,0661x + 0,0218$	0,9994
SEC 6	$y = 0,0303x^3 - 0,2412x^2 + 3,5333x - 3,2862$	0,9994
SEC 6,5	$y = -0,0062x^3 + 0,2649x^2 + 1,7866x - 2,3507$	0,9986
SEC 7	$y = 0,0058x^3 + 0,1618x^2 + 1,4473x - 1,7524$	0,9990
SEC 7 1/2	$y = 0,0035x^3 + 0,2407x^2 + 0,443x - 0,7391$	0,9992
SEC 8	$y = 0,0071x^3 + 0,3547x^2 - 1,3939x + 1,4579$	0,9931
SEC 8 1/2	$y = 0,0187x^3 + 0,0387x^2 + 0,1435x - 0,2098$	0,9982
SEC 9	$y = 0,0234x^3 - 0,0909x^2 + 0,4032x - 0,3482$	0,9925
SEC 9 1/2	$y = 0,0276x^3 - 0,1775x^2 + 0,3172x - 0,1395$	0,9993
SEC 10	$y = -0,0555x^3 + 0,8273x^2 - 1,9728x + 1,201$	0,9976

Tabla 3-7 : Ecuaciones de áreas por secciones
(elaboración propia)

3.2.11 Representación gráfica de Bonjean.

Utilizando las ecuaciones obtenidas en la Tabla 3-7 hemos realizado la representación de las curvas de Bonjean, representadas en la Gráfica 3-7. Estas permiten conocer el área para cada sección entrando con el calado deseado.



Gráfica 3-7 : Representación curvas de Bonjean
(elaboración propia)

3.2.12 Posición longitudinal del KB

Para el cálculo del KB longitudinal se han utilizado las áreas de Bonjean por secciones del apartado 3.2.10 multiplicadas por sus respectivas distancias a la cuaderna maestra, utilizando una vez más como criterio negativo (-) a popa de la cuaderna maestra y positivo (+) a proa de esta. Para el cálculo de cada KBL hemos utilizado la expresión (3-3), que relaciona el área de cada sección para cada calado, multiplicada por la distancia a la cuaderna maestra y dividido todo entre el valor del área total.

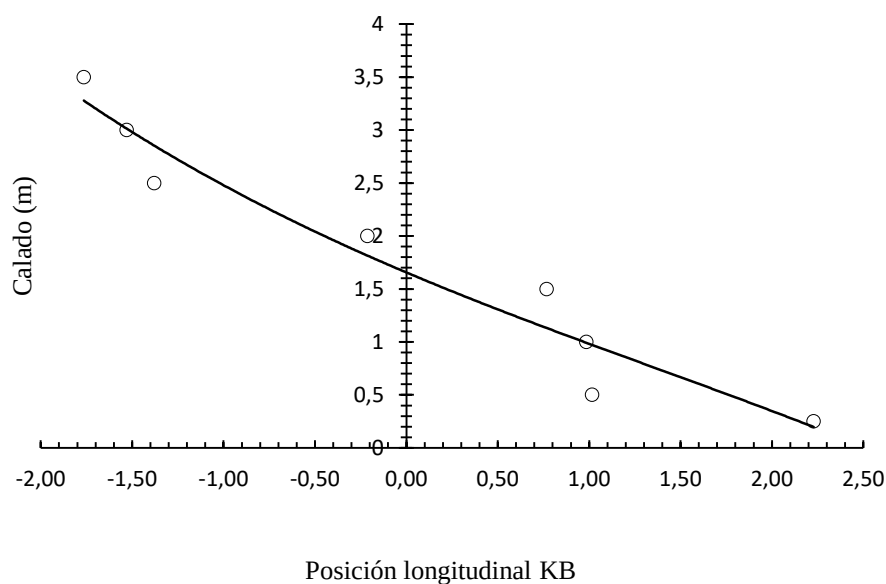
$$KB_l = \frac{\sum \dot{A}_i Z_i}{\sum A_i} \quad (3-3)$$

En la Tabla 3-8 aparece el resumen de los resultados obtenidos utilizando la expresión 3-5 para cada una de las flotaciones.

KBL (m)	CALADO (m)
0	0
2,23	0,25
1,02	0,5
0,98	1
0,77	1,5
-0,21	2
-1,38	2,5
-1,53	3
-1,76	3,5

Tabla 3-8 : Resumen resultados KBL.

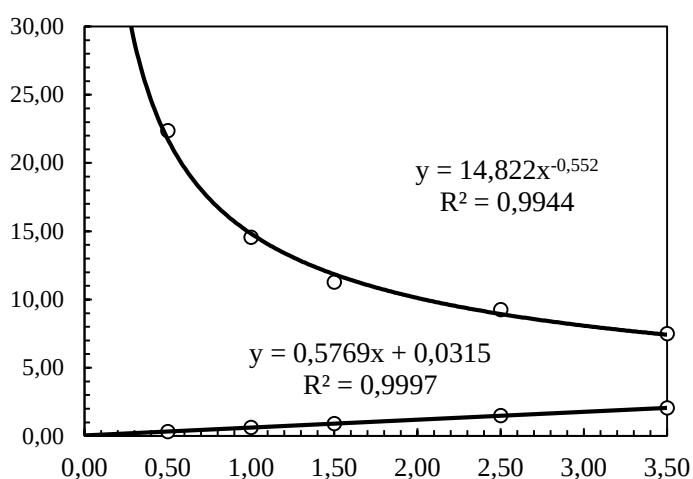
En la Gráfica 3-8 podemos ver la representación de los resultados de la tabla 3-8, siendo el origen de ordenadas la cuaderna maestra.



Gráfica 3-8 : Representación KB longitudinal
(elaboración propia)

3.2.13 Curvas de KN

Estas curvas las hemos calculado para distintas condiciones de carga (en rosca, a plena carga y en lastre). Para esto hemos utilizado la expresión (2-39) para los distintos desplazamientos. La Gráfica 3-9 muestra el diagrama metacéntrico transversal. La curva superior muestra la representación del KM de la Tabla 3-9: Resumen valores obtenidos KN, y su variación con el calado. También aparece su correspondiente ecuación y ratio de error. La recta inferior se corresponde con la variación del KB para el calado. Esta de la resta de estas dos ecuaciones podemos saber de forma gráfica el valor del BM o radio metacéntrico.



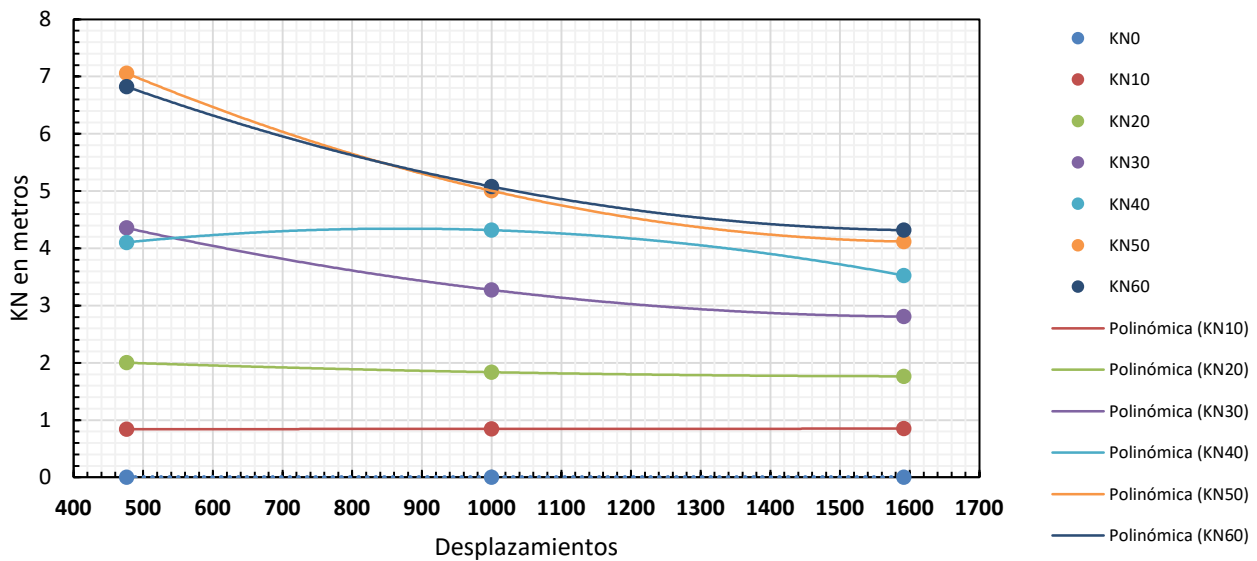
Gráfica 3-9 : Diagrama metacéntrico transversal.
(elaboración propia)

En la Tabla 3-9 aparece un resumen de los resultados obtenidos para distintos grados de escora de cálculo de KN en tres condiciones de carga: a plena carga (KNp), a media carga (KNm) y en rosca (KNr). Para la obtención de estos valores hemos utilizado la formulación de aproximación de L.K. Kupras, expresadas en el punto (2.5.13).

	KNp	KNm	KNr
0	0,000	0,000	0,000
10	0,850	0,847	0,841
20	1,766	1,837	2,002
30	2,808	3,274	4,355
40	3,526	4,317	6,149
50	4,118	5,007	7,060
60	4,317	5,080	6,824

Tabla 3-9: Resumen valores obtenidos KN

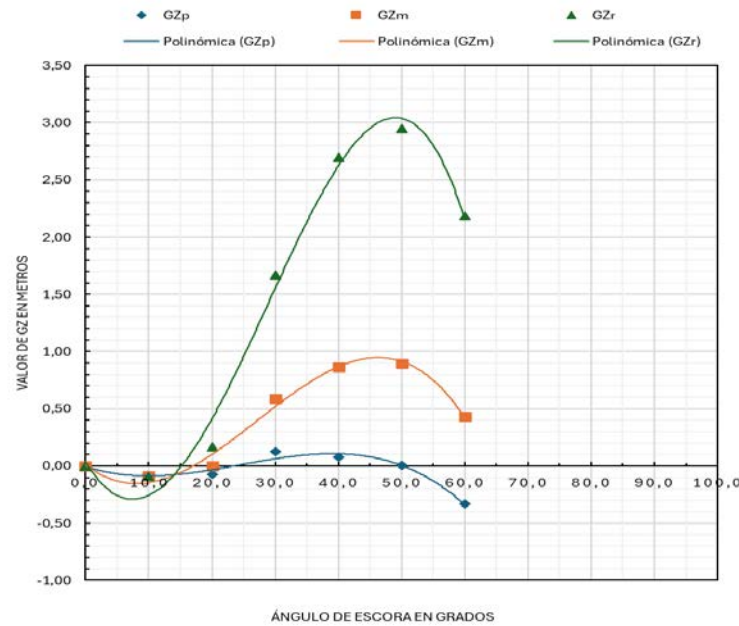
En la Gráfica 3-10 vemos la representación de los resultados obtenidos para distintos grados de escora y las posibles condiciones de carga analizadas.



Gráfica 3-10 Curva KN
(elaboración propia)

3.2.14 Curvas de estabilidad

Para obtener esta gráfica hemos utilizado los valores de KN calculados en el apartado 3.2.12. En la Gráfica 3-11 aparece la curva superior en verde, que se corresponde con la plataforma en rosca. La curva de en medio, en color rojo, se corresponde con la plataforma en lastre y la inferior, en color azul, se relaciona con la plataforma en plena carga. Para obtener estas curvas hemos utilizado la expresión (2-39).

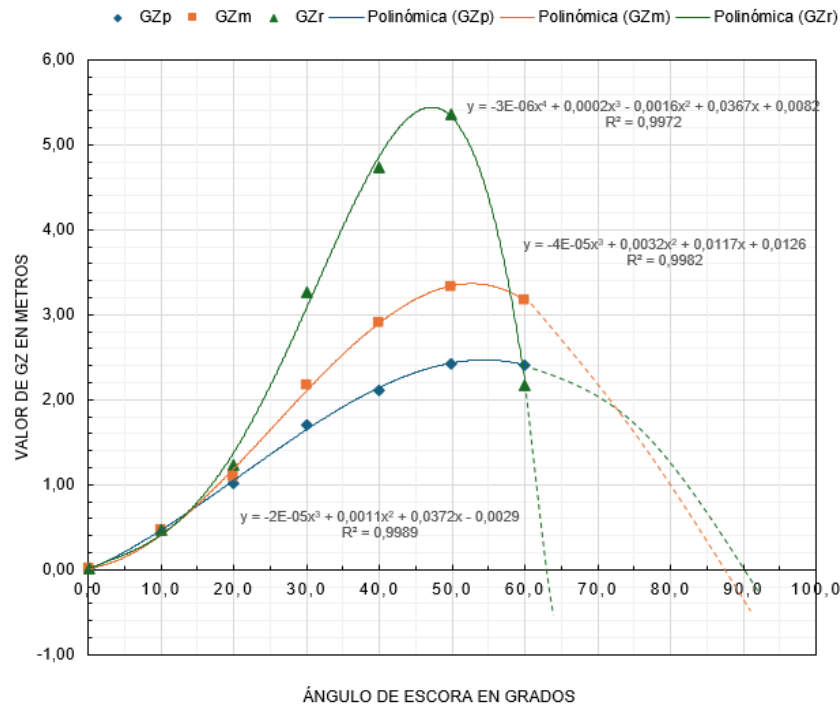


Gráfica 3-11: Curvas de estabilidad
(elaboración propia)

3.2.15 Aproximación KG y nuevo cálculo de curvas de estabilidad.

Dado que las curvas de estabilidad observadas en la Gráfica 3-11 reflejan un comportamiento inadecuado de la plataforma, se ha aproximado el valor de KG partiendo del valor del KB, ya que este valor ha sido calculado teniendo en cuenta las formas y dimensiones de la plataforma, a diferencia del KG, que se calculó en el apartado 3.2.7 con fórmulas empíricas aproximadas.

Tomando como referencia el valor de entre 0,89 y 2,05m, sabemos que para lograr una correcta estabilidad el KG y un GM positivo consideramos un KG de valor 2,20 metros. Para este nuevo valor se han recalculado los valores de GZ, los valores obtenidos aparecen en la Gráfica 3-12.



Gráfica 3-12 : Curvas de estabilidad recalculadas
(elaboración propia)

3.2.16 Criterios de estabilidad

En la hoja “Criterios de estabilidad”, incluida en el Anexo 3 se han hecho los cálculos correspondientes para verificar si el PAM cumple o no los criterios establecidos en el capítulo 2.7, siendo estos el criterio de Rahola, el criterio OMI y el criterio OTAN. Estos criterios de estabilidad son simplemente una comprobación numérica de áreas encerradas que permiten aventurar el comportamiento del flotador. Los resultados serán desarrollados en el Análisis de resultados.

4 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.

4.1 Análisis de resultados generales del presente TFG.

En este apartado resumiremos de forma sucinta los resultados alcanzados en este TFG, así diremos de forma general que las técnicas escogidas para el estudio han permitido definir de forma consistente una matriz de datos que ajustan el proyecto PAM de una forma más sólida para su desarrollo del proyecto en un futuro.

4.1.1 Volúmenes y centros de carena

Se ha obtenido un volumen de carena de $V = 1592 \text{ m}^3$ que representan un desplazamiento de $\Delta = 1629$ toneladas en agua salada (considerando una densidad de $\rho = 1,023$ toneladas metro cúbico). Este resultado debe ser definitivo si bien puede haber pequeñas variaciones debido a la necesidad de considerar los apéndices del buque en posteriores fases de desarrollo ya que es necesario fijar un desplazamiento para los cálculos estructurales que se deben efectuar a continuación y dentro de esta misma fase del proyecto.

Los valores obtenidos para la curva de transversales KBT encajan con lo esperado y se comportan de forma lineal aumentado su altura a medida que aumenta el calado. Por su parte el longitudinal KBL se desplaza hacia la popa de la plataforma, que es la zona más voluminosa del PAM en calados más altos, comenzando en proa a calados muy bajos. Esta situación favorece las navegaciones con asientos positivos y ayuda a mantener la inmersión de la hélice.

4.1.2 Parámetros hidrostáticos

Respecto a los valores del radio metacéntrico longitudinal y transversal, se puede observar en la gráfica 3-3 que ambas curvas siguen la misma tendencia. Lo que indica que el cálculo se ha realizado de manera adecuada. Los valores obtenidos son coherentes con respecto a buques de características similares y dado que está íntimamente relacionados con la inercia de la flotación los valores del BML son mucho mayores que los del BMT dado que la energía necesaria para producir una inclinación en el sentido longitudinal es mayor que para producir esta perturbación en el sentido transversal.

De la tabla de hidrostáticas hoja se puede resaltar el resultado de los coeficientes calculados. Estos entran en los márgenes desarrollados en el punto 2.4.1 lo que indica una adecuada consideración de las formas del buque para este tipo de buques que permite afirmar su adecuación a la máxima de obtener la funcionalidad con espacios interiores amplios.

Hemos obtenidos valores de áreas de flotación que han permitido determinar después cálculos de inercias y volúmenes integrados según el eje y que son necesarios para un cálculo más ajustado de las carenas inclinadas en estudios de fase tres en los que las curvas KN deben ser las exactas. También nos ha permitido en el cálculo del centro de gravedad de cada flotación, un ajuste correcto de la curva antes planteada por aproximación.

4.1.3 Coeficientes de forma

Coeficiente de bloque.

El valor medio obtenido es de 0,53. Se trata de un valor bajo, por lo que la plataforma tendrá una mayor resistencia, consiguiendo así que las condiciones meteorológicas adversas, como mala mar, sean menos notorios.

Coeficiente de la maestra.

El valor medio al que hemos llegado es de 0,88. Su valor debe oscilar entre 0,75 y 0,98, por lo que se encuentra dentro de los límites necesarios.

Coeficiente prismático

El valor medio obtenido es de 0,60. Al haber obtenido un valor relativamente bajo, sabemos que el grueso del desplazamiento de la plataforma se concentra en el centro de este.

Coeficiente del área de flotación

El resultado medio obtenido para este coeficiente es de 0,74. Esto concuerda con el coeficiente de bloque, estudiado anteriormente, ya que un valor elevado indica una respuesta más rígida al oleaje, reduciendo la cantidad de balanceo y movimiento.

4.1.4 Curvas de estabilidad estática

De las primeras curvas de estabilidad podemos concluir que el cálculo del KG era inadecuado, ya que las curvas demostraban que la plataforma se perdería prácticamente en su primer contacto con el mar. Al aproximar el valor del KG, se obtuvieron unas curvas de estabilidad mucho más coherentes. Es necesario hacer un cálculo de carenas inclinadas más exacto para redefinir estas curvas con un cálculo ajustado de los pesos.

4.2 Comparación de resultados con el TFG de 2022

En este capítulo vamos a comparar los resultados obtenidos con los que se obtuvieron en el TFG del curso 21-22, en la fase 1 del diseño conceptual del PAM. No todos los cálculos realizados en esta fase se habían hecho con anterioridad. Solo repasaremos aquellos que se calcularon en la primera fase.

4.2.1 Volumen de carena

Utilizando modelos matemáticos y ampliando las secciones en los planos de la plataforma, hemos obtenido un valor de 1592 m³ como desplazamiento máximo. El TFG del año 21-22 obtuvo un desplazamiento máximo de 870 m³, utilizando como fuente la base de datos creada para buques con condiciones y dimensiones del PAM.

4.2.2 Coeficientes de forma

El coeficiente de bloque promedio calculado es de 0,53, mientras que el año pasado se obtuvo un valor de 0,41. El principal factor que ha provocado esta variación es el nuevo valor del desplazamiento calculado y la mejora de las formas para la que se han ampliado el número de datos.

Hemos obtenido un valor de 0,88 para el coeficiente de la maestra. El TFG del año 21-22 se llegó al valor de 0,81. No hay cambios muy significantes ya que se calculó de forma empírica relacionando la eslora y la gravedad. Estos valores no han cambiado, por lo que el resultado obtenido es similar.

El promedio del coeficiente prismático obtenido es de 0,60. En la fase 1 fue de 0,51. Esta diferencia se debe a las variaciones en los dos anteriores, ya que este coeficiente relaciona el de bloque y maestra.

4.2.3 Posición KG

Utilizando las expresiones 2.5.10 se ha calculado un valor promedio de 5,38 mientras que en la fase 1 se obtuvo un valor de 4,5 m. Se ha considerado una estimación final del 2,20 metro para el estudio dado que, con el cálculo efectuado anterior, era imposible obtener unas curvas de estabilidad que hiciesen viable el flotador.

4.2.4 Posición longitudinal KB

El KB se sitúa a 1,76 metros a popa de la cuaderna, el obtenido anteriormente es de 2,15 metros a popa. Esta diferencia se debe a que se calculó utilizando una expresión que relacionaba la eslora con el coeficiente prismático, que también hemos visto que ha variado.

4.3 Análisis de los criterios estabilidad.

En este apartado vamos a comparar los resultados obtenidos en el desarrollo con los expresados en el capítulo 2.7 para determinar si el PAM cumple los requisitos mínimos de seguridad para optar a una estabilidad adecuada.

4.3.1 Criterio de la OMI.

Las comprobaciones de estabilidad han sido realizadas para el segundo cálculo de curvas de KN, es decir, con la aproximación de KG a 2,20m ya que, con los cálculos iniciales, calculando el valor de KG de forma empírica, la gráfica mostraba que el baroco no tenía posibilidades de cumplir criterio alguno.

En la tabla 4-1 tenemos los resultados obtenidos para verificar los criterios de la OMI. Respecto al primer criterio podemos afirmar que la altura metacéntrica supera los 0,35 m, siendo 5,28 metros. Respecto al segundo criterio también lo cumple, al estar el GZ máximo en escora de 50°. El tercer criterio también lo cumple al ser la superficie encerrada superior a la mínima requerida. Respecto al último criterio, la superficie encerrada en escora 30° también es superior a la mínima que se requiere.

Criterio	Cumple criterio
$GM \geq 0,35m$	SI
Máximo valor GZ (30°) >0,20m	SI
Superficie encerrada entre (30-40°) $\geq 0,03$ (ángulo en rad)	SI
Superficie encerrada escora 30° $\geq 0,055$ (ángulo en rad)	SI

Tabla 4-1: Resumen criterios OMI

4.3.2 Criterio de Rahola.

En la tabla 4-2 aparecen los resultados a los que hemos llegado para comprobar la estabilidad según el criterio de Rahola. Respecto al primer criterio, el GZ máximo no está entre 30-40°, sino que se encuentra en 50°, por lo que no cumpliría. Respecto al segundo criterio, el brazo dinámico es superior al que exige el criterio. Por último, también cumple la regla de los mínimos al ser el GZ obtenido superior al requerido por el criterio. Estas comprobaciones aparecen descritas y desarrolladas en el anexo 3.

Criterio	Cumple criterio
GZ mayor situado entre 30-40°	NO
Brazo dinámico para 40° $\geq 8cm/radián$	SI
Regla de los mínimos	SI

Tabla 4-2: Resumen criterios OMI

4.3.3 Criterio OTAN

La tabla 4-3 muestra un resumen de los resultados a los que hemos llegado después de comparar los resultados con el criterio OTAN en vigor. Vemos que la plataforma cumple los tres criterios analizados. El área bajo la curva es superior a la que se requiere, el GZ máximo tiene un valor de 5,37m, muy superior al mínimo de 0,3 necesario para cumplir el mínimo. El ángulo de escora lo encontramos en 50° y en con la plataforma a plena carga el GZ tiene un valor de 5,37 metros.

Criterio	Cumple criterio
Área bajo la curva	SI
GZ máx debe ser ≥ 0.3 metros	SI
Ángulo de escora (GZ máx) debe ser $\geq 30^\circ$	SI

Tabla 4-3: Resumen criterios OTAN

CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

Este TFG tenía como objetivo principal continuar el TFG del año 21-22, *Diseño conceptual de un patrullero de altura*, analizar la viabilidad de lo diseñado, mejorar las formas existentes y estudiar la estabilidad de la plataforma. Se han fijado unos objetivos intermedios para alcanzarlo.

4.4 Conclusiones.

Desglosaremos las conclusiones en este trabajo en dos secciones una en la que se incluirán las referentes al TFG y otra en las que hacemos referencia a las conclusiones que a nivel personal se ha extraído del proceso de elaboración del TFG.

4.4.1 Conclusiones del TFG

Se ha alcanzado el objetivo fundamental de obtener un estudio y análisis de la estabilidad estática en condición intacta de la plataforma PAM desarrollada como proyecto conceptual en el curso 2021-2022.

Para la obtención de las curvas de estabilidad, se calcularon parámetros previos que devolvieron resultados coherentes en forma de curvas hidrostáticas que permitieron elaborar las curvas de KN y construir las curvas de estabilidad estática del trabajo.

Al representar gráficamente las curvas de estabilidad, se observó un resultado completamente distinto al esperado. Esto ocurrió principalmente por el cálculo aproximado de KG, ya que con las fórmulas empíricas utilizadas no obtuvimos un resultado lo suficientemente cercano.

Para solventar esta incongruencia, recalculamos el KG basándonos en el KB que sí que se había obtenido teniendo en cuenta los parámetros y formas de la plataforma y que es un dato exacto. De esta forma, alcanzamos unas gráficas mucho más viables si bien el KG es un valor estimado que se ha considerado en 2,20 m.

El manejo continuo del modelo matemático de Simpson y el cálculo numérico inherente a este, ha sido clave para poder llevar a cabo este TFG, al igual que la comprensión de otros métodos numéricos de aproximación, han resultado de gran ayuda para ejecutar los cálculos.

Tras comparar los criterios estudiados con los resultados obtenidos, podemos concluir con que la plataforma necesitaría un estudio en profundidad del reparto de pesos y de las cargas y realizar, de nuevo, la comparación con los criterios de estabilidad actuales que no cumple en su totalidad.

4.4.2 Conclusiones personales.

Este trabajo me ha ayudado a profundizar en conocimientos estudiados previamente a lo largo de la carrera, así como en ganar destreza con el uso de herramientas como AutoCAD o Excel.

También me ha permitido tener un primer contacto con el ámbito de la Ingeniería mecánica, más enfocado a la ingeniería naval, al ser el primer trabajo oficial que realizo habiendo cursado las asignaturas correspondientes.

4.5 Líneas futuras

Las curvas hidrostáticas obtenidas nos permiten seguir avanzando en el estudio y diseño de la plataforma PAM. Este TFG se centra en el desarrollo de parte de la segunda fase de diseño, análisis de formas y estabilidad estática de la plataforma. De esta manera, la continuidad a este trabajo puede ir enfocada al resto de fases de diseño, más concretamente a las siguientes líneas:

- -Afinado y ajuste de las formas del buque
- -Estudio en profundidad del reparto de pesos de la plataforma
- -Definición de espacios, tanques, y equipos en una disposición general más detallada
- -Cálculo de KG de la plataforma de forma precisa.

Con estas líneas de desarrollo puede continuar el diseño de la plataforma PAM y el resto de los estados del TFG.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] R. P. Fernandez, Estudio de estabilidad de buques, desde los criterios usados más importantes hasta cómo aplicarlos en función del tipo de barco., Punto Rojo Libros, 2015.
- [2] C. Fernández salinas, «Practicos de puerto: la catástrofe que tenía que ocurrir.,» 2011. [En línea]. Available: <https://www.practicosdepuerto.es/index.php/es/colegio-federacion/publicaciones/articulos-luis-jar/la-cat%C3%A1strofe-que-ten%C3%ADa-que-ocurrir>. [Último acceso: 30 marzo 2023].
- [3] J. D. Lorenzo, «Puente de mando: la tragedia del Herald of Free Enterprise,» 6 marzo 2021. [En línea]. Available: <https://www.puentedemando.com/se-cumplen-34-anos-de-la-tragedia-del-herald-of-free-enterprise/>. [Último acceso: 17 diciembre 2023].
- [4] R.Miguel, «Va de barcos: la historia del galeón "Vasa",» 14 mayo 2016. [En línea]. Available: <https://vadebarcos.net/2016/05/14/la-historia-del-galeon-vasa/>. [Último acceso: 23 diciembre 2023].
- [5] L.Siles, «La réplica para la Expo de la nao 'Victoria' naufraga en Huelva nada más ser botada,» *El Pais*, 23 Noviembre 1991.
- [6] R.Olivares, «El Mundo: accidente naval del "Nazmiye",» 13 Diciembre 2022. [En línea]. Available: <https://castellonplaza.com/el-ministerio-constata-que-el-nazmiye-ana-donde-murieron-dos-personas-no-podia-llevar-carga-en-cubierta>. [Último acceso: 17 enero 2024].
- [7] Ministerio de defensa, «Operaciones en el exterior,» [En línea]. Available: <https://emad.defensa.gob.es/operaciones/operaciones-en-el-exterior/>. [Último acceso: 2023 enero 26].
- [8] Ministerio de Defensa, «MINISDEF: misiones en el exterior,» 2023. [En línea]. Available: https://www.defensa.gob.es/misiones/en_exterior/. [Último acceso: 3 febrero 2024].
- [9] E. Casanova, Segunda Fase: Estudios de viabilidad y diseño preliminar en El buque de guerra, Ed. Colegio Oficial de Ingenieros, 2009, p. 129–130..
- [10] E. Casanova, Tercera fase: Definición del proyecto y proyecto de contrato en El buque de guerra., Fondo editorial de Ingeniería Naval, Ed. Colegio Oficial de Ingenieros Navales , 2009.
- [11] E. Casanova, “Cuarta fase: Proyecto de detalle (Detail design) y construcción del buque prototipo, Fondo editorial de Ingeniería Naval, 2009, pp. 154-156.
- [12] International Maritime Organization, «Listado de convenios de la OMI,» IMO, [En línea]. Available: <https://www.imo.org/es/About/Conventions/Paginas/ListOfConventions.aspx>. [Último acceso: 20 febrero 2023].
- [13] I. Marino, «Sociedades de Caslificación,» 15 Mayo 2023. [En línea]. Available: <https://ingenieromarino.com/sociedades-de-clasificacion/>. [Último acceso: 29 diciembre 2023].
- [14] Armada Española, *I-CP-03 (B) Estabilidad del buque*, Madrid: Armada, 2018.
- [15] E. E. V. Lewis, Principles of Naval Architecture, vol. 1, Jersey: The society of Naval Architects and Marine Engineers, 1988.

- [16] E. Lewis, Principles of Naval Architecture, Jersey: The society of Naval Architects and Marine Engineers, 1988.
- [17] J. Puig Olivella, Teoria del buque. Estabilidad y flotabilidad., Barcelona: Edicions UPC, 1994, pp. 23-24.
- [18] H. Schneekluth y V. Bertram, Ship design for efficiency and economy, Oxford, 1998.
- [19] M. Orbeta y Lopetagui, Estabilidad del buque, Barcelona: Talleres tipográficos el correo gallego, 1935.
- [20] M. Ramza Mainel, Offshore supply vessel design studies with application of expert systems, Glasgow: Proquest, 1993.
- [21] E. Lewis, Principles of Naval Architecture, vol. 1., Jersey: The society of naval architects and marine engineers, 1988.
- [22] P. Carrasco Pena, *Apuntes temas 4 y 5 de Teoría del buque*, 2023.
- [23] J. Martinez Garcia, Problemas de teoría del buque, Cartamar, 1991.
- [24] F. Deybach, «Intact Stability Criteria for Naval Ships,» Febrero 1997. [En línea]. Available: <https://core.ac.uk/download/pdf/4407163.pdf>. [Último acceso: 20 Febrero 2024].
- [25] M. Ugarte Zarco, «trabajo fin de Grado: diseño conceptual de un patrullero de altura,» *CUD-ENM*, 16 Marzo 2022.
- [26] Y. Yang, Y. Liu, Y. Wang, H. Zhang y L. Zhang, «Dynamic modeling and motion control strategy for deep-sea hybrid-driven underwater gliders considering hull deformation and seawater density variation,» *Ocean Engineering*, vol. 143, pp. 66-78, 23 Diciembre 2017.
- [27] S. Hongqiang, Z. Ying, X. S. y Y. Shaoqiong, «Heading tracking control with an adaptive hybrid control for under actuated underwater glider,» *ISA Transactions*, nº 80, pp. 551-563, 2018.
- [28] Y. Muhammad y e. al., «Cavitation Prediction of Ship Propeller Based on Temperature and Fluid Properties of Water,» *Marine Sciencie Engineering*, vol. 8, 2020.

ANEXO I: IMPLICACIONES SOCIALES, ECONÓMICAS Y AMBIENTALES

La estabilidad en los buques tiene una serie de implicaciones ambientales sociales y económicas necesarias de comentar.

En primer lugar, comenzando con las implicaciones sociales, la construcción de esta plataforma generará una gran cantidad de puestos de trabajo al aumentar la demanda de la industria naviera. No obstante, la seguridad siempre será una prioridad, tanto de los trabajadores encargados de la construcción como de los futuros tripulantes y miembros de la dotación.

Continuando con las implicaciones económicas, el análisis y estudio de la estabilidad de una plataforma no debe escatimar en presupuesto. Es de las partes más importantes del desarrollo del proyecto. La contratación de un buen seguro es fundamental, ya que, en caso de accidente, las responsabilidades y económicas pueden ser muy elevadas.

Respecto a las implicaciones ambientales, para la Armada ya es una prioridad el cuidado del fondo y la fauna marina, así como el objetivo de contaminación 0. Este es un propósito a largo plazo y que a día de hoy se siguen implementando medios combustibles menos contaminantes así como probando otros, como los biodiesel, con el fin de encontrar el equilibrio entre eficiencia y reducción de la contaminación.

ANEXO II: REFLEXIONES ÉTICAS Y SOCIALES

El análisis de la estabilidad de buques durante su diseño es un proceso que involucra una serie de consideraciones éticas y sociales.

En primer lugar, debemos tener en cuenta la seguridad humana. El diseño de cualquier plataforma debe priorizar la seguridad de todo aquel que va a formar parte de la dotación. En la elaboración del trabajo debemos de ser capaces de encontrar el equilibrio entre la eficiencia de la plataforma y la seguridad del personal.

Debemos tener en cuenta, en cuanto a aspectos positivos, la cantidad de empleos que genera el diseño y la posterior construcción de una plataforma, así como los beneficios económicos que reciben los puertos en los que importantes buques hacen escala.

El cumplimiento de la normativa debe ser una prioridad para el desarrollo de la plataforma, asegurando siempre la transparencia y el adecuado cumplimiento de esta.

ANEXO III: CÁLCULOS NUMÉRICOS

Contiene las impresiones del libro de Excel creado para realizar los cálculos del TFG.

HOJAS**Cartilla de trazado**

están incluidos todos los datos de las semimangas del buque que emplearemos para hacer las distintas integraciones con foras cuadráticas. Faltan los valores no hemos representado los valores de los planos longitudinales.

Volumen de Carena

En esta primera hoja se calcula el volumen de carena partiendo de los datos obtenidos para las semimangas del plano de formas. El valor principal que se obtiene aquí es el valor del desplazamiento máximo que compararemos con el estimado en 2022.

Curva de KB

Este cálculo sale de determinar las alturas del KB integrando las flotaciones en sentido vertical para determinar el desplazamiento y el KB a distintos calados, de esta forma se obtienen una curva aproximada que permite determinar los KB a cualquier calado.

Curva de Vol. y Desp.

Estas curvas nos permiten obtener el valor del desplazamiento en agua salada Desp en agua salada con siderada una densidad de 1,023 t/m³. El volumen de carena coincide con el valor del desplazamiento en agua dulce considerando una densidad de 1 t/m³

Radio Metacéntricos

El radio metacéntrico es fundamental para conocer el comportamiento del buque en la estabilidad.

Curva de Áreas de flotación y t.cm de inmersión.

La curva de áreas de secciones es importante para calcular las inercias de las áreas y el valor de las toneladas por cm de inmersión a cualquier calado que consideremos del buque. Juega un papel importante para los cálculos del asiento en el traslado de pesos interiores, el embarque o el desembarque de pesos.

Posición longitudinal del KB

Es un valor interesante a la hora de determinar el asiento del buque y el equilibrio longitudinal con el peso del buque. en equilibrio B y G están alineados.

Curva de CG de la Flotación

Nos permite conocer cual será el eje de giro del buque.

Cálculo del KG

En este caso se calcula con una terna de fórmulas aproximadas de uso habitual en estas fases del diseño. Debemos tener presente que la determinación exacta del KG debe ser motivo de un estudio pormenorizado donde se consideren todos los pesos del buque. Su comprobación se hace en la experiencia de estabilidad.

Hidroestáticas

Esta es una hoja resumen de los valores de las distintas curvas calculadas con anterioridad. Dentro de ellas se incluyen una serie de coeficientes que dan información sobre las características maríneas y de estabilidad del buque.

Curvas de Bonjean

Son las curvas que definen el área de las secciones del buque a cualquier calado, pudiendo integrar los valores del volumen de carena y desplazamiento de forma sencilla y rápida.

Representación gráfica de Bonjean

Permiten determinar de forma gráfica el valor del área de las secciones a cualquier calado.

Carenas inclinadas

Se calculan los desplazamientos a distintos ángulos de escora, lo que nos permite calcular la posición longitudinal del centro de carena del buque con esa escora.

Curvas de KN

Definiendo las curvas de KN podemos construir las curvas de estabilidad a cualquier ángulo, de esta forma partiremos del análisis de las condiciones de desplazamiento a las que aplicaremos los criterios de estabilidad intacta que se consideren. El cálculo del KN parte de la máxima de considerar que el centro de gravedad se encuentra en el punto K en la quilla.

Curvas de estabilidad

Se dibujan las curvas de estabilidad para tres condiciones sencillas de plena carga, media y rosca. Son el estudio de estabilidad intacta a la que se dedica este TFG. Aplicando los criterios de estabilidad comúnmente aceptados se comprobaba la bondad o no de las formas diseñadas.

Criterios de estabilidad

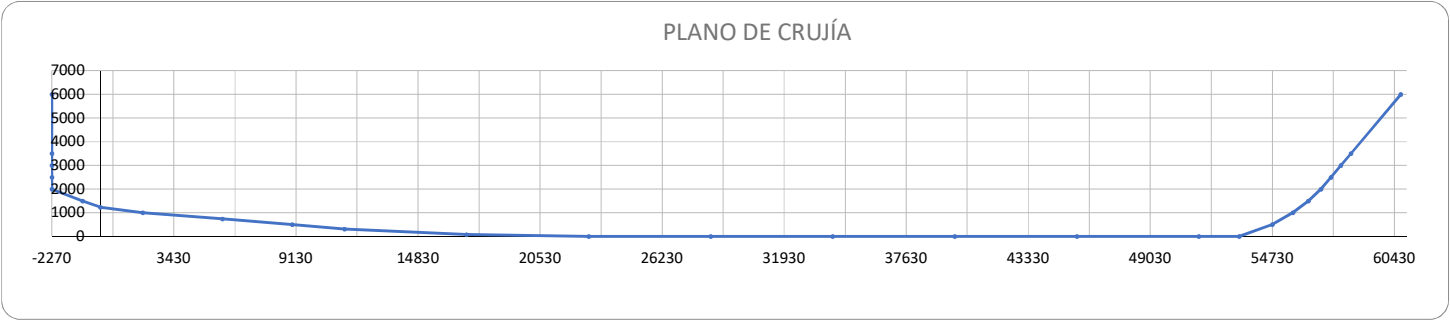
Tres criterios se analizarán; el de Rahola, el de la IMO y los criterios OTAN para buques patrulleros.

Conclusiones

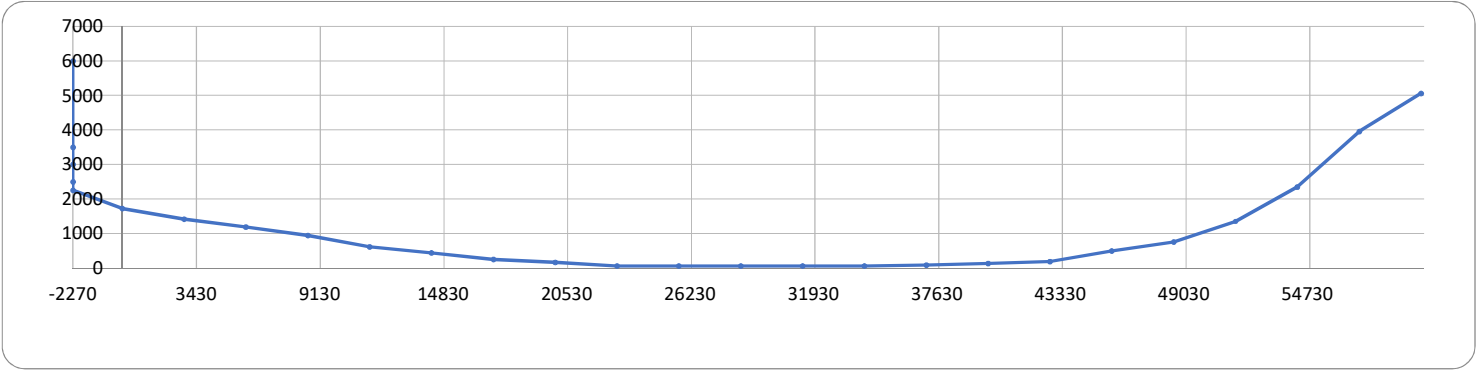
En esta parte se explicará como han sido los resultados de la aplicación de los criterios considerados.

[illegible]

DESCRIPCIÓN	X	Z	Y
CB. PRAL.	-2270	6000	0
L.A. 07	-2270	3500	0
L.A. 06	-2270	3000	0
L.A. 05	-2270	2500	0
L.A. 04	-2270	2000	0
L.A. 03	-832	1500	0
SEC. 00 Ppp	0	1230	0
L.A. 02	1969	1000	0
SEC. 01	5700	740	0
L.A. 01	8952	500	0
SEC. 02	11400	314	0
SEC. 03	17100	76	0
SEC. 04	22800	0	0
SEC. 05	28500	0	0
SEC. 06	34200	0	0
SEC. 07	39900	0	0
SEC. 08	45600	0	0
SEC. 09	51300	0	0
ARRANQUE DE RODA	53184	0	0
L.A. 01	54733	500	0
L.A. 02	55689	1000	0
L.A. 03	56414	1500	0
L.A. 04/SEC. 10	57000	2000	0
L.A. 05	57467	2500	0
L.A. 06	57933	3000	0
L.A. 07	58399	3500	0
CUB. PRAL	60730	6000	0

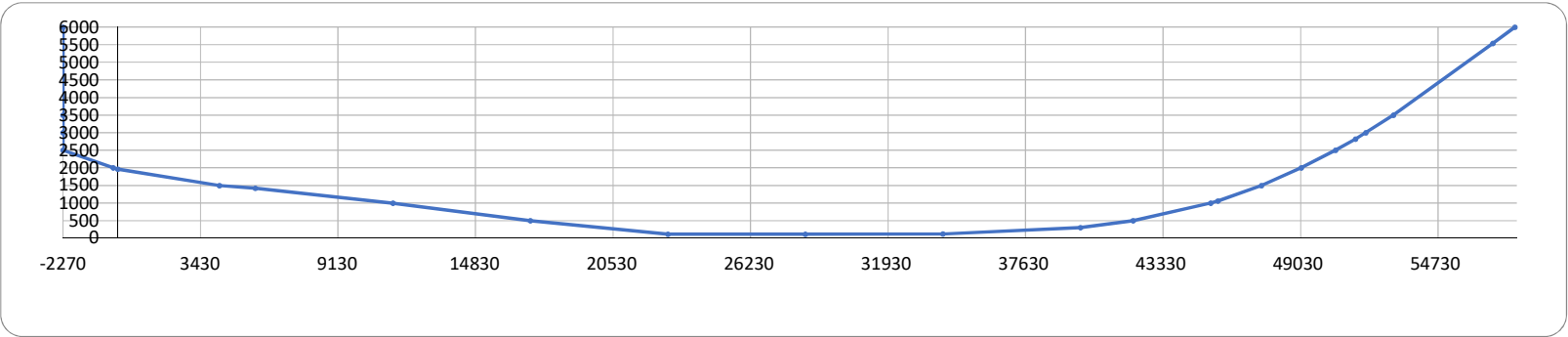


DESCRIPCIÓN	X	Z	Y
CB. PRAL.	-2270	6000	1500
L.A. 07	-2270	3500	1500
L.A. 06	-2270	3000	1500
L.A. 05	-2270	2500	1500
CODILLO ESPEJO	-2270	2250	1500
SEC. 00 Ppp	0	1722	1500
SEC- 1/2	2850	1422	1500
SEC. 01	5700	1191	1500
SEC 1 1/2	8550	942	1500
SEC. 02	11400	617	1500
SEC 2 1/2	14250	439	1500
SEC. 03	17100	250	1500
sec. 03 1/2	19950	164	1500
SEC. 04	22800	59	1500
SEC.04 1/2	25650	59	1500
SEC. 05	28500	59	1500
SEC. 05 1/2	31350	59	1500
SEC. 06	34200	59	1500
SEC. 6 1/2	37050	86	1500
SEC. 07	39900	133	1500
SEC 7 1/2	42750	191	1500
SEC. 08	45600	500	1500
SEC. 8 1/2	48450	759	1500
SEC. 09	51300	1351	1500
SEC. 9 1/2	54150	2349	1500
SEC. 10	57000	3957	1500
SEC. 10 1/2	59850	5055	1500



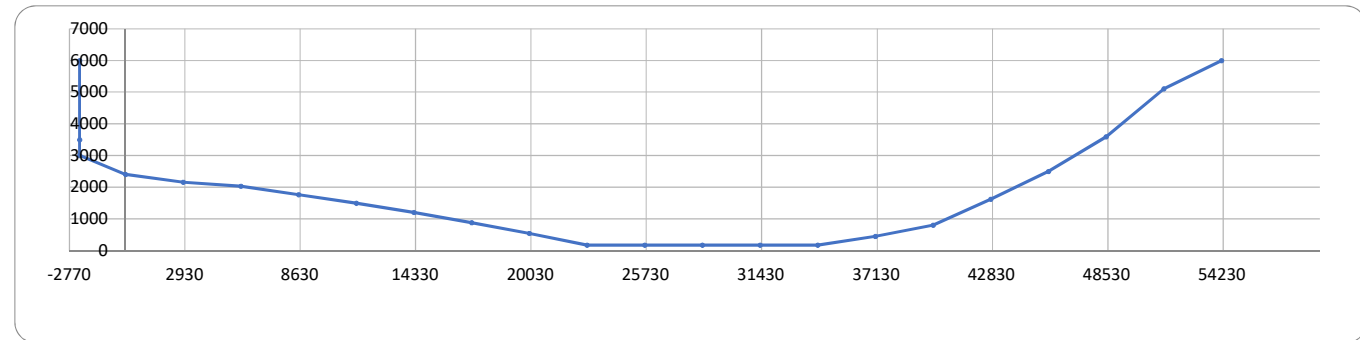
PLANO A 1500 MM DE LA CRUJÍA

DESCRIPCIÓN	X	Z	Y
CB. PRAL.	-2270	6000	3000
L.A. 07	-2270	3500	3000
L.A. 06	-2270	3000	3000
L.A. 05	-2270	2500	3000
L.A. 04	-192	2000	3000
SEC. 00 Ppp	0	1962	3000
L.A. 03	4218	1500	3000
SEC. 01	5700	1418	3000
SEC. 02/L.A. 02	11400	1000	3000
SEC. 03/L.A. 01	17100	500	3000
SEC. 04	22800	117	3000
SEC. 05	28500	117	3000
SEC. 06	34200	124	3000
SEC. 07	39900	305	3000
L.A. 01	42081	500	3000
L.A. 02	45306	1000	3000
SEC. 08	45600	1061	3000
L.A. 03	47402	1500	3000
L.A. 04	49059	2000	3000
L.A. 05	50474	2500	3000
SEC. 09	51300	2822	3000
L.A. 06	51732	3000	3000
L.A. 07	52879	3500	3000
SEC. 10	57000	5536	3000
CB. PRAL.	57912	6000	3000



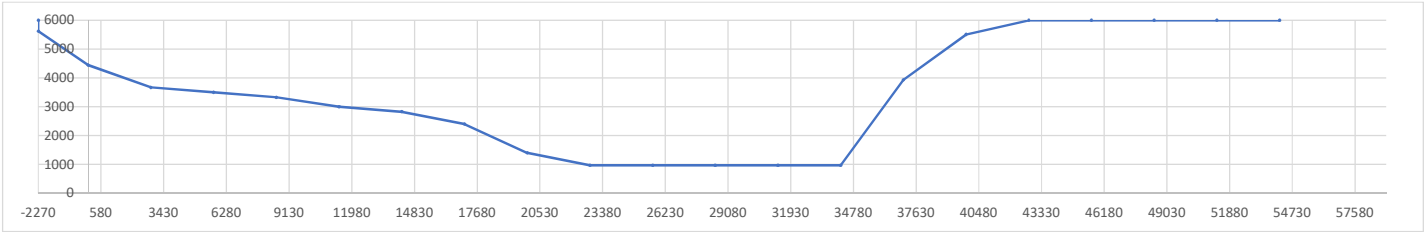
PLANO A 3000 MM DE LA CRUJÍA

DESCRIPCIÓN	X	Z	Y
CB. PRAL.	-2270	6000	4500
L.A. 07	-2270	3500	4500
L.A. 06	-2270	3000	4500
SEC. 00 Ppp	0	2404	4500
SEC 1/2	2850	2160	4500
SEC. 01	5700	2030	4500
SEC 1 1/2	8550	1765	4500
SEC. 02	11400	1500	4500
SEC 2 1/2	14250	1209	4500
SEC. 03	17100	879	4500
SEC 3 1/2	19950	547	4500
SEC. 04	22800	175	4500
SEC.04 1/2	25650	175	4500
SEC. 05	28500	175	4500
SEC. 05 1/2	31350	175	4500
SEC. 06	34200	175	4500
SEC. 6 1/2	37050	447	4500
SEC. 07	39900	800	4500
SEC 7 1/2	42750	1625	4500
SEC. 08	45600	2500	4500
SEC 8 1/2	48450	3597	4500
SEC. 09	51300	5107	4500
SEC. 9 1/2	54150	6000	4500



PLANO A 4500 MM DE LA CRUJÍA

DESCRIPCIÓN	X	Z	Y
CB. PRAL.	-2270	6000	5490
ESPEJO	-2270	5628	5490
SEC. 00 Ppp	0	4446	5490
SEC 1/2	2850	3672	5490
SEC. 01	5700	3500	5490
SEC 1 1/2	8550	3330	5490
SEC. 02	11400	3000	5490
SEC 2 1/2	14250	2829	5490
SEC. 03	17100	2400	5490
SEC 3 1/2	19950	1400	5490
SEC. 04	22800	968	5490
SEC.04 1/2	25650	968	5490
SEC. 05	28500	968	5490
SEC. 05 1/2	31350	968	5490
SEC. 06	34200	968	5490
SEC. 6 1/2	37050	3940	5490
SEC. 07	39900	5510	5490
SEC 7 1/2	42750	6000	5490
SEC. 08	45600	6000	5490
SEC 8 1/2	48450	6000	5490
SEC. 09	51300	6000	5490
SEC. 9 1/2	54150	6000	5490



COSTADO PLANO

		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12	
SEC.	DPpp	FS	L.A 0	2x3	L.A. 1/2	2x4	L.A. 1	2x5	L.A. 2	2x6	L.A. 3	2x7	L.A. 4	2x8	L.A. 5	2x9	L.A. 6	2x10	L.A. 7	2x11	C.PAL.	2x12	
Espejo	-2270	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2708	2708	4445	4445	5195	5195	5339	5339	5500	5500	
0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3222	12888	4660	18640	5174	20696	5378	21512	5500	22000	
0,5	2850	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1500	3000	3824	7648	4905	9810	5320	10640	5442	10884	5500	11000	
1	5700	4	0	0	0	0	0	0	375	1500	3000	12000	4446	17784	5106	20424	5386	21544	5500	22000	5500	22000	
1,5	8550	2	0	0	0	0	0	0	1750	3500	3876	7752	4825	9650	5259	10518	5444	10888	5500	11000	5500	11000	
2	11400	4	0	0	0	0	660	2640	3000	12000	4446	17784	5206	20824	5413	21652	5500	22000	5500	22000	5500	22000	
2,5	14250	2	0	0	638	1276	1500	3000	4024	8048	4963	9926	5352	10704	5456	10912	5500	11000	5500	11000	5500	11000	
3	17100	4	0	0	1696	6784	3000	12000	4786	19144	5347	21388	5500	22000	5500	22000	5500	22000	5500	22000	5500	22000	
3,5	19950	2	0	0	3201	6402	4437	8874	5226	10452	5493	10986	5500	11000	5500	11000	5500	11000	5500	11000	5500	11000	
4	22800	4	0	0	4571	18284	5193	20772	5500	22000	5500	22000	5500	22000	5500	22000	5500	22000	5500	22000	5500	22000	
4,5	25650	2	0	0	4858	9716	5193	10386	5500	11000	5500	11000	5500	11000	5500	11000	5500	11000	5500	11000	5500	11000	
5	28500	4	0	0	4858	19432	5193	20772	5500	22000	5500	22000	5500	22000	5500	22000	5500	22000	5500	22000	5500	22000	
5,5	31350	2	0	0	4858	9716	5193	10386	5500	11000	5500	11000	5500	11000	5500	11000	5500	11000	5500	11000	5500	11000	
6	34200	4	0	0	4726	18904	5193	20772	5500	22000	5500	22000	5500	22000	5500	22000	5500	22000	5500	22000	5500	22000	
6,5	37050	2	0	0	3739	7478	4696	9392	5201	10402	5340	10680	5423	10846	5441	10882	5500	11000	5500	11000	5500	11000	
7	39900	4	0	0	2732	10928	3915	15660	4715	18860	5024	20096	5188	20752	5288	21152	5351	21404	5392	21568	5500	22000	
7,5	42750	2	0	0	1592	3184	2668	5336	3904	7808	4430	8860	4772	9544	5009	10018	5177	10354	5282	10568	5500	11000	
8	45600	4	0	0	820	3280	1650	6600	2943	11772	3637	14548	4147	16588	4519	18076	4794	19176	5001	20004	5500	22000	
8,5	48450	2	0	0	447	894	1000	2000	2048	4096	2755	5510</											

VOLUMEN DE CARENA $2x Vm3$ 1592

Integrado por secciones

Es necesario usar las áreas totales de la flotacion

	Área LA -0	Área LA-1/2	Área LA-1	Área LA-2	Área LA-3	Área LA-4	Área LA-5	Área LA-6	Área LA-7
Áreas (m2)	0,00	222,83	286,79	381,66	453,71	529,19	570,40	593,72	608,20
Calado (m)	0,00	0,25	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50

Áreas x Calado (m3)	0,00	55,71	143,39	381,66	680,57	1058,38	1426,00	1781,15	2128,68
FS	1,00	2,00	1,50	4,00	2,00	4,00	2,00	4,00	1,00
Producto FS Ax C	0,00	111,41	215,09	1526,64	1361,14	4233,50	2852,00	7124,61	2128,68

Valor del momento total partido por el desplazamiento nos da el centro de carna al calado

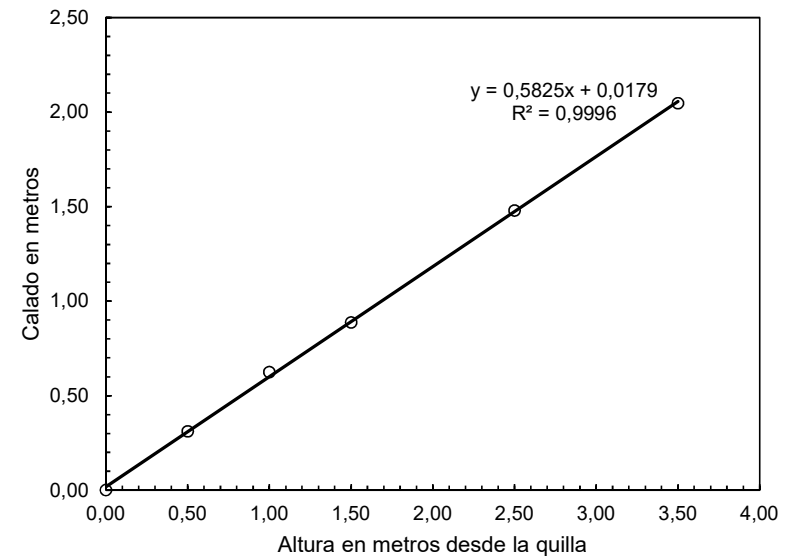
Haciendo las integrales aproximadas con para los siguientes calados podemos aproximar una curva de KBs:

Calado (m)	Desplaza (m3)	Momento (m4)	KB (m)
0,00	0	0	0,00
0,50	98	31	0,31
1,00	255	159	0,62
1,50	476	422	0,89
2,50	1000	1479	1,48
3,50	1592	3259	2,05

Momento total 3,5 m	3258,85
KB al calado 3,5 m	2,05

Del nuevo cálculo del desplazamiento integrando las Areas de flotación determinanos que el error de cálculo por secciones o por flotaciones es del 0,00015. **0,015%**

Curva de KB en metros



	Cte	h	m2	Fs	FS x Semi Área
ALA -0	0,33	0,25	0,00	1	0,00
ALA-1/2	0,33	0,25	111,41	4	445,66
ALA-1	0,33	0,25	143,39	1	143,39
					589,05

	SEMI VC m3	VC *2 m3
VC K	0,00	0,00

	Cte	h	m2	Fs	FS x Semi Área
ALA-1	0,33	0,50	143,39	1	143,39
ALA-2	0,33	0,50	190,83	4	763,32
ALA-3	0,33	0,50	226,86	1	226,86
					1133,57

	SEMI VC m3	VC *2 m3
VC LA1	49,09	98,17

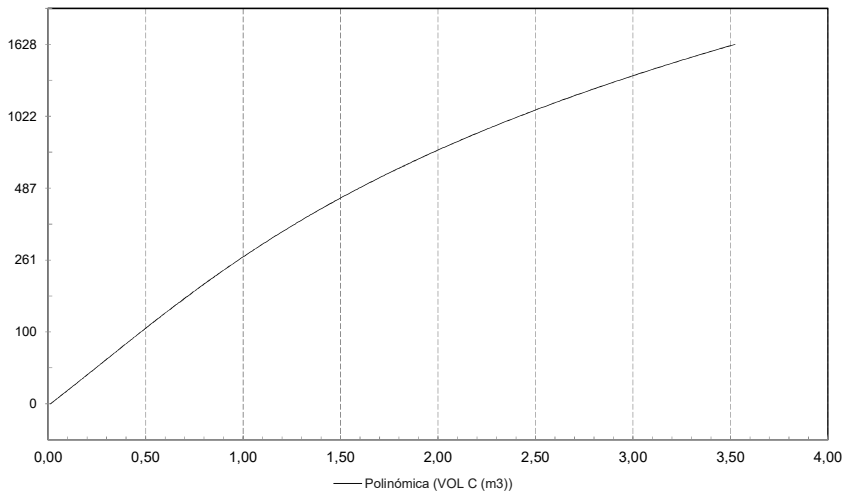
	SEMI VC m3	VC *2 m3	VOLUMEN HASTA L.A 3
VC LA3	188,93	377,86	476,03

	Cte	h	m2	Fs	FS x Semi Área
ALA-3	0,33	0,50	226,86	1	226,86
ALA-4	0,33	0,50	259,57	4	1038,29
ALA-5	0,33	0,50	280,63	1	280,63
					1545,77

	SEMI VC m3	VC *2 m3	VOLUMEN HASTA L.A 5
VC LA5	257,63	515,26	991,29

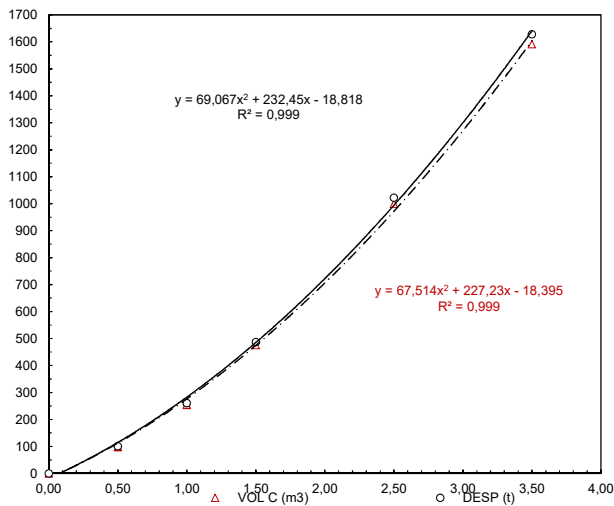
	Cte	h	m2	Fs	FS x Semi Área
ALA-5	0,33	0,50	280,63	1	280,63
ALA-6	0,33	0,50	290,84	4	1163,35
ALA-7	0,33	0,50	295,86	1	295,86
					1739,84

	SEMI VC m3	VC *2 m3	VOLUMEN HASTA L.A 7
VC LA7	289,97	579,95	1571,24



Tomamos los valores de las integrales de las areas de flotación

Calados	VOL C (m3)	DESP (t)
0,00	0	0
0,50	98	100
1,00	255	261
1,50	476	487
2,50	1000	1022
3,50	1591	1628



Se están calculando las áreas de las flotaciones los valores de los momentos de primer y segundo orden que nos sirvan para cálculos de otros parámetros de la carena.

L.A 1/2

Sección	FS	Semimanga (Y)	FS x Semimanga	Brazo	Función de área	Y3	Y3 x FS
Espejo	1	0,00	0,00	-31,35	0,00	0,00	0,00
0	4	0,00	0,00	-28,50	0,00	0,00	0,00
0,5	2	0,00	0,00	-25,65	0,00	0,00	0,00
1	4	0,00	0,00	-22,80	0,00	0,00	0,00
1,5	2	0,00	0,00	-19,95	0,00	0,00	0,00
2	4	0,00	0,00	-17,10	0,00	0,00	0,00
2,5	2	0,64	1,28	-14,25	18,18	0,26	0,52
3	4	1,70	6,78	-11,40	77,34	4,88	19,51
3,5	2	3,20	6,40	-8,55	54,74	32,80	65,60
4	4	4,57	18,28	-5,70	104,22	95,51	382,03
4,5	2	4,86	9,72	-2,85	27,69	114,65	229,30
5	4	4,86	19,43	0,00	0,00	114,65	458,60
5,5	2	4,86	9,72	2,85	27,69	114,65	229,30
6	4	4,73	18,90	5,70	107,75	105,56	422,22
6,5	2	3,74	7,48	8,55	63,94	52,27	104,54
7	4	2,73	10,93	11,40	124,58	20,39	81,56
7,5	2	1,59	3,18	14,25	45,37	4,03	8,07
8	4	0,82	3,28	17,10	56,09	0,55	2,21
8,5	2	0,45	0,89	19,95	17,84	0,09	0,18
9	4	0,25	1,00	22,80	22,80	0,02	0,06
9,5	2	0,00	0,00	25,65	0,00	0,00	0,00
10	4	0,00	0,00	28,50	0,00	0,00	0,00
10,5	1	0,00	0,00	31,35	0,00	0,00	0,00
Sumatorio			117,28		748,22		2003,70
Integrales		Semi Área	111,41		710,81		1903,52
		Área	222,83		1421,62		3807,03

Aplicamos 1ª de S.

L.A 1

Sección	FS	Semimanga (Y)	FS x Semimanga	Brazo	Función de área	Y3	Y3 x FS
Espejo	1	0,00	0,00	-31,35	0,00	0,00	0,00
0	4	0,00	0,00	-28,50	0,00	0,00	0,00
0,5	2	0,00	0,00	-25,65	0,00	0,00	0,00
1	4	0,00	0,00	-22,80	0,00	0,00	0,00
1,5	2	0,00	0,00	-19,95	0,00	0,00	0,00
2	4	1,00	4,00	-17,10	68,40	1,00	4,00
2,5	2	1,23	2,45	-14,25	34,91	1,84	3,68
3	4	3,00	12,00	-11,40	136,80	27,00	108,00
3,5	2	4,44	8,87	-8,55	75,87	87,35	174,70
4	4	5,19	20,77	-5,70	118,40	140,04	560,16
4,5	2	5,19	10,39	-2,85	29,60	140,04	280,08
5	4	5,19	20,77	0,00	0,00	140,04	560,16
5,5	2	5,19	10,39	2,85	29,60	140,04	280,08
6	4	5,19	20,77	5,70	118,40	140,04	560,16
6,5	2	4,70	9,39	8,55	80,30	103,56	207,12
7	4	3,92	15,66	11,40	178,52	60,01	240,02
7,5	2	2,67	5,34	14,25	76,04	18,99	37,98
8	4	1,50	6,00	17,10	102,60	3,38	13,50
8,5	2	0,90	1,79	19,95	35,75	0,72	1,44
9	4	0,54	2,15	22,80	49,07	0,16	0,62
9,5	2	0,10	0,20	25,65	5,03	0,00	0,00
10	4	0,00	0,00	28,50	0,00	0,00	0,00
10,5	1	0,00	0,00	31,35	0,00	0,00	0,00
Sumatorio			150,94		1139,29		3031,72
Integrales		Semi Área	143,39		1082,33		2880,13
		Área	286,79		2164,66		5760,27

Aplicamos 1ª de S.

L.A 2

Sección	FS	Semimanga (Y)	FS x Semimanga	Brazo	Función de área	Y3	Y3 x FS
Espejo	1	0,00	0,00	-31,35	0,00	0,00	0,00
0	4	0,00	0,00	-28,50	0,00	0,00	0,00
0,5	2	0,00	0,00	-25,65	0,00	0,00	0,00
1	4	0,38	1,50	-22,80	34,20	0,05	0,21
1,5	2	1,75	3,50	-19,95	69,83	5,36	10,72
2	4	3,00	12,00	-17,10	205,20	27,00	108,00
2,5	2	4,02	8,05	-14,25	114,68	65,16	130,32
3	4	4,79	19,14	-11,40	218,24	109,63	438,51
3,5	2	5,23	10,45	-8,55	89,36	142,73	285,46
4	4	5,50	22,00	-5,70	125,40	166,38	665,50
4,5	2	5,50	11,00	-2,85	31,35	166,38	332,75
5	4	5,50	22,00	0,00	0,00	166,38	665,50
5,5	2	5,50	11,00	2,85	31,35	166,38	332,75
6	4	5,50	22,00	5,70	125,40	166,38	665,50
6,5	2	5,20	10,40	8,55	88,94	140,69	281,38
7	4	4,72	18,86	11,40	215,00	104,82	419,28
7,5	2	3,90	7,81	14,25	111,26	59,50	119,00
8	4	2,94	11,77	17,10	201,30	25,49	101,96
8,5	2	2,05	4,10	19,95	81,72	8,59	17,18
9	4	1,11	4,44	22,80	101,23	1,37	5,47
9,5	2	0,43	0,85	25,65	21,85	0,08	0,15
10	4	0,00	0,00	28,50	0,00	0,00	0,00
10,5	1	0,00	0,00	31,35	0,00	0,00	0,00
Sumatorio			200,87		1866,32		4579,64
Integrales		Semi Área	190,83		1773,01		4350,66
		Área	381,66		3546,01		8701,31

Aplicamos 1ª de S.

L.A 3

Sección	FS	Semimanga (Y)	FS x Semimanga	Brazo	Función de área	Y3	Y3 x FS
Espejo	1	0,00	0,00	31,35	0,00	0,00	0,00
0	4	0,00	0,00	28,50	0,00	0,00	0,00
0,5	2	1,50	3,00	25,65	76,95	3,38	6,75
1	4	3,00	12,00	22,80	273,60	27,00	108,00
1,5	2	3,88	7,75	19,95	154,65	58,23	116,46
2	4	4,45	17,78	17,10	304,11	87,88	351,53
2,5	2	4,96	9,93	14,25	141,45	122,25	244,49
3	4	5,35	21,39	11,40	243,82	152,87	611,49
3,5	2	5,49	10,99	8,55	93,93	165,74	331,48
4	4	5,50	22,00	5,70	125,40	166,38	665,50
4,5	2	5,50	11,00	2,85	31,35	166,38	332,75
5	4	5,50	22,00	0,00	0,00	166,38	665,50
5,5	2	5,50	11,00	2,85	31,35	166,38	332,75
6	4	5,50	22,00	5,70	125,40	166,38	665,50
6,5	2	5,34	10,68	8,55	91,31	152,27	304,55
7	4	5,02	20,10	11,40	229,09	126,81	507,23
7,5	2	4,43	8,86	14,25	126,26	86,94	173,88
8	4	3,64	14,55	17,10	248,77	48,11	192,44
8,5	2	2,76	5,51	19,95	109,92	20,91	41,82
9	4	1,66	6,64	22,80	151,39	4,57	18,30
9,5	2	0,81	1,63	25,65	41,71	0,54	1,07
10	4	0,00	0,00	28,50	0,00	0,00	0,00
10,5	1	0,00	0,00	31,35	0,00	0,00	0,00
Sumatorio			238,796		2600,4654		5671,498176
Integrales		Semi Área	226,86		2470,44		5387,92
		Área	453,71		4940,88		10775,85

Aplicamos 1ª de S.

L.A 4

Sección	FS	Semimanga (Y)	FS x Semimanga	Brazo	Función de área	Y3	Y3 x FS
Espejo	1	2,71	2,71	-31,35	84,90	19,86	19,86
0	4	3,22	12,89	-28,50	367,31	33,45	133,79
0,5	2	3,82	7,65	-25,65	196,17	55,92	111,84
1	4	4,45	17,78	-22,80	405,48	87,88	351,53
1,5	2	4,83	9,65	-19,95	192,52	112,33	224,66
2	4	5,21	20,82	-17,10	356,09	141,10	564,38
2,5	2	5,35	10,70	-14,25	152,53	153,30	306,60
3	4	5,50	22,00	-11,40	250,80	166,38	665,50
3,5	2	5,50	11,00	-8,55	94,05	166,38	332,75
4	4	5,50	22,00	-5,70	125,40	166,38	665,50
4,5	2	5,50	11,00	-2,85	31,35	166,38	332,75
5	4	5,50	22,00	0,00	0,00	166,38	665,50
5,5	2	5,50	11,00	2,85	31,35	166,38	332,75
6	4	5,50	22,00	5,70	125,40	166,38	665,50
6,5	2	5,42	10,85	8,55	92,73	159,48	318,97
7	4	5,19	20,75	11,40	236,57	139,64	558,55
7,5	2	4,77	9,54	14,25	136,00	108,67	217,34
8	4	4,15	16,59	17,10	283,65	71,32	285,27
8,5	2	3,29	6,58	19,95	131,27	35,61	71,22
9	4	2,18	8,70	22,80	198,36	10,29	41,16
9,5	2	1,15	2,30	25,65	59,10	1,53	3,06
10	4	0,00	0,00	28,50	0,00	0,00	0,00
10,5	1	0,00	0,00	31,35	0,00	0,00	0,00
Sumatorio			278,52		3551,03		6868,48
Integrales		Semi Área	264,59		3373,48		6525,06
		Área	529,19		6746,96		13050,11

Aplicamos 1ª de S.

L.A 5

Sección	FS	Semimanga (Y)	FS x Semimanga	Brazo	Función de área	Y3	Y3 x FS
Espejo	1	4,45	4,45	-31,35	139,35	87,82	87,82
0	4	4,66	18,64	-28,50	531,24	101,19	404,78
0,5	2	4,91	9,81	-25,65	251,63	118,01	236,02
1	4	5,11	20,42	-22,80	465,67	133,12	532,48
1,5	2	5,26	10,52	-19,95	209,83	145,45	290,90
2	4	5,41	21,65	-17,10	370,25	158,60	634,42
2,5	2	5,46	10,91	-14,25	155,50	162,41	324,83
3	4	5,50	22,00	-11,40	250,80	166,38	665,50
3,5	2	5,50	11,00	-8,55	94,05	166,38	332,75
4	4	5,50	22,00	-5,70	125,40	166,38	665,50
4,5	2	5,50	11,00	-2,85	31,35	166,38	332,75
5	4	5,50	22,00	0,00	0,00	166,38	665,50
5,5	2	5,50	11,00	2,85	31,35	166,38	332,75
6	4	5,50	22,00	5,70	125,40	166,38	665,50
6,5	2	5,44	10,88	8,55	93,04	161,08	322,16
7	4	5,29	21,15	11,40	241,13	147,87	591,47
7,5	2	5,01	10,02	14,25	142,76	125,68	251,35
8	4	4,52	18,08	17,10	309,10	92,28	369,14
8,5	2	3,74	7,47	19,95	149,11	52,19	104,38
9	4	2,65	10,61	22,80	241,86	18,65	74,61
9,5	2	1,58	3,15	25,65	80,85	3,91	7,83
10	4	0,36	1,45	28,50	41,27	0,05	0,19
10,5	1	0,00	0,00	31,35	0,00	0,00	0,00
Sumatorio			300,21		4080,93		7892,61
Integrales		Semi Área	285,20		3876,88		7497,98
		Área	570,40		7753,77		14995,96

Aplicamos 1ª de S.

L.A 6

Sección	FS	Semimanga (Y)	FS x Semimanga	Brazo	Función de área	Y3	Y3 x FS
Espejo	1	5,20	5,20	-31,35	162,86	140,20	140,20
0	4	5,17	20,70	-28,50	589,84	138,51	554,04
0,5	2	5,32	10,64	-25,65	272,92	150,57	301,14
1	4	5,39	21,54	-22,80	491,20	156,24	624,97
1,5	2	5,44	10,89	-19,95	217,22	161,34	322,69
2	4	5,50	22,00	-17,10	376,20	166,38	665,50
2,5	2	5,50	11,00	-14,25	156,75	166,38	332,75
3	4	5,50	22,00	-11,40	250,80	166,38	665,50
3,5	2	5,50	11,00	-8,55	94,05	166,38	332,75
4	4	5,50	22,00	-5,70	125,40	166,38	665,50
4,5	2	5,50	11,00	-2,85	31,35	166,38	332,75
5	4	5,50	22,00	0,00	0,00	166,38	665,50
5,5	2	5,50	11,00	2,85	31,35	166,38	332,75
6	4	5,50	22,00	5,70	125,40	166,38	665,50
6,5	2	5,50	11,00	8,55	94,05	166,38	332,75
7	4	5,35	21,40	11,40	244,01	153,22	612,87
7,5	2	5,18	10,35	14,25	147,54	138,75	277,50
8	4	4,79	19,18	17,10	327,91	110,18	440,71
8,5	2	4,09	8,17	19,95	163,03	68,22	136,43
9	4	3,09	12,36	22,80	281,81	29,50	118,01
9,5	2	2,06	4,12	25,65	105,73	8,75	17,51
10	4	0,73	2,93	28,50	83,56	0,39	1,58
10,5	1	0,00	0,00	31,35	0,00	0,00	0,00
Sumatorio			312,48		4372,97		8538,90
Integrales		Semi Área	296,86		4154,33		8111,95
		Área	593,72		8308,65		16223,91

Aplicamos 1ª de S.

L.A 7

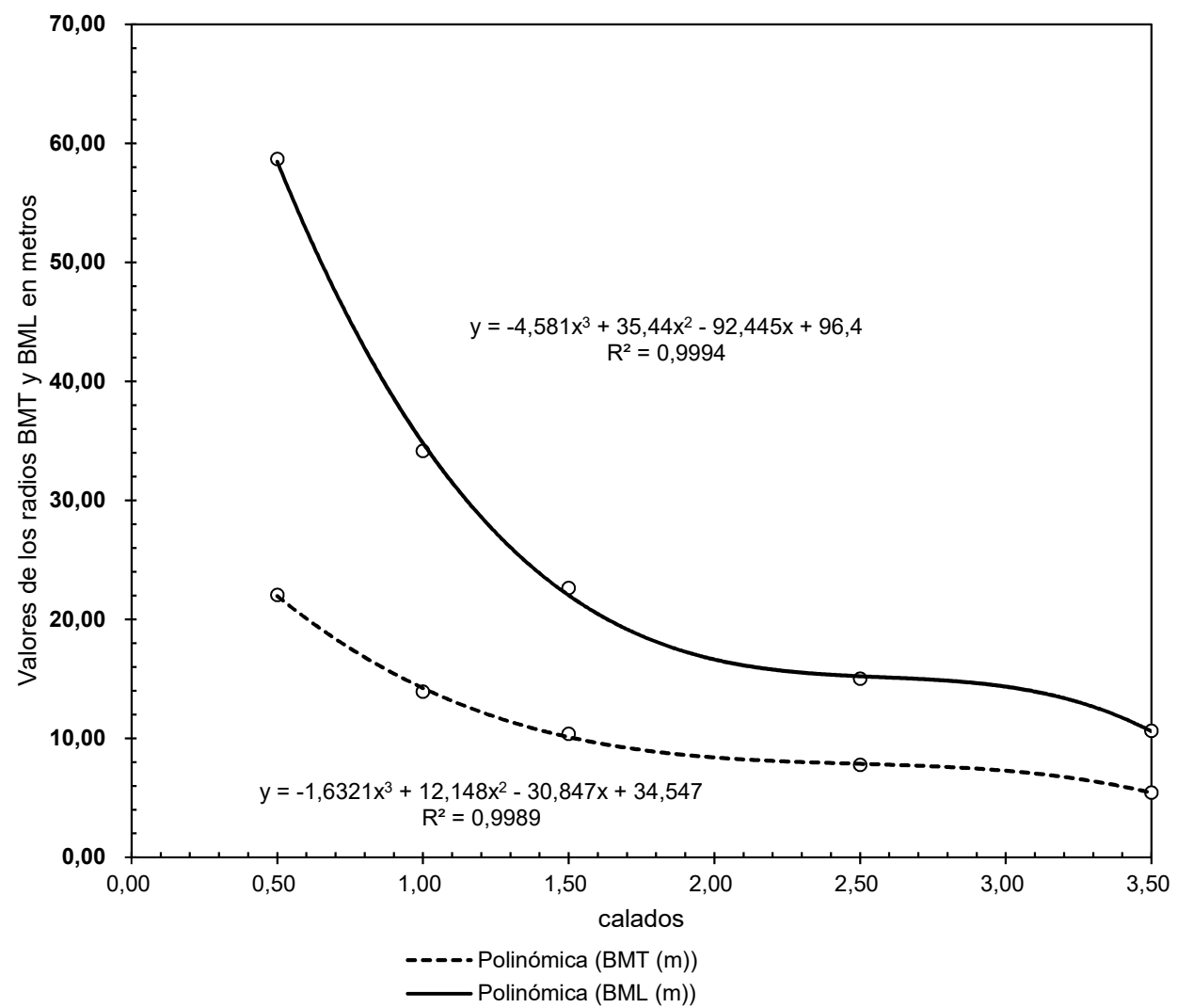
Sección	FS	Semimanga (Y)	FS x Semimanga	Brazo	Función de área	Y3	Y3 x FS
Espejo	1	5,34	5,34	-31,35	167,38	152,19	152,19
0	4	5,38	21,51	-28,50	613,09	155,55	622,19
0,5	2	5,44	10,88	-25,65	279,17	161,17	322,33
1	4	5,50	22,00	-22,80	501,60	166,38	665,50
1,5	2	5,50	11,00	-19,95	219,45	166,38	332,75
2	4	5,50	22,00	-17,10	376,20	166,38	665,50
2,5	2	5,50	11,00	-14,25	156,75	166,38	332,75
3	4	5,50	22,00	-11,40	250,80	166,38	665,50
3,5	2	5,50	11,00	-8,55	94,05	166,38	332,75
4	4	5,50	22,00	-5,70	125,40	166,38	665,50
4,5	2	5,50	11,00	-2,85	31,35	166,38	332,75
5	4	5,50	22,00	0,00	0,00	166,38	665,50
5,5	2	5,50	11,00	2,85	31,35	166,38	332,75
6	4	5,50	22,00	5,70	125,40	166,38	665,50
6,5	2	5,50	11,00	8,55	94,05	166,38	332,75
7	4	5,39	21,57	11,40	245,88	156,77	627,06
7,5	2	5,28	10,57	14,25	150,59	147,53	295,07
8	4	5,00	20,00	17,10	342,07	125,08	500,30
8,5	2	4,50	9,00	19,95	179,55	91,13	182,25
9	4	3,49	13,95	22,80	318,11	42,44	169,74
9,5	2	2,39	4,79	25,65	122,81	13,72	27,44
10	4	1,12	4,49	28,50	127,91	1,41	5,65
10,5	1	0,00	0,00	31,35	0,00	0,00	0,00
Sumatorio			320,10		4552,96		8893,72
Integrales		Semi Área	304,10		4325,31		8449,03
		Área	608,20		8650,62		16898,07

Aplicamos 1ª de S.

Calados en m

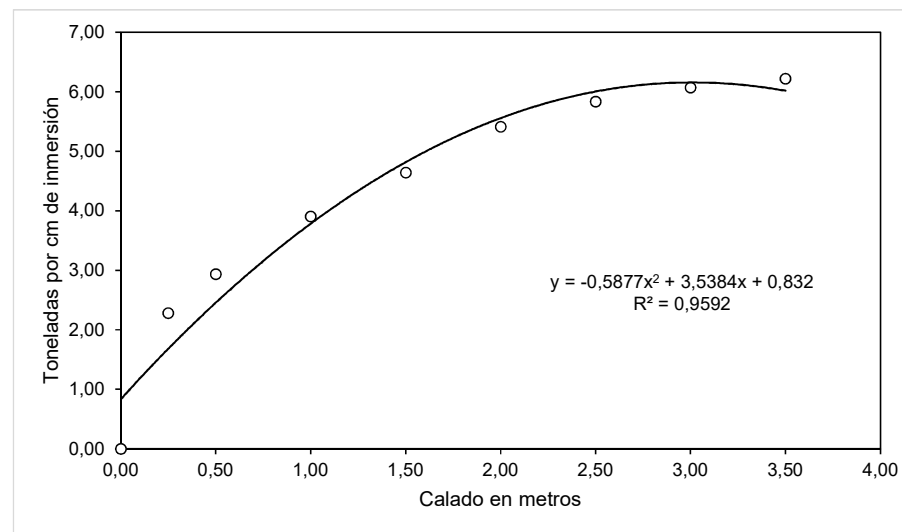
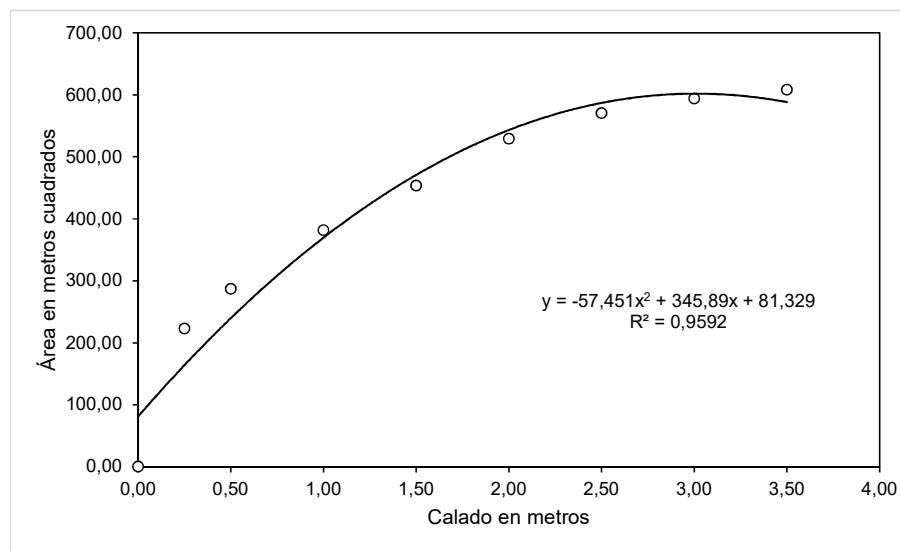
	Vol Carena(m3)	I T (m4)	I L (m4)	BMT (m)	BML (m)
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,50	98,17	2164,66	5760,27	22,05	58,67
1,00	254,80	3546,01	8701,31	13,92	34,15
1,50	476,03	4940,88	10775,85	10,38	22,64
2,50	999,51	7753,77	14995,96	7,76	15,00
3,50	1591,75	8650,62	16898,07	5,43	10,62

Aquí podemos hacer un primer análisis de la posición de los radios metacéntricos. Como es habitual los BML son mucho mayores que el BMT confirmandose en cada uno de los valores calculados.



Calculo de las toneladas por centimetro de inmersión y curva de áreas de flotación.

	Área flotación (m2)	ton/cm inmersión
0,00	0,00	0,00
0,25	222,83	2,28
0,50	286,79	2,93
1,00	381,66	3,90
1,50	453,71	4,64
2,00	529,19	5,41
2,50	570,40	5,84
3,00	593,72	6,07
3,50	608,20	6,22

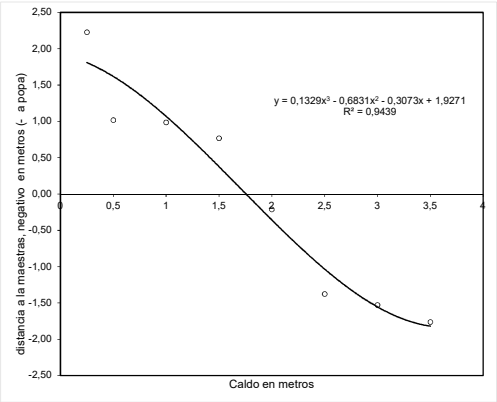


Secciones	Distancia a cuaderna maestra(m)	Funciones	Área(C=0)	PRODUCTO	Área(C=0,25)	PRODUCTO	Área(C=0,5)	PRODUCTO	Área (C=1)	PRODUCTO	Área(C=1,5)	PRODUCTO	Área(C=2)	PRODUCTO	Área (C=2,5)	PRODUCTO	Área (C=3)	PRODUCTO	Área(3,5)	PRODUCTO	
SEC 0	-28.5	$y = 0.0005x^2 - 0.0173x^2 + 0.2557x + 1.5242$	0	0	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0.00	0.00	1.90	-54.15	5.85	-166.76	11.15	-317.66	16.58	-472.53	
SEC 1	-25.65	$y = 0.0007x^2 - 0.0241x^2 + 0.3224x + 1.2461$	0	0	0	0.00	0	0.00	0.00	0.00	0.13	-3.21	2.50	-64.125	7.23	-185.56	12.67	-324.88	18.10	-464.27	
SEC 1 1/2	-22.8	$y = 0.0003x^2 - 0.0127x^2 + 0.2334x + 1.2342$	0	0	0	0.00	0	0.00	0.00	0.00	0.13	-2.85	4.00	-91.2	9.76	-199.61	14.43	-329.00	19.72	-449.55	
SEC 2	-19.95	$y = 0.0005x^2 - 0.0188x^2 + 0.3262x + 0.862$	0	0	0	0.00	0.58	-11.64	2.40	-47.88	6.19	-123.4905	10.30	-205.49	15.40	-307.23	21.00	-418.95	26.10	-478.95	
SEC 2 1/2	-17.1	$y = 0.0003x^2 - 0.0133x^2 + 0.3064x + 0.2754$	0	0	0	0.87	-14.88	2.43	-41.55	4.60	-78.66	8.50	-145.35	12.50	-213.75	17.30	-295.83	23.56	-402.89		
SEC 3	-14.25	$y = 0.0002x^2 - 0.0108x^2 + 0.2888x + 0.0841$	0	0.6	-8.55	1.30	-18.53	3.19	-45.42	6.38	-90.85	9.76	-139.0743	13.80	-196.60	18.53	-264.05	24.80	-353.35		
SEC 3 1/2	-11.4	$y = -1E-05x^2 - 0.0016x^2 + 0.1772x - 0.0084$	0	1.28	-14.59	3.32	-37.85	6.16	-70.23	9.11	-103.83	12.80	-145.92	17.11	-195.05	22.10	-251.96	28.11	-320.45		
SEC 4	-8.55	$y = -4E-05x^2 + 0.0036x^2 + 0.0914x + 0.023$	0	1.75	-14.96	4.80	-41.04	8.73	-74.60	12.00	-102.60	15.65	-133.77159	19.72	-166.63	24.33	-208.01	30.72	-262.68		
SEC 4 1/2	-5.7	$y = -0.0001x^2 + 0.0047x^2 + 0.0861x + 0.0215$	0	2.30	13.11	5.67	-32.32	10.00	-57.00	13.20	-75.24	16.91	-96.40809	21.11	-120.35	25.61	-145.51	32.11	-183.05		
SEC 5	-2.85	$y = -0.0001x^2 + 0.0047x^2 + 0.0861x + 0.0216$	0	2.30	-6.56	5.67	-16.16	10.00	-28.50	13.20	-37.62	17.06	-48.61587	21.21	-60.45	25.61	-73.00	32.21	-91.80		
SEC 5 1/2	0	$y = -0.0001x^2 + 0.0047x^2 + 0.0861x + 0.0217$	0	2.30	0.00	5.67	0.00	10.00	0.00	13.20	0.00	17.06	0	21.21	0.00	25.61	0.00	32.21	0.00	0.00	
SEC 6	2.85	$y = -0.0001x^2 + 0.0047x^2 + 0.0861x + 0.0218$	0	2.30	6.56	5.67	16.16	10.00	28.50	13.20	37.62	17.06	48.61587	21.21	60.45	25.61	73.00	32.21	91.80	0.00	
SEC 6 1/2	5.7	$y = 0.0303x^2 - 0.2412x^2 + 3.5333x - 3.2862$	0	3.23	18.41	5.67	32.32	9.24	52.68	11.74	66.89	16.07	91.57848	20.19	115.07	24.73	140.94	31.19	177.77	0.00	
SEC 7	8.55	$y = -0.0062x^2 + 0.2849x^2 + 1.7865x - 2.3507$	0	2.00	17.10	4.45	38.05	8.95	76.50	13.20	112.86	17.05	145.804005	19.95	170.55	25.74	220.05	30.95	264.60	0.00	
SEC 7 1/2	11.4	$y = 0.0058x^2 + 0.4519x^2 + 1.4473x - 1.7524$	0	1.90	21.66	3.34	38.08	7.70	87.81	10.21	116.42	14.38	163.96734	18.96	205.85	22.72	259.06	28.86	329.04	0.00	
SEC 8	14.25	$y = 0.0035x^2 + 0.2407x^2 + 0.443x - 0.7391$	0	1.30	18.53	2.25	32.06	5.39	76.80	7.96	113.43	11.92	169.78875	14.90	212.30	19.83	282.51	25.50	363.41	0.00	
SEC 8 1/2	17.1	$y = 0.0071x^2 + 0.3547x^2 - 1.3939x + 1.4579$	0	0.65	11.12	1.13	19.32	2.11	36.08	3.25	55.65	7.13	121.923	11.50	196.69	17.94	306.84	22.11	378.02	0.00	
SEC 9	19.95	$y = 0.0187x^2 + 0.0387x^2 + 0.1435x - 0.2098$	0	0.43	8.58	0.97	19.35	2.03	40.43	4.10	81.75	6.25	124.6875	8.58	171.11	13.25	264.34	17.77	354.56	0.00	
SEC 9 1/2	22.8	$y = 0.0234x^2 - 0.0909x^2 + 0.4032x - 0.3482$	0	0	0.26	5.93	0.75	17.10	1.03	23.42	2.59	58.16	4.13	94.164	5.36	122.31	9.49	216.29	12.88	293.63	
SEC 10	25.65	$y = 0.0276x^2 - 0.1775x^2 + 0.3172x - 0.1396$	0	0.01	0.26	0.03	0.77	0.11	2.82	0.27	6.99	1.45	37.1925	2.61	66.82	5.46	140.05	8.32	213.34	0.00	
SEC 10	28.5	$y = -0.0555x^2 + 0.8273x^2 - 1.9728x + 1.201$	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0.12	3.44	1.23	35.06	3.00	85.36	
KBL						22.61	50.36	51.56	52.44	97.64	96.09	140.86	108.05	207.76	-44.383905	281.27	-387.66	378.65	-579.00	491.90	-867.97
							2.23		1.02		0.98		0.77		-0.2136293		-1.38		-1.53		-1.76

Esta tabla sirve para hacer el cálculo longitudinal del KB. Lás áreas de cada sección se han obtenido de las curvas de Bonjean, utilizando el método de Simpson
El criterio utilizado es (-) hacia popa de la maestra y (+) a proa.

Tabla resumen KBL

KBL	CALADO
2.23	0.25
1.02	0.5
0.98	1
0.77	1.5
-0.21	2
-1.38	2.5
-1.53	3
-1.76	3.5



L.A. 1/2

Dpp	PRODUCTO	
-2270	0	0
0	0	0
2850	0	0
5700	0	0
8550	0	0
11400	0	0
14250	638	9091500
17100	1696	29001600
19950	3201	63859950
22800	4571	104218800
25650	4858	124607700
28500	4858	138453000
31350	4858	152298300
34200	4726	161629200
37050	3739	138529950
39900	2732	109006800
42750	1592	68058000
45600	820	37392000
48450	447	21657150
51300	250	12825000
54150	0	0
57000	0	0
596230	38986	1,171E+09

L.A.1

PRODUCTO	
0	0
0	0
0	0
0	0
0	0
0	0
1000	11400000
1225	17456250
3000	51300000
4437	88518150
5193	118400400
5193	133200450
5193	148000500
5193	162800550
5193	177600600
4696	173986800
3915	156208500
2668	114057000
1500	68400000
896	43411200
538	27599400
98	5306700
0	0
49938	1497646500

L.A. 2

PRODUCTO	
0	0
0	0
0	0
375	2137500
1750	14962500
3000	34200000
4024	57342000
4786	81840600
5226	104258700
5500	125400000
5500	141075000
5500	156750000
5500	172425000
5500	188100000
5201	192697050
4715	188128500
3904	166896000
2943	134200800
2048	99225600
1110	56943000
426	23067900
0	0
67008	1,94E+09

L.A.3

PRODUCTO	
0	0
0	0
1500	4275000
3000	17100000
3876	33139800
4446	50684400
4963	70722750
5347	91433700
5493	109585350
5500	125400000
5500	141075000
5500	156750000
5500	172425000
5500	188100000
5340	197847000
5024	200457600
4430	189382500
3637	165847200
2755	133479750
1660	85158000
813	44023950
0	0
79784	2,177E+09

L.A.4

PRODUCTO	
2708	-6147160
3222	0
3824	10898400
4446	25342200
4825	41253750
5206	59348400
5352	76266000
5500	94050000
5500	109725000
5500	125400000
5500	141075000
5500	156750000
5500	172425000
5500	188100000
5423	200922150
5188	207001200
4772	204003000
4147	189103200
3290	159400500
2175	111577500
1152	62380800
0	0
94230	2,329E+09

X (1/2)	30026,906		X (1)	29990,11775		X(2)	28946,546		X(3)	27284,756		X(4)	24714,793
---------	-----------	--	-------	-------------	--	------	-----------	--	------	-----------	--	------	-----------

L.A 5

PRODUCTO	
4445	-10090150
4660	0
4905	13979250
5106	29104200
5259	44964450
5413	61708200
5456	77748000
5500	94050000
5500	109725000
5500	125400000
5500	141075000
5500	156750000
5500	172425000
5500	188100000
5441	201589050
5288	210991200
5009	214134750
4519	206066400
3737	181057650
2652	136047600
1576	85340400
362	20634000
102328	2,461E+09

L.A 6

PRODUCTO	
5195	-11792650
5174	0
5320	15162000
5386	30700200
5444	46546200
5500	62700000
5500	78375000
5500	94050000
5500	109725000
5500	125400000
5500	141075000
5500	156750000
5500	172425000
5500	188100000
5500	203775000
5351	213504900
5177	221316750
4794	218606400
4086	197966700
3090	158517000
2061	111603150
733	41781000
106811	2576286650

L.A.7

PRODUCTO	
5339	-12119530
5378	0
5442	15509700
5500	31350000
5000	42750000
5500	62700000
5500	78375000
5500	94050000
5500	109725000
5500	125400000
5500	141075000
5500	156750000
5500	172425000
5500	188100000
5500	203775000
5392	215140800
5284	225891000
5001	228045600
4500	218025000
3488	178934400
2394	129635100
1122	63954000
108840	2,669E+09

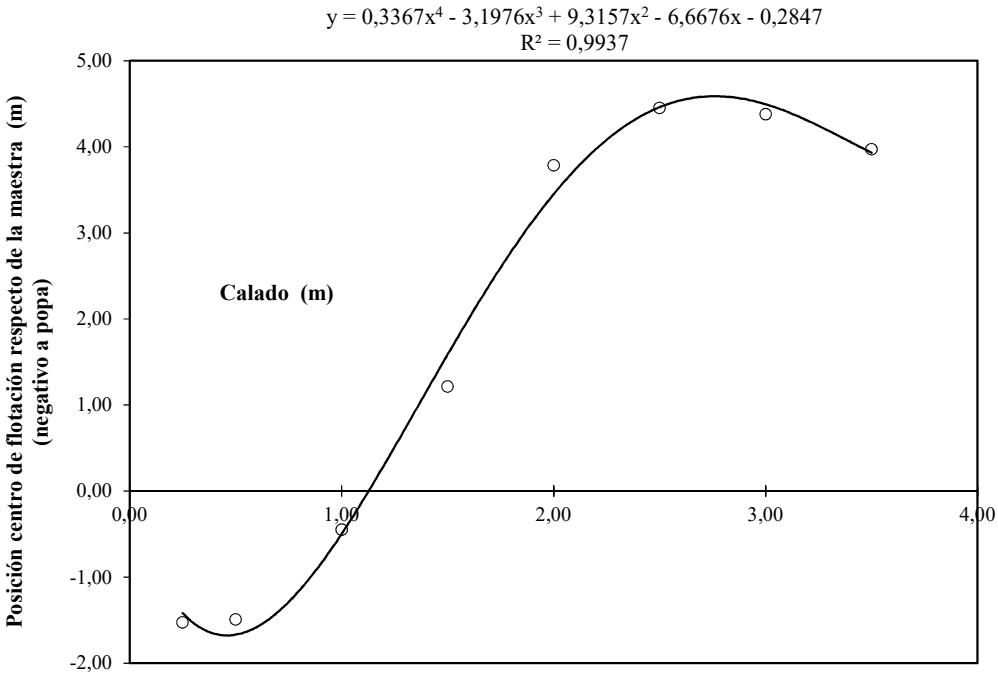
C.PAL

PRODUCTO	
5500	-12485000
5500	0
5000	14250000
5500	31350000
5500	47025000
5500	62700000
5500	78375000
5500	94050000
5500	109725000
5500	125400000
5500	141075000
5500	156750000
5500	172425000
5500	188100000
5500	203775000
5500	219450000
5500	235125000
5452	248611200
5500	266475000
4888	250754400
5500	297825000
3402	193914000
117742	3,125E+09

X(5)	24048,159		X(6)	24120,0499		X(7)	24526,746		X(C.PAL)	26538,275
------	-----------	--	------	------------	--	------	-----------	--	----------	-----------

Calado (m)	Área Flot. (m2)	Momento A
0,00	0,00	
0,25	222,83	
0,50	286,79	
1,00	381,66	
1,50	453,71	
2,00	529,19	
2,50	570,40	
3,00	593,72	
3,50	608,20	

Altura (m)	Posición (m)
0,25	-1,53
0,50	-1,49
1,00	-0,45
1,50	1,22
2,00	3,79
2,50	4,45
3,00	4,38
3,50	3,97
6,00	1,96



Se emplearon tres métodos aproximados para calcular un valor aproximado del KG

Taggart	$(0,725-0,0007218 \cdot L) \cdot D$	
L		58
D		10
KG		6,83

en metros

Scheekluth	$[0,44+0,00155 \cdot (0,85-Cbd) \cdot (L/D)^2] \cdot Ds$	
L		58
D		10
Cbd		0,68
KG		4,49

en metros

ZS	$0,01 \cdot D(46,6+0,135 \cdot (0,81-Cb) \cdot L^2 \cdot D^2) + (L/B-6,5) \cdot 0,008 \cdot D$	
L		58
D		10
Cbd		0,68
B		11
ZS		4,82

en metros

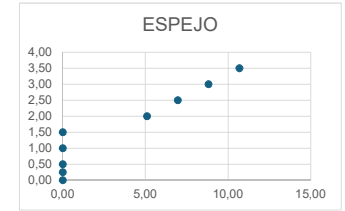
Valor medio		5,38	En metros
--------------------	--	-------------	------------------

T (m)	L(m)	B (m)	Am (m2)	Awp(m2)	t.cm	CG Awp	VOL. (m3)	DESP. (t)	KBT (m)	KBL(m)	BMT (m)	BML (m)	KMT (m)	KML (m)	Cb	Cm	Cp	Cawp
0,00	42,67	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,10	42,67	9,71	0,88	115,34	1,18	-0,86	1	1	0,08	1,89	31,58	87,51	31,66	89,39	0,01	0,91	0,02	0,28
0,20	42,67	9,71	1,50	148,21	1,52	-1,27	25	26	0,13	1,84	28,85	79,29	28,98	81,13	0,31	0,77	0,40	0,36
0,30	45,11	10,39	2,37	179,93	1,84	-1,53	51	53	0,19	1,78	26,34	71,73	26,53	73,51	0,37	0,76	0,49	0,38
0,40	45,11	10,39	3,23	210,49	2,15	-1,66	79	81	0,25	1,70	24,05	64,80	24,30	66,50	0,43	0,78	0,55	0,45
0,50	45,11	11,00	4,09	239,91	2,45	-1,67	108	110	0,31	1,62	21,96	58,46	22,27	60,08	0,44	0,74	0,60	0,48
0,60	46,07	11,00	4,95	268,18	2,74	-1,58	138	141	0,37	1,53	20,06	52,70	20,43	54,23	0,46	0,75	0,62	0,53
0,70	46,07	11,00	5,81	295,30	3,02	-1,40	169	173	0,43	1,42	18,35	47,48	18,77	48,91	0,49	0,75	0,65	0,58
0,80	46,07	11,00	6,67	321,27	3,29	-1,16	202	207	0,48	1,31	16,81	42,78	17,29	44,09	0,51	0,76	0,67	0,63
0,90	46,07	11,00	7,53	346,09	3,54	-0,85	236	242	0,54	1,19	15,43	38,57	15,98	39,76	0,53	0,76	0,70	0,68
1,00	55,78	11,00	9,10	369,77	3,78	-0,50	272	278	0,60	1,07	14,22	34,81	14,82	35,88	0,45	0,83	0,55	0,60
1,10	55,78	11,00	10,20	392,29	4,01	-0,11	309	316	0,66	0,94	13,14	31,50	13,80	32,43	0,47	0,84	0,56	0,64
1,20	55,78	11,00	11,30	413,67	4,23	0,30	347	355	0,72	0,80	12,20	28,58	12,92	29,39	0,48	0,86	0,56	0,67
1,30	55,78	11,00	12,40	433,89	4,44	0,73	387	396	0,78	0,67	11,39	26,05	12,17	26,72	0,50	0,87	0,57	0,71
1,40	55,78	11,00	13,50	452,97	4,63	1,16	428	437	0,83	0,52	10,69	23,87	11,53	24,39	0,51	0,88	0,58	0,74
1,50	59,27	11,00	14,60	470,90	4,82	1,59	470	481	0,89	0,38	10,10	22,01	10,99	22,39	0,49	0,88	0,56	0,72
1,60	59,27	11,00	15,70	487,68	4,99	2,00	514	525	0,95	0,23	9,61	20,45	10,56	20,68	0,50	0,89	0,56	0,75
1,70	59,27	11,00	16,80	503,31	5,15	2,41	559	571	1,01	0,08	9,20	19,16	10,20	19,24	0,52	0,90	0,57	0,77
1,80	59,27	11,00	17,90	517,79	5,30	2,78	605	619	1,07	-0,06	8,86	18,11	9,93	18,04	0,53	0,90	0,58	0,79
1,90	59,27	11,00	19,00	531,12	5,43	3,13	653	668	1,12	-0,21	8,60	17,27	9,72	17,06	0,54	0,91	0,59	0,81
2,00	59,74	11,00	20,10	543,31	5,56	3,45	702	718	1,18	-0,36	8,39	16,62	9,57	16,27	0,55	0,91	0,60	0,83
2,10	59,74	11,00	21,20	554,34	5,67	3,73	752	769	1,24	-0,50	8,23	16,13	9,47	15,63	0,56	0,92	0,61	0,84
2,20	59,74	11,00	22,30	564,22	5,77	3,97	804	822	1,30	-0,64	8,10	15,77	9,40	15,13	0,57	0,92	0,62	0,86
2,30	59,74	11,00	23,40	572,96	5,86	4,18	857	877	1,36	-0,78	8,00	15,52	9,36	14,74	0,58	0,92	0,63	0,87
2,40	59,74	11,00	24,50	580,55	5,94	4,34	911	932	1,42	-0,91	7,92	15,34	9,34	14,43	0,59	0,93	0,64	0,88
2,50	60,20	11,00	25,60	586,99	6,00	4,46	967	989	1,47	-1,03	7,85	15,21	9,33	14,18	0,60	0,93	0,64	0,89
2,60	60,20	11,00	26,70	592,27	6,06	4,54	1024	1048	1,53	-1,15	7,78	15,10	9,31	13,95	0,61	0,93	0,65	0,89
2,70	60,20	11,00	27,80	596,41	6,10	4,58	1083	1108	1,59	-1,27	7,69	14,99	9,29	13,72	0,62	0,94	0,66	0,90
2,80	60,20	11,00	28,90	599,41	6,13	4,58	1143	1169	1,65	-1,37	7,59	14,84	9,24	13,47	0,63	0,94	0,67	0,91
2,90	60,20	11,00	30,00	601,25	6,15	4,55	1204	1232	1,71	-1,47	7,45	14,63	9,16	13,17	0,64	0,94	0,68	0,91
3,00	60,67	11,00	31,10	601,94	6,16	4,49	1266	1296	1,77	-1,55	7,27	14,34	9,04	12,78	0,65	0,94	0,69	0,90
3,10	60,67	11,00	32,20	601,48	6,15	4,40	1330	1361	1,82	-1,63	7,04	13,93	8,87	12,30	0,66	0,94	0,70	0,90
3,20	60,67	11,00	33,30	599,88	6,14	4,30	1396	1428	1,88	-1,70	6,75	13,37	8,63	11,68	0,67	0,95	0,71	0,90
3,30	60,67	11,00	34,40	597,12	6,11	4,18	1462	1496	1,94	-1,75	6,39	12,65	8,33	10,90	0,68	0,95	0,72	0,89
3,40	60,67	11,00	35,50	593,22	6,07	4,05	1530	1565	2,00	-1,79	5,95	11,72	7,95	9,93	0,69	0,95	0,73	0,89
3,50	60,67	11,00	36,60	588,17	6,02	3,92	1600	1636	2,06	-1,82	5,42	10,57	7,48	8,75	0,70	0,95	0,74	0,88

Coefficientes adimensionales

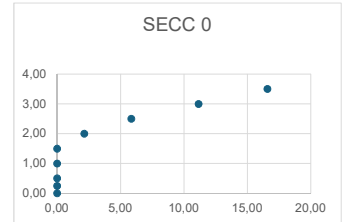
SEC.	DPpp	L.A 0	ESPEJO	L.A. 1	L.A. 2	L.A. 3	L.A. 4	L.A. 5	L.A. 6	L.A. 7	C.PAL.
Espejo	-2270	0	0,00	0,00	0,00	0,00	2708,00	4445,00	5195,00	5339,00	5500,00
		FS	1,00	4,00	1,00	1,00	4,00	1,00	1,00	4,00	1,00
		PRODUCTO	0,00	0,00	0,00	0,00	10832,00	4445,00	5195,00	21356,00	5500,00
		SUMATORIO DE TRES			0,00			15277,00			32051,00
		ÁREA semimanga (mm)			0,00			2546166,67		0,00	5341833,33
		Área total en m2			0,00			5,09			10,68

ÁREA	
0,00	0,00
0,00	0,25
0,00	0,50
0,00	1,00
0,00	1,50
5,09	2,00
6,96	2,50
8,82	3,00
10,68	3,50



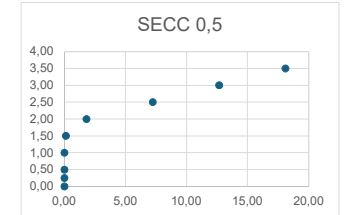
SEC.	DPpp	L.A 0	L.A. 1/2	L.A. 1	L.A. 2	L.A. 3	L.A. 4	L.A. 5	L.A. 6	L.A. 7	C.PAL.
0.	0	0	0	0	0	0	3222	4666	5174	5378	5500
		FS	1	4	1	1	4	1	1	4	1
		PRODUCTO	0	0	0	0	12888	4666	5174	21512	5500
		SUMATORIO DE TRES			0			17554			32186
		ÁREA semimanga (mm)			0			2925666,667		0	5364333,333
		Área total en m2			0			5,85			16,58

ÁREA	
0,00	0,00
0,00	0,25
0,00	0,50
0,00	1,00
0,00	1,50
2,14	2,00
5,85	2,50
11,15	3,00
16,58	3,50



SEC.	DPpp	L.A 0	L.A. 1	L.A. 1	L.A. 2	L.A. 3	L.A. 4	L.A. 5	L.A. 6	L.A. 7	C.PAL.
0,50	2850	0	0	0	0	1500	3824	4905	5320	5442	5500
		FS	1,00	4,00	1,00	1,00	4,00	1,00	1,00	4,00	1,00
		PRODUCTO	0,00	0,00	0,00	1500,00	15296,00	4905,00	5320,00	21768,00	5500,00
		SUMATORIO DE TRES			0,00			21701,00			32588,00
		ÁREA semimanga (mm)			0,00			3616833,33		0,00	5431333,33
		Área total en m2			0,00			7,23			18,10

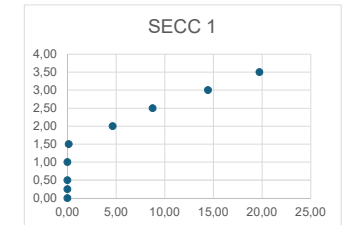
ÁREA	
0,00	0,00
0,00	0,25
0,00	0,50
0,00	1,00
0,13	1,50
1,80	2,00
7,23	2,50
12,67	3,00
18,10	3,50



1

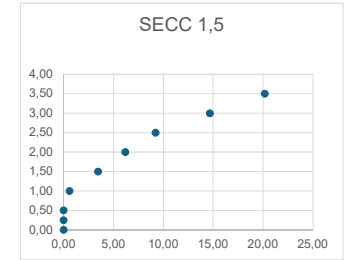
SEC.	DPpp	L.A 0	L.A. 1/2	L.A. 1	L.A. 2	L.A. 3	L.A. 4	L.A. 5	L.A. 6	L.A. 7	C.PAL.
1	5700	0	0,00	0,00	375,00	3000,00	4446,00	5106,00	5386,00	5500,00	5500,00
		FS	1,00	4,00	1,00	1,00	4,00	1,00	1,00	4,00	1,00
		PRODUCTO	0,00	0,00	375,00	3000,00	17784,00	5106,00	5386,00	22000,00	5500,00
		SUMATORIO DE TRES			375,00			25890,00			32886,00
		ÁREA semimanga (mm)			62500,00			4315000,00		0,00	5481000,00
		Área total en m2			0,13			8,76			19,72

ÁREA	
0,00	0,00
0,00	0,25
0,00	0,50
0,00	1,00
0,13	1,50
4,63	2,00
8,76	2,50
14,43	3,00
19,72	3,50



SEC.	DPpp	L.A 0	L.A. 1/2	L.A. 1	L.A. 2	L.A. 3	L.A. 4	L.A. 5	L.A. 6	L.A. 7	C.PAL.
1,5	-2270	0	0,00	0,00	1750,00	3000,00	4446,00	5106,00	5386,00	5500,00	5500,00
		FS	1,00	4,00	1,00	1,00	4,00	1,00	1,00	4,00	1,00
		PRODUCTO	0,00	0,00	1750,00	3000,00	17784,00	5106,00	5386,00	22000,00	5500,00
		SUMATORIO DE TRES			1750,00			25890,00			32886,00
		ÁREA semimanga (mm)			291666,67			4315000,00		0,00	5481000,00
		Área total en m2			0,58			9,21			20,18

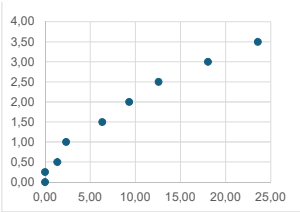
ÁREA	
0,00	0,00
0,00	0,25
0,00	0,50
0,58	1,00
3,45	1,50
6,19	2,00
9,21	2,50
14,67	3,00
20,18	3,50



SECC 2

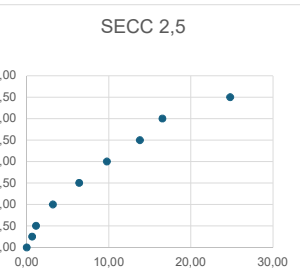
SEC.	DPpp	L.A 0	L.A. 1/2	L.A. 1	L.A. 2	L.A. 3	L.A. 4	L.A. 5	L.A. 6	L.A. 7	C.PAL.
2	-2270	0	0,00	1000,00	3000,00	4446,00	5206,00	5413,00	5500,00	5500,00	5500,00
		FS	1,00	4,00	1,00	1,00	4,00	1,00	1,00	4,00	1,00
		PRODUCTO	0,00	4000,00	3000,00	4446,00	20824,00	5413,00	5500,00	22000,00	5500,00
		SUMATORIO DE TRES			7000,00			30683,00			33000,00
		ÁREA semimanga (mm)			1166666,67			5113833,33		0,00	5500000,00
		Área total en m2			2,33			12,56			23,56

ÁREA	
0,00	0,00
0,00	0,25
1,3465	0,50
2,33	1,00
6,32	1,50
9,30	2,00
12,56	2,50
18,04	3,00
23,56	3,50



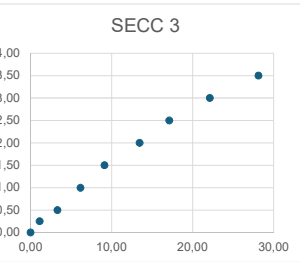
SEC.	DPpp	L.A 0	L.A. 1/2	L.A. 1	L.A. 2	L.A. 3	L.A. 4	L.A. 5	L.A. 6	L.A. 7	C.PAL.
2,5	-2270	0	638,00	1225,00	4024,00	4963,00	5352,00	5456,00	5500,00	5500,00	5500,00
		FS	1,00	4,00	1,00	1,00	4,00	1,00	1,00	4,00	1,00
		PRODUCTO	638,00	4900,00	4024,00	4963,00	21408,00	5456,00	5500,00	22000,00	5500,00
		SUMATORIO DE TRES			9562,00			31827,00			33000,00
		ÁREA semimanga (mm)			1593666,67			5304500,00		0,00	5500000,00
		Área total en m2			3,19			13,80			24,80

ÁREA	
0,00	0,00
0,66	0,25
1,13	0,50
3,19	1,00
6,38	1,50
9,76	2,00
13,80	2,50
16,53	3,00
24,80	3,50



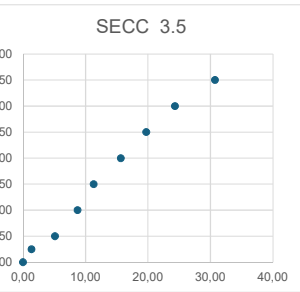
SEC.	DPpp	L.A 0	L.A. 1/2	L.A. 1	L.A. 2	L.A. 3	L.A. 4	L.A. 5	L.A. 6	L.A. 7	C.PAL.
3	-2270	0	1696,00	3000,00	4786,00	5347,00	5500,00	5500,00	5500,00	5500,00	5500,00
		FS	1,00	4,00	1,00	1,00	4,00	1,00	1,00	4,00	1,00
		PRODUCTO	1696,00	12000,00	4786,00	5347,00	22000,00	5500,00	5500,00	22000,00	5500,00
		SUMATORIO DE TRES			18482,00			32847,00			33000,00
		ÁREA semimanga (mm)			3080333,33			5474500,00		0,00	5500000,00
		Área total en m2			6,16			17,11			28,11

ÁREA	
0,00	0,00
1,12	0,25
3,32	0,50
6,16	1,00
9,11	1,50
13,44	2,00
17,11	2,50
22,10	3,00
28,11	3,50



SEC.	DPpp	L.A 0	L.A. 1/2	L.A. 1	L.A. 2	L.A. 3	L.A. 4	L.A. 5	L.A. 6	L.A. 7	C.PAL.
3,5	-2270	0	3201	4437	5226	5493	5500	5500	5500	5500	5500
		FS	1,00	4,00	1,00	1,00	4,00	1,00	1,00	4,00	1,00
		PRODUCTO	3201,00	17748,00	5226,00	5493,00	22000,00	5500,00	5500,00	22000,00	5500,00
		SUMATORIO DE TRES			26175,00			32993,00			33000,00
		ÁREA semimanga (mm)			4362500,00			5498833,33		0,00	5500000,00
		Área total en m2			8,73			19,72			30,72

ÁREA	
0,00	0,00
1,34	0,25
5,12	0,50
8,73	1,00
11,30	1,50
15,65	2,00
19,72	2,50
24,33	3,00
30,72	3,50



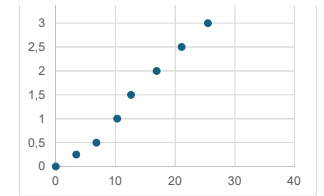
SEC.	DPpp	L.A 0	L.A. 1/2	L.A. 1	L.A. 2	L.A. 3	L.A. 4	L.A. 5	L.A. 6	L.A. 7	C.PAL.
4	-2270	0	4571	5193	5500	5000	5500	5500	5500	5500	5500

ÁREA	
0	0
3,45	0,25
6,8	0,5

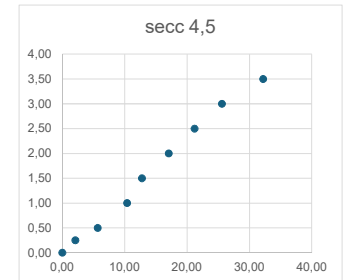


FS	1	4	1	1	4	1	1	4	1
PRODUCTO	4571	20772	5500	5000	22000	5500	5500	22000	5500
SUMATORIO DE TRES			30843			32500			33000
ÁREA semimanga (mm)			5140500			5416666,667		0	5500000
Área total en m2			10,28			21,11			32,11

10,28	1
12,6067	1,5
16,9137	2
21,11	2,5
25,5277	3
32,11	3,5



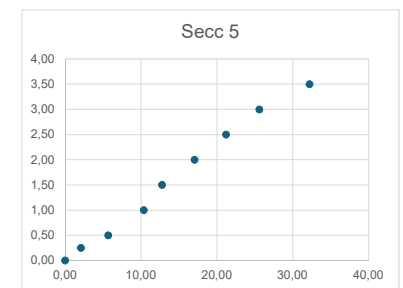
ÁREA	
0,00	0,00
2,09	0,25
5,67	0,50
10,38	1,00
12,78	1,50
17,06	2,00
21,21	2,50
25,61	3,00
32,21	3,50



SEC.	DPpp	L.A 0	L.A. 1/2	L.A. 1	L.A. 2	L.A. 3	L.A. 4	L.A. 5	L.A. 6	L.A. 7	C.PAL.
4,5	-2270	0	4858	5193	5500	5000	5500	5500	5500	5500	5500
		FS	1	4	1	1	4	1	1	4	1
		PRODUCTO	4858	20772	5500	5000	22000	5500	5500	22000	5500
		SUMATORIO DE TRES			31130			32500			33000
		ÁREA semimanga (mm)			5188333,333			5416666,667		0	5500000
		Área total en m2			10,38			21,21			32,21

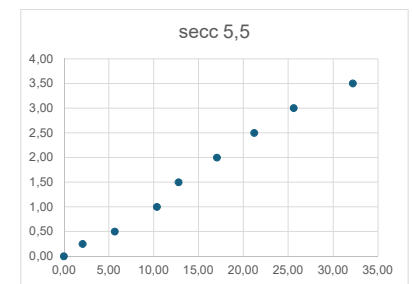
SEC.	DPpp	L.A 0	L.A. 1/2	L.A. 1	L.A. 2	L.A. 3	L.A. 4	L.A. 5	L.A. 6	L.A. 7	C.PAL.
5	-2270	0	4858	5193	5500	5000	5500	5500	5500	5500	5500
		FS	1,00	4,00	1,00	1,00	4,00	1,00	1,00	4,00	1,00
		PRODUCTO	4858,00	20772,00	5500,00	5000,00	22000,00	5500,00	5500,00	22000,00	5500,00
		SUMATORIO DE TRES			31130,00			32500,00			33000,00
		ÁREA semimanga (mm)			5188333,33			5416666,67		0,00	5500000,00
		Área total en m2			10,38			21,21			32,21

ÁREA	
0,00	0,00
2,09	0,25
5,67	0,50
10,38	1,00
12,78	1,50
17,06	2,00
21,21	2,50
25,61	3,00
32,21	3,50



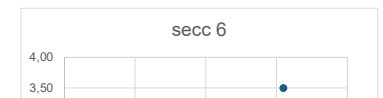
SEC.	DPpp	L.A 0	L.A. 1/2	L.A. 1	L.A. 2	L.A. 3	L.A. 4	L.A. 5	L.A. 6	L.A. 7	C.PAL.
5,5	-2270	0	4858	5193	5500	5500	5500	5500	5500	5500	5500
		FS	1,00	4,00	1,00	1,00	4,00	1,00	1,00	4,00	1,00
		PRODUCTO	4858,00	20772,00	5500,00	5500,00	22000,00	5500,00	5500,00	22000,00	5500,00
		SUMATORIO DE TRES			31130,00			33000,00			33000,00
		ÁREA semimanga (mm)			5188333,33			5500000,00		0,00	5500000,00
		Área total en m2			10,38			21,38			32,38

ÁREA	
0,00	0,00
2,09	0,25
5,67	0,50
10,38	1,00
12,78	1,50
17,06	2,00
21,21	2,50
25,61	3,00
32,21	3,50



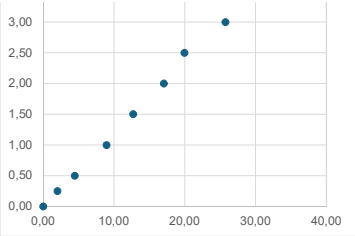
SEC.	DPpp	L.A 0	L.A. 1/2	L.A. 1	L.A. 2	L.A. 3	L.A. 4	L.A. 5	L.A. 6	L.A. 7	C.PAL.
------	------	-------	----------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

ÁREA	
0,00	0,00
2,00	0,25
4,45	0,50



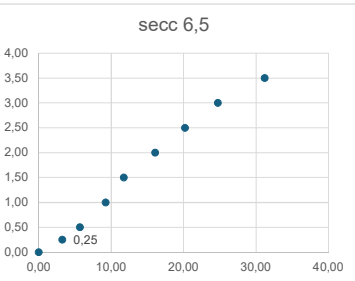
6	34200	0	4726	5193	5500	5500	5500	5500	5500	5500	5500
		FS	1	4	1	1	4	1	1	4	1
		PRODUCTO	4726	20772	5500	5500	22000	5500	5500	22000	5500
		SUMATORIO DE TRES			30998			33000			33000
		ÁREA semimanga (mm)			5166333,333			5500000		0	5500000
		Área total en m2			10,33			21,33			32,33

8,95	1,00
12,71	1,50
17,05	2,00
19,95	2,50
25,74	3,00
30,95	3,50



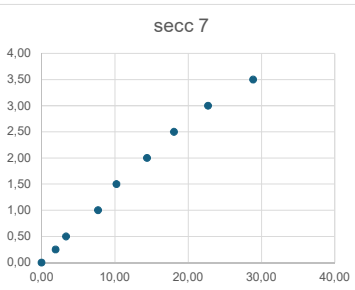
SEC.	DPpp	L.A 0	L.A. 1/2	L.A. 1	L.A. 2	L.A. 3	L.A. 4	L.A. 5	L.A. 6	L.A. 7	C.PAL.
6,5	34200	0	3739,00	4696,00	5201,00	5340,00	5500,00	5500,00	5500,00	5500,00	5500,00
		FS	1,00	4,00	1,00	1,00	4,00	1,00	1,00	4,00	1,00
		PRODUCTO	3739,00	18784,00	5201,00	5340,00	22000,00	5500,00	5500,00	22000,00	5500,00
		SUMATORIO DE TRES			27724,00			32840,00			33000,00
		ÁREA semimanga (mm)			4620666,67			5473333,33		0,00	5500000,00
		Área total en m2			9,24			20,19			31,19

ÁREA	
0,00	0,00
3,23	0,25
5,67	0,50
9,24	1,00
11,74	1,50
16,07	2,00
20,19	2,50
24,73	3,00
31,19	3,50



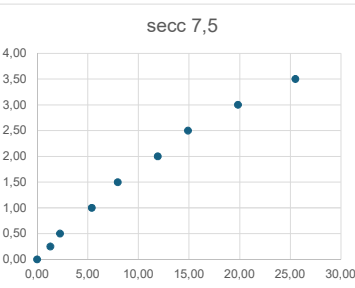
SEC.	DPpp	L.A 0	L.A. 1/2	L.A. 1	L.A. 2	L.A. 3	L.A. 4	L.A. 5	L.A. 6	L.A. 7	C.PAL.
7	39900	0	2732,00	3915,00	4715,00	5024,00	5188,00	5288,00	5351,00	5392,00	5500,00
		FS	1,00	4,00	1,00	1,00	4,00	1,00	1,00	4,00	1,00
		PRODUCTO	2732,00	15660,00	4715,00	5024,00	20752,00	5288,00	5351,00	21568,00	5500,00
		SUMATORIO DE TRES			23107,00			31064,00			32419,00
		ÁREA semimanga (mm)			3851166,67			5177333,33		0,00	5403166,67
		Área total en m2			7,70			18,06			28,86

ÁREA	
0,00	0,00
1,90	0,25
3,34	0,50
7,70	1,00
10,21	1,50
14,38	2,00
18,06	2,50
22,72	3,00
28,86	3,50

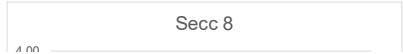


SEC.	DPpp	L.A 0	L.A. 1/2	L.A. 1	L.A. 2	L.A. 3	L.A. 4	L.A. 5	L.A. 6	L.A. 7	C.PAL.
7,5	39900	0	1592,00	2668,00	3904,00	4430,00	4772,00	5009,00	5177,00	5284,00	5500,00
		FS	1,00	4,00	1,00	1,00	4,00	1,00	1,00	4,00	1,00
		PRODUCTO	1592,00	10672,00	3904,00	4430,00	19088,00	5009,00	5177,00	21136,00	5500,00
		SUMATORIO DE TRES			16168,00			28527,00			31813,00
		ÁREA semimanga (mm)			2694666,67			4754500,00		0,00	5302166,67
		Área total en m2			5,39			14,90			25,50

ÁREA	
0,00	0,00
1,30	0,25
2,25	0,50
5,39	1,00
7,96	1,50
11,92	2,00
14,90	2,50
19,83	3,00
25,50	3,50

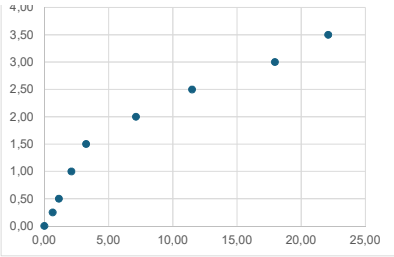


ÁREA



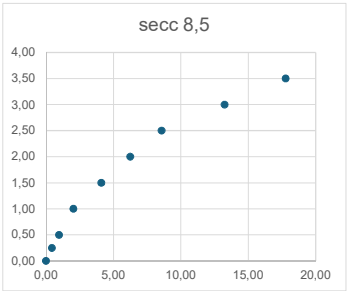
SEC.	DPpp	L.A 0	L.A. 1/2	L.A. 1	L.A. 2	L.A. 3	L.A. 4	L.A. 5	L.A. 6	L.A. 7	C.PAL.
8	39900	0	820,00	1500,00	2943,00	3637,00	4147,00	4519,00	5177,00	5284,00	5500,00
		FS	1,00	4,00	1,00	1,00	4,00	1,00	1,00	4,00	1,00
		PRODUCTO	820,00	6000,00	2943,00	3637,00	16588,00	4519,00	5177,00	21136,00	5500,00
		SUMATORIO DE TRES			9763,00			24744,00			31813,00
		ÁREA semimanga (mm)			1627166,67			4124000,00		0,00	5302166,67
		Área total en m2			3,25			11,50			22,11

0,00	0,00
0,65	0,25
1,13	0,50
2,11	1,00
3,25	1,50
7,13	2,00
11,50	2,50
17,94	3,00
22,11	3,50



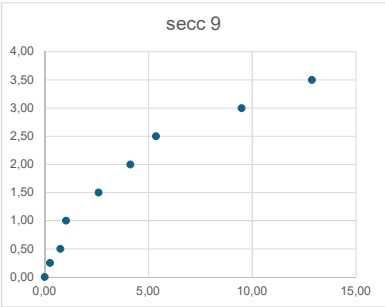
SEC.	DPpp	L.A 0	L.A. 1/2	L.A. 1	L.A. 2	L.A. 3	L.A. 4	L.A. 5	L.A. 6	L.A. 7	C.PAL.
8,5	39900	0	447	896	2048	2755	3290	3737	4086	4500	5500
		FS	1,00	4,00	1,00	1,00	4,00	1,00	1,00	4,00	1,00
		PRODUCTO	447,00	3584,00	2048,00	2755,00	13160,00	3737,00	4086,00	18000,00	5500,00
		SUMATORIO DE TRES			6079,00			19652,00			27586,00
		ÁREA semimanga (mm)			1013166,67			3275333,33		0,00	4597666,67
		Área total en m2			2,03			8,58			17,77

ÁREA	
0,00	0,00
0,43	0,25
0,97	0,50
2,03	1,00
4,10	1,50
6,25	2,00
8,58	2,50
13,25	3,00
17,77	3,50



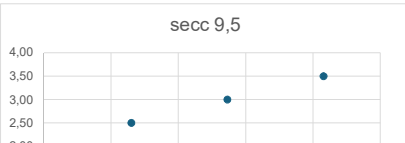
SEC.	DPpp	L.A 0	L.A. 1/2	L.A. 1	L.A. 2	L.A. 3	L.A. 4	L.A. 5	L.A. 6	L.A. 7	C.PAL.
9	39900	0	250,00	538,00	1110,00	1660,00	2175,00	2652,00	3090,00	3488,00	5500,00
		FS	1,00	3,20	1,00	1,00	4,00	1,00	1,00	4,00	1,00
		PRODUCTO	250,00	1721,60	1110,00	1660,00	8700,00	2652,00	3090,00	13952,00	5500,00
		SUMATORIO DE TRES			3081,60			13012,00			22542,00
		ÁREA semimanga (mm)			513600,00			2168666,67		0,00	3757000,00
		Área total en m2			1,03			5,36			12,88

ÁREA	
0,00	0,00
0,26	0,25
0,75	0,50
1,03	1,00
2,59	1,50
4,13	2,00
5,36	2,50
9,49	3,00
12,88	3,50



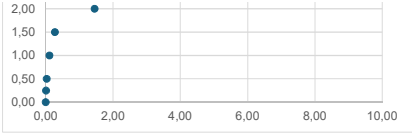
SEC.	DPpp	L.A 0	L.A. 1/2	L.A. 1	L.A. 2	L.A. 3	L.A. 4	L.A. 5	L.A. 6	L.A. 7	C.PAL.
9,5	39900	0	0,00	98,00	426,00	813,00	1152,00	1576,00	2061,00	2394,00	5500,00
		FS	1,00	4,00	1,00	1,00	4,00	1,00	1,00	4,00	1,00
		PRODUCTO	0,00	392,00	426,00	813,00	4608,00	1576,00	2061,00	9576,00	5500,00
		SUMATORIO DE TRES			818,00			6997,00			17137,00
		ÁREA semimanga (mm)			136333,33			1166166,67		0,00	2856166,67

ÁREA	
0,00	0,00
0,01	0,25
0,03	0,50
0,11	1,00
0,27	1,50
1,45	2,00
2,61	2,50



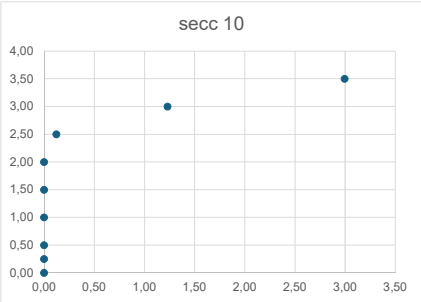
Área total en m2			0,27			2,61			8,32
------------------	--	--	------	--	--	------	--	--	------

5,46	3,00
8,32	3,50

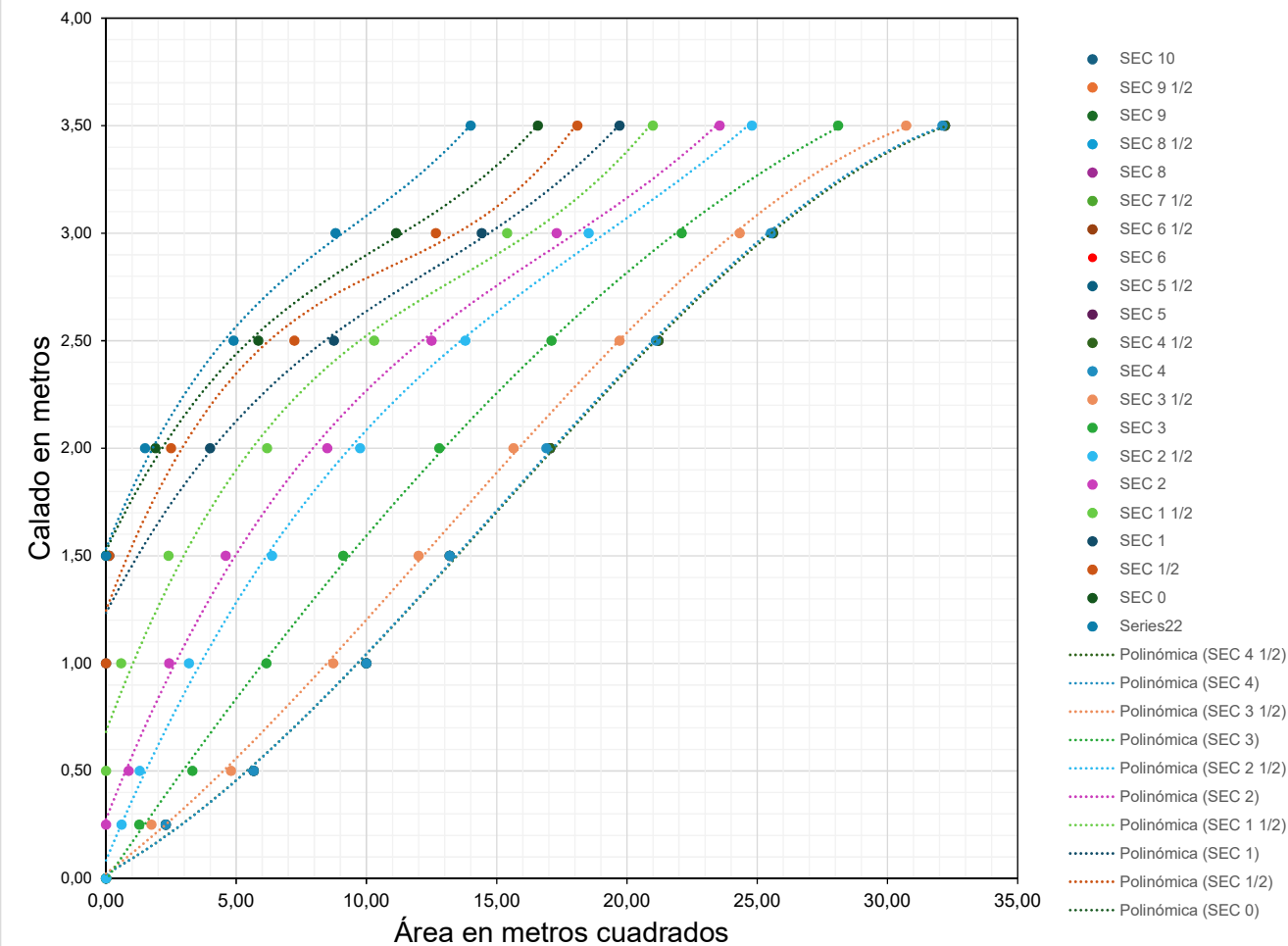


SEC.	DPpp	L.A 0	L.A. 1/2	L.A. 1	L.A. 2	L.A. 3	L.A. 4	L.A. 5	L.A. 6	L.A. 7	C.PAL
10	39900	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	362,00	733,00	1122,00	3402,00
		FS	1,00	4,00	1,00	1,00	4,00	1,00	1,00	4,00	1,00
		PRODUCTO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	362,00	733,00	4488,00	3402,00
		SUMATORIO DE TRES			0,00			362,00			8623,00
		ÁREA semimanga (mm)			0,00			60333,33		0,00	1437166,67
		Área total en m2			0,00			0,12			3,00

ÁREA	
0,00	0,00
0,00	0,25
0,00	0,50
0,00	1,00
0,00	1,50
0,00	2,00
0,12	2,50
1,23	3,00
3,00	3,50



	Espejo	SEC 0	SEC 1/2	SEC 1	SEC 1 1/2	SEC 2	SEC 2 1/2	SEC 3	SEC 3 1/2	SEC 4	SEC 4 1/2	SEC 5	SEC 5 1/2	SEC 6	SEC 6,5	SEC 7	SEC 7 1/2	SEC 8	SEC 8 1/2	SEC 9	SEC 9 1/2	SEC 10
0,00							0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
0,25						0,00	0,60	1,28	1,75	2,30	2,30	2,30	2,30	2,00	3,23	1,90	1,30	0,65	0,43	0,26	0,01	
0,50					0,00	0,87	1,30	3,32	4,80	5,67	5,67	5,67	5,67	4,45	5,67	3,34	2,25	1,13	0,97	0,75	0,03	
1,00			0,00	0,00	0,58	2,43	3,19	6,16	8,73	10,00	10,00	10,00	10,00	8,95	9,24	7,70	5,39	2,11	2,03	1,03	0,11	
1,50	0,00	0,00	0,13	0,13	2,40	4,60	6,38	9,11	12,00	13,20	13,20	13,20	13,20	13,20	11,74	10,21	7,96	3,25	4,10	2,59	0,27	
2,00	1,50	1,90	2,50	4,00	6,19	8,50	9,76	12,80	15,65	16,91	17,06	17,06	17,06	17,05	16,07	14,38	11,92	7,13	6,25	4,13	1,45	0,00
2,50	4,90	5,85	7,23	8,76	10,30	12,50	13,80	17,11	19,72	21,11	21,21	21,21	21,21	19,95	20,19	18,06	14,90	11,50	8,58	5,36	2,61	0,12
3,00	8,82	11,15	12,67	14,43	15,40	17,30	18,53	22,10	24,33	25,53	25,61	25,61	25,61	25,74	24,73	22,72	19,83	17,94	13,25	9,49	5,46	1,23
3,50	14,00	16,58	18,10	19,72	21,00	23,56	24,80	28,11	30,72	32,11	32,21	32,21	32,21	30,95	31,19	28,86	25,50	22,11	17,77	12,88	8,32	3,00



Carenas rectas

Determinamos las curvas de KN en base a los datos de las distintas condiciones que se pueden establecer con distintos desplazamientos.

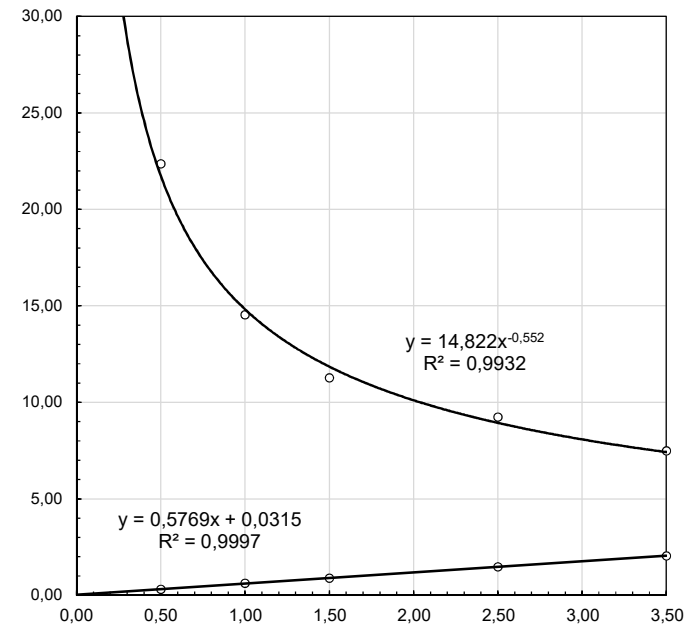
Calado(m)	Desplaza (m3)	KB (m)	BMT (m)	KG (m)	KGL	KM (m)	GM (m)
0,00				4,00			5,24
0,50	98	0,31	22,05	4,00	-0,26	22,36	18,36
1,00	255	0,62	13,92	4,00	-0,26	14,54	10,54
1,50	476	0,89	10,38	4,00	-0,26	11,27	7,27
2,50	1000	1,48	7,76	4,00	-0,26	9,24	5,24
3,50	1591	2,05	5,43	4,00	-0,26	7,48	3,48

Sabemos que el $KN = KM \cdot \sin(\text{ángulo})$

Desplazamientos en toneladas.

	Ang Rad	sen(ángulo)	Desp 98 KN (m)	Desp 255 KN (m)	Desp 476 KN (m)	Desp 1000 KN (m)	Desp 1591 KN (m)
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	0,17	0,17	3,88	2,53	1,96	1,60	1,30
20	0,35	0,34	7,65	4,97	3,85	3,16	2,56
30	0,52	0,50	11,18	7,27	5,63	4,62	3,74
40	0,70	0,64	14,37	9,35	7,24	5,94	4,81
50	0,87	0,77	17,13	11,14	8,63	7,08	5,73
60	1,05	0,87	19,36	12,59	9,76	8,00	6,48
70	1,22	0,94	21,01	13,66	10,59	8,68	7,03
80	1,40	0,98	22,02	14,32	11,10	9,10	7,37
90	1,57	1,00	22,36	14,54	11,27	9,24	7,48
100	1,75	0,98	22,02	14,32	11,10	9,10	7,37
110	1,92	0,94	21,01	13,66	10,59	8,68	7,03
120	2,09	0,87	19,36	12,59	9,76	8,00	6,48
130	2,27	0,77	17,13	11,14	8,63	7,08	5,73
140	2,44	0,64	14,37	9,35	7,24	5,94	4,81
150	2,62	0,50	11,18	7,27	5,63	4,62	3,74
160	2,79	0,34	7,65	4,97	3,85	3,16	2,56
170	2,97	0,17	3,88	2,53	1,96	1,60	1,30
180	3,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
			13,45	8,75	6,78	5,56	4,50

Tenemos que trazar las curvas para cada uno de los ángulos que queremos analizar. Reordenamos para dibujar.



Este es el diagrama metacéntrico transversal. Nos permite comparar por diferencia como varía el. Analizamos condiciones entre 1 m de calado y 3,50 m como condición operativa.

Fórmula de L.K. Kupras:

Calado(m)	Desplaza (m3)	KB (m)	BMT (m)	KG (m)	KM (m)	GM (m)
1,50	476	0,89	10,38	6,50	11,27	4,77
2,50	1000	1,48	7,76	6,50	9,24	2,74
3,50	1591	2,05	5,43	6,50	7,48	0,98

Ángulos	GMr	GZr a 57,3°	GMm	GZm a 57,3°	GMP	GZp a 57,3°
0	0,00	4,95	0,00	2,82	0,00	3,48
57	4,77	4,95	2,74	2,82	0,98	3,48

Fórmula general

$KN = 0.05125 \cdot B \cdot CKN$

Siendo CKN un coeficiente que depende de las dimensiones del buque y del ángulo de la escora, que se indica en la siguiente tabla.

	Manga	Puntal	Coef. Blq.	Calado	Arrufo	Relación	Relación
	B	D	Cb	T	A	D/B	B/T
KNp	11,000	7,000	0,700	3,500	0,000	0,636	3,143
KNm	11,000	7,000	0,600	2,500	0,000	0,636	4,400
KNr	11,000	7,000	0,490	1,500	0,000	0,636	7,333

Tipo C

	KNp	KNm	KNr
0	0,000	0,000	0,000
10	0,850	0,847	0,841
20	1,766	1,837	2,002
30	2,808	3,274	4,355
40	3,526	4,317	6,149
50	4,118	5,007	7,060
60	4,317	5,080	6,824



Coeficientes CKN

a) para D/B < 0,58

10°	0,004		+ 2,5 D/B	- 0,004 B/Ts
20°	-0,305	+ 0,1333 A/B	+ 5,0 D/B	+ 0,1 B/Ts
30°	-1,641	- 0,1 CB + 0,6467 A/B	+ 7,3 D/B	+ 0,65 B/Ts
40°	-2,815	- 0,2 CB + 1,1333 A/B	+ 9,25 D/B	+ 1,1 B/Ts
50°	-3,0325	- 0,3 CB + 1,6 A/B	+ 10,375 D/B	+ 1,23 B/Ts
60°	-2,4045	- 0,5 CB + 2,0 A/B	+ 11,125 D/B	+ 1,036 B/Ts

b) para 0,58 ≤ D/B < 0,62

10°	0,671		+ 1,35 D/B	- 0,004 B/Ts
20°	-0,0876	+ 0,1333 A/B	+ 4,625 D/B	+ 0,1 B/Ts
30°	-2,199	- 0,1 CB + 0,6467 A/B	+ 8,35 D/B	+ 0,65 B/Ts
40°	-3,83	- 0,2 CB + 1,1333 A/B	+ 11,0 D/B	+ 1,1 B/Ts
50°	-4,1925	- 0,3 CB + 1,6 A/B	+ 12,375 D/B	+ 1,23 B/Ts
60°	-3,492	- 0,5 CB + 2,0 A/B	+ 13,0 D/B	+ 1,036 B/Ts

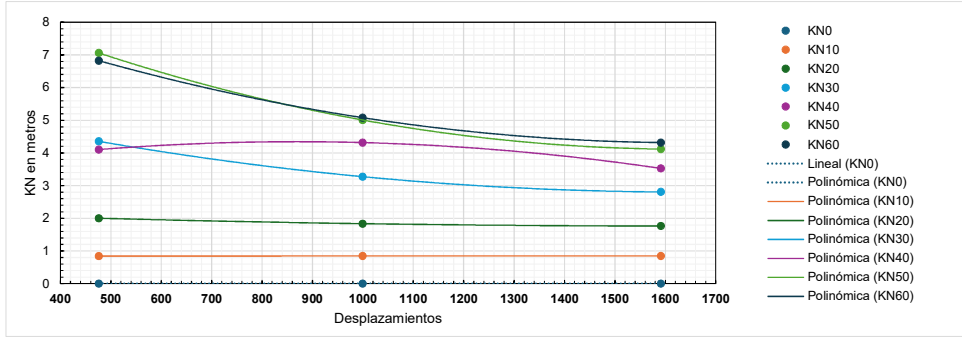
c) para D/B ≥ 0,62

10°	1,043		+ 0,75 D/B	- 0,004 B/Ts
20°	1,3385	+ 0,1333 A/B	+ 2,325 D/B	+ 0,1 B/Ts
30°	-0,301	- 0,1 CB + 0,6467 A/B	+ 5,3 D/B	+ 0,65 B/Ts
40°	-2,28	- 0,2 CB + 1,1333 A/B	+ 8,5 D/B	+ 1,1 B/Ts
50°	-2,9525	- 0,3 CB + 1,6 A/B	+ 10,375 D/B	+ 1,23 B/Ts
60°	-2,407	- 0,5 CB + 2,0 A/B	+ 11,25 D/B	+ 1,036 B/Ts

Ates la mitad de los arrufo en las perpendicular de proa y popa.

<https://theses.gla.ac.uk/74749/1/11007668.pdf>

	KN0	KN10	KN20	KN30	KN40	KN50	KN60
476	0	0,841	2,002	4,355	4,103	7,060	6,824
1000	0	0,847	1,837	3,274	4,317	5,007	5,080
1591	0	0,850	1,766	2,808	3,526	4,118	4,317



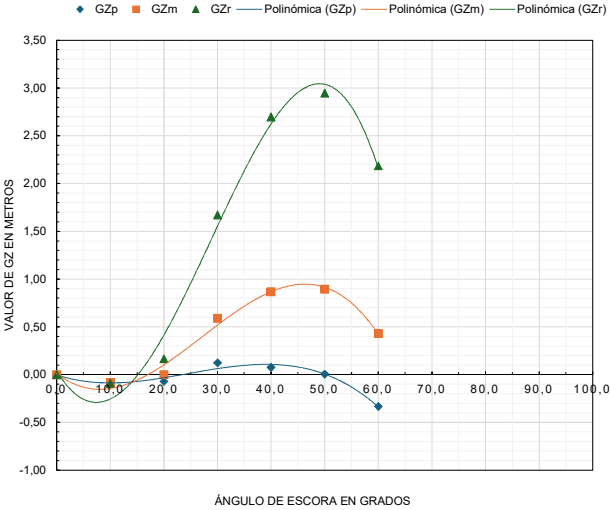
Curvas de estabilidad estática

	Rad	sen(ángulo)	KG	KNp	KNm	KNr	KG x sen(ángulo)	GZp	GZm	GZr
0,0	0,0	0,00	5,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10,0	0,2	0,17	5,37	0,85	0,85	0,84	0,93	-0,08	-0,09	-0,09
20,0	0,3	0,34	5,37	1,77	1,84	2,00	1,84	-0,07	0,00	0,17
30,0	0,5	0,50	5,37	2,81	3,27	4,36	2,69	0,12	0,59	1,67
40,0	0,7	0,64	5,37	3,53	4,32	6,15	3,45	0,07	0,87	2,70
50,0	0,9	0,77	5,37	4,12	5,01	7,06	4,11	0,00	0,89	2,95
60,0	1,0	0,87	5,37	4,32	5,08	6,82	4,65	-0,33	0,43	2,18

KM= Valor del MBT + KB

KNr Condición de rosca
KNm Condición laste
KNp Condición de plena carga

Calado(m)	Desplaza (m3)	KB (m)	BMT (m)	KG (m)	KM (m)	GM (m)
1,50	476	0,89	10,38	5,37	11,27	5,90
2,50	1000	1,48	7,76	5,37	9,24	3,87
3,50	1591	2,05	5,43	5,37	7,48	2,11



Se puede ver que ninguna de las condiciones cumple con los principios de la estabilidad estática. Es necesario hacer un cálculo concienzudo del CG de la estructura que debe encontrarse entre

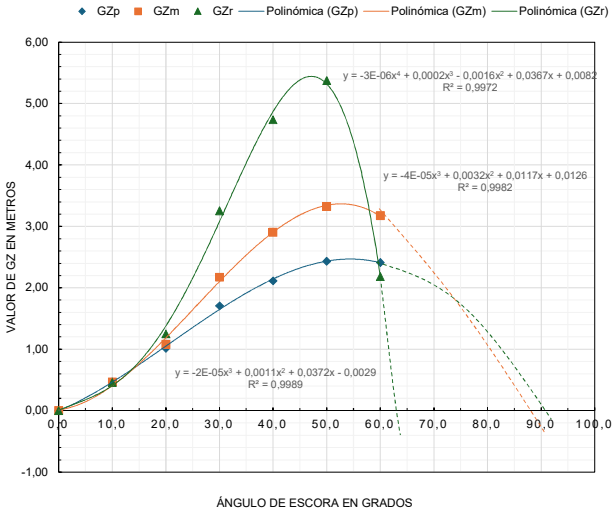
Curvas de estabilidad estática con nueva aproximación de KG

	Rad	sen(ángulo)	KG	KNp	KNm	KNr	KG x sen(ángulo)	GZp	GZm	GZr
0,0	0,0	0,00	2,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10,0	0,2	0,17	2,20	0,85	0,85	0,84	0,38	0,47	0,47	0,46
20,0	0,3	0,34	2,20	1,77	1,84	2,00	0,75	1,01	1,08	1,25
30,0	0,5	0,50	2,20	2,81	3,27	4,36	1,10	1,71	2,17	3,26
40,0	0,7	0,64	2,20	3,53	4,32	6,15	1,41	2,11	2,90	4,73
50,0	0,9	0,77	2,20	4,12	5,01	7,06	1,69	2,43	3,32	5,37
60,0	1,0	0,87	2,20	4,32	5,08	6,82	1,91	2,41	3,17	2,18

KM= Valor del MBT + KB

KNr Condición de rosca
KNm Condición laste
KNp Condición de plena carga

Calado(m)	Desplaza (m3)	KB (m)	BMT (m)	KG (m)	KM (m)	GM (m)
1,50	476	0,89	10,38	2,20	11,27	9,07
2,50	1000	1,48	7,76	2,20	9,24	7,04
3,50	1591	2,05	5,43	2,20	7,48	5,28



Para poder tener un GM positivo, necesitamos que el G se encuentre por debajo, y para mantener estabilidad estática necesitamos que G se encuentre por encima de B.
Se puede ver que ninguna de las condiciones cumple con los principios de la estabilidad estática.
Es necesario hacer un cálculo concienzudo del CG de la estructura que debe encontrarse entre

Criterio de Rahola

- 1) El máximo brazo adrizante (GZ) que garantice la estabilidad debe estar situado entre los 30° y 40° de escora.
- 2) El brazo dinámico para 40° debe ser como mínimo 8cm/radián.
- 3) Valores mínimos de GZ. Estos se pueden ver resumidos en la tabla 10.

Escora	Valor de GZ
20°	14 cm
30°	20 cm
40°	20 cm

Tabla 2-2 : Resumen “Regla de los mínimos.”

Ángulos	GZ(m)	GZ (m)	Ang Rad	Comprobación segundo criterio (cm)
0	0	0	0	0,0
10	-0,09	-0,09	0,17	45,8
20	0,00	0,17	0,35	22,9
30	0,59	1,67	0,52	15,3
40	0,87	2,70	0,70	11,5
50	0,89	2,95	0,87	9,2
60	0,43	2,18	1,05	7,6

El primer criterio no lo cumple. Vemos que hay valores superiores para 50° de escora
Respecto al segundo criterio vemos que no cumple,se necesita un brazo mayor al que se tiene
No cumplen el tercer criterio para la condición en rosca, el valor de GZ es inferior al requerido

Criterio de la OMI

La altura metacéntrica corregida por superficie libre debe superar los 0,35 m
El máximo valor de la curva GZ(distancia entre el centro de gravedad y metacentro) será para las escoras de 30° o superior. En este caso, los brazos deben ser mayor de 0,20m
La superficie encerrada dentro de la curva GZ y las ordenadas de 30° y 40° de escora debe ser mayor a 0,03 metros multiplicado por el ángulo en radianes.
La superficie encerrada por la curva de brazos GZ y la ordenada de escora 30° debe ser igual o superior a 0,055 metros multiplicado por el ángulo en radianes.

Para comprobar el primer criterio utilizamos esta tabla

Calado(m)	KG (m)	Altura libre de agua	KM (m)	GM corregido
1.50	5.38	2.00	11.27	7.89
2.50	5.38	1.00	9.24	4.86
3.50	5.38	0.00	7.48	2.10

$GM\text{ corregido}=KM-KG+Altura\ libre$

El segundo criterio vemos que se cumple al observar la tabla y verificar que el GZ es mayor que el mínimo necesario
Para v

Integramos por 1°S entre 0 y 40 y resto por 1° S entre 0 y 30

	Ang Rad	GZ	FS	PRODUCTO	Area
0	0,00	0	1	0,00	
10	0,17	-0,09	4	-0,37	
20	0,35	0,17	2,00	0,33	
30	0,52	1,67	4,00	6,68	
40	0,70	2,70	1,00	2,70	
SUMA				9,34	
Área(0-40°)				0,54	

Área 30-40° m²rad	0,43	Área (0-30°) m²rad	0,11
Área criterio m²rad	0,01	Área criterio m²rad	0,03

El tercer y cuarto criterio vemos que se cumplen, ya que el área encerrada bajo la curva es superior a la requerida

Criterio OTAN

-	Área bajo curva GZ	-
-	De 0 a 30°	- ≥0.080
-	De 0 a 40°	- ≥0.133
-	De 30 a 40°	- ≥0.040

Tabla 2-3 : Resumen área bajo curva GZ

El brazo adrizante máximo (GZ máx) debe ser mayor o igual que 0.3 m
El ángulo de escora correspondiente al brazo adrizante máximo debe ser ≥30°
La altura metacéntrica transversal (GM) con corrección de superficie libre superará los 0.3 metros

Área (0-30) (mrad)	0.004 No cumple
Área(0-40°) (mrad)	0.778 Cumple
Área (30-40°) (mrad)	0.076 Cumple

El brazo adrizante es mayor de 0,3 m
El ángulo correspondiente al brazo adrizante máximo está en 50°, por lo que cumple
También cumple, el valor de GM corregido es mucho superior

Criterio de Rahola

- 1) El máximo brazo adrizante (GZ) que garantice la estabilidad debe estar situado entre los 30° y 40° de escora.
- 2) El brazo dinámico para 40° debe ser como mínimo 8cm/radián.
- 3) Valores mínimos de GZ. Estos se pueden ver resumidos en la tabla 10.

Escora	Valor de GZ
20º	14 cm
30º	20 cm
40º	20 cm

Tabla 2-2 : Resumen “Regla de los mínimos.”

Ángulos	GZr	GZ	GZ	Ang Rad	Comprobación segundo criterio (cm)
0	0	0	0	0	0,0
10	0,47	0,47	0,46	0,17	1,4
20	1,01	1,08	1,25	0,35	2,8
30	1,71	2,17	3,26	0,52	4,2
40	2,11	2,90	4,73	0,70	5,6
50	2,43	3,32	5,37	0,87	7,0
60	2,41	3,17	2,18	1,05	8,4

El primer criterio no lo cumple. Vemos que hay valores superiores para escoras mayores.
Respecto al segundo criterio vemos que tampoco cumple, ya que se necesita un brazo mayor
Cumple el tercer criterio, al tener un GZ mayor que los que aparecen en la tabla

Criterio de la OMI

La altura metacéntrica corregida por superficie libre debe superar los 0,35 m
El máximo valor de la curva GZ(distancia entre el centro de gravedad y metacentro) será para las escoras de 30° o superior. En este caso, los brazos deben ser mayor de 0,20m
La superficie encerrada dentro de la curva GZ y las ordenadas de 30° y 40° de escora debe ser mayor a 0.03 metros multiplicado por el ángulo en radianes.
La superficie encerrada por la curva de brazos GZ y la ordenada de escora 30° debe ser igual o superior a 0,055 metros multiplicado por el ángulo en radianes.

Cumple el primer criterio. La altura metacentrica corregida es superior en cualquiera de los casos
El segundo criterio también lo cumple, los valores máximos de GZ está a los 50°

Para comprobar el primer criterio utilizamos esta tabla

Calado(m)	KG (m)	Altura libre de agua	GM corregido	KM (m)	GM corregido
1,50	2,20	2,00	7,89	11,27	11,07
2,50	2,20	1,00	4,86	9,24	8,04
3,50	2,20	0,00	2,10	7,48	5,28

$$G M_{correctado}=KM-KG+Altura libre$$

Integramos por 1°S entre 0 y 40 y resto por 1° S entre 0 y 30				
	Ang Rad	GZ	FS	PRODUCTO
0	0,00	0	1	0,00
10	0,17	0,46	4	1,83
20	0,35	1,25	2,00	2,50
30	0,52	3,26	4,00	13,02
40	0,70	4,73	1,00	4,73
SUMA				22,09
Área(0-40°)				1,29
Área 30-40°				0,80
Área críteric				0,02

	Ang Rad	GZ	FS	PRODUCTO
0	0,00	0	1	0,00
10	0,17	0,46	3	1,38
20	0,35	1,25	3,00	3,75
30	0,52	3,26	1,00	3,26
		4,73	SUMA	8,38
			Area (0-30)	0,49

Área (0-30°) 0,49
Área críteric 0,03

El tercer y cuarto criterio vemos que se cumplen, ya que el área encerrada bajo la curva es superior a la requerida

Criterio OTAN

- Área bajo curva GZ	-
- De 0 a 30°	- ≥0.080 m.rad
- De 0 a 40°	- ≥0.133 m.rad
- De 30 a 40°	- ≥0.048 m.rad

Tabla 2-3 : Resumen área bajo curva GZ

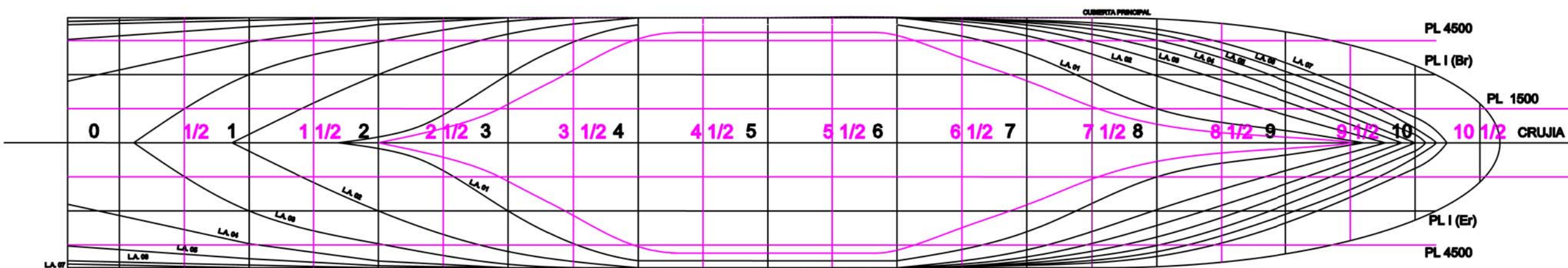
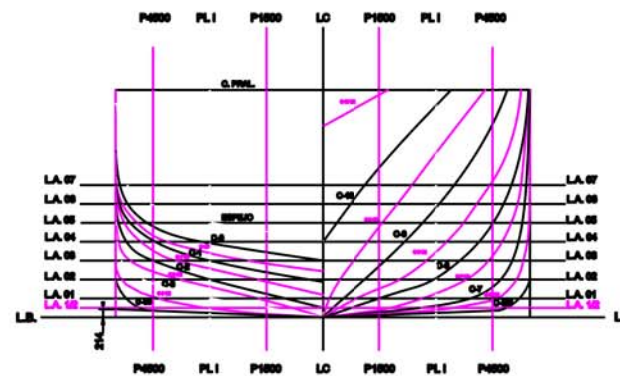
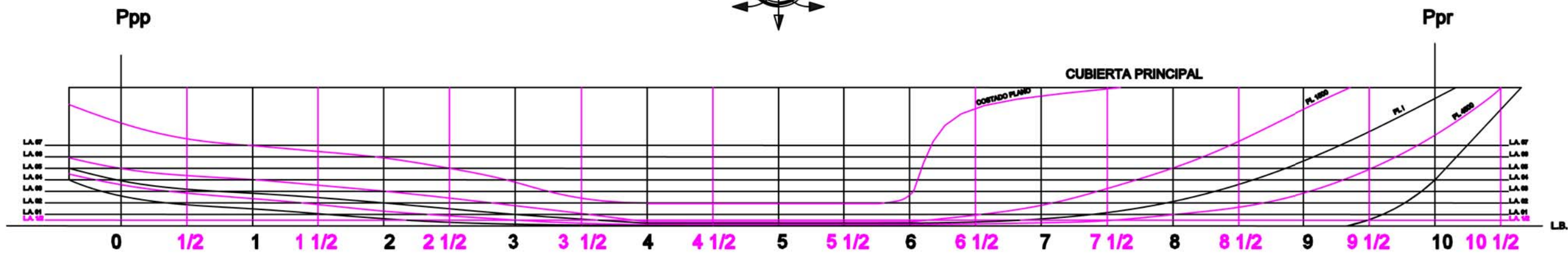
- El brazo adrizante máximo (GZ máx) debe ser ≥0,3 m
- El ángulo de escora correspondiente al brazo adrizante máximo debe ser ≥30°
- La altura metacéntrica transversal (GM) con corrección de superficie libre superará los 0.3 metros

Área (0-30)m.rad	0,93 Cumple
Área(0-40°)m rad	1,84 Cumple
Área (30-40°)m rad	4,57 Cumple

El brazo adrizante es mauor de 0,3 m, por lo que cumple el criterio
El ángulo correspondiente al brazo adrizante máximo está en 50°, por lo que cumple
También cumple, el valor de GM corregido es mucho superior

ANEXO IV: PLANO DE FORMAS

Nuevo plano de formas de la plataforma PAM.



DIMENSIONES PRINCIPALES

Loa	63.000 mm
Lpp	57.000 mm
B	11.000 mm
T	3.000 mm
D	6.000 mm

FASE II: PROYECTO PRELIMINAR PATRULLERO DE ALTURA MULTIPROPÓSITO (PAM)

PLANO DE FORMAS

H. 1 DE 1 / ESCALA 1:200 PARA A3