

Centro Universitario de la Defensa

en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

Diseño conceptual de un mini portaaviones: transformación de la topología de la plataforma Clase "Santa María"

Grado en Ingeniería Mecánica

ALUMNO: Víctor Leal Sans

DIRECTORES: Pedro Jesús Carrasco Pena
Gerardo González-Cela Echevarría

CURSO ACADÉMICO: 2023-2024

Universidade Vigo



Centro Universitario de la Defensa

en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

Diseño conceptual de un mini portaaviones: transformación de la topología de la plataforma Clase "Santa María"

Grado en Ingeniería Mecánica

Intensificación en Tecnología Naval

Cuerpo General

Universidade Vigo

RESUMEN

En base a las líneas de desarrollo establecidas la Dirección General de Armamento se ha evaluado la posibilidad de reutilizar una plataforma existente para dotar a la Armada de un buque nodriza para sistemas de armas no tripulados.

Para evaluar el efecto de los cambios a la disposición general sobre la estabilidad se ha ahondado la posibilidad de emplear transformaciones conformes con la meta de no variar el desplazamiento de la plataforma original en sus distintas condiciones. Además, en el estudio se han utilizado otras técnicas como la representación de planos por gráfico de vectores, modelado de piezas en CAD y automatización de la obtención de resultados mediante hojas de cálculo.

Al final de la memoria se adjuntan como anexos los dos archivos madre cuya interpretación permite la compresión completa de la propuesta, estos archivos son los planos de la nueva disposición general y las distintas hojas de cálculo que recogen la evaluación de los cambios sobre la estabilidad del buque.

La plataforma descrita en este trabajo dotaría a la Armada de una plataforma multipropósito con una capacidad de carga intermedia entre una fragata y un buque de aprovisionamiento, con una cubierta de vuelo de 144 metros y superioridad de velocidad y maniobra frente a otros buques con propósitos similares.

PALABRAS CLAVE

Transformación topológica, integración de sistemas no tripulados, procesos de diseño CAD,

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría dar las gracias a mis tutores de este trabajo de final de grado, al CF Gerardo González-Cela Echevarría y al TN Pedro Jesús Carrasco Pena ya que sin su esfuerzo no hubiera sido posible la realización de este proyecto. Además, quiero agradecer el apoyo incondicional de mi familia, amigos y compañeros de esta promoción de oficiales pues han permitido acabar este trabajo.

CONTENIDO

Contenido 1

Índice de Figuras 4

Índice de Tablas....6

Índice de abreviaturas....1

1 Introducción y objetivos....2

1.1 Contexto y motivación....2

1.2 Objetivos....3

1.3 Metodología....3

2 Estado del arte....5

2.1 La geometría y el análisis topológico en la ingeniería naval....5

2.1.1 Uso de la geometría en el diseño de plataformas navales....5

2.1.2 Sistemas de coordenadas cilíndricos....6

2.1.3 El diseño asistido por computadora en ingeniería naval....8

2.2 Los sistemas no tripulados....8

2.2.1 Sistemas submarinos UAV....8

2.2.2 Sistemas de superficie UUV....9

2.2.3 Sistemas aéreos USV....10

2.3 Ayudas al despegue y toma de aeronaves en la mar....10

2.3.1 Catapultas....10

2.3.2 Barra de detención reutilizable....11

2.3.3 Jet Blast Deflector....11

2.3.4 Ski-jump....11

2.3.5 Cables de parada....11

2.4 Definición del teatro de operaciones....12

2.4.1 Lucha contra la piratería 12
2.4.2 Integración en grupos navales 12
2.4.3 Operaciones anfibias 12
2.5 Capacidades y funciones 13
2.5.1 Capacidad de guerra antiaérea 13
2.5.2 Capacidad de guerra de superficie 13
2.5.3 Capacidad de guerra antisubmarina 13
2.5.4 Capacidad de guerra electrónica 13
2.5.5 Capacidad de guerra de minas 13
2.5.6 Capacidad anfibia 14
2.5.7 Capacidad para apoyo humanitario y transporte 14
2.5.8 Funciones de la nueva plataforma 14
3 Desarrollo del TFG 15
3.1 Redistribución de cubiertas y pesos 15
3.1.1 Medidas iniciales en base a plataformas similares 15
3.1.2 Cálculo de desplazamiento de masas 18
3.1.3 Desembarco de equipos no esenciales 18
3.1.4 Cubierta de botes de estribor 19
3.1.5 Transformación topológica del hangar 19
3.1.6 Diseño del nuevo puente 25
3.1.7 Reforma del sistema de extracción y aspiración de la cámara de máquinas 26
3.1.8 Cubierta de vuelo corrida 28
3.1.9 Configuración alternativa 29
3.1.10 Funcionamiento de la hoja “Cambios a la condición en rosca” 29
3.1.11 Elección de la variante y ejemplo de un plan de carga 34

3.1.12 Funcionamiento de la hoja "Partidas condición de carga máxima" 35

3.2 Análisis hidrostático.....36

3.2.1 Criterio de la altura metacéntrica.....37

3.2.2 La curva de estabilidad y los criterios asociados a sus valores y área.....37

3.3 Estabilidad en averías.....41

3.4 Costes.....42

4 Análisis de los resultados 43

4.1 Resultados de las modificaciones a la plataforma 43

4.2 Resultados del análisis hidrostático 45

5 Conclusiones y líneas futuras.....47

5.1 Conclusiones.....47

5.2 Líneas futuras.....48

6 BIBLIOGRAFÍA.....49

Anexo I: Implicaciones Sociales, Económicas y Ambientales 51

Anexo II: Reflexión éticas y sociales.....52

Anexo III: Hojas de cálculo empleadas en el proyecto.....53

Anexo IV: Distribución general del buque.....54

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.- Ilustración de la evolución de tendencias de diseño en las plataformas. 6

Figura 2.- Representación conjunta de los tres sistemas de coordenadas tridimensionales 6

Figura 3.- Cambios previstos a la topología de la plataforma. 14

Figura 4.-Diagrama de dispersión del ancho de la cubierta de vuelo. 16

Figura 5.- Diagrama de dispersión de la relación de la pista de vuelo. 17

Figura 6 Diagrama de dispersión del francobordo. 17

Figura 7.- Isométrica de mamparos y cubiertas del hangar. 20

Figura 8.- Interpretación geométrica de las transformaciones topológicas. 21

Figura 9.- Interpretación geométrica de las transformaciones topológicas. 21

Figura 10.- Interpretación geométrica de las transformaciones topológicas. 22

Figura 11.- Función (9) graficada mediante GeoGebra. 24

Figura 12.- Funciones (10) y (11) graficadas mediante GeoGebra 24

Figura 13.- Representación del nivel 01. 26

Figura 14.- Zonas de presión negativa. 27

Figura 15.- Zonas de presión positiva. 27

Figura 16.- Cambios a realizar sobre la topología en la zona del tronco de gases. 28

Figura 17.- Producto de la masa por una coordenada de su centro de gravedad. 30

Figura 18.- Sumatorio de una de las columnas de los productos. 31

Figura 19.-Centro de gravedad conjunto para todos los conceptos listados. 31

Figura 20.- Diferencia de la masa de los elementos descartados con los añadidos 32

Figura 21.- Cálculo del nuevo desplazamiento en rosca. 33

Figura 22.- Nueva coordenada del centro de gravedad para la plataforma en rosca. 34

Figura 23.- Sumatorio de las masas asociadas a las cargas para la capacidad máxima. 35

Figura 24.- Centro de gravedad de la plataforma cargada 36

Figura 25.- Relaciones dimensionales entre las magnitudes KG, KN, GZ y el ángulo de escora θ.38

Figura 26.- Vista general de la hoja "Curva de estabilidad". (Elaboración propia).....39

Figura 27.- Cálculo de la fila a indexar. 39

Figura 28.- Predicción lineal para el desplazamiento asignado. 39

Figura 29.- Cálculo del GZ corregido para el KG'. 40

Figura 30.-Calculo de las áreas de la curva de estabilidad.....41

Figura 31.- Captura de la hoja de cálculo del presupuesto inicial.....42

Figura 32.- Comparación de los portaaeronaves del mundo. 45

Figura 33.- Curvas de estabilidad de la plataforma. (Elaboración propia).....46

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.- Distintos tipos de catapultas de la USNA. 11

Tabla 2.- Especificaciones de la plataforma propuesta. 43

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

CAD: diseño asistido por ordenador.

CFD: computación de dinámica de fluidos.

HCO: controlador de helicópteros.

IRS: identificación, reconocimiento y seguimiento

OTAN/NATO: organización del tratado del Atlántico Norte.

ROV: vehículo operado en remoto.

RPAS/UAV: vehículo aéreo no tripulado.

t: tonelada métrica.

USN: marina de guerra de los Estados Unidos de América.

USV: vehículo de superficie no tripulado.

UUV: vehículo submarino no tripulado.

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

A continuación, se provee la motivación de este trabajo de fin de grado directamente relacionado con una de las nuevas líneas de desarrollo de armas y sistemas. Además, se expone la metodología utilizada para conseguir los objetivos iniciales de este diseño conceptual de una nueva clase de plataformas que se espera ocupen un rol importante en las marinas del futuro.

1.1 Contexto y motivación

Con la proximidad a la entrega de la primera fragata de la clase "Ramón Bonifaz" en 2028 este trabajo busca dar una segunda vida a las fragatas clase "Santa María" ya que, dado al rápido avance de las tecnologías han quedado segregadas a un papel secundario en la guerra convencional. El uso de distintos sistemas no tripulados empieza a ser más generalizado entre las distintas marinas de guerra del mundo hasta el punto de empezar a concebir plataformas especializadas [1] para su transporte y operación en el mar.

Irán es un claro ejemplo de cómo mediante sistemas no tripulados se puede mantener ciertas capacidades especialmente relacionadas con la adquisición de inteligencia a muy bajo coste y riesgo. Además, gracias a la amplia cobertura mediática del conflicto en el Mar Negro se está demostrando la efectividad de estos medios en la guerra convencional [2]. No obstante, estos hechos están también motivando el desarrollo de defensas ante sistemas no tripulados ya sea neutralizándolos por métodos convencionales, típicamente mediante montajes de artillería, como también mediante *jamming* [3].

Esta es una realidad de la que la Dirección General de Armamento y Material ya reconoce en su última estrategia de tecnología e innovación del año 2020 [4]. Dentro de dicha estrategia en el anexo A se recogen las líneas de interés para I+D+i, este trabajo se enmarca en plataformas navales en la línea 6.3.2. que especifica la necesidad de desarrollo en la integración de sistemas no tripulados en plataformas de superficie.

Si bien ya existen sistemas no tripulados que embarcan en las unidades para mediante sus sensores dotar a los sistemas del barco de más y de mejor información, el módulo compuesto por el puesto de control, el lanzador y recuperador del RPAS ocupan gran parte del hangar impidiendo su aprovechamiento. Este trabajo aspira a ofrecer una plataforma que no requiera embarcar ninguno de estos componentes mediante el uso de una nueva cubierta de vuelo y un local dedicado al control de los RPAS. Además, también se ahondará en la posibilidad de habilitar la cubierta de botes para el despliegue de sistemas autónomos de superficie y submarinos. Estas modificaciones son factibles a nivel táctico dado que gran parte de los sistemas embarcados dada su avanzada edad quedan en

desventaja ante los equivalentes de otras marinas modernas y cuya integración en grupos de la OTAN trabajando en *link-16* es contraproducente. Por tanto, la pérdida de los radares de exploración, los dos montajes artilleros (Meroka y OTO Melara) y sus direcciones de tiro pueden suponer una pérdida asumible.

El concepto de buque nodriza sería similar al papel que ocupa el LHD Juan Carlos I en agrupaciones, para escenarios de alta intensidad se consideraría como un HVU que requerirá protección por parta de los escoltas. A cambio, los sistemas no tripulados ofrecerían capacidades similares a la del ala embarcada en otros barcos, pero a menor coste operativo y desgaste del personal. Dichas capacidades vendrían a ser las de reconocimiento, apoyo a la fuerza en tierra mediante bombardeo estratégico en zonas de superioridad aérea y tareas de guerra antisubmarina como el lanzamiento de torpedos ligeros y sonoboyas [5].

Todos estos cambios se realizarían manteniendo en mente la posibilidad de continuar pudiendo desplegar la plataforma en entornos de baja intensidad como el de control de la piratería en Somalia sin necesidad de escolta.

1.2 Objetivos

El objetivo principal del este trabajo es, partiendo de la distribución actual de una fragata de la clase "Santa María" se deben buscar las distintas alteraciones a su topología estructural interna y de cubiertas que permitirán un mejor aprovechamiento de la plataforma como medio de transporte y despliegue de sistemas no tripulados, la creación de un mini portaaviones. Nos marcamos los siguientes objetivos secundarios:

1. Revisión bibliográfica para establecer una base de datos de buques similares.
2. Análisis de la topología estructural del buque para analizar qué elementos se requieren cambiar.
3. Aplicación de técnicas matemáticas que permitan la distribución de este material.
4. Obtención de una plataforma capaz de dar apoyo a las operaciones con sistemas no tripulados

1.3 Metodología

Para asistir a las decisiones que llevarán a la redistribución de la plataforma original primero se elaborará una base de datos de los sistemas no tripulados de los que hasta la fecha se podría llegar a adquirir a corto plazo. Además, a su vez se recogerá un apartado del estado del arte de dichos sistemas en los teatros actuales que nos servirá para poder replantear las nuevas utilidades que se le podrían dar a esta plataforma. Por último, se realizará un presupuesto inicial de las obras y adquisiciones a realizar que se adjuntará al final de este trabajo.

Para la elaboración del diseño conceptual nos basaremos en los parámetros descritos por Tomas D. Baino [6] que nos marca dos fases claras en el trabajo para las cuáles da unas referencias de que deben contener:

1) Requisitos del usuario, en esta fase se detallan los distintos requisitos que la Armada como cliente daría como parámetros a considerar en el diseño conceptual.

2) Formulación del diseño conceptual, en base a los parámetros anteriores se llega a una solución inicial de la que podemos predecir cuál sería su desempeño en la mar (análisis de estabilidad

inicial), capacidades en las cuatro guerras (electrónica, antisubmarina, superficie, antiaérea) y capacidad de carga.

La primera fase vendrá en parte definida en el estado del arte de este trabajo y en base a este mismo se extraerán conclusiones a ponderar en la formulación del diseño conceptual. La segunda fase seguirá una espiral de Evans dado que es el método estándar [7] en diseños basados en variación de plataformas existentes. Al tratarse de un diseño conceptual únicamente se realizará la primera iteración de la espiral de Evans.

2 ESTADO DEL ARTE

En este apartado se recoge el estado del arte en cuanto a diseño asistido por computadora, las técnicas topológicas empleadas en el mismo y el entorno de trabajo en que actuará la nueva plataforma.

2.1 La geometría y el análisis topológico en la ingeniería naval

La geometría como la topología juegan un papel importante en este desarrollo. Ambas estudian las propiedades de las figuras, la primera se relaciona con medidas exactas de distancias, ángulos, áreas y volúmenes. La segunda por otra parte busca estudia atributos adimensionales que permitan establecer relaciones entre figuras y elementos que en el caso de la estructura de los buques permite modificar la disposición de elementos evitando incrementar el peso, por ejemplo.

2.1.1 Uso de la geometría en el diseño de plataformas navales

La geometría en la proyección de propuestas conceptuales tiene numerosos usos, entre ellos los principales es la referenciación de puntos respecto un centro de coordenadas mediante sistemas ya sean cartesianos, cilíndricos o esféricos; la definición de áreas y volúmenes; medición de ángulos y distancias entre dos puntos.

En la historia del buque de guerra moderno se puede observar una clara evolución de geometrías con un mayor número de elementos expuestos al exterior con formas curvadas hacía superestructuras con superficies casi continúas formadas por planos inclinados. Esta evolución en el diseño se ilustra en la figura 1 dónde se representan de izquierda a derecha en orden cronológico tres buques de guerra: el HMS Conqueror, la ESP Santa María y el HMS Visby. Esta deriva se debe a que dichas formas optimizan la reducción de perfil radar y es por tanto natural que en el diseño de estas está empezando a tomar un mayor peso el diseño de la superestructura en base a criterios geométricos que el ingeniero debe buscar casar con los criterios definidos por las funciones de la plataforma.

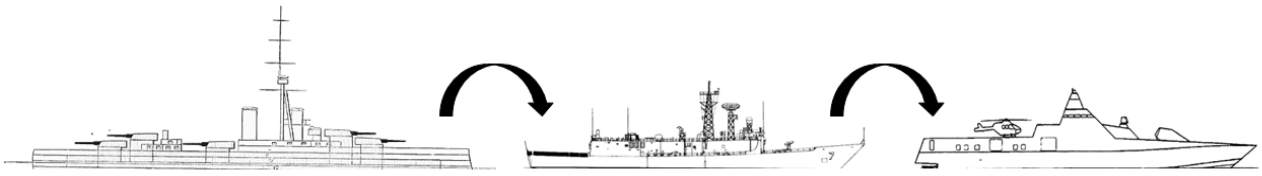


Figura 1.- Ilustración de la evolución de tendencias de diseño en las plataformas.
(Elaboración propia)

Además, la geometría permite generar sistemas de coordenadas tanto cartesianos como cilíndricos y esféricos para poder buscar la mayor sencillez a la hora de describir los elementos que integraremos en una estructura. En la industria naval los sistemas cartesianos son la base de numerosos procesos como son el cálculo del centro de gravedad de los elemento como y del conjunto; la elaboración de planos tanto de formas como de disposición general y de compartimentación; cálculo de otros puntos notables como el centro de carena y metacentro; anidado de elementos y medición criterios de diseños requieren de profundo conocimiento de geometría para conocer la posiciones relativas de los elementos y poder definir estos de forma correcta.

2.1.2 Sistemas de coordenadas cilíndricos

Los sistemas cilíndricos son el siguiente paso a los sistemas bidimensionales polares descritos por Descartes en 1637 [8]. Los sistemas cilíndricos expresan la posición de puntos en sistemas tridimensionales euclidianos mediante un radio y un ángulo que dan una imagen en el plano horizontal del punto a la cual se le asigna una altura para expresar la posición completa del dato. Estos sistemas son de especial utilidad al definir curvaturas que siguen el perfil de un cilindro o un cono en espacios tridimensionales y tienen una fácil transformación al sistema cartesiano[P1].

Para convertir las coordenadas cilíndricas a cartesianas el valor de la altura se traduce directamente al de la ordenada en cartesiana, en cuanto a su valor en los ejes X e Y este se calcula mediante la función del seno y coseno para el ángulo y el radio dados. Esto se puede observar en la figura 2, en la cual se observa como la coordenada vertical tienen una expresión común ambos sistemas.

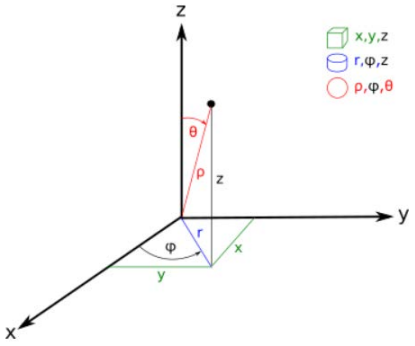


Figura 2.- Representación conjunta de los tres sistemas de coordenadas tridimensionales

En la industria el principal uso de la rama de la topología es para dar forma a un volumen o área en base a unas condiciones de entorno [9]. Los principales métodos empleados para la optimización de

formas mediante topología pueden englobarse en tres familias, los Eulerianos, los Lagrangianos y los basados en las densidades.

Los Eulerianos definen la forma a optimizar mediante funciones implícitas que describen una malla que encierra la forma a definir. Por otra parte, los métodos Lagrangianos definan la forma como un conjunto de puntos finitos que se reposicionan en cada iteración para lograr optimizar la forma. Por último, los métodos basados en densidades definen la forma como un mapa de densidades y buscan optimizar la forma variando el valor de la densidad en las distintas zonas [10]. Esto se puede observar representado en la figura 3, de izquierda a derecha re representa una misma superficie en Euler, Lagrange y finalmente en mapa de densidad.



Figura 3.- Métodos de trabajo.
(Elaboración propia)

En el entorno Autodesk Inventor y Autodesk CFD se trabaja con métodos Eulerianos dado que las formas son definidas por líneas frontera extraídas de planos, definiendo de esta forma la malla que envuelve la forma a optimizar. Más concretamente, lo que se busca cuándo se hace una evaluación visual de piezas a optimizar es encontrar conjuntos de puntos que comparten una misma característica, en el caso de los análisis de estrés se buscan entre otras cosas tensiones y en las simulaciones de fluidos se centra en encontrar puntos isobáricos. Como se observa en la figura 4, en Autodesk CFD las fronteras vienen definidas por unas fronteras que en base a distintas iteraciones representadas en la gráfica inferior acaba definiendo unos valores de presión y velocidad del fluido.

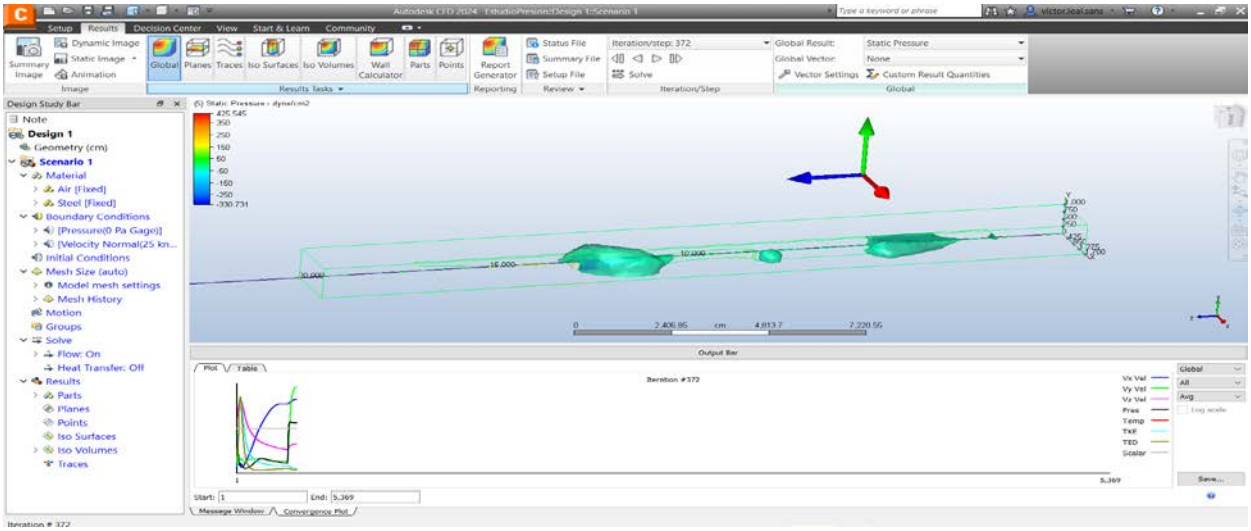


Figura 4.- Simulación de túnel de viento.
(Elaboración propia)

Por otra parte, la rama de la topología entre muchas otras aplicaciones también busca estudiar la relación entre figuras, en el caso de la ingeniería un uso posible que se estudia en el trabajo presente es demostrar que dos distribuciones distintas de espacios comparten un mismo volumen si se consigue demostrar que ambas disposiciones son homeomorfas. Un homeomorfismo consiste en demostrar que dos espacios topológicos son equivalentes dado que cada punto en el espacio original tiene una imagen única en el espacio final que no comparte con ningún otro punto del conjunto original y cuya función inversa solo le devuelve el punto original. Además, para mantener el volumen constante se requiere que los ángulos de intersección entre curvas se mantengan constante, esto implica que dentro del amplio mundo de posibilidades de las transformaciones homeomorfas solo interesan las transformaciones conformes [11]. De hecho, para las simulaciones de túnel de viento mencionadas previamente en este apartado los programas informáticos como Autodesk CFD utilizan transformaciones conformes para modelar los fluidos dinámicos.

2.1.3 El diseño asistido por computadora en ingeniería naval

Hoy en día el diseño asistido por computadora es una herramienta de uso cotidiano en la industria, los programas CAD permiten no solo elaborar los planos y visualizar las piezas, además ofrecen muchas otras soluciones como el cálculo automatizado de volúmenes, masas y centros de gravedad que facilitan la decisión en el proceso de diseño. La principal ventaja que ofrecen este tipo de software es la automatización de cálculos que permiten predecir el comportamiento de las piezas antes de siquiera ser fabricado el primer prototipo. Para poder automatizar todo este proceso los distintos programas requieren que el usuario defina la figura en gráficos vectoriales con distintas restricciones de forma y coincidencia.

Los principales programas en el entorno CAD son los comercializados por Autodesk bajo los nombres comerciales de AutoCAD e Inventor; Rhino 8 comercializado por Rhinoceros; FreeCAD y LibreCAD que ofrecen una alternativa de fuente abierta; SolidWorks comercializado por la empresa homónima.

Hay que hablar de sistemas de representación matriciales y vectoriales.

En el entorno de la ingeniería aplicada a plataformas navales este tipo de soluciones informáticas permiten calcular puntos teóricos y gráficas asociadas a los mismos que indican la estabilidad que tendrá la plataforma una vez en el agua. Más concretamente permite calcular el metacentro y su variación respecto a los distintos ángulos de escora para un mismo desplazamiento, estos datos combinados con el centro de gravedad son medidas a las que los distintos órganos reguladores referencian los criterios mínimos de la industria respecto a la estabilidad del buque [12].

2.2 Los sistemas no tripulados

En los conflictos activos de hoy en día predomina el uso de sistemas no tripulados que permiten acciones militares sin poner en riesgo uno de los principales activos de los ejércitos que son las personas. Además, estos sistemas suelen tener un coste mucho menor al de los activos tripulados a los que sustituyen y por tanto en entornos en los que el espectro electromagnético permite su uso son opciones altamente valoradas por los distintos ejércitos.

2.2.1 Sistemas submarinos UAV

En la base de datos elaborada para el trabajo inicialmente se han clasificado los distintos productos entre ala fija y ala rotativa. Esta separación a grandes rasgos nos permite diferenciar entre sistemas de

ala fija que tienden a tener un mayor tiempo de vuelo y velocidad con el requerimiento de rodaje en pista o necesidad de un sistema externo para despegar y tomar. Por otra parte, el ala rotativa al no necesita rodaje en pista y para operaciones en las que se requiere un posicionamiento preciso son más adecuadas, pero suelen tener menor tiempo de autonomía. Además de esta clasificación propia se han etiquetado en base a la clasificación propia de la OTAN [13] que le asigna a cada sistema (en la tabla se refiere a los UAVs como RPAS de Remotely Piloted Aircraft System) una clase y dentro de esa clase una categoría en base a la altitud a la que opera, distancia a la que trabaja, y situación de empleo.

En la actualidad España tiene en servicio activo con el Ejército del Aire el MQ-9 Predator B [14], se trata de un RPAS clase III categoría Strike cuyas principales misiones son ISR, guiado y ataque. Por otra parte, la Armada tiene en servicio el ScanEagle [15], un RPAS clase I categoría Small cuyo único uso es el ISR, cuenta con una cámara infrarroja y una de espectro visible que le permiten un reconocimiento muy eficiente de blancos. Este último RPAS es el único en embarcar a bordo de las distintas unidades de la Armada, comenzó a desplegar en misiones en el extranjero desde el 20 de abril de 2015 y es un sistema altamente valorado por toda la información que aporta para ayudar a la detección, clasificación y detección de blancos.

Otros aliados de la OTAN como la Royal Navy se encuentran en estos momentos realizando pruebas de distintos UAVs clase III que dotaría a sus unidades de una nueva capacidad ofensiva. En el caso concreto de la Royal Navy realizó en septiembre el primer lanzamiento en ejercicios de la OTAN de un torpedo mediante un cuadricóptero no tripulado [5]. Además, en noviembre realizaron mediciones del rodaje en pista que requería el dron de combate MOJAVE con y sin armamento en el HMS Queen Elizabeth [16]. Estos ensayos con el MOJAVE caben destacar que se realizaron sin utilizar el ski-jump ni cables de parada.

2.2.2 Sistemas de superficie UUV

En la base de datos elaborada, se ha diferenciado entre los sistemas que requieren de conexión alámbrico para su control y aquellos que pueden operar bajo superficie de forma autónoma sin necesidad de conexión a la nave nodriza, muchos de estos sistemas establecen conexiones inalámbricas en intervalos programados ascendiendo a superficie.

Por parte de la Armada [17] en la actualidad opera cuatros ROV PLUTO PLUS, estos sistemas mantienen una conexión continua mediante cable con el cazaminas que los embarca pudiendo en cualquier momento un operador apagar el modo automático que tenga programada y tomar el mismo el control. Su principal función es de forma segura identificar con certeza minas submarinas mediante un sonar activo y en caso de ser posible puede depositar una carga explosiva una vez recuperado el ROV detonar la mina a una distancia segura.

Además, se dispone a bordo múltiples unidades de Minesniper Mk III, de forma similar al PLUTO son vehículos submarinos filoguiados. Estos tienen un equipamiento de menor calidad que el PLUTO dado que su principal función es buscar objetos ya identificados como minas y detonarlos mediante una carga explosiva integrada en el propio cuerpo del Minesniper Mk III.

Por lo general los UUV están mantienen como su tarea principal el contraminado pero algunos sistemas comerciales también permiten su uso para la guerra antisubmarina, minado de precisión y vigilancia de aguas portuarias. En la actualidad la OTAN cuenta con dos principales sistemas autónomos [18] en desarrollo, la familia de UUVs REMUS que por sus reducidas dimensiones y funcionamiento completamente autónomo requieren un apoyo de la unidad que los despliega mínimo

y el SEAEXPLORER que mediante el canal acústico son capaces de intercambiar información con la unidad que lo despliega.

2.2.3 Sistemas aéreos USV

En la base de datos elaborada solo se han recopilado sistemas no tripulados de superficie cuyas dimensiones permitirían estibarlos de la misma forma que un bote semirrígido de a bordo. Por lo general con estas embarcaciones se busca usarlas no solo para ISR pero también como relés de comunicaciones y plataformas para estaciones remotas de armas similares al RWS Sentinel 2.0 que ya montan algunas fragatas de la clase Santa María.

En la actualidad, la Armada está realizando pruebas con dos USV de dimensiones similares a las de un bote, estos son el Kaluga desarrollado por Utek en colaboración con Leonardo y el Sead 23 desarrollado por Zelenza Group en colaboración con Indra. Por otra parte, cabe destacar que actualmente en la guerra de Ucrania se están empleando estos medios como kamikazes con resultados muy positivos [19].

2.3 Ayudas al despegue y toma de aeronaves en la mar

Las distintas marinas que operan con aeronaves de ala fija en la mar han adoptado distintos mecanismos que por sí solos o en combinación permiten operar activos que en un principio requerirían cubiertas de vuelo más extensas, a continuación, se explica brevemente la función de las distintas tecnologías en uso.

2.3.1 Catapultas

Durante la Segunda Guerra Mundial específicamente dentro de la marina de guerra estadounidense se popularizó el uso de distintos tipos de catapultas que permitían a aeronaves de mayor porte despegar en recorridos en pista mucho más cortos, permitiendo de esta forma embarcar aeronaves cada vez más pesadas. Estas empezaron con las tipo A [20] embarcadas en acorazados como el Maryland o el Nevada que fueron los primeros en utilizarlas, se trataban de un sistema hidro-neumático que mediante aire comprimido aceleraba un pistón que mediante poleas transmitía el movimiento a un carrito, más tarde mediante fluido hidráulico se retornaba el pistón al inicio de la carrera. Además, de forma paralela se desarrollaron catapultas del tipo P en las cuales el medio de propulsión eran cargas de pólvora cuya deflagración desplazaba de forma similar un pistón.

En la actualidad estos medios propulsantes han quedado desfasados debido al mayor peso de las aeronaves, la US Navy opera catapultas de vapor cuyo origen se puede trazar hasta la británica BXS-1 [21]. Estas si bien consiguen mayores potencias, requieren calderas propias para generar vapor que más tarde debe ser guardado en un acumulador. Estos elementos las hacen por lo general mucho más complejas de operar y mantener en comparación con los antiguos sistemas de pólvora cuyo principal requisito era la conservación de las cargas de pólvora, o las catapultas hidráulicas e hidro-neumáticas cuyo principal inconveniente era el almacenamiento a presión del aire y los cambios del fluido hidráulico. Para dar una noción de las prestaciones de estas catapultas se ha elaborado la tabla 1 en base a las referencias [20] y [22] en la tabla

	VELOCIDAD FINAL (km/h)	MASA ACELERADA (kg)	CARRERA (m)	ACELERACIÓN (m/s^2)	FUERZA MEDIA (KN)	SISTEMA
Type H Mk II	112,63	4989,6	22,2504	22,00	109,75	HIDRAULICO
Type H 8	193,08	6804	45,72	31,46	214,04	HIDRAULICO
Type H 8	112,63	29710,8	45,72	10,70	318,04	HIDRAULICO
Type C Mk I	111,021	13608	-	-	-	PÓLVORA
Type C 10	231,696	18144	-	-	-	GASOLINA
Type C 11	251,004	17690,4	61,8744	39,28	694,95	VAPOR
Type C 11	199,516	31752	6st1,8744	24,82	788,10	VAPOR
Type C 13	257,44	35380,8	76,2	33,56	1187,22	VAPOR

Tabla 1.- Distintos tipos de catapultas de la USN.
(Elaboración propia)

2.3.2 Barra de detención reutilizable

Este conjunto de elementos es utilizado en los portaviones de la US Navy junto a la catapulta para poder calentar la turbina y acelerarla hasta el punto óptimo manteniendo la aeronave inmóvil y sujeta a la catapulta. No obstante, también puede emplearse sin la catapulta acortando la distancia de rodaje necesaria de aeronaves STOL en cubiertas con *ski-jump*. Para su uso, se requiere un encaje tanto en la aeronave como en la cubierta, la barra se hace fija en el encaje necesario en cubierta y luego es unida al encaje de la aeronave mediante un elemento de liberación. Cada barra tiene una media de 1400 usos para el F-14 y de 2000 para el F-18 [23] y son diseñadas acorde a la aeronave en base a su empuje.

2.3.3 Jet Blast Deflector

Este sistema consiste principalmente de un panel que altera la dirección del flujo de aire caliente a la salida de los motores a reacción para redirigirlos a dónde no puedan dañar ni personal ni material. En portaviones modernos estos paneles se encuentran integrados en la cubierta de vuelo y son posicionados mediante sistemas que no sean hidráulicos por su incompatibilidad con las temperaturas experimentadas [24].

2.3.4 Ski-jump

Este elemento estructural se sitúa al final de la carrera de despegue de las aeronaves a reacción para proveerlas de una inclinación positiva en la posición final de la carrera que facilita el despegue en distancias cortas. Si bien no es lo habitual, existe la posibilidad de combinarla con la catapulta terminando la carrera de esta justo antes del inicio del *ski-jump* como en el portaviones de la marina francesa Foch que requirió añadir un pequeño *ski-jump* al final de su cubierta de vuelo para operar con el Dessault Rafale M [25]. En la actualidad, estás rampas tienen unas proporciones similares que rondan pendientes de 12,5º [26] [27] y es muy importante destacar que aportan a acortar la carrera necesaria de una aeronave independientemente de su velocidad como en el caso de los F-35 británicos operados en el los portaviones de la clase Queen Elizabeth.

2.3.5 Cables de parada

Existen dos principales sistemas para mitigar el esfuerzo de tensión ejercido por las aeronaves sobre el cable de parada. El sistema más extendido es un cilindro hidráulico que al tensionar el cable parta de la energía se mitiga al comprimir el fluido hidráulico. En los últimos años, General Atomics se encuentra probando un nuevo sistema en que la energía se disipa al hacer girar una turbina con un fluido que a su vez va acoplada a un motor de inducción generando un par de frenada en base a la ley de Faraday [28].

2.4 Definición del teatro de operaciones

A continuación, se resumen los distintos tipos de misiones en que opera la Armada para poder justificar la necesidad de cumplir con determinadas capacidades.

2.4.1 Lucha contra la piratería

En la actualidad la Armada participa en la operación EU NAVFOR Somalia o también conocida como Atalanta con las seis fragatas de la clase Santa María. En dicho teatro existen dos principales fuerzas opositoras, por una parte, desde las proximidades a la entrada al Mar Rojo frente a la costa de Somalia hasta Madagascar operan organizaciones criminales de piratas somalíes con recursos y armamento muy limitados. Por otra parte, al norte de la entrada del Mar Rojo y una vez en este en la zona del estrecho de Bab el-Mandeb operan grupos insurgentes hutíes con medios presuntamente proporcionados por Irán de una mayor peligrosidad para la plataforma que los empleados por los piratas somalíes.

Contra los piratas las capacidades dotadas por sistemas de armas remotas y las propias armas portátiles del barco son suficientes y son los medios empleados actualmente en base al principio de proporcionalidad. Por lo contrario, los grupos hutíes emplean baterías de misiles antibuque desde costa que ya requieren capacidades ASMD, al tratarse de un barco mediano con reducir su firma radar y mantener los lanzadores de señuelos radar podría ser suficiente. Esta medida sería solo factible si se transitara por las zonas de influencia hutí y se operara exclusivamente en aguas del pacífico en que la única presencia prevista es la de piratas somalíes. Otra opción que ponderar sería transitar el mar Rojo en formación junto a una unidad aliada con capacidad de defensa de punto o transitar a la zona por el cabo de Buena Esperanza.

Además, este tipo de operaciones se llevan a cabo en áreas muy extensas de aguas libres en que la unidad trabaja sola con la ayuda puntual del helicóptero embarcado o un UAV Scan Eagle de la 11ª escuadrilla de la FLOAN y un avión de patrulla marítima para búsqueda y reconocimiento. En este aspecto un ala embarcada de UAVs con sistemas electrópticos podrían proporcionar una mayor cobertura espacial en una franja temporal más extendida. Además, el empleo de un USV como el Kagura o el Sead-23 podrían ofrecer medios disuasorios para repeler las embarcaciones menores de alta velocidad empleadas por los piratas somalíes.

2.4.2 Integración en grupos navales

En la actualidad la Armada participa en ambas agrupaciones permanentes de la OTAN (SNMG1 y SNMG2) proporcionando escoltas con las cinco fragatas de la clase Álvaro de Bazán y ocasionalmente en las patrullas del mediterráneo se integran fragatas de la clase Santa María. En este teatro el nuevo tipo de plataforma jugaría un rol muy diferente a la de un escolta, pasando a ser una unidad para proteger como un portaeronaves. En estos escenarios podría actuar como unidad esencial para la misión proveyendo inteligencia, apoyo de fuego para saturar las defensas opositoras y medios antisubmarinos.

2.4.3 Operaciones anfibias

En la actualidad la Armada mantiene sus capacidades para poder efectuar inserciones de medios por playas, en estos casos portaeronaves como el Juan Carlos I juegan un papel crucial en dar apoyo aéreo a la fuerza de desembarco. En estos casos los ataques combinados con enjambres de drones de menor porte o bombardeos estratégicos con RPAS clase III de zonas mal defendidas jugarían un papel

crucial sin poner en riesgo la vida del piloto. Además, podrían efectuar labores de inteligencia previas al desembarco para asistir al planeamiento, buscar y neutralizar minas que impidieran el movimiento a la playa en preparación para el desembarco.

2.5 Capacidades y funciones

Una vez identificado los teatros en los que podría operar la plataforma se enuncian las capacidades de en base a los cuatro tipos de guerra convencional (antiaérea, superficie, antisubmarina y electrónica) y adicionalmente podemos considerar las capacidades para la guerra de minas, asalto anfibio, apoyo humanitario y transporte. Una vez definidas las capacidades que se pretende conseguir se extrapolarán las funciones que debe tener la plataforma para cumplir con estas prestaciones.

2.5.1 Capacidad de guerra antiaérea

En esta guerra las principales capacidades que podrían proporcionar sistemas no tripulados son pocas pues sus capacidades de *dogfight* son nulas todo y que la USNA y China están investigando en una línea de UAVs con ese propósito. Posibles usos serían: engañar los radares enemigos haciéndose pasar por otras aeronaves, ataques suicidas o aeronaves de aviso temprano.

2.5.2 Capacidad de guerra de superficie

En esta guerra las principales capacidades que podrían proporcionar los sistemas no tripulados son: proporcionar información mediante sensores electroópticos y radares de apertura sintética para la correcta clasificación de contactos de superficie, saturación de los sensores enemigos mediante ataques en enjambre o coordinados con otros medios, guiado terminal de misiles, búsqueda de contactos de superficie, capacidad de protección de la fuerza con armas portátiles en zonas litorales, ataques suicidas contra otros buques.

2.5.3 Capacidad de guerra antisubmarina

En esta guerra las principales capacidades que podrían proporcionar los sistemas no tripulados son: detección electroóptica de submarinos en cota periscópica, despliegue de sonoboyas, plataforma lanzadora de torpedos o cargas de profundidad y reconocimiento de aguas portuarias y litorales.

2.5.4 Capacidad de guerra electrónica

En esta guerra las principales capacidades que podrían proporcionar los sistemas no tripulados son: plataforma de contramedidas electrónicas, plataforma de sensores de emisiones, relees de redes de comunicaciones y seducción de misiles.

2.5.5 Capacidad de guerra de minas

En el entorno de las minas navales podemos diferenciar dos capacidades claras, el contraminado y el minado. Por lo general, cualquier plataforma es capaz de realizar minado y esta es una capacidad sin necesidad de realizar ningún tipo de modificación todas las plataformas tienen con matices en la precisión con la que realizan la operación. Por lo contrario, el contraminado puede ser una acción más precisa y controlada (caza de minas, la cual es una capacidad que la Armada ya tiene cubierta) o de mayor riesgo y más indiscreta (dragado de minas), esta última posibilidad en el contraminado podría efectuarse por sistemas no tripulados abriendo aguas a la navegación sin riesgo para la plataforma y la

dotación. En esta rama de la guerra el reconocimiento por medios electrópticos es también una capacidad de uso.

2.5.6 Capacidad anfibia

En este aspecto en líneas similares al resto de guerras, la detección y clasificación de fuerzas hostiles es de crucial importancia, un trabajo que pequeños sistemas UAV con sensores electrópticos podrían realizar. Además, se podría emplear estos medios para atacar las defensas enemigas previo a un desembarco facilitando el trabajo de la fuerza de desembarco.

2.5.7 Capacidad para apoyo humanitario y transporte

En este aspecto la plataforma podría proveer vigilancia de las aguas territoriales mediante el uso de UAVs, y desplazar en el hangar material pero no se pretenda que sean funciones principales en las que se base el diseño de la nueva plataforma.

2.5.8 Funciones de la nueva plataforma

Para conseguir dotar a la plataforma de las capacidades descritas en los anteriores siete subapartados se debe efectuar una serie de obras a fin de proveerla de las siguientes funciones:

-Cubierta de vuelo operable por RPAS clase III.
-Cubierta de botes con acceso a la zona destinada a almacenar USVs y UUVs.
-Mayor capacidad del hangar.

Por tanto, las reformas necesarias para transformar la topología del buque se pueden definir a partir de las tres funciones descritas y el apartado de contexto y motivación en el cual se especifica que el proyecto debe ser una opción que requiera una inversión total menor a la de un proyecto que parta de la quilla. En la figura 5 se muestra el objetivo al que se aspira con las reformas que a continuación se vayan a estudiar.

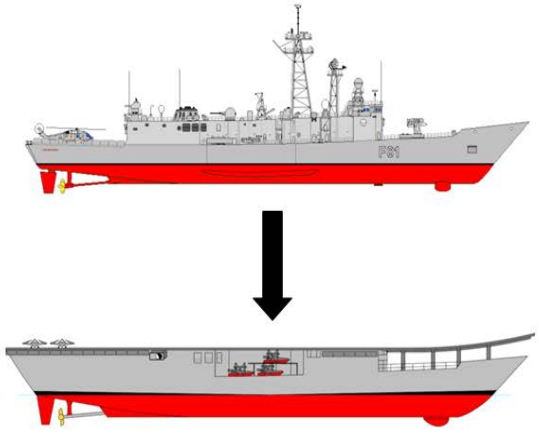


Figura 5.- Cambios previstos a la topología de la plataforma.

(Elaboración propia)

3 DESARROLLO DEL TFG

A continuación, se detallan los distintos pasos que se han seguido en el diseño de la reforma a acometer para cumplir con las funciones descritas al final del estado del arte de este trabajo.

3.1 Redistribución de cubiertas y pesos

En líneas generales se pretende desembarcar del barco sistemas que actualmente prácticamente no utiliza dada su inferioridad táctica en la guerra convencional y en su lugar con el espacio y peso liberado alojar los sistemas no tripulados y su equipamiento, una nueva cubierta de vuelo y un ascensor para dicha cubierta. En este apartado se detallan los distintos cálculos realizados para estimar la alteración a la condición en rosca del buque causada por los cambios descritos.

3.1.1 Medidas iniciales en base a plataformas similares

Se ha elaborado una base de datos en Microsoft Excel en la que se recogen datos de plataformas con cometidos similares a la prevista en un rango de eslora similar. Se tratan de portaviones escoltas empleados durante la segunda guerra mundial por Estados Unidos, Reino Unido y en menor medida el Imperio Japonés. El principio para escoger este perfil de plataformas para la base de datos ha sido que si aviones con potencias, peso y proporciones similares a RPAS clase III podían despegar y tomar en dichas plataformas sus proporciones serían las adecuadas para el mismo concepto con sistemas como el Mojave.

En la base de dates se recoge la eslora total (LOA), manga máxima de la maestra, calado y francobordo para el desplazamiento estándar, el desplazamiento estándar, puntal, longitud y ancho de la cubierta de vuelo y el cociente de la longitud de pista en base a la eslora total. De estos datos a priori, sin tratarlos, destaca un claro límite de diseño reflejado en el desplazamiento estándar. La clase Santa María tiene formas menos llenas que un portaviones escolta o un carguero y por tanto, es clave desembarcar todos los equipos no necesarios y reducir los metros cuadrados añadidos de cubierta y mamparos para ganar mayor capacidad de carga.

A continuación, se describe el método de tratamiento de los datos para inferir las dimensiones de la nueva pista de vuelo y consolidar que la plataforma sin grandes modificaciones puede servir para las nuevas funciones fijadas:

1) Graficando el ancho de pista en base a la longitud de la pista se observa en la figura 6 que es un valor que varía poco y no es proporcional a la longitud. Trazando la función lineal asociada a la tendencia de los valores nos corrobora que la mejor opción será tratar el ancho como una constante dado que la función tiene una pendiente casi nula, es decir, es una línea horizontal. Por tanto, establecemos que un ancho de pista apropiado para la clase Santa María sería la media aritmética de los valores del resto de plataformas listadas. Esta operación nos da un ancho de la cubierta de vuelo de 21,280 m.

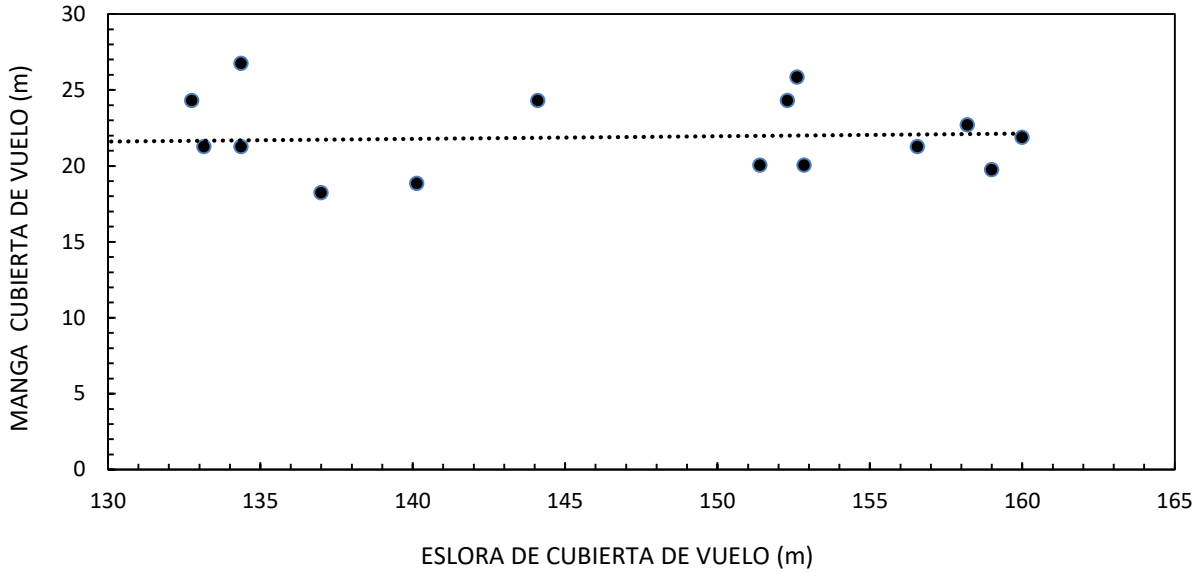


Figura 6.-Diagrama de dispersión de la manga de la cubierta de vuelo.
(Elaboración propia)

2) Para inferir la longitud de la cubierta de vuelo se aplicó la misma lógica del punto anterior al graficar una función lineal de pendiente casi nula como se observa en la figura 5. La media de los coeficientes de la longitud de cubierta partida por la eslora (0,899) se aplicó a la eslora máxima de la clase Santa María, esto indicó que inicialmente una pista adecuada a la plataforma empezaría en los 123,847 m. En base a este dato se ha descartado la posibilidad de mantener la cubierta de vuelo original de toldilla y varios niveles por encima la secundaria para los UAVs. Por tanto, dado que se va a tratar de una cubierta corrido a la altura de puente o en el nivel inmediatamente superior y en base a la experiencia de la Royal Navy con el Mojave [16] se buscará dotar la plataforma de la pista más extensa posible para favorecer una mayor autonomía de los RPAS.

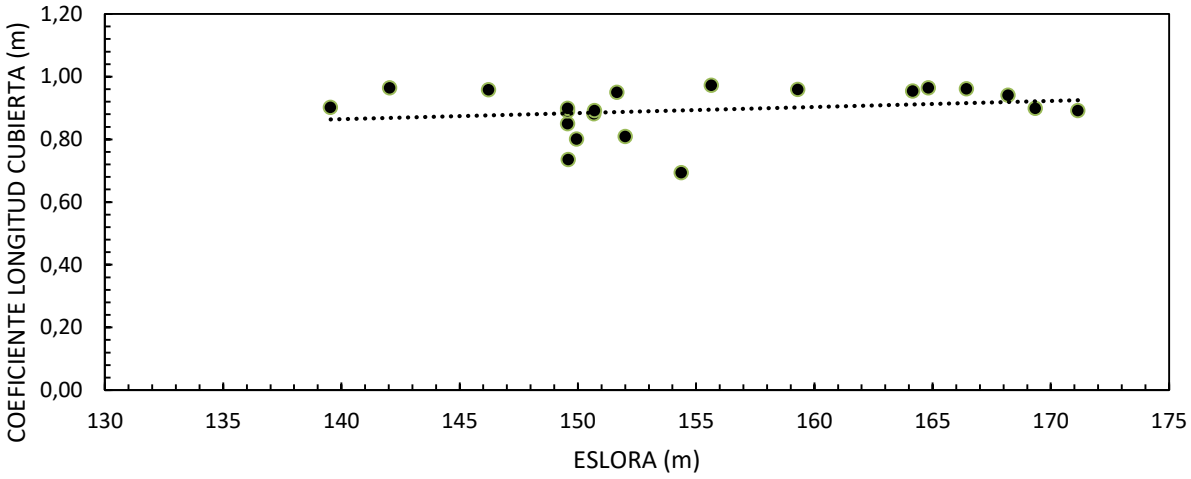


Figura 7.- Diagrama de dispersión de la relación de la pista de vuelo.
(Elaboración propia)

3) En cuanto a la altura de la cubierta de vuelo respecto a la superficie del mar (francobordo) se ha graficado, como se observa en la figura 8, los francobordos en base al desplazamiento de las plataformas listadas y mediante a la función lineal de la tendencia se ha sacado un valor de francobordo para la eslora máxima de la clase Santa María, da un resultado de 12,124 m. Esto nos indica que dicha cubierta de vuelo se encontraría a mitad del nivel de puente y el inmediatamente superior. Dado que no se pretende cambiar el desplazamiento estándar, el calado para este se mantiene como 4,751 m y por tanto con el francobordo deducido nos da un puntal de 16,894 m. En este caso lo óptimo sería aprovechar el nivel 02 que ya tiene gran parte de la cubierta corrida y reforzada en la basada del montaje Oto Melara y del Meroka. Esta solución además minimiza la elevación y embarque de masa en concepto extensión de cubierta.

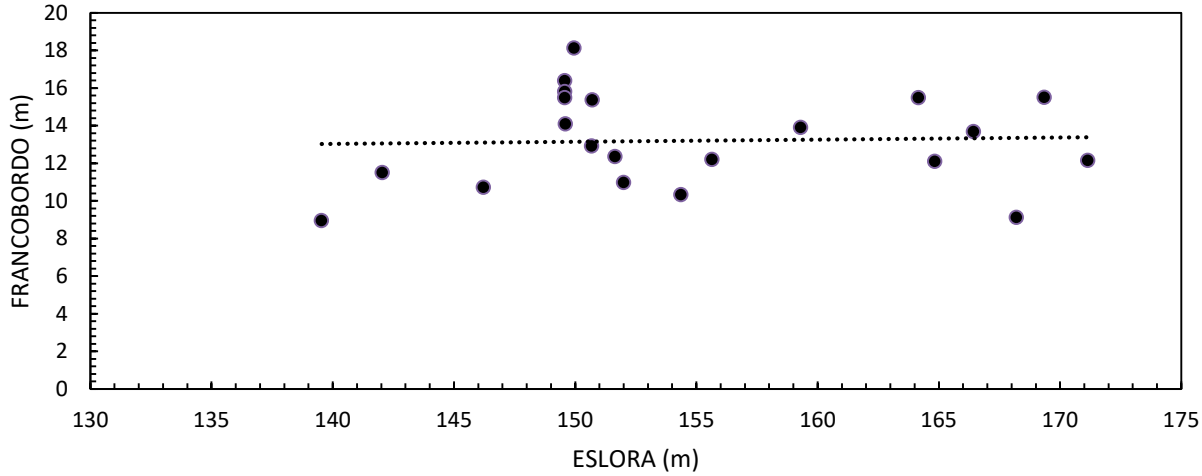


Figura 8 Diagrama de dispersión del francobordo.
(Elaboración propia)

4) Como ya se indicó previamente la clase tiene un desplazamiento muy inferior al de los barcos listados, esto se debe principalmente a que la clase Santa María fue diseñada originalmente como un escolta y por tanto con formas menos llenos y un menor coeficiente prismático que

los portaviones escoltas entre los cuales una gran parte fueron mercantes previamente a su conversión. Graficando el desplazamiento en base a la eslora nos indica que con un coeficiente de prismático similar un buque de la eslora de la clase tendría un desplazamiento estándar de 7420,39 t. Actualmente el desplazamiento estándar de la plataforma es de 3900 t, 3520,39 t menos que el predicho. Esto nos indica algo que ya intuíamos y es que la carga útil que podamos portar es reducida comparada a la de los barcos listados y en gran parte dependerá de cuántos equipos desembarquemos y con el espacio ganado al hangar en la toldilla cuántos sistemas podamos anidar.

En todas las funciones por regresión lineal se observa que el coeficiente de determinación es muy bajo, esto indica que la variabilidad de la función en base a las muestras es poca. Dicho resultado se puede justificar por la falta de datos para valores de eslora mucho menor dado que solo se han recogido buques de un rango de esloras muy acotado per encima de la eslora del proyecto, en parte por la falta de plataformas similares en dimensiones al proyecto planteado.

3.1.2 Cálculo de desplazamiento de masas

Para conseguir dotar al buque de las nuevas funciones descritas en el subapartado 2.4.9 se deberán realizar tres tipos de operaciones:

1) Desembarque de pesos asociados a equipos y partidas de cargo asociadas a estos que no tendrán uso en la nueva plataforma. En estos casos restamos masa a la plataforma y desplazamos el centro de gravedad.
2) Traslado de pesos, este cálculo consistirá en ver cuántos metros cúbicos de mamparos nuevos son equivalentes a alguno ya existente que en la nueva plataforma sea necesario eliminar. En este paso la masa no variará, pero sí el centro de gravedad.
3) Embarque de pesos, deberá embarcarse pesos con la limitación de no exceder el desplazamiento del buque en rosca buscando cumplir las funciones establecidas.

Para el cálculo del nuevo centro de gravedad se empleará un sistema de referencia centrado a crujía de la plataforma, a la altura de la quilla y en la cuaderna maestra (cuaderna 204). Todas las coordenadas provistas en el documento a menos que se especifique lo contrario serán referenciadas a este punto.

3.1.3 Desembarco de equipos no esenciales

El primer cambio que se ha determinado acometer es calcular las masas que serán desembarcadas al desguazar equipos y parte de la superestructura que no serán necesarios en la nueva plataforma dados sus nuevos cometidos. Estos equipos son los radares de exploración aérea y de superficie, las direcciones de tiro, los mástiles, los montajes Oto Melara y Meroka, el lanzador de misiles Mk-13, tubos lanzatorpedos de ambas bandas, la cabina del HCO en toldilla, y los locales de la cubierta 02 incluido el puente.

Dado que no se dispone de los datos exactos de la localización del centro de masas de cada equipo que se pretende desembarcar se empleará ingeniería inversa para conseguir una aproximación lo más exacta posible al centro de masas real. Para ello se modelaron en Autodesk Inventor los mástiles, las cofas, mamparos por encima de la cubierta 02, la cubierta 03 y el tronco del escape y aspiración de la cámara de máquinas en base a los planos de la disposición general originales de la clase Oliver Hazard. Esto nos aproximará una masa y centro de gravedad para dichos elementos que podremos restar a la condición en rosca de la plataforma. Por otra parte, los equipos y armamento dado que no son piezas de un mismo material y por tanto su densidad no es un valor constante en todo su volumen no se puede

aplicar este método. Para estos casos se extrapola el centro de formas del equipo y se le atribuye una masa en base a los datos recopilados por Janes [29]. Se ha elaborado una tabla de Excel listando todos los elementos a desembarcar en la que se recoge su centro de gravedad y la masa asociada a dicho punto. Al final de esta lista se calcula el centro de gravedad y masa conjunta de todos los elementos listados para calcular la modificación a la condición del buque en rosca y ayudar a la toma de decisiones en el diseño.

3.1.4 Cubierta de botes de estribor

Para dotar al buque de una mayor capacidad para cargar y arriar embarcaciones tanto tripuladas como no tripulados se propone añadir a estribor un nivel inmediatamente superior al combés una nueva cubierta de botes como ya existe en la banda de babor. Para ello se ha modelado en Autodesk Inventor mediante la herramienta de simetría una cubierta con el mismo perfil exterior y apoyos. Además, se ha buscado mediante fuertes abiertas las características de un pescante de botes genérico para embarcaciones semirrígidas como el ya existente en la otra banda para añadir en el embarque de pesos. El pescante seleccionado ha sido el ZZ-ZOL 0.8-3.2/3.0 de SEZAMOR [30], el proveedor especifica que el pescante tiene una masa de 925kg y puede trabajar con cargas de hasta 8KN, se ha colocado la carga a popa de la cubierta a un tercio de la altura del mamparo del nivel 01. Todos estos elementos han sido listados en la hoja de cálculo dentro del apartado de embarque de pesos. Además, se prevé disponer al nivel de la cubierta principal en el espacio ganado al retirar los tubos lanzatorpedos posiciones de estiba de sistemas UUV y USV. Para esto se debería solicitar un sistema de poleas para permitir elevarlos a las cubiertas de botes para su arriado mediante los dos pescantes dispuestos.

3.1.5 Transformación topológica del hangar

En este paso ya se tiene que empezar a considerar más en profundidad la nueva disposición de la plataforma. En base a las funciones especificadas previamente se ha decidido mantener los combeses actuales añadiendo en el de estribor una cubierta de botes similar a la de babor. Por otra parte, se pretende comunicar los hangares de ambas bandas y ampliar hacia popa el volumen de hangar. Inicialmente se realizó un estudio geométrico que permitió determinar cuánto puede expandirse el hangar utilizando los mamparos que se requieren eliminar para hacer el espacio diáfano.

Se ha representado el espacio en perspectiva isométrica dado que esto permitirá una más fácil visualización del problema a [P2]la vez que permite medir distancias dado que se mantienen las dimensiones en los tres ejes. En la figura 9 se representan los elementos de la superestructura que se van a eliminar rayados tanto en rojo como en azul y relacionados al nombre con el que aparecen en la hoja de cálculo del centro de gravedad del buque en rosca.

En términos topológicos, se busca alterar la topología del conjunto de áreas marcadas manteniendo su área constante y aumentando el volumen envuelto, es decir, se busca una distribución que sea homeomorfa. Para que esto se cumpla debe existir una función biyectiva que relacione cada punto con otro en la nueva topología, esto quiere decir que la imagen de cada punto es única.

Las principales limitaciones que definirán la solución a este problema es que la nueva superficie debe ser una prolongación de las superficies de los costados del hangar y la cubierta 02 quedando cerrada a popa por una superficie paralela al mamparo de las puertas del hangar. No obstante, inicialmente se ha abordado el problema por la rama de la geometría planteándose todo como una igualdad de la superficie de la topología inicial y la final. Esta solución es más sencilla de plantear y más tarde se pude demostrar que el resultado es homeomorfo.

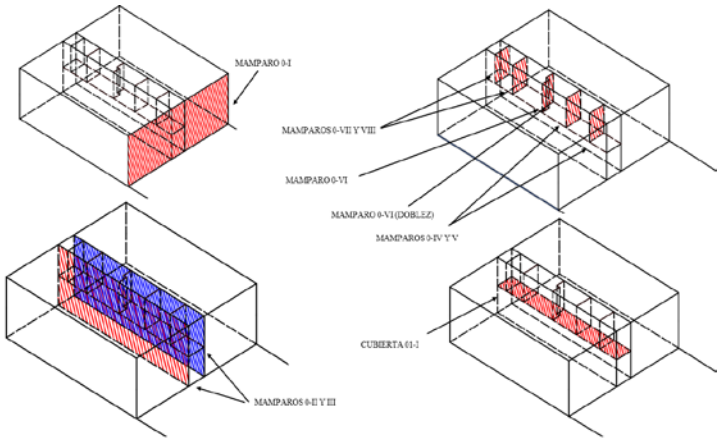


Figura 9.- Isométrica de mamparos y cubiertas del hangar.
(Elaboración propia)

Como se muestra en la figura 9 los mamparos se pueden representar como polígonos sencillos de los cuáles se puede calcular y sumar sus áreas para obtener la superficie total que puede llegar a tener el conjunto de mamparos y cubierta que agranden el hangar. Es decir, se tiene una igualdad en que se deberá representar la nueva área trazada por los mamparos en base a un ángulo barrido en el arco que describe el costado de la toldilla. En este caso se trabajará con tres elementos cuya área se deberá dar en base al ángulo barrido. Con la ayuda de una hoja de Excel se suma dichas áreas obteniendo que dicha igualdad deberá equivaler a un valor numérico de 317,934 m^2. En las distintas ecuaciones que se van a presentar a continuación aparecerán tres constantes que son:

- h: es la altura de los mamparos trazada en perpendicular a la cubierta principal hasta el nivel 02, su valor numérico es 5,724 m.
- r: es el valor del radio de la circunferencia que describe el perfil de la toldilla, su valor numérico es 188,529 m.
- p: es la distancia de crujía al costado del barco trazada sobre el mamparo inicial de la puerta del hangar y perpendicular al plano de crujía. Su valor numérico es 7,053 m.

El primer elemento por definir y el más simple es el mamparo que da al costado del barco, se define en base a la longitud de un arco multiplicada por la altura del mamparo. Este elemento al ser la sección de un cilindro ha motivado a resolver este problema en base al ángulo barrido. Más tarde en base a dicho ángulo se plasmará gráficamente los nuevos límites del hangar, el mamparo del costado se define en base a la ecuación (1) dónde A_1 es el área del mamparo, h, r y θ que es el ángulo barrido sobre el arco que se quiere determinar. En la figura 10 se puede observar a la izquierda el área a la que se está haciendo referencia en la isométrica y a la derecha se observa la representación de las distintas magnitudes en base a las cuáles se calcula estando marcado en rojo la perspectiva del elemento a definir en el plano axial.

$$A_1 = h \cdot \theta \cdot \mathrm{r} \tag{1}$$

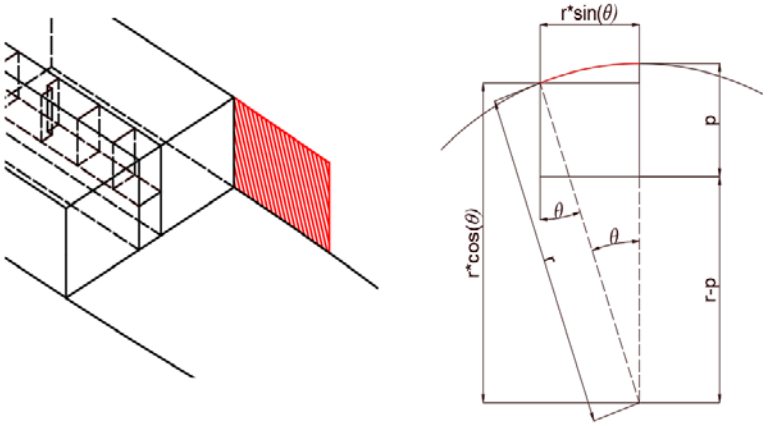


Figura 10.- Interpretación geométrica de las transformaciones topológicas.
(Elaboración propia)

El segundo elemento es el mamparo y puertas del hangar que consideraremos de densidad superficial similar pudiendo trabajar con estos como si fueran uno solo, se define en base a la ecuación (2) dónde A_2 es el área de medio mamparo. En la figura 11 se puede observar a la izquierda el área a la que se está haciendo referencia en la isométrica y a la derecha se observa la representación de las distintas magnitudes en base a las cuáles se calcula estando marcado en rojo la perspectiva del elemento a definir en el plano axial.

$$A_2 = h \cdot (r \cdot \cos(\theta) - \mathrm{r} + \mathrm{p}) \tag{2}$$

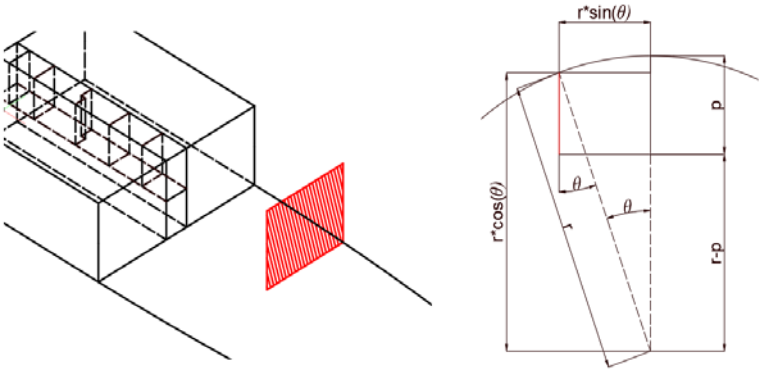


Figura 11.- Interpretación geométrica de las transformaciones topológicas.
(Elaboración propia)

El tercer y último elemento es la extensión a la cubierta 02 que se genere para cerrar el hangar por arriba. Esta área viene definida por la ecuación (3) en dónde A_3 es el área de media cubierta.

$$\boldsymbol{A_3 = \frac{\theta \cdot r^2}{2} - \frac{\left(r \cdot sin\,(\theta) - tg(\theta) \cdot (r \cdot \cos(\theta) - r + p)\right) \cdot (r - p)}{2} + \frac{(r \cdot \cos(\theta) - r + p)^2 \cdot tg(\theta)}{2}} \tag{3}$$

La ecuación (3) viene de un sumatorio de tres términos, el primero es el área del sector de amplitud θ en el círculo que describe el costado a la altura de la toldilla, parte de esta área nos sobra y es la que

se resta en el segundo término. El segundo término es el área del triángulo sobrante del área del sector circular, por una parte, la altura del triángulo es el radio de la circunferencia del costado menos la longitud del segmento del mamparo original de la puerta del hangar desde el costado a crujía *(r-p)*. Por otra parte, la base de dicho triangulo se obtendrá de la ecuación (4). en donde b es la base del triángulo descrito.

$$tg(\theta) = \frac{r \cdot \sin(\theta) - b}{r \cdot \cos(\theta) - (r - p)} \tag{4}$$

Despejando la base del triángulo se obtiene la ecuación (5), esta es una expresión que relaciona todas las magnitudes empleadas anteriormente con b.

$$b = (r \cdot si\,n(\theta) - tg(\theta) \cdot (r \cdot cos(\theta) - r + p) \tag{5}$$

El último termino es el triángulo que queda por agregar, tendrá como base el denominador del cociente de la ecuación (4) y la altura será el denominador.

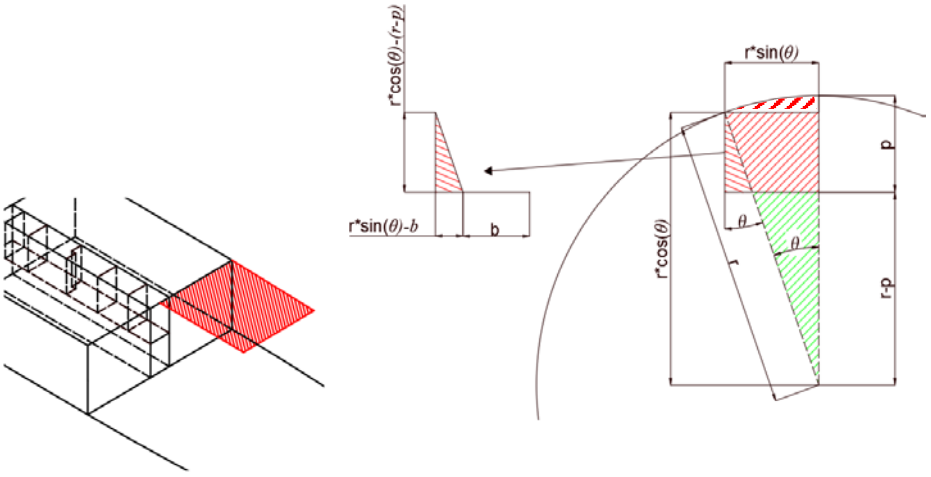


Figura 12.- Interpretación geométrica de las transformaciones topológicas.
(Elaboración propia)

Para que estas expresiones tuvieran validez se ha comprobado que el perfil que dibuja el contorno de la toldilla en forma de arco se corresponde a una circunferencia cuyo centro se sitúa en la línea definida por el mamparo original de la puerta del hangar. La igualdad final por complacer es por tanto la descrita en la ecuación (6).

$$317{,}934m^2 = 2 \cdot (A_1 + A_2 + A_3) \tag{6}$$

Resolviendo de manera aproximada dicha igualdad se obtiene que $\theta \approx 0{,}050107836\,rad$, este resultado trazado sobre el arco de la toldilla indica que el mamparo de la puerta del hangar se puede desplazar 9,348 m a popa sin necesidad de añadir nuevos mamparos y cubiertas. Este resultado implica que el hangar gana 157,66 m^2 de superficie útil al ampliarlo y hacerlo un espacio completamente diáfano.

Esta solución se verificará como una topología homeomorfa si se haya una función biyectiva que dé a los puntos de los mamparos a eliminar una imagen en los mamparos y cubierta que amplían el hangar. Para dar un ejemplo se procederá a demostrar como el mamparo de babor de los pasillos entre hangares puede transformarse en el mamparo de estribor de la expansión al hangar, se empleará un sistema de referencia centrado a crujía a la altura de la cubierta principal en el mamparo que cerraba el hangar a popa. Al tener los mamparos la misma altura se mantendrá el valor de la coordenada vertical constante y del mamparo entre hangares se tomará solo la extensión de puntos que corresponde a la superficie nueva. Para ello se extrae con el ángulo hallado la longitud del arco del nuevo mamparo y esta será la base del rectángulo de chapa a delimitar los puntos para los que se aplica la función biyectiva. La longitud de este es de 9,352m, el mamparo entre hangares es paralelo al plano de crujía desfasado 0,917m a babor y la altura hasta la cubierta de vuelo es de 5,725m. Por tanto, los valores de los puntos que forman el trozo del mamparo entre hangares que se va a utilizar se definen como aquellos en los siguientes rangos:

$$\mathrm{x} \in [-9{,}426\ 0]\ ;\ \mathrm{y} = -0{,}917;\ \mathrm{z} \in [0\ 5{,}725] \tag{7}$$

Dado que el mamparo nuevo tiene una curvatura en el plano XY las funciones que definan la coordenada X e Y de las imágenes deberán ser funciones trigonométricas en base al arco descrito, por ello se recuerda que el radio de este es 188,529 m y su centro en el sistema de coordenadas para esta demostración es (0 -181,476 Z), dado que el mamparo describe un trozo de cilindro el centro no se desplaza en función de la altura. Y como se ha preseleccionado una longitud de mamparo a mover equivalente a la longitud del arco podemos definir la coordenada X como una función de la longitud del arco en la que se utilizará una variable t que recoja valores de 0 al 1 para hacer de puente. Para ello expreso en la ecuación (8) la relación que guardan la coordenada longitudinal en el mamparo entre hangares con su coordenada polar en el arco mediante la variable *t* que expresa un avance dentro del ángulo barrido que resulta de resolver la ecuación (6), este tiene un valor numérico de 0,0501 radian.

$$x(t) = -t \cdot \theta \cdot \mathrm{r} \tag{8}$$

En la ecuación (9) expreso la misma relación que la ecuación (8) pero dando la variable *t* respecto la posición longitudinal de un punto cualquiera del mamparo entre hangares de babor dentro los límites definidos en la ecuación (7).

$$t(x) = \frac{-x}{\theta \cdot r} \tag{9}$$

Los valores de θ y r son los descritos en la resolución de la ecuación (6), por otra parte, las coordenadas en el plano XY de las imágenes saldrán una en base a la variable *t* según las ecuaciones (10) y (11) para la imagen del punto en el eje longitudinal y el horizontal respectivamente.

$$x'(t) = r \cdot sin(\theta \cdot t) \tag{10}$$
$$y'(t) = -y - 181{,}476 + r \cdot cos\ (\theta \cdot t) \tag{11}$$

En cuanto al valor en el eje Z al tener los dos mamparos la misma altura este valor se mantendrá constante y por tanto no depende de la variable *t* como se ve en la ecuación (12):

$$z' = z \tag{12}$$

Con este grupo de transformaciones en base a *t* se verifica que la solución es homeomorfa dado que cada punto en la superficie inicialmente definida tiene una imagen única a este que no comparte

con ningún otro valor y que si se aplicase la función inversa el único punto que devolvería sería el original.

La condición de función biyectiva de las ecuaciones (10) y (11) no obstante, solo se verifica para el rango de valores que debe el ingeniero definir. Obsérvese que la función (9) que da valores a *t* entre el 0 y el 1 es una función lineal que en el eje de abscisas se aplica en el dominio de -9,352 a 0 y es biyectiva para cualquier número real, esta se representa en la figura 13. Por otra parte, las funciones (10) y (11) son funciones cosenoidales y senoidales respectivamente que fuera del rango en que *t* va de 0 a 1 no cumplen el principal requisito dado de asignar una misma única a distintos valores. Como se observa en la figura 14, en rojo se representa la función (10) y en azul la función(11), ambas funciones son válidas para el dominio de *t* entre 0 y 1 que está marcado por líneas discontinuas verticales verdes, cabe destacar que en la figura 14 el eje de abscisas no muestra el valor de t sino el valor del ángulo barrido.

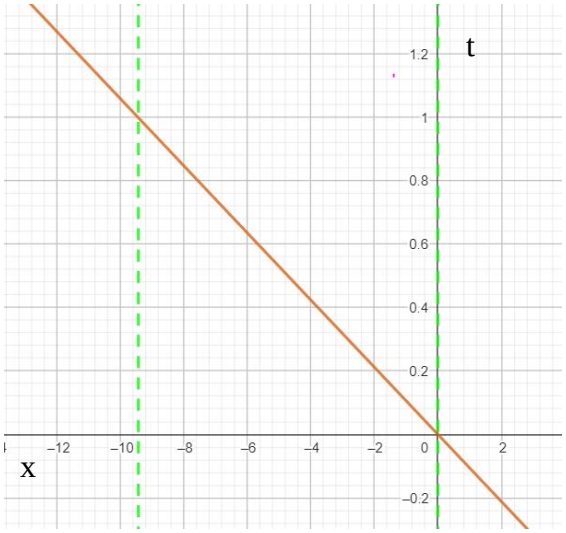


Figura 13.- Función (9) graficada mediante GeoGebra.
(Elaboración propia)

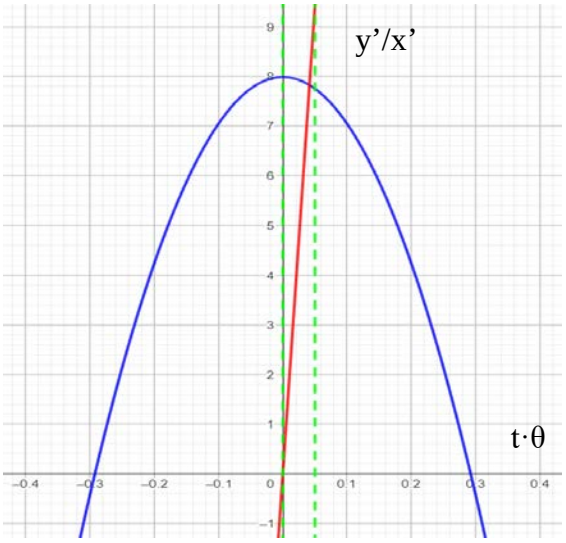


Figura 14.- Funciones (10) y (11) graficadas mediante GeoGebra
(Elaboración propia)

Por último, se requiere saber la masa que se ha desplazado y como estos desplazamientos han afectado a la posición del centro de gravedad del conjunto. Para ello se trabajará con una densidad superficial (más tarde se reutilizará a la hora de calcular la masa de la cubierta de vuelo) y los centros geométricos de las superficies que se han representado durante el problema. Se mantendrá el centro de referencia empleado en el desembarco de pesos para crear una lista del centro geométrico de cada superficie tanto de la disposición original como la final, a cada centro en dicha lista irá asociado la superficie total del elemento en metros cuadrados y la masa.

Para el cálculo de la densidad superficial que tendría un mamparo de 10 mm de grosor se ha de tener en cuenta los elementos estructurales que le dan rigidez a la chapa para soportar los esfuerzos propios de la obra muerta. Para ello se ha modelado en Autodesk Inventor un trozo de la cubierta de vuelo propuesta en el subapartado 3.1.1. añadiéndole baos y vigas longitudinales en base los planos existentes de la cubierta de un granelero. Para un área modelada de cubierta de 603,250 m^2 se obtiene una masa de 67211,845 kg, si se le quitara las vigas y se dejase solo la chapa de 10 mm el volumen modelado es de 3,016 m^3. De estos datos se extrapolan dos constantes para el cálculo de la masa de mamparos y cubiertas. La primere es una densidad superficial de $1{,}11416 \cdot 10^{-04}$ kg/mm^2 dividiendo la masa entre el área de cubierta modelada. La segunda es una densidad corregida (ρ_c= masa con vigas/volumen sin vigas) de $1{,}11416 \cdot 10^{-05}$ kg/mm^3, estas constantes se expresan en milímetros cuadrados y cúbicos respectivamente dado que tanto en los planos de AutoCAD como en los modelizados de Inventor se trabaja en dichas unidades.

Para calcular las coordenadas de los distintos centros se aprovechará las representaciones realizadas en isométrico en Autodesk AutoCAD y se tomará el centroide de las áreas descritas. Una vez indexado todos los ítems a computar en la tabla de Excel se obtiene que los mamparos originales tenían una masa total de 35422,885 kg con su centro de masas situado a crujía, 11,892 m por encima de la quilla y 47,546 m a popa de la cuaderna maestra. Se verifica en esta hoja que mantiene la misma masa, pero el centro se desplaza a 12,948 m sobre la quilla y 56,857 m a popa de la maestra.

3.1.6 Diseño del nuevo puente

En cuanto al nuevo puente de mando, este deberá tener en cuenta el convenio SOLAS capítulo V regla 22 [31] que define que la visión desde el interior del puente debe permitir ver a partir de una distancia no mayor a dos veces la eslora, para esta plataforma eso implica ver a una distancia de 275,4 m. Esta regulación nos obliga a decidir entre dos líneas de diseño, la primera es un puente a unos 3m por encima de la cubierta de vuelo dado que requiere se ligeramente más alto que el *ski-jump*. [27]. La otra opción es colocar el puente inmediatamente debajo de la cubierta de vuelo, aprovechando que el local que se ubica inmediatamente bajo el antiguo puente en el límite a proa de la superestructura es el local que controla en remoto el lanzador Mk-13 y por tanto quedará vacío pudiendo alojar parte de los equipos de puente. Se estima que será mejor la segunda opción dado que añadirá menos peso a una altura mucho menor, además se aprovecha un espacio existente que de lo contrario quedaría sin uso.

Elaborando la opción de bajar el puente al nivel 01 durante el anidado de los equipos de puente se establece que es necesario una redistribución de los mamparos existentes del local del lanzador y el camarote y repostería del comandante para dotar del espacio suficiente al nuevo puente. Se requerirá realizar un transbordo de pesos nuevamente previo a establecer que partes será necesario añadir. El problema se representa en la figura 15 marcando en línea discontinua roja los mamparos a eliminar y en verde los mamparos a añadir, para señalar la extensión a añadir a la cubierta 01 se ha realizado un rayado verde. Se ve la situación actual a la izquierda, las modificaciones a acometer en el centro y el resultado final con una aproximación de los equipos a anidar en base el puente actual a la derecha.

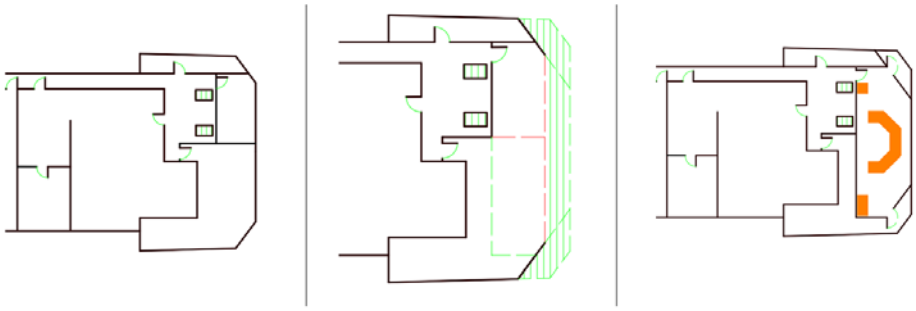


Figura 15.- Representación del nivel 01.
(Elaboración propia)

De forma similar al apartado anterior se empezará por extraer la longitud de los mamparos a eliminar y se buscará alojarlos de la manera más sencilla como parte de los que se quieren añadir. En total son 11,631mm de mamparo que se realojarán como el nuevo límite entre el segundo camarote del comandante y el puente, este mamparo en forma de "L" tiene una longitud total de 6,650m dejando 4,980m por realojar. El mamparo restante se ha realojado en el nuevo mamparo que cierra el puente, además cabe destacar que los mamparos en los alerones en contraste con el resto de los mamparos que tienen una altura de 2,9m para cerrar hasta la siguiente cubierta, solo llegan a 1,3m para permitir la vista no obstruida del oficial de guardia en puente por las bandas del barco.

Una vez añadido este nuevo apartado en la sección de "movimiento de pesos" de la hoja de Microsoft Excel se procede a añadir como embarque de pesos la sección de mamparo del nuevo puente y la extensión de la cubierta 01 que no se pudo cubrir con material existente.

Por último, se comprueba si la visibilidad desde el puente cumple con el SOLAS gráficamente sobre el plano longitudinal de la disposición general. En la condición actual no se cumpliría dicho requisito dado que la distancia mínima con el final de la roda como impedimento principal a la visión supera los 300 m. Para cumplir con la normativa debería rebajarse el final de la roda 0,258 m. Además, en un diseño más en detalle de la plataforma se debería estudiar la cantidad del sector al que los refuerzos de la cubierta de vuelo impiden la visión desde puente.

3.1.7 Reforma del sistema de extracción y aspiración de la cámara de máquinas

El siguiente cambio por acometer es el diseño de la nueva extracción y aspiración de la cámara de máquinas, este se deberá realizar en el nivel 01 usando las salas de conferencia de los pilotos para comunicar el tronco que sube en vertical por el resto de las cubiertas con los costados del barco. Estos espacios dedicados a los pilotos son simétricos y se encuentran a ambas bandas a la altura del nivel 01 y quedarían sin uso al convertirse los sistemas no tripulados en el ala principal del buque. Se propone un sistema que aproveche las formas del buque que generan una baja presión en los costados mientras que en los mamparos perpendiculares que cierran el combes a proa del hangar se genera una ligera sobre presión en el movimiento de avance del buque.

Para demostrar que la topología actual del buque genera dichos efectos en la zona descrita se ha modelado el buque con una pista de vuelo provisional en base las aproximaciones iniciales mediante Autodesk Inventor como un sólido y este se ha importado a Autodesk CFD para realizar una simulación de túnel de viento en que se ha observado la presión estática en los que serían la entrada de aire y escape de gases de costado propuestos.

Como se observa en los gráficos extraídos del programa reflejados en la figura 16y la figura 17 el combés permite que se genere una presión positiva por efecto del viento en el mamparo perpendicular a crujía y una presión negativa en el costado paralelo. En la figura 16se visualizan las zonas con presiones negativas comprendidas entre -2,4 y -125 Pa, las presiones se representan con una escala de colores que parte del cian al azul siendo los más cercanos al cian los puntos de mayor presión y los colores más intensos de azul las presiones más negativas. En la figura 17 se representan las zonas de presiones positivas comprendidas entre 2,4 y 42,64 Pa, siendo las zonas de tonos más próximos al rojo las que presentan una mayor presión.

Analizando la información provista por Autodesk CFD, se observa que existen tres zonas con presiones negativas marcadas, estas son los costados del barco a la altura del puente y en el cierre del combés a popa y al final de la superestructura en toldilla. En cuanto a las zonas de presión positiva destacan dos zonas, el cierre de la superestructura a proa y el mamparo perpendicular al costado que cierra el combés a popa. Dado estos resultados se demuestra que el sistema de aspiración y extracción propuesto son viables.

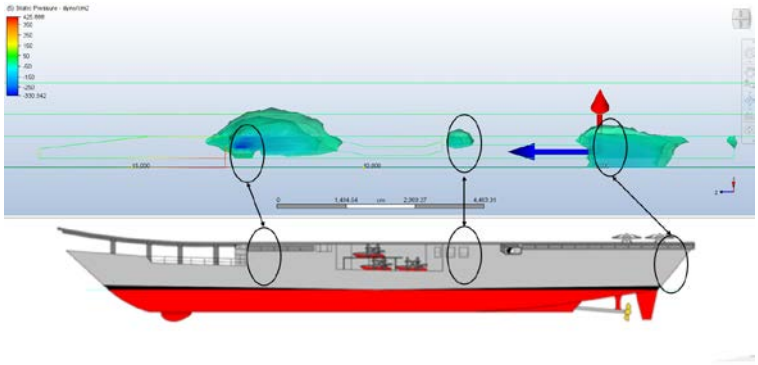


Figura 16.- Zonas de presión negativa.
(Elaboración propia)

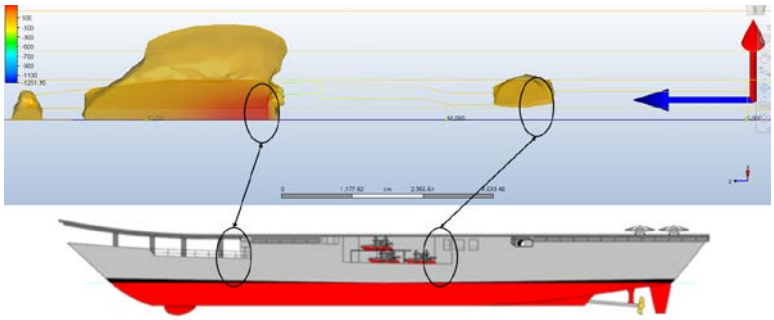


Figura 17.- Zonas de presión positiva.
(Elaboración propia)

Se ha representado el problema planteado con la misma simbología que en el caso del puente en la figura 18, dada la situación se ha considerado que será más fácil tratar el problema como el desembarque de los mamparos existentes que dividían las salas de los pilotos del tronco de gases y el embarque de nuevos mamparos para dividir la extracción de la aspiración desde el costado. Se realizará el cálculo de la masa a desembarcar y a embarcar de una banda y por simetría se duplicará dicha masa

y los centros de masas calculados tendrán su coordenada lateral a crujía. Estos resultados son añadidos a sus respectivos apartados en la hoja de cálculo que recoge todas las modificaciones a la condición del buque en rosca.

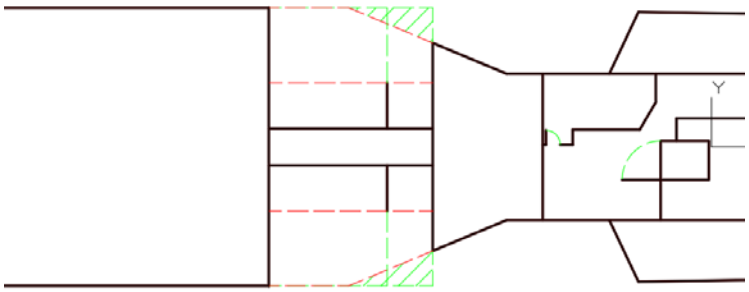


Figura 18.- Cambios a realizar sobre la topología en la zona del tronco de gases.
(Elaboración propia)

3.1.8 Cubierta de vuelo corrida

Se propone crear una cubierta corrida de 144 metros para posibilitar la toma y despegue de aeronaves no tripuladas medianas y pequeñas por medios propios. La longitud de esta cubierta es un factor de diseño que no puede verse alterado dado que es la longitud óptima para conseguir un rodaje en pista adecuada para las aeronaves. La cubierta corrida con voladizos a proa y popa se debe prever que será necesario añadirle elementos estructurales que soporten las cargas en ambos extremos para evitar el pandeo, dichos refuerzos verticales comparten el perfil con los empleados como baos y refuerzos longitudinales. Se han modelado los refuerzos verticales en Autodesk Inventor y se han añadido a la sección de embarque de pesos de la hoja de cálculo.

Tras esta última entrada, la hoja de cálculo indica que sin añadir la nueva cubierta de vuelo el barco ha perdido 216,6 t y su centro ha descendido 0,777 m, se ha desplazado 0,045 m a popa y se ha centrado a crujía. Con esto en mente se va a graficar la relación directa masa-distancia a crujía requerida para devolver el centro de masas a crujía, esta relación junto a unas iteraciones del diseño de la cubierta de vuelo, ayudarán a realizar una decisión del perfil de esta y masa a reservar para la superestructura que a la que se realojen los equipos a babor. Teniendo en cuenta que la masa en rosca a la que se aspira a llegar de nuevo al embarcar la cubierta de vuelo y superestructura de los sensores es 3727,548 t y la masa en el estado actual del diseño es 3506,469 t la relación a complacer es la siguiente:

$$\frac{3506{,}469 \cdot 0{,}152}{masa\ superestructura} = distancia\ Y\ centro\ de\ masas\ superestructura \tag{13}$$

A continuación, se procede a partiendo de una cubierta de vuelo de perfil completamente rectangular a crear varias iteraciones manteniendo los 21,28 m de ancho en las que se afina el perfil a proa hasta los 17 m que es la envergadura de un MQ-9 Reaper. Tanto la cubierta rectangular como la afinada superan las 390 t y deben ser descartadas. Reduciendo el ancho total a 17 m tampoco es suficiente y se estima reducir el ancho de la pista al de la manga máxima, esta decisión aproxima la masa total a 268,94 t. Para seguir aligerando se reduce el ancho del ski jump hasta los 12 m el tamaña necesario para operar el Bayraktar TB2, el RPAS de ataque más capaz e inmediatamente menor en tamaño al MQ-9 Reaper que era al que se estaba enfocando inicialmente el diseño. La última iteración tampoco es suficiente para aligerar la cubierta y se decide reducir el ancho a 12m hasta el cierre a popa del combés. Esta última decisión nos aproxima, pero tampoco es suficiente y se decide reducir la

cubierta a popa hasta el inicio de un ascensor que se situaría a la altura de la puerta del hangar y tendría las dimensiones de un Bayraktar multiplicando la longitud por un factor de seguridad de 0,3. Si bien esta decisión tampoco no acaba de reducir la masa lo suficiente sí que redondeando el extremo de popa se consigue finalmente bajar de los 216,597 t hasta un total de 214,298 t dejando un margen de tan solo 1,802 t para la superestructura pare realojar los sensores.

Mediante la ecuación 13 se obtiene que con una superestructura con dicha masa esta se debería situar aproximadamente 295,809 m a babor. Dicha solución es físicamente imposible y es por tanto que para poder corregir la escora permanente que genere ese sutil desfase del centro de gravedad se debe corregir mediante redistribución del lastrado del buque.

Una vez situado el margen de masa reservado para los nuevos sensores en el extremo de babor de la cubierta de vuelo se obtiene mediante la hoja de cálculo "Cambios a la condición en rosca" que la propuesta inicial tiene un desplazamiento de 3102 t, y su centro de gravedad se sitúa 6,011m por encima de la quilla, 5,409 m a popa de la cuaderna

3.1.9 Configuración alternativa

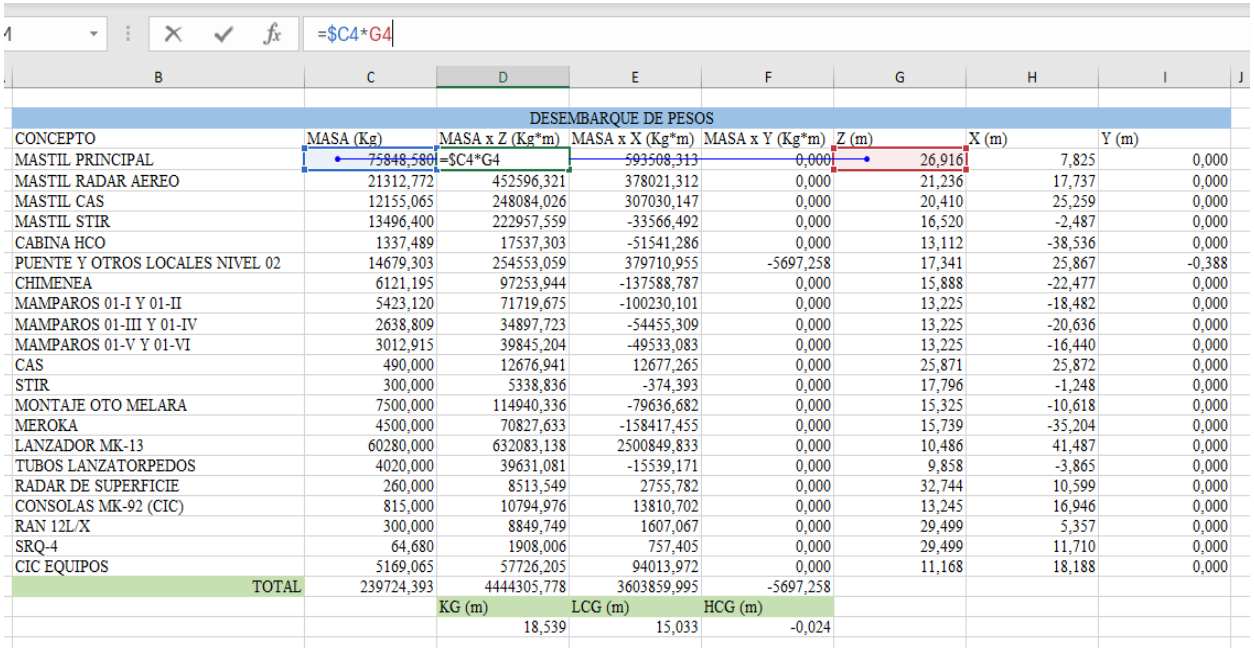
Llegado este punto se considera que la plataforma cumple con las funciones previstas en el subapartado 2.4.9, no obstante, se va a realizar una propuesta alternativa realizando una última iteración en el diseño. Esta alternativa tiene como objeto ofrecer una plataforma con la mayor capacidad de carga sacrificando la habitabilidad de oficiales y pañoles situados en la cubierta principal y el nivel 01. Para valorar los efectos que esta obra tendría en la condición del buque en rosca se trabaja con porcentajes de masa estandarizados para buques de guerra que nos indican que la superestructura de un buque como la clase Santa María conforma entre el 43% y 48% del desplazamiento máximo. Por tanto, en base al libro de experiencia de estabilidad se extrapola que la superestructura representa aproximadamente 1802,26 t del desplazamiento en la condición de máxima capacidad.

Para inferir la masa que se desembarcaría al expandir el hangar a proa se puede medir el volumen total de la superestructura y mediante una relación lineal con el volumen ganado de hangar se extrapola la masa desembarcada. El centro de gravedad de dicha masa se considerará como el centro geométrico del volumen de hangar ganado. Midiendo sobre los planos en Autodesk AutoCAD se extraen el área de las cubiertas cerrados bajo la superestructura y al ser un prisma con la altura entre cubiertas se calculan los volúmenes mencionados. El volumen total de la superestructura es de 4121,77 m3 y el ganado por el hangar es 1620,627 m3, por tanto, mediante una regla de tres la masa desembarcada al ampliar el hangar es de 708,625 t con su centro de gravedad situado 2,047 m a popa de la cuaderna maestra y a crujía 14,616 m encima de la quilla. No obstante, con toda esta masa se podría emplear para ampliar la cubierta de vuelo y acabar de cerrar el hangar a popa. Realizando estos cambios y colocando la masa restante hasta la masa en rosca original en lastres a proa de la maestra se obtiene que el centro de gravedad para la alternativa 'B' se encuentra 4,941 m por encima de la quilla, -4,182 m a popa y centrado a crujía. Nótese que se ha conseguido centrar el centro de gravedad gracias a la masa que se ha destinado en lastres y se ha podido posicionar con cierto grado de libertad en los fondos del buque.

3.1.10 Funcionamiento de la hoja "Cambios a la condición en rosca"

En la hoja "Cambios a la condición en rosca" se recogen todas las alteraciones realizadas a la obra muerta del buque, se divide en cinco secciones cada una con un encabezado azul, estas secciones se corresponden con: desembarque de pesos, movimiento de pesos, embarque de pesos, movimiento de pesos variante B y resultados.

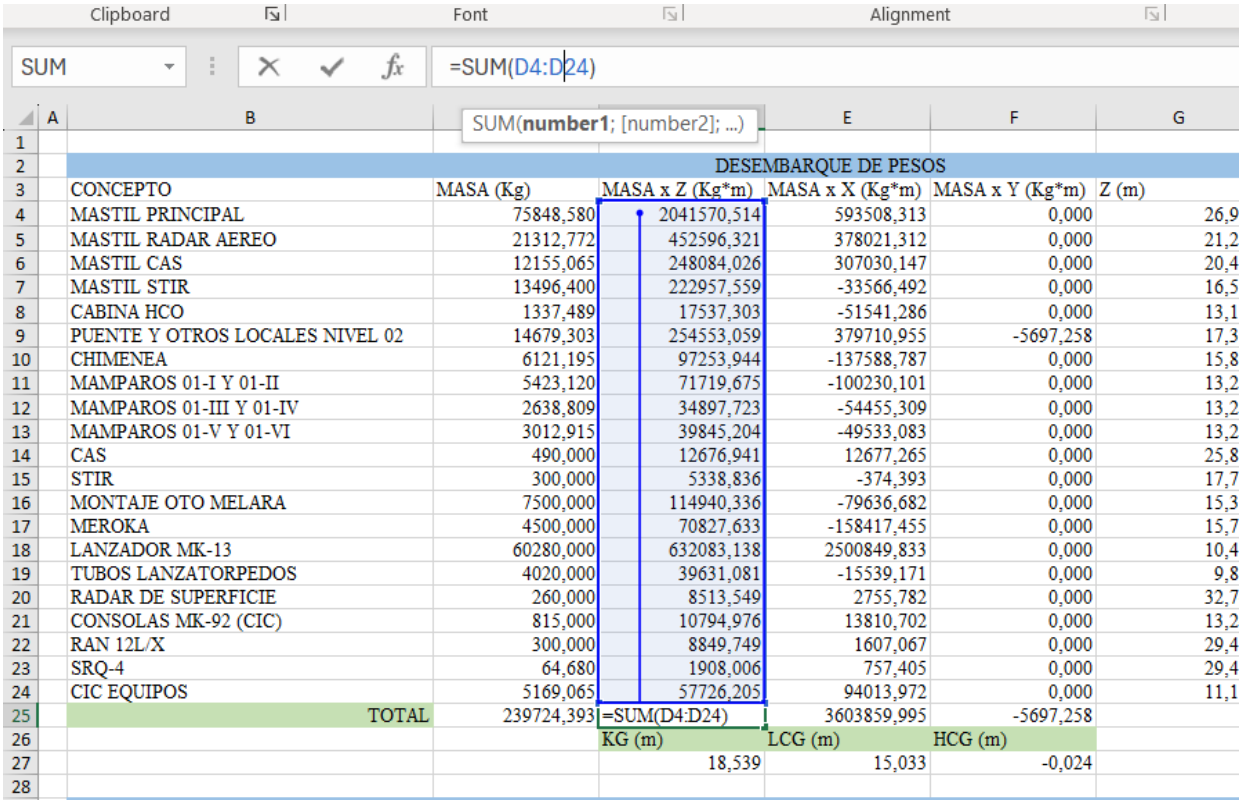
La sección de “Desembarco de pesos” se distribuye en ocho columnas, la columna B recoge el nombre del concepto al que se asocia cada fila, en esa misma fila en la columna C el usuario introduce la masa toral del elemento desembarcado; como se observa en la figura 19 en las columnas D, E y F la hoja calcula automáticamente el producto de la masa por la posición del centro de gravedad en cada eje de coordenadas; en las columnas G, H e I el usuario introduce manualmente la coordenada en el eje Z, X e Y del centro de gravedad del elemento a desembarcar. Como se observa en la figura 20 al final de la sección la hoja hace un sumatorio de la columna C, D, E y F al final de cada columna. En la siguiente fila debajo de las columnas D, E y F se calculan las coordenadas en Z, X e Y del centro de gravedad conjunto de todos los conceptos a desembarcar. Como se observa en la figura 21 para este cálculo cada casilla divide el sumatorio de los productos de sendas columnas y lo divide entre el sumatorio de la masa.



=$C4*G4

	B	C	D	E	F	G	H	I
			DESEMBARQUE DE PESOS					
	CONCEPTO	MASA (Kg)	MASA x Z (Kg*m)	MASA x X (Kg*m)	MASA x Y (Kg*m)	Z (m)	X (m)	Y (m)
	MASTIL PRINCIPAL	75848,580	=$C4*G4	593508,313	0,000	26,916	7,825	0,000
	MASTIL RADAR AEREO	21312,772	452596,321	378021,312	0,000	21,236	17,737	0,000
	MASTIL CAS	12155,065	248084,026	307030,147	0,000	20,410	25,259	0,000
	MASTIL STIR	13496,400	222957,559	-33566,492	0,000	16,520	-2,487	0,000
	CABINA HCO	1337,489	17537,303	-51541,286	0,000	13,112	-38,536	0,000
	PUENTE Y OTROS LOCALES NIVEL 02	14679,303	254553,059	379710,955	-5697,258	17,341	25,867	-0,388
	CHIMENEA	6121,195	97253,944	-137588,787	0,000	15,888	-22,477	0,000
	MAMPAROS 01-I Y 01-II	5423,120	71719,675	-100230,101	0,000	13,225	-18,482	0,000
	MAMPAROS 01-III Y 01-IV	2638,809	34897,723	-54455,309	0,000	13,225	-20,636	0,000
	MAMPAROS 01-V Y 01-VI	3012,915	39845,204	-49533,083	0,000	13,225	-16,440	0,000
	CAS	490,000	12676,941	12677,265	0,000	25,871	25,872	0,000
	STIR	300,000	5338,836	-374,393	0,000	17,796	-1,248	0,000
	MONTAJE OTO MELARA	7500,000	114940,336	-79636,682	0,000	15,325	-10,618	0,000
	MEROKA	4500,000	70827,633	-158417,455	0,000	15,739	-35,204	0,000
	LANZADOR MK-13	60280,000	632083,138	2500849,833	0,000	10,486	41,487	0,000
	TUBOS LANZATORPEDOS	4020,000	39631,081	-15539,171	0,000	9,858	-3,865	0,000
	RADAR DE SUPERFICIE	260,000	8513,549	2755,782	0,000	32,744	10,599	0,000
	CONSOLAS MK-92 (CIC)	815,000	10794,976	13810,702	0,000	13,245	16,946	0,000
	RAN 12L/X	300,000	8849,749	1607,067	0,000	29,499	5,357	0,000
	SRQ-4	64,680	1908,006	757,405	0,000	29,499	11,710	0,000
	CIC EQUIPOS	5169,065	57726,205	94013,972	0,000	11,168	18,188	0,000
	TOTAL	239724,393	4444305,778	3603859,995	-5697,258			
			KG (m)	LCG (m)	HCG (m)			
			18,539	15,033	-0,024			

Figura 19.- Producto de la masa por una coordenada de su centro de gravedad.
(Elaboración propia)



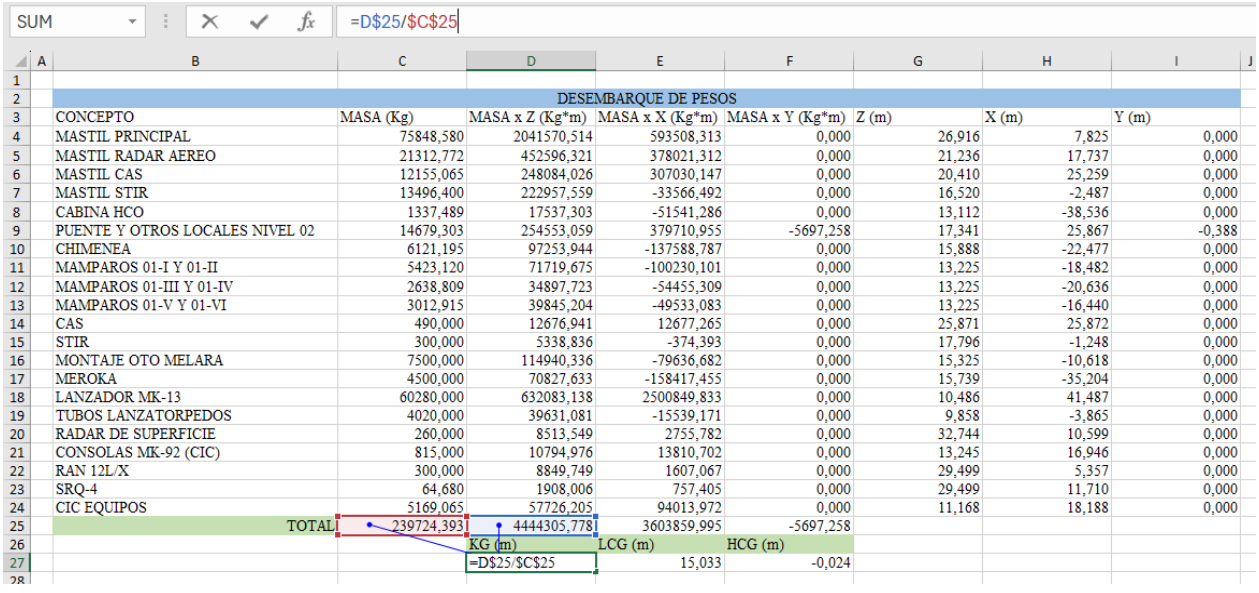
Clipboard | Font | Alignment

SUM | =SUM(D4:D24)

SUM(**number1**; [number2]; ...)

	A	B	C	D	E	F	G
1							
2				DESEMBARQUE DE PESOS			
3		CONCEPTO	MASA (Kg)	MASA x Z (Kg*m)	MASA x X (Kg*m)	MASA x Y (Kg*m)	Z (m)
4		MASTIL PRINCIPAL	75848,580	2041570,514	593508,313	0,000	26,9
5		MASTIL RADAR AEREO	21312,772	452596,321	378021,312	0,000	21,2
6		MASTIL CAS	12155,065	248084,026	307030,147	0,000	20,4
7		MASTIL STIR	13496,400	222957,559	-33566,492	0,000	16,5
8		CABINA HCO	1337,489	17537,303	-51541,286	0,000	13,1
9		PUENTE Y OTROS LOCALES NIVEL 02	14679,303	254553,059	379710,955	-5697,258	17,3
10		CHIMENEA	6121,195	97253,944	-137588,787	0,000	15,8
11		MAMPAROS 01-I Y 01-II	5423,120	71719,675	-100230,101	0,000	13,2
12		MAMPAROS 01-III Y 01-IV	2638,809	34897,723	-54455,309	0,000	13,2
13		MAMPAROS 01-V Y 01-VI	3012,915	39845,204	-49533,083	0,000	13,2
14		CAS	490,000	12676,941	12677,265	0,000	25,8
15		STIR	300,000	5338,836	-374,393	0,000	17,7
16		MONTAJE OTO MELARA	7500,000	114940,336	-79636,682	0,000	15,3
17		MEROKA	4500,000	70827,633	-158417,455	0,000	15,7
18		LANZADOR MK-13	60280,000	632083,138	2500849,833	0,000	10,4
19		TUBOS LANZATORPEDOS	4020,000	39631,081	-15539,171	0,000	9,8
20		RADAR DE SUPERFICIE	260,000	8513,549	2755,782	0,000	32,7
21		CONSOLAS MK-92 (CIC)	815,000	10794,976	13810,702	0,000	13,2
22		RAN 12L/X	300,000	8849,749	1607,067	0,000	29,4
23		SRQ-4	64,680	1908,006	757,405	0,000	29,4
24		CIC EQUIPOS	5169,065	57726,205	94013,972	0,000	11,1
25		TOTAL	239724,393	=SUM(D4:D24)	3603859,995	-5697,258	
26				KG (m)	LCG (m)	HCG (m)	
27				18,539	15,033	-0,024	
28							

Figura 20.- Sumatorio de una de las columnas de los productos.
(Elaboración propia)



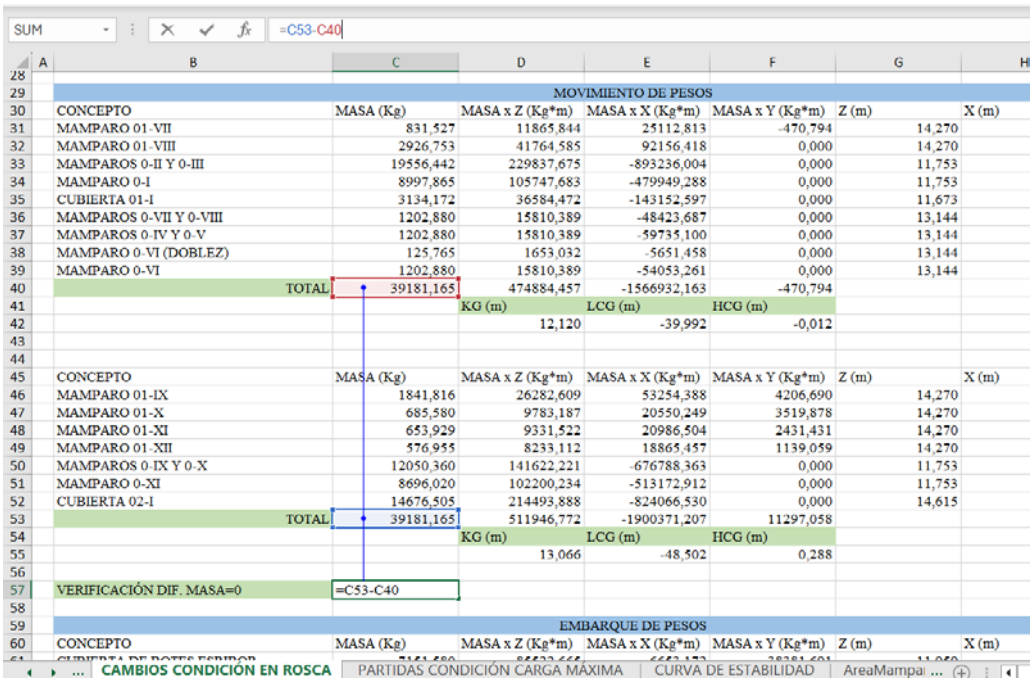
SUM | =D$25/$C$25

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1										
2				DESEMBARQUE DE PESOS						
3		CONCEPTO	MASA (Kg)	MASA x Z (Kg*m)	MASA x X (Kg*m)	MASA x Y (Kg*m)	Z (m)	X (m)	Y (m)	
4		MASTIL PRINCIPAL	75848,580	2041570,514	593508,313	0,000	26,916	7,825	0,000	
5		MASTIL RADAR AEREO	21312,772	452596,321	378021,312	0,000	21,236	17,737	0,000	
6		MASTIL CAS	12155,065	248084,026	307030,147	0,000	20,410	25,259	0,000	
7		MASTIL STIR	13496,400	222957,559	-33566,492	0,000	16,520	-2,487	0,000	
8		CABINA HCO	1337,489	17537,303	-51541,286	0,000	13,112	-38,536	0,000	
9		PUENTE Y OTROS LOCALES NIVEL 02	14679,303	254553,059	379710,955	-5697,258	17,341	25,867	-0,388	
10		CHIMENEA	6121,195	97253,944	-137588,787	0,000	15,888	-22,477	0,000	
11		MAMPAROS 01-I Y 01-II	5423,120	71719,675	-100230,101	0,000	13,225	-18,482	0,000	
12		MAMPAROS 01-III Y 01-IV	2638,809	34897,723	-54455,309	0,000	13,225	-20,636	0,000	
13		MAMPAROS 01-V Y 01-VI	3012,915	39845,204	-49533,083	0,000	13,225	-16,440	0,000	
14		CAS	490,000	12676,941	12677,265	0,000	25,871	25,872	0,000	
15		STIR	300,000	5338,836	-374,393	0,000	17,796	-1,248	0,000	
16		MONTAJE OTO MELARA	7500,000	114940,336	-79636,682	0,000	15,325	-10,618	0,000	
17		MEROKA	4500,000	70827,633	-158417,455	0,000	15,739	-35,204	0,000	
18		LANZADOR MK-13	60280,000	632083,138	2500849,833	0,000	10,486	41,487	0,000	
19		TUBOS LANZATORPEDOS	4020,000	39631,081	-15539,171	0,000	9,858	-3,865	0,000	
20		RADAR DE SUPERFICIE	260,000	8513,549	2755,782	0,000	32,744	10,599	0,000	
21		CONSOLAS MK-92 (CIC)	815,000	10794,976	13810,702	0,000	13,245	16,946	0,000	
22		RAN 12L/X	300,000	8849,749	1607,067	0,000	29,499	5,357	0,000	
23		SRQ-4	64,680	1908,006	757,405	0,000	29,499	11,710	0,000	
24		CIC EQUIPOS	5169,065	57726,205	94013,972	0,000	11,168	18,188	0,000	
25		TOTAL	239724,393	4444305,778	3603859,995	-5697,258				
26				KG (m)	LCG (m)	HCG (m)				
27				=D$25/$C$25	15,033	-0,024				

Figura 21.-Centro de gravedad conjunto para todos los conceptos listados.
(Elaboración propia)

La sección de "Embarque de pesos" sigue el mismo funcionamiento que la sección de "Desembarco de pesos", la única diferencia entre estas dos es el uso que la hoja da más tarde a los resultados extraídos del final de la sección.

La sección “Movimiento de pesos” es el equivalente a tener cada una de las secciones anteriormente explicadas en una misma, inicialmente se listan los elementos que no se quieren conservar e inmediatamente después se listan los elementos por los que serán reemplazados, al final de estas dos listas se sacan los mismos resultados que en el resto de las secciones con la diferencia que al final de todo aparece el concepto “Verificación dif. masa” como se observa en la figura 22que saca la diferencia entre las masas de cada subapartado de la sección para corroborar que la masa no cambia. Esta casilla sirve para que el usuario pueda comprobar que ha realizado una transformación conforme verificando que la cantidad de estructura de acero no varía.



	B	C	D	E	F	G	H
28							
29	MOVIMIENTO DE PESOS						
30	CONCEPTO	MASA (Kg)	MASA x Z (Kg*m)	MASA x X (Kg*m)	MASA x Y (Kg*m)	Z (m)	X (m)
31	MAMPARO 01-VII	831,527	11865,844	25112,813	-470,794	14,270	
32	MAMPARO 01-VIII	2926,753	41764,585	92156,418	0,000	14,270	
33	MAMPAROS 0-II Y 0-III	19556,442	229837,675	-893236,004	0,000	11,753	
34	MAMPARO 0-I	8997,865	105747,683	-479949,288	0,000	11,753	
35	CUBIERTA 01-I	3134,172	36584,472	-143152,597	0,000	11,673	
36	MAMPAROS 0-VII Y 0-VIII	1202,880	15810,389	-48423,687	0,000	13,144	
37	MAMPAROS 0-IV Y 0-V	1202,880	15810,389	-59735,100	0,000	13,144	
38	MAMPARO 0-VI (DOBLEZ)	125,765	1653,032	-5651,458	0,000	13,144	
39	MAMPARO 0-VI	1202,880	15810,389	-54053,261	0,000	13,144	
40	TOTAL	39181,165	474884,457	-1566932,163	-470,794		
41			KG (m)	LCG (m)	HCG (m)		
42			12,120	-39,992	-0,012		
43							
44							
45	CONCEPTO	MASA (Kg)	MASA x Z (Kg*m)	MASA x X (Kg*m)	MASA x Y (Kg*m)	Z (m)	X (m)
46	MAMPARO 01-IX	1841,816	26282,609	53254,388	4206,690	14,270	
47	MAMPARO 01-X	685,580	9783,187	20550,249	3519,878	14,270	
48	MAMPARO 01-XI	653,929	9331,522	20986,504	2431,431	14,270	
49	MAMPARO 01-XII	576,955	8233,112	18865,457	1139,059	14,270	
50	MAMPAROS 0-IX Y 0-X	12050,360	141622,221	-676788,363	0,000	11,753	
51	MAMPARO 0-XI	8696,020	102200,234	-513172,912	0,000	11,753	
52	CUBIERTA 02-I	14676,505	214493,888	-824066,530	0,000	14,615	
53	TOTAL	39181,165	511946,772	-1900371,207	11297,058		
54			KG (m)	LCG (m)	HCG (m)		
55			13,066	-48,502	0,288		
56							
57	VERIFICACIÓN DIF. MASA=0	=C53-C40					
58							
59	EMBARQUE DE PESOS						
60	CONCEPTO	MASA (Kg)	MASA x Z (Kg*m)	MASA x X (Kg*m)	MASA x Y (Kg*m)	Z (m)	X (m)

Figura 22.- Diferencia de la masa de los elementos descartados con los añadidos.
(Elaboración propia)

La sección “Movimiento de pesos variante B” tiene el mismo funcionamiento que la sección “Movimiento de pesos” y se añadió para ofrecer una herramienta para generar una propuesta alternativa que tuviera el mismo desplazamiento que la propuesta inicial.

Por último, la sección resultados recoge tres grupos de datos importantes, aquí se expone el desplazamiento y la posición del centro de gravedad para el buque en rosca original y las dos propuestas. Para la variante A los métodos empleados han sido más exactos dado que toda la chapa de acero modificada o desembarcada ha sido modelada en Inventor o calculada en base a los planos realizados en AutoCAD, la casilla K9 muestra el desplazamiento resultante de sumar al desplazamiento original en la casilla K5 el sumatorio de masas del “Embarque de pesos” y restar el sumatorio de masas del “Desembarco de pesos”, esto se ve en la figura 23. Para calcular la nueva posición del centro de gravedad recogido en las columnas L, M y N para los ejes Z, X e Y respectivamente, se debe realizar un sumatorio del producto del desplazamiento original por la coordenada en su respectiva columna más el sumatorio de los productos al final de la columna correspondiente en cada sección sumando los embarques de pesos y restando los desembarques de las secciones “Desembarco de pesos”, “Embarque de pesos” y “Movimiento de pesos”, todo esto es dividido entre el desplazamiento total de la nueva propuesta, esto se puede observar en la figura 24. Para la variante B se realiza el mismo proceso partiendo del desplazamiento de la variante A y los sumatorios de los productos de masa por la coordenada en el eje son extraídos solamente de la sección “Movimiento de pesos variante B”.

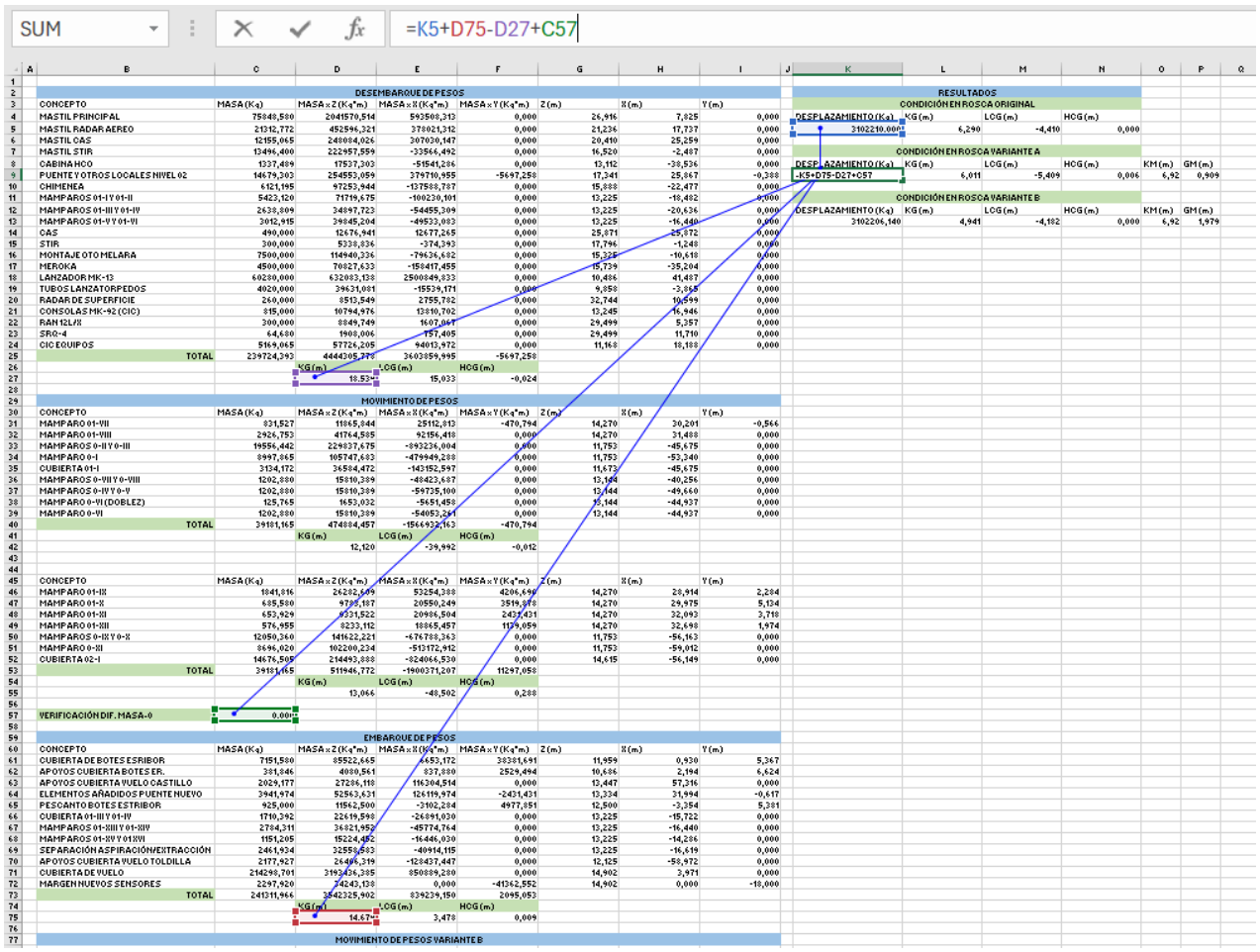


Figura 23.- Cálculo del nuevo desplazamiento en rosca.
(Elaboración propia)

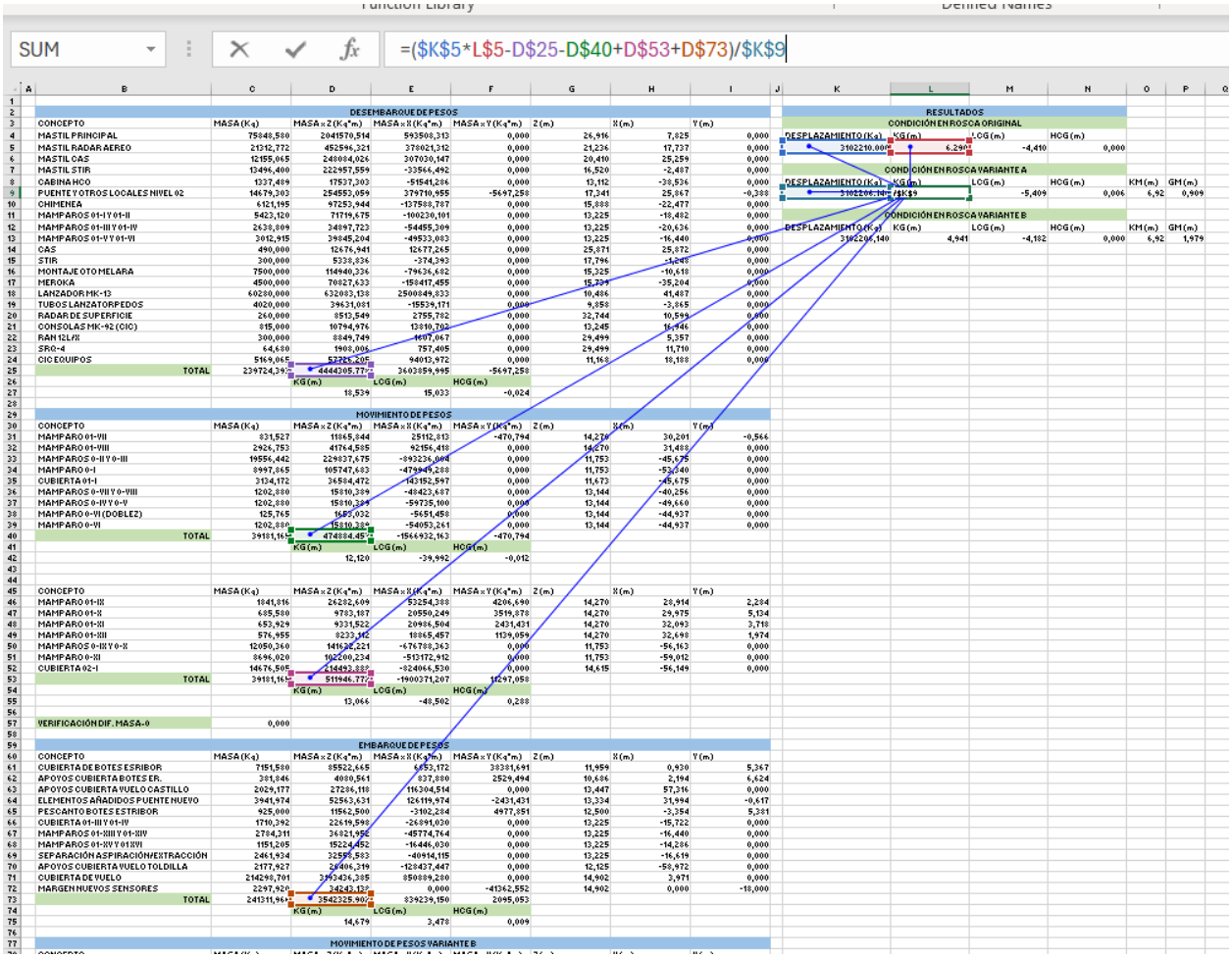


Figura 24.- Nueva coordenada del centro de gravedad para la plataforma en rosca.
(Elaboración propia)

3.1.11 Elección de la variante y ejemplo de un plan de carga

Tras comparar la propuesta inicial y la que amplía el hangar a proa se decide continuar trabajando sobre la alternativa con mayor capacidad de hangar dado que permitirá un mejor desarrollo de la misión propuesta ya que no solo permite embarcar más equipos, además se prevé que tenga una mayor altura metacéntrica que siempre implica una mayor estabilidad de la plataforma.

Para la alternativa B se ha elaborado gráficamente en Autodesk AutoCAD un plan de carga de equipos para su condición de capacidad máxima. Los equipos por embarcar se han determinado que serán los Bayraktar TB2 para proveer un sistema de ala fija con rango extendido, el T-600 para proveer capacidades antisubmarinas y el Sead 23 como plataforma de armas remotas en un USV. El criterio ha sido colocar en base al volumen del hangar el número máximo de sistemas, el peso de la partida de munición para los sistemas se ha deducido de restar a la condición de capacidad máxima recogida en el libro de experiencia de estabilidad el resto de las partidas.

Se ha recalculado las características principales de la plataforma con las distintas cargas mediante la hoja “Partidas condición de carga máxima”. Se obtiene que la plataforma tiene un desplazamiento de 3959Tm, el centro de gravedad se encuentra 4,559 m por encima de la quilla, 1,574 m a popa de la cuaderna maestra y desfasado levemente 0,005 m a estribor.

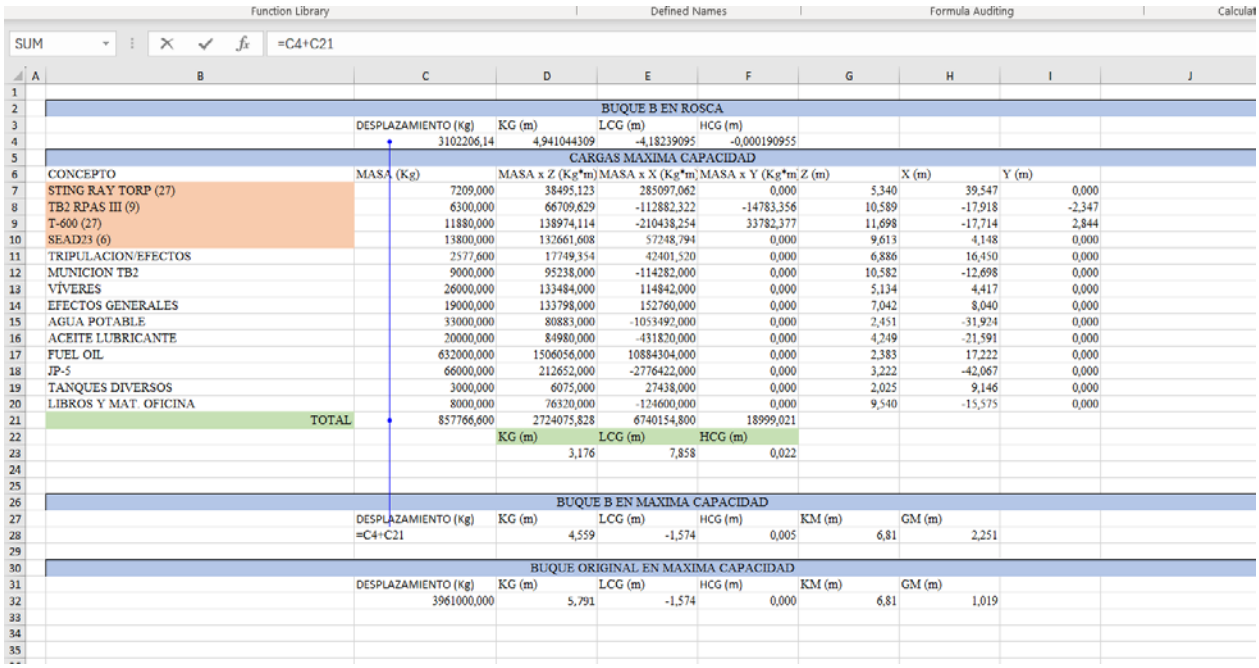
3.1.12 Funcionamiento de la hoja "Partidas condición de carga máxima"

La hoja "Partidas condición de carga máxima" se encuentra dividida en cuatro secciones distribuidas verticalmente, estas son en orden descendente: buque en rosca, cargas máxima capacidad, buque B en máxima carga y Buque original en máxima carga.

En la sección "Buque B en rosca" se copian los resultados extraídos de la hoja "Cambios a la condición en rosca" para la variante B, de esto forma en caso de que el usuario quisiera hacer predicciones con unos datos diferentes para la condición en rosca puede fácilmente alterarlos en esta sección sin romper las relaciones establecidas en la hoja Cambios a la condición en rosca".

En la sección "Cargas máxima capacidad" de forma homóloga al embarque de pesos se listan unas partidas que tienen en la columna C asociada una masa, en las columnas D, E y F el producto de dicha masa por la coordenada del centro de gravedad de esta en los ejes Z, X e Y respectivamente y en las columnas G, H e I se recogen las coordenadas de los centros de gravedad en sendos ejes. Al final de la columna C, D, E y F se hace el sumatorio de cada columna y más abajo se calcula el centro de gravedad conjunto de las cargas.

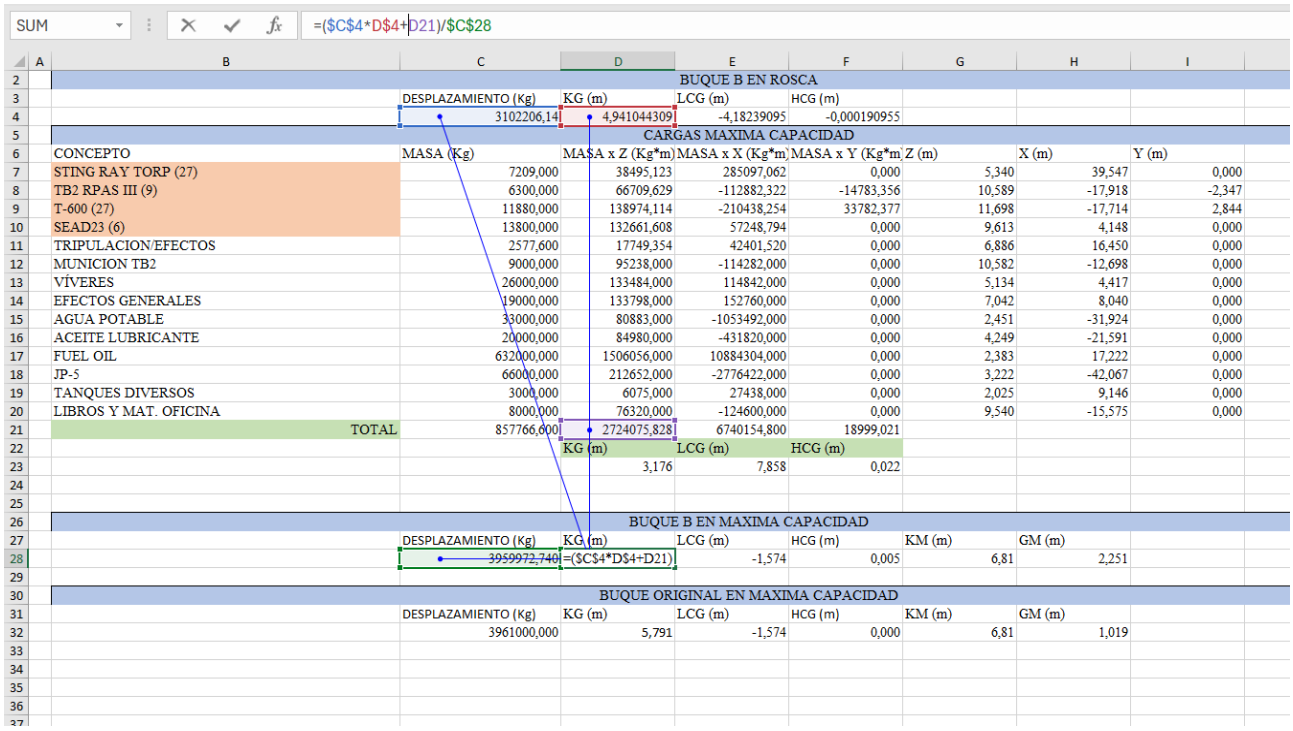
En la sección "Buque B en máxima carga" se suma al desplazamiento del buque en rosca de la casilla C4 el sumatorio de las masas de la casilla C21, con esto se obtiene el desplazamiento de la condición de carga máxima como se ve en la figura 25. A continuación se calcula automáticamente el nuevo centro de gravedad del buque con todos los efectos embarcados. Para ello se realiza su casilla correspondiente en las columnas D, E y F el resultado del sumatorio del producto del desplazamiento del buque en rosca por la coordenada asignada a cada columna más el sumatorio de esa columna en "Cargas máxima capacidad", todo ello divido entre el desplazamiento del buque B en máxima capacidad. Dicho cálculo del nuevo centro de gravedad se observa en la figura 26. Además, en las siguientes casillas a la derecha se muestra la ordenada del metacentro (KM) para el desplazamiento obtenido y la altura metacéntrica que se obtiene de la diferencia entre la ordenada del centro de gravedad (KG) y la del metacentro.



	B	C	D	E	F	G	H	I	J
2	BUQUE B EN ROSCA								
3		DESPLAZAMIENTO (Kg)	KG (m)	LCG (m)	HCG (m)				
4		3102206,14	4,941044309	-4,18239095	-0,000190955				
5	CARGAS MAXIMA CAPACIDAD								
6	CONCEPTO	MASA (Kg)	MASA x Z (Kg*m)	MASA x X (Kg*m)	MASA x Y (Kg*m)	Z (m)	X (m)	Y (m)	
7	STING RAY TORP (27)	7209,000	38495,123	285097,062	0,000	5,340	39,547	0,000	
8	TB2 RPAS III (9)	6300,000	66709,629	-112882,322	-14783,356	10,589	-17,918	-2,347	
9	T-600 (27)	11880,000	138974,114	-210438,254	33782,377	11,698	-17,714	2,844	
10	SEAD23 (6)	13800,000	132661,608	57248,794	0,000	9,613	4,148	0,000	
11	TRIPULACION/EFECTOS	2577,600	17749,354	42401,520	0,000	6,886	16,450	0,000	
12	MUNICION TB2	9000,000	95238,000	-114282,000	0,000	10,582	-12,698	0,000	
13	VÍVERES	26000,000	133484,000	114842,000	0,000	5,134	4,417	0,000	
14	EFECTOS GENERALES	19000,000	133798,000	152760,000	0,000	7,042	8,040	0,000	
15	AGUA POTABLE	33000,000	80883,000	-1053492,000	0,000	2,451	-31,924	0,000	
16	ACEITE LUBRICANTE	20000,000	84980,000	-431820,000	0,000	4,249	-21,591	0,000	
17	FUEL OIL	632000,000	1506056,000	10884304,000	0,000	2,383	17,222	0,000	
18	JP-5	66000,000	212652,000	-2776422,000	0,000	3,222	-42,067	0,000	
19	TANQUES DIVERSOS	3000,000	6075,000	27438,000	0,000	2,025	9,146	0,000	
20	LIBROS Y MAT. OFICINA	8000,000	76320,000	-124600,000	0,000	9,540	-15,575	0,000	
21	TOTAL	857766,600	2724075,828	6740154,800	18999,021				
22			KG (m)	LCG (m)	HCG (m)				
23			3,176	7,858	0,022				
24									
25									
26	BUQUE B EN MAXIMA CAPACIDAD								
27		DESPLAZAMIENTO (Kg)	KG (m)	LCG (m)	HCG (m)	KM (m)	GM (m)		
28		=C4+C21	4,559	-1,574	0,005	6,81	2,251		
29									
30	BUQUE ORIGINAL EN MAXIMA CAPACIDAD								
31		DESPLAZAMIENTO (Kg)	KG (m)	LCG (m)	HCG (m)	KM (m)	GM (m)		
32		3961000,000	5,791	-1,574	0,000	6,81	1,019		
33									
34									
35									

Figura 25.- Sumatorio de las masas asociadas a las cargas para la capacidad máxima.

(Elaboración propia)



	A	B	C	D	E	F	G	H	I
2		BUQUE B EN ROSCA							
3			DESPLAZAMIENTO (Kg)	KG (m)	LCG (m)	HCG (m)			
4			3102206,14	4,941044309	-4,18239095	-0,000190955			
5		CARGAS MAXIMA CAPACIDAD							
6		CONCEPTO	MASA (Kg)	MASA x Z (Kg*m)	MASA x X (Kg*m)	MASA x Y (Kg*m)	Z (m)	X (m)	Y (m)
7		STING RAY TORP (27)	7209,000	38495,123	285097,062	0,000	5,340	39,547	0,000
8		TB2 RPAS III (9)	6300,000	66709,629	-112882,322	-14783,356	10,589	-17,918	-2,347
9		T-600 (27)	11880,000	138974,114	-210438,254	33782,377	11,698	-17,714	2,844
10		SEAD23 (6)	13800,000	132661,608	57248,794	0,000	9,613	4,148	0,000
11		TRIPULACION/EFECTOS	2577,600	17749,354	42401,520	0,000	6,886	16,450	0,000
12		MUNICION TB2	9000,000	95238,000	-114282,000	0,000	10,582	-12,698	0,000
13		VÍVERES	26000,000	133484,000	114842,000	0,000	5,134	4,417	0,000
14		EFECTOS GENERALES	19000,000	133798,000	152760,000	0,000	7,042	8,040	0,000
15		AGUA POTABLE	33000,000	80883,000	-1053492,000	0,000	2,451	-31,924	0,000
16		ACEITE LUBRICANTE	20000,000	84980,000	-431820,000	0,000	4,249	-21,591	0,000
17		FUEL OIL	632000,000	1506056,000	10884304,000	0,000	2,383	17,222	0,000
18		JP-5	66000,000	212652,000	-2776422,000	0,000	3,222	-42,067	0,000
19		TANQUES DIVERSOS	3000,000	6075,000	27438,000	0,000	2,025	9,146	0,000
20		LIBROS Y MAT. OFICINA	8000,000	76320,000	-124600,000	0,000	9,540	-15,575	0,000
21		TOTAL	857766,000	2724075,828	6740154,800	18999,021			
22				KG (m)	LCG (m)	HCG (m)			
23				3,176	7,858	0,022			
24									
25									
26		BUQUE B EN MAXIMA CAPACIDAD							
27			DESPLAZAMIENTO (Kg)	KG (m)	LCG (m)	HCG (m)	KM (m)	GM (m)	
28			3959972,740	=($C$4*D$4+D21)	-1,574	0,005	6,81	2,251	
29									
30		BUQUE ORIGINAL EN MAXIMA CAPACIDAD							
31			DESPLAZAMIENTO (Kg)	KG (m)	LCG (m)	HCG (m)	KM (m)	GM (m)	
32			3961000,000	5,791	-1,574	0,000	6,81	1,019	
33									
34									
35									
36									

Figura 26.- Centro de gravedad de la plataforma cargada.
(Elaboración propia)

Por último, para dar una perspectiva al usuario de los cambios efectuados se anota en “Buque original en máxima capacidad” los mismos datos recogidos en “Buque B en máxima carga” pero para la plataforma original.

3.2 Análisis hidrostático

En cuanto a la estabilidad intacta del buque, se extrae de las experiencias de estabilidad de la clase que la ordenada del metacentro transversal para una carga útil de 625,34Tm se encuentra 6,802m por encima de la quilla. La documentación relativa a los criterios de estabilidad para los buques de la Armada viene recogida en la publicación ICP-03 [12] dónde se recogen los siguientes seis puntos a cumplir para que un buque sea considerado apto:

- -La altura metacéntrica corregida por superficie libre debe ser mayor a 0,15 m.
- El máximo valor de la curva de brazos GZ será para las escoras de 30º o más.
- La curva de brazos GZ a partir de 30º deberá tener brazos mayores de 0,20 m.
- El área encerrada por la curva de brazos GZ y la ordenada de 40º será igual o mayor a de 0,090 m/radián.
- El área encerrada por la curva GZ y las ordenadas de 30º y 40º de escora y/o la ordenada correspondiente al ángulo de inundación (si fuera menor a 40º) deberá ser mayor de 0.030 m/radián.
- El área encerrada por la curva de brazos GZ y la ordenada de la escora de 30º será igual o mayor a 0,055 m/radián.” (p.20-3)

Para corroborar que la plataforma cumple la normativa se deberá hallar la altura metacéntrica, el área encerrada por la curva de estabilidad en los tres intervalos indicados y el valor del brazo de adrizamiento para 30º y 40º de escora.

3.2.1 Criterio de la altura metacéntrica

Como se recoge en la ICP-03, el único punto que menciona la altura metacéntrica es el primero que nos indica que esta debe ser mayor a 0,15m, este dato viene reflejado al final de la hoja para el cálculo de las condiciones de carga que para el ejemplo dado se ha determinado que es de 2,251m, valor muy superior al mínimo establecido. No obstante, cabe destacar que estando la propuesta B en su condición de rosca, la cual es la más crítica, dicho criterio también se cumple obteniendo una KM de 1,97m que también verifica el criterio.

3.2.2 La curva de estabilidad y los criterios asociados a sus valores y área

Otra herramienta que se tiene en las fases de diseño de la plataforma para evaluar la estabilidad del proyecto es dibujar los brazos de adrizamiento que genera la geometría del flotador en base al ángulo de escora. Esta gráfica toma la forma de una curva en forma de función cóncava todo y que por la complejidad de las formas del casco no puede ser descrita por una uncia función del ángulo y por ello ha de ser elaborada empíricamente.

El inicio de la curva es lo que se considera la estabilidad inicial para la cual el metacentro se considera que no varía, dicho intervalo se considera que se encuentra entre el buque adrizado y los 10º de escora. En la estabilidad inicial la curva sigue una función senoidal en que la longitud del brazo generado GZ puede ser definido en base al ángulo de escora θ tal que:

$$GZ = GM * \sin(\theta) \tag{14}$$

A partir de los 10º de escora se debe considerar que la función deja de ser continua en el resto del dominio de abscisas. Para ello el libro de experiencia de estabilidad de la clase adjunta una serie de curvas transversales que para ángulos de escora notables relacionan un desplazamiento con el brazo de adrizamiento generado para un KG genérico de 5,791m. Inicialmente estos datos no nos sirven en su estado actual y ha de encontrarse la relación que permitirá corregir los GZ de estas curvas para un nuevo KG.

La ordenada del metacentro varia más allá de la estabilidad inicial, para ello normalmente los astilleros elaboran una serie de curvas transversales que en lugar de directamente dar el brazo para un KG genérico relacionan el desplazamiento con un segmento KN trazado en paralelo al GZ a la altura de la quilla. No obstante, dado en este caso particular la documentación disponible no recoge los KN del barco en este caso en cambio se cuenta con los GZ corregidos. En la ecuación (15) se expresa KN respecto a la altura del centro de gravedad genérico KG, el centro de gravedad nuevo KG', el ángulo de escora α y la corrección por superficies libres C que es la misma en la plataforma nueva dado que los fondos y tanques del barco no han variado. Esta relación viene del triángulo de la figura 27 que representa la relación geométrica entre los distintos segmento y ángulo de escora aplicado a cada plataforma, en la ecuación (16) se refleja algebraicamente la relación trigonométrica empleada para resolver el problema.

$$GZ' = GZ + (KG + \mathrm{C}) \cdot \sin\alpha - (KG' + C) \cdot \sin\alpha \tag{15}$$

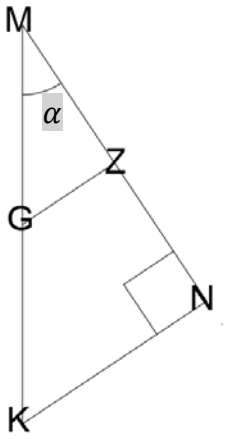


Figura 27.- Relaciones entre las magnitudes KG, KN, GZ y el ángulo de escora θ.
(Elaboración propia)

$$GZ = KN - (KG + C) * \sin(\theta) \quad (16)$$

Para representar la curva completa se ha empleado la hoja "Curva de estabilidad" para representar la curva y calcular las áreas de esta misma. La hoja consta de cuatro secciones como se muestra en la figura 28. En la esquina superior izquierda la hoja recoge los distintos valores que toma el GZ para distintos desplazamientos y grados de escora, dentro de la misma sección más abajo la hoja realiza una predicción lineal de los valores de GZ para el desplazamiento especificado que el usuario haya obtenido en la hoja "Partidas condición de carga máxima". En la esquina superior derecha la hoja copia de la hoja "Partidas condición de carga máxima" los valores asignados a KG' y el desplazamiento, el KG y KM vienen dados por el libro de experiencias de la clase, en esta misma sección también se muestra la altura metacéntrica para el nuevo KG' y para el KG antiguo. En la sección inferior izquierda la hoja mediante la ecuación (15) y el GZ predicho para el desplazamiento estipulado calcula los GZ corregidos para el KG' nuevo para los valores de escora superiores a 10º, hasta 10º emplea la función senoidal de la estabilidad inicial descrita en la ecuación (14). Por último, en la sección inferior derecha la hoja grafica en azul la curva de estabilidad correspondiente al KG' nuevo, en naranja la correspondiente al KG genérico del libro de experiencias para el mismo desplazamiento y en gris se muestra la curva del criterio de Rahola que indica los valores mínimos de los brazos GZ para los distintos valores de escora.

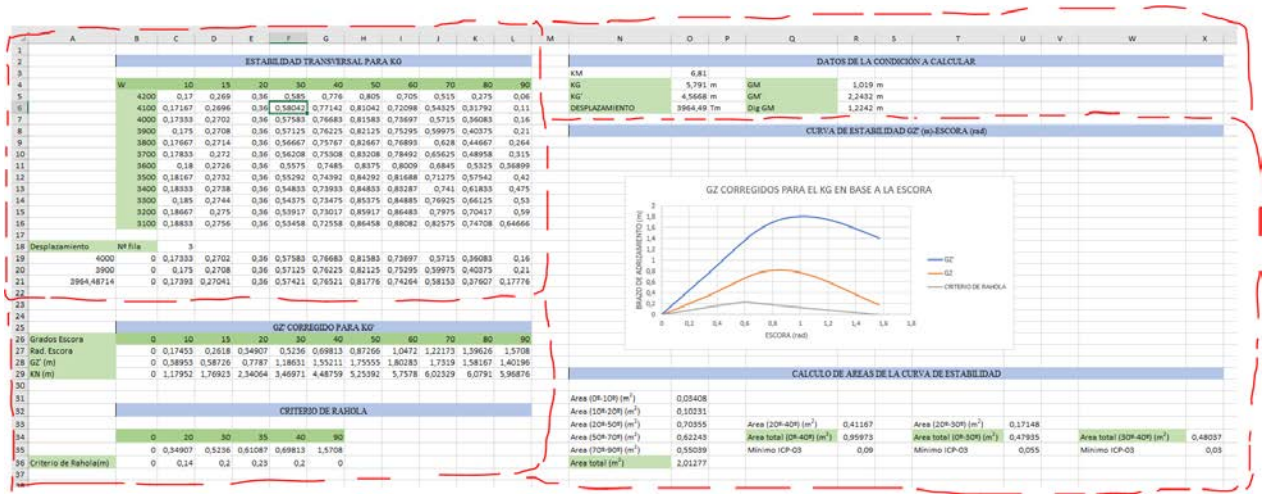


Figura 28.- Vista general de la hoja "Curva de estabilidad". (Elaboración propia)

Entrando más en detalle, la sección superior izquierda utiliza la función que se muestra en la figura 29 para la calcular las filas entre las cuales se realiza la predicción lineal para los distintos grados de escora como se muestra en la figura 30.

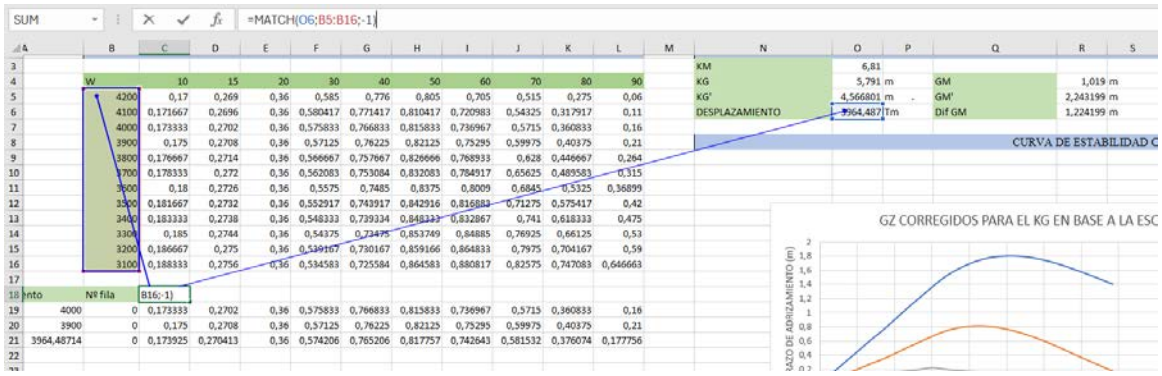


Figura 29.- Cálculo de la fila a indexar.
(Elaboración propia)

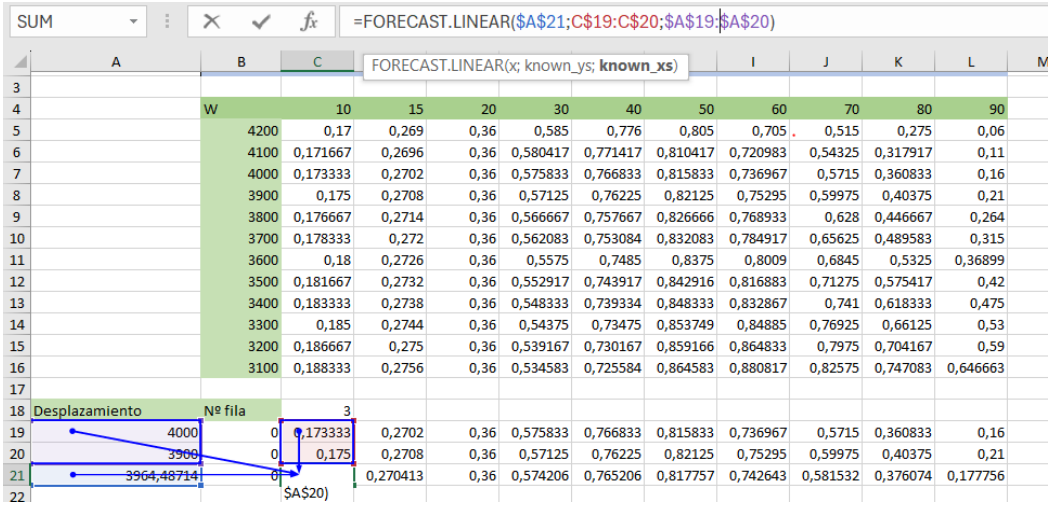


Figura 30.- Predicción lineal para el desplazamiento asignado.
(Elaboración propia)

Una vez calculado el GZ para el KG genérico, la hoja calcula en la sección inferior izquierda mediante las ecuaciones (14) y (15) como se muestra en la figura 31.

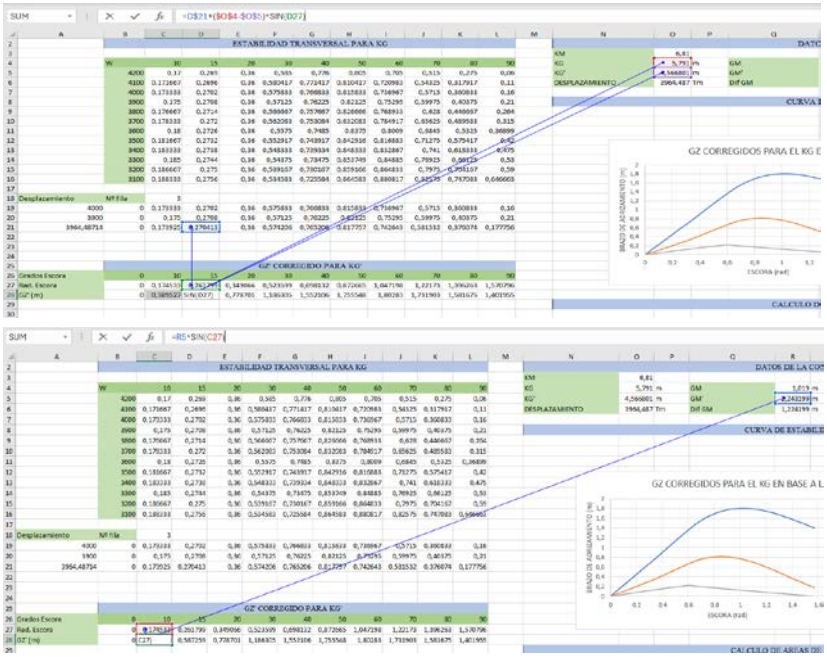


Figura 31.- Cálculo del GZ corregido para el KG'.
(Elaboración propia)

Por último, la hoja calcula el área de la curva de estabilidad del KG' corregido por tramos cada uno con un criterio distinto. El primer tramo es el de la estabilidad inicial de 0º a 10º en que el área viene como la integral definida entre esos límites de la función senoidal de la ecuación (14). El resto de la curva dado que no sigue una función perfectamente definida se calcula la integral mediante la regla de Simpson menos en el caso del área de 20º a 30º en donde falta un valor para poder trabajar respecto a Simpson y esta área se calcula como el área del trapecio descrito. Todos estos cálculos mencionados previamente en el parágrafo se pueden observar en la figura 32.



Figura 32.-Calculo de las áreas de la curva de estabilidad.
(Elaboración propia)

En base a los resultados de esta hoja se van a determinar si los requisitos mencionados al principio de este apartado se cumplen para la plataforma propuesta. El análisis en detalle de los cálculos de estabilidad se recogerá más adelante en el apartado 4.2.

3.3 Estabilidad en averías

Dado que las secciones estancas del buque llegan hasta el inicio de la cubierta principal y no se ha realizado ninguna modificación por debajo de esta, salvo que se ha reemplazado el contenido del pañol de misiles convirtiéndolo en el nuevo pañol de torpedos, la estabilidad en averías y más concretamente las esloras inundables no varían.

3.4 Costes

En base a los apuntes de la asignatura de "Artefactos e instalaciones oceánicas" de la Universidad de Coruña [32] se ha elaborado un presupuesto inicial de los costes asociados al proyecto. Este presupuesto se ha calculado en la hoja de cálculo "Presupuesto inicial" como se observa en la figura 33, el coste de construir el proyecto se divide en cuatro partidas. La primera es el material que en este caso es el acero de los mamparos y cubiertas empleado en transformar la plataforma, la masa de este se extrae directamente de la hoja de la condición en rosca. La siguiente partida son los equipos reflejados en el plan de carga de la capacidad máxima, su precio se ha estimado en base a noticias de los propios sistemas o parecidos en el entorno de defensa. Otra partida es la mano de obra la cual se estima en base a un trabajo de 50 horas por cada tonelada de acero a un salario medio de 50 € la hora en base a la referencia [32]. Por último, el coste variable del diseño asociado a los ensayos, desarrollo del diseño conceptual y representación de este representa en torno al 10% del total de las tres partidas anteriores.

Asumiendo que el beneficio que obtendrían los proveedores y el astillero es del 30% el coste de adquisición es el resultado de sumarle al coste de construcción formado por las cuatro partidas anteriores el beneficio industrial. Además, se han de considerar gastos notariales, de inspección y adiestramiento de la dotación, esto viene recogido como el concepto de "gastos del armador" que se estima a ser el 55,5% del coste de adquisición. Finalmente, si al coste de adquisición se le suman los gastos de armador se obtiene la inversión total a efectuar por parte del Ministerio de Defensa que asciende a los 271 millones de euros. Para ponerlo en perspectiva, la construcción de la F112 Roger de Lauria ha empezado con una inversión inicial de 4325 millones de euros [33] y las corbetas que Navantia ha fabricado para Arabia Saudí han tenido una inversión total de 1800 millones por las cinco primeras y de 2000 millones de euros por la siguiente serie de cinco corbetas [34].

En base al contexto actual de la construcción naval en el entorno de defensa y las estimaciones iniciales de los costes asociados al proyecto se estima que se ha cumplido con el objetivo de crear una propuesta bajo coste que pudiera dotar a la Armada de una nueva capacidad que en la actualidad cobra más peso con el paso del tiempo.

PRESUPUESTO PROYECTO DE REFORMA			
TRANSFORMAICÓN DE LA PLATAFORMA	MASA TOTAL (t)	TARIFA COMPRA (+) / VENTA (-) (€/Kg	VALOR MONETARIO (€)
TRABAJOS DE DESGUACE Y DESMANTELAMIENTC	279	1800	502.030
MASA DE ACERO 'NUEVO'	280	1800	504.888
SOLDADURA	3		10.098
MODIFICACIÓN EQUIPOS Y SERVICIOS			1.544.956
		TOTAL	2.561.972
ADAPTACIÓN DE EQUIPOS Y SISTEMAS			PRECIO TOTAL (€)
GRUPO 400: MANDO Y EXPLORACIÓN			5.000.000
GRUPO 700: ARMAS			5.000.000
		TOTAL	10.000.000
SISTEMAS UV	Nº EQUIPOS	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL (€)
STING RAY TORP (27)	27	772531,11	20.858.340
TB2 RPAS III (9)	9	5500000	49.500.000
T-600 (27)	27	4600	124.200
SEAD23 (6)	6	250000	1.500.000
		TOTAL	71.982.540
SALARIO MEDIO €/h	HORAS POR UNIDAD PESO h/Tm	COSTE SALARIOS MANO DE OBRA	
50	50		708.733
	PRECIO TOTAL (€)		
Coste variable	8.525.324		
Coste de construcción	93.778.569		
Beneficio industrial	28.133.571		
Coste de adquisición	121.912.139		
Gastos del armador	67.728.966		
INVERSIÓN TOTAL	270.915.865		

Figura 33.- Captura de la hoja de cálculo del presupuesto inicial.
(Elaboración propia)

4 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Una vez concluido todo el proceso de diseño recogido en el desarrollo de esta memoria, se formaliza la propuesta en dos entregas con las que se define todo el proyecto. El libro de Excel en que se recogen los distintos sistemas no tripulados que se han tenido en cuanta para el proyecto y el apartado 2.2; la predicción estadística explicada en el apartado 3.1.1; las modificaciones al buque en rosca explicadas desde el apartado 3.1.3 al 3.1.10; las partidas de carga para el ejemplo de máxima operatividad del apartado 3.1.11; los cálculos de los distintos criterios en base a los que se evalúa la estabilidad del buque en el apartado 3.2; el presupuesto inicial expuesto en el apartado 3.4.. Junto a este libro de Excel el otro archivo que recoge el proyecto son los planos de disposición general que representan con exactitud los cambios realizados a la obra muerta de la plataforma original.

4.1 Resultados de las modificaciones a la plataforma

En base a todo el proceso detallado en el desarrollo se ha decidido seleccionar la segunda variante y elaborar una predicción de las capacidades operativas que esta tendría. A continuación, se detalla en la tabla 2 las especificaciones del proyecto como resultado de la etapa conceptual de diseño.

ESPECIFICACIONES DEL BUQUE NODRIZA	
Eslora máxima (longitud cubierta de vuelo)	144 m
Eslora entre perpendiculares	125,28 m
Manga máxima	18,1 m
Manga de flotación	14,1 m
Francobordo	11,25 m
Puntal	16,52 m
Desplazamiento en rosca	3102,221 Tm
Desplazamiento de capacidad máxima	3964,487 Tm
Superficie útil del hangar	1032 m^2 (504% más que el hangar original)
Carga máxima	27 x T-600, 9 x Bayraktar TB2, 6 x Sead23
Inversión total	271 millones de euros

Tabla 2.- Especificaciones de la plataforma propuesta.
(Elaboración propia)

Las especificaciones recogidas en la tabla 2 para tratarse de una plataforma con un desplazamiento tan reducido son muy positivas dado que el hangar propuesto en la variante B aumenta el hangar hasta el orden de 1032 m^2, de los cuáles 768,7 m^2 tienen una altura libre de 6,3 m y el restante tiene una altura de 3,15 m. Esto le permite llevar un ala embarcada considerable de 27 T-600 que sirven como plataforma aérea lanzatorpedos, 9 RPAS clase III tipo Bayraktar TB2 que sirven un propósito similar al MQ-9 Reaper pudiendo hacer tanto tareas de inteligencia como ataques premeditados. Por otra parte, al dotar al combés de estribor de una cubierta de botes simétrica a la presente en babor se estima que podrían embarcarse 6 botes pudiendo estos ser tanto botes semirrígidos al uso como sistemas USV como el Sead 23. Como se muestra en la primera fila, la cubierta de vuelo marca los límites a proa y popa de la plataforma, esta tiene una longitud de 144 m, suficiente para que un Mojave pudiera operar en ella con su carga de sensores únicamente, todo y que la presencia del *ski-jump* al final en base a las experiencias empíricas obtenidas en la historia de la aviación naval apunta a que podrían operar aeronaves ligeramente más pesadas.

Cabe recordar que todas estas modificaciones no han modificado ni la obra viva ni la masa total del buque tanto en su condición en rosca como en su condición cargado. Originalmente la plataforma tenía un desplazamiento en rosca de 3102,210 t y cargado desplazaba 3961 Tm, tras las reformas la plataforma escogida tiene un desplazamiento en rosca de 3102,206Tm y un desplazamiento en carga máxima de 3964,487 Tm. El desplazamiento cargado de la nueva plataforma es una aproximación dado que no se tienen datos exactos para todos los equipos cargados y el error de 3,487 t se considera un error asumible. No obstante, el desplazamiento en rosca sí que gracias a los procedimientos explicados en el apartado 3.1.5 se verifica con una mayor precisión que no varía por el hecho de que al trabajar con la transformación conforme de los mamparos la cantidad de acero embarcado no varía en estos procesos. No obstante, en el proceso de calcular las distintas modificaciones acometidas no se puede buscar solo que la cantidad global de acero no varie. Esto se debe a que los equipos como los radares o el armamento no pueden ser considerados una masa homogénea de acero cuya disposición se puede transformar y obliga a darle una perspectiva más propia de la física al trabajo y considerar se busca que la masa global no varie, no solo la del acero.

Por último, los valores mostrados en la tabla 2 para la eslora entre perpendiculares, la manga de flotación, francobordo y puntal se mantienen igual dado que la obra viva y la altura de la última cubierta corrida no varían. Que las reformas acometidas no cambien la obra viva no solo abarata costes, pero además implica que no es necesario cambiar la planta propulsora para mantener el buen andar marinero actual de la plataforma.

En comparación con otros portaaeronaves del mundo, la plataforma propuesta en este trabajo tiene unas dimensiones contenidas en comparación a la tendencia global como se ve en la figura 34. En este gráfico de barras se comparan las esloras máximas de varios portaaeronaves modernos. El único con unas dimensiones menores a la plataforma propuesta es el homólogo portugués *João II*, una plataforma concebida desde el inicio como buque nodriza de sistemas autónomos en desarrollo por la empresa Damen.

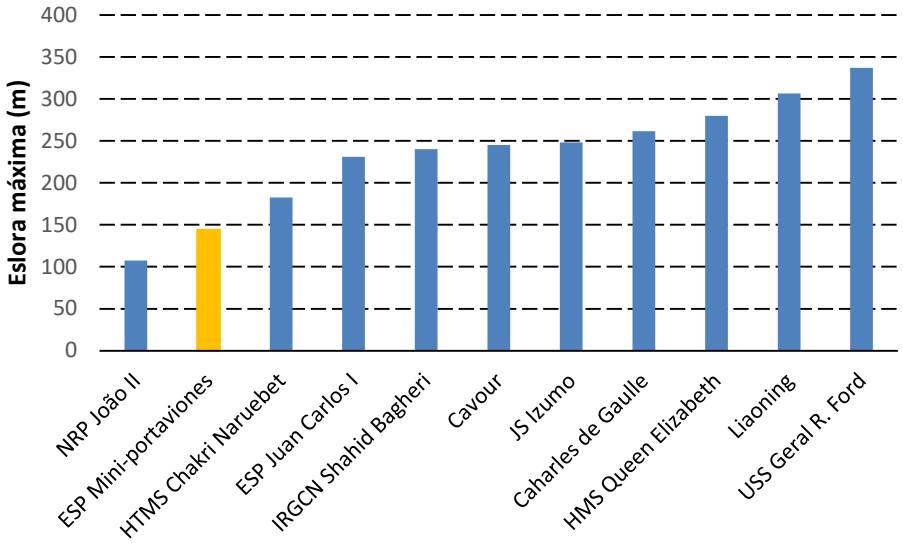


Figura 34.- Comparación de los portaaeronaves del mundo.
(Elaboración propia)

4.2 Resultados del análisis hidrostático

Para validar que el proyecto propuesto es factible acometerlo se han realizado una serie de comprobaciones de la estabilidad de la plataforma en base a la normativa aplicada en Armada [12]. Para ello se ha analizado la curva de estabilidad de la figura 35. Como se observa en la figura se describen tres curvas, la azul es la correspondiente a la nueva plataforma y es la que está siendo analizada, además en rojo se grafica la misma curva de estabilidad para la plataforma original y en verde los valores mínimos de la curva según el criterio de Rahola.

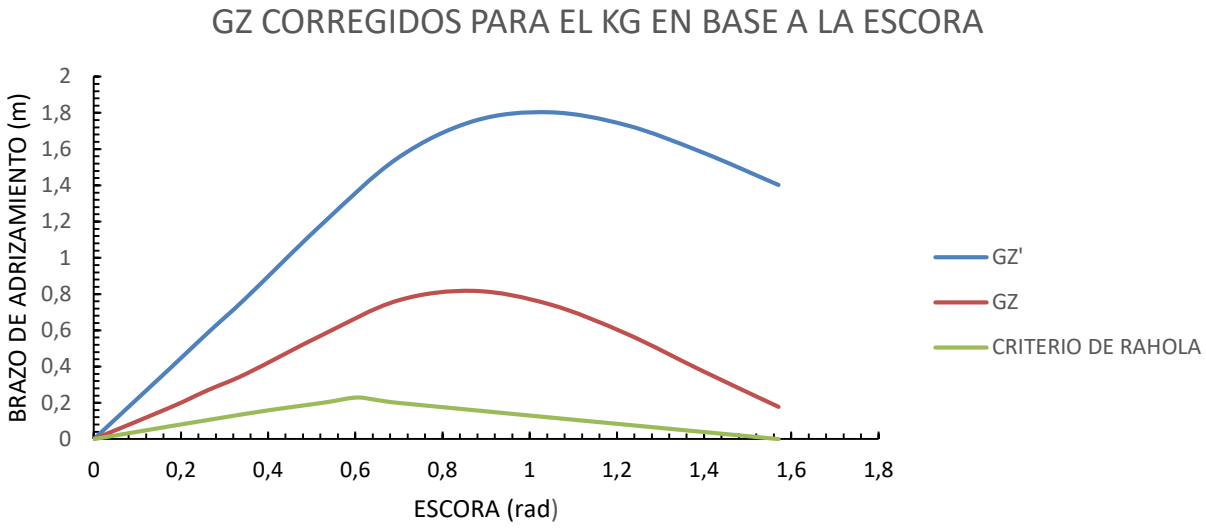


Figura 35.- Curvas de estabilidad de la plataforma. (Elaboración propia)

Los resultados extraídos de analizar la curva de estabilidad son:

- -El valor máximo de la curva se da para una escora de 60º cumpliendo que sucede más allá de los 30º de escora.
- -Los valores de GZ a partir de los 30º no bajan de 1,402m verificando que no bajan de 0,20 m.
- -El área encerrada por la curva hasta los 40º es de 0,96m/radián superando los 0,09 m/radián.
- -El área encerrada por la curva entre 30º y 40º es de 0,48m/radián superando los 0,03 m/radián.
- -El área encerrada por la curva hasta 30º es de 0,479 m/radián superando los 0,055 m/radián.

Por tanto, se concluye que la plataforma conceptual propuesta se predice en base a la normativa vigente que cumple todos los requisitos de estabilidad que se les exigen a todos los buques de la Armada. Además, tiene un margen de estabilidad que la plataforma original tenía en menor medida, esto se ve en que para todo el dominio de grados de escora el brazo adrizante GZ tiene una longitud mayor ejerciendo un mayor momento para corregir la escora. Esto implica que dentro de las cargas previstas estas se pueden elevar más y en mayores rangos de peso que lo que se podría en la plataforma original.

En vista que el proyecto es inicialmente apto en base a los criterios empleados por Armada y dado que los objetivos de la reforma se ven cubiertos con esta configuración se ha elaborado un plano en el que se refleja la distribución general de la plataforma adjunto en el ANEXO III: distribución general del proyecto.

5 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

Este trabajo como proyecto conceptual establece unas pautas para las futuras etapas del diseño en detalle. En las distintas iteraciones de diseño se han establecido unos valores limita para la masa de los distintos elementos de la superestructura que en caso de seguir con nuevas iteraciones de la espiral de Evans se deberían respetar.

5.1 Conclusiones

Se puede afirmar que se ha alcanzado el objetivo de obtener una nueva topología partiendo de la de la clase "Santa María" en base a las especificaciones recogidas en la tabla 2 y las funciones especificadas en el apartado 2.5.8 se estima que los cambios propuestos en este trabajo permiten operar en la cubierta de vuelo a RPAS clase III dado que la longitud de la cubierta de vuelo supera los 122 m [16].

Por otra parte, se demuestra la capacidad para operar con USVs. Se necesita un diseño detallado de los mecanismos de estiba y movimiento interno de los USVs pero, el diseño conceptual que se buscaba se ha obtenido y, como se ha explicado en el apartado 3.4, esta opción conlleva un menor coste en comparado con la construcción de una nueva plataforma.

Además, en se ha demostrado que esta plataforma se encuentra en cuanto a dimensiones en el rango de las que en la actualidad operan o se están desarrollando en otros países. Si bien dada la naturaleza del tipo de plataforma los datos son sesgados, estos deben considerarse solo como una ayuda más para el diseño que debe contrastarse con otras necesidades del proyecto como la elevación de pesos en este caso.

Por otra parte, el uso de transformaciones topológicas de los espacios permite un análisis matemático y exacto que facilita evitar embarques de pesos no deseados para mantener el desplazamiento del buque sobre el que se realiza la transformación.

En este trabajo se ha empleado una relación trigonométrica para el diseño del hangar dado que faltos de un marco de trabajo similar se ha elegido una opción más sencilla para la solución del problema, quedando demostrado, la posibilidad de obtener topologías con la misma masa. Por tanto, es interesante la transformación topológica matemática como herramienta para el diseño y modificación de buques.

Se ha cumplido con todos los objetivos trabajando con entornos de diseño informático. En este sentido, queda demostrada la interdisciplinaridad que requiere un proyecto de ingeniería como el diseño de una plataforma naval. Cabe destacar (anexo III) la predicción hecha con las hojas de cálculo para los

distintos parámetros de estabilidad de la plataforma que en caso de querer realizar nuevas iteraciones del diseño permiten obtener rápidamente una evaluación de la validez de los cambios realizados.

5.2 Líneas futuras

En el caso de desear continuar el diseño durante el desarrollo se han encontrado los siguientes casos que se cree son meritorios de recibir un estudio propio:

- Un estudio de las cargas de los refuerzos que sujetan el *ski-jump* sobre el castillo, e incluso buscar optimizarlos mediante optimización topológica
- El modelado más en detalle de la distribución original de la compartimentación de la superestructura para poder extraer un cálculo más exacto de la alteración del centro de gravedad.
- El diseño detallado de los dos ascensores planificados en la disposición general y el sistema de estiva de los botes en el combés.
- Un programa informático que mediante topología matemática permita optimizar la distribución de material sin alterar la distribución de pesos del material y equipos con la finalidad de ajustarlas prestablecidas del buque.

6 BIBLIOGRAFÍA

[1] S. Lagrone, «Iran Building Drone Aircraft Carrier from Converted Merchant Ship, Photos Show,» USNI News, 2023.

[2] M. P. Pichel, «Ucrania deja fuera de combate otro gran buque ruso del mar Negro,» *El Debate*, 04 agosto 2023.

[3] MBDA Group, «Bundeswehr successfully concludes laser weapon trials at sea,» MBDA Group, Schrobenhausen, 2023.

[4] Dirección General de Armamento y Material, «Estrategia de Tecnología e Innovación para la Defensa ETID 2020,» Secretaría de Estado de Defensa, diciembre 2020.

[5] BAE Systems, «T-600 electric uncrewed demonstrator aircraft achieves significant milestone at NATO exercise,» BAE Systems, 2023.

[6] T. Baino, «Warship Design and Construction Parameters,» *The Maritime Review*, nº 03, 2016.

[7] P. A. Wolff, «Conceptual Design of Warships,» Twente University, Enschede, 2000.

[8] F. Cajori, The History of Mathematics, New York: Chelsea Publishing Company, 1991.

[9] H. Mina y A. B. E. Giordano, «DISEÑO CON OPTIMIZACIÓN TOPOLÓGICA EN INGENIERÍA,» *Jornadas de Ciencias y Tecnología*, 2020.

[10] M. T. Z. García, «Optimización topológica de estructuras de aeronaves utilizando computación paralela,» p. 29, octubre 2020.

[11] S. Ganguli, «Conformal Mapping and its Applications,» *Department of Physics, University of Tennessee, Knoxville*, 2008.

[12] Armada, I-CP-03, vol. 20, Madrid: Armada, 2010, p. 321.

[13] J. E. Mayer, «NATO Science & Technology Organization,» 27 4 2017. [En línea]. Available: https://www.sto.nato.int/publications/STO%20Meeting%20Proceedings/STO-MP-AVT-273/MP-AVT-273-08.pdf. [Último acceso: 16 enero 2024].

[14] Á. L. d. Santos, «España tendrá, por fin, drones armados: el Consejo de Ministros autoriza la compra de misiles Hellfire por 13,3 millones,» *La Razón*, 14 noviembre 2023.

[15] Armada, «Scan Eagle - 11ª Escuadrilla Aérea,» [En línea]. Available: https://armada.defensa.gob.es/ArmadaPortal/page/Portal/ArmadaEspannola/buquesaeronaves/prefLang-es/03flotilla-aeronaves-aeronaves-no-tripuladas. [Último acceso: 18 enero 2024].

[16] A.-M. Lariosa, «U.K. Aircraft Carrier HMS Prince of Wales Launches, Recovers Mojave Drone,» *USNI News*, 17 noviembre 2023.

[17] J. S. García, «Los cazaminas de la clase Segura,» *Revista Naval*, 2013.

[18] E. Bovio, «Autonomous Underwater Vehicles for Port Prortection,» NATO Undersea Research Centre, La Spezia, 2005.

[19] M. Santora , C. Triebert y V. Kim, «Videos and photos show a damaged Russian landing ship in Novorossiysk,» *The New York Times*, 4 agosto 2023.

[20] N. Friedman, «Apéndice B: Catapultas,» de *U.S. Aircraft Carriers, an Illustrated Design History*, Annapolis, Uniteds States Naval Institute, 1989, pp. 377-380.

[21] C. (. W. R. Stewart, «The Steam Catapult,» *Journal of Naval Engineering*, vol. 6, nº 3, julio 1953.

[22] J. G. Cascallana, «Análisis termodinámico de la catapulta de vapor C-13-1 para lanzamiento de aeronaves desde un portaviones,» 20 junio 2023. [En línea]. Available: https://www.tecnicaindustrial.es/thermodynamic-analysis-of-the-c-13-1-steam-catapult-for-aircraft-launching-from-an-aircraft-carrier/. [Último acceso: 23 enero 2024].

[23] J. D. Helm y H. H. Perry, «The History and Development of the Repeatable Release Catapult Holdback Bar,» *SAE Transactions*, vol. 94, nº 6, pp. 909-930, 1985.

[24] E. C. Fischer, D. A. Sowell, J. Wehrle y P. O. Cervenka, «Cooled jet blast deflectors for aircraft carrier flight decks». Estados Unidos de América Patente US6575113B1, 16 mayo 2002.

[25] G. E. Jessen, «The Ski Jump Is the Future,» *Proceedings*, vol. 121, nº 9, septiembre 1995.

[26] Navy Lookout, «Royal Navy aircraft carrier ski jumps – a history,» Navy Lookout, Egham, 2019.

[27] J. L. H. Díaz, «Análisis de la embarcabilidad de aviones de combate terrestres,» Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, 2016.

[28] General Atomics, «Aircraft Launch and Recovery Systems,» General Atomics, [En línea]. Available: https://www.ga.com/alre. [Último acceso: 08 febrero 2024].

[29] Janes, «Janes.com,» Janes, [En línea]. Available: https://www.janes.com/. [Último acceso: 01 marzo 2024].

[30] SEZAMOR, «Rescue Boat Davits,» SEZAMOR, [En línea]. Available: https://sezamor.com/rescue_boat_davits.html. [Último acceso: 04 MARZO 2024].

[31] IMO, «SOLAS Chapter V,» de *SOLAS*, Londres, UK Goverment, 1988, p. 19.

[32] P. C. Pena, «Apuntes de la asignatura de artefactos e instalaciones oceánicas,» Ferrol, Pedro Carrasco Pena.

[33] Á. L. d. Santos, «La segunda fragata de la serie F-110, la "Roger de Lauria" (F-112) echa a andar, mientras avanza la construcción de la F-111,» *La Razón*, 14 diciembre 2023.

[34] L. M. García, «Arabia ya tiene cuatro de las cinco corbetas construidas por Navantia, que han revitalizado la Bahía de Cádiz,» *el Economista*, 10 diciembre 2023.

ANEXO I: IMPLICACIONES SOCIALES, ECONÓMICAS Y AMBIENTALES

Este proyecto de alteración de la clase Santa María tiene muy presente las implicaciones económicas que una reforma de este calado tiene para los astilleros. Parte de la motivación de este es reducir el desembolso económico superfluo dando una alternativa a la construcción desde cero de una plataforma especializada en el transporte y manejo de sistemas no tripulados. Además, la alteración propuesta es una obra de media duración que podría proveer de empleo a los astilleros en los periodos de baja demanda.

Por otra parte, las implicaciones sociales que una plataforma cuyo principal medio son los vehículos no tripulados es tanto en operaciones de paz como en la guerra un menor riesgo para el personal a bordo. Esta menor exposición de las personas a los peligros propios de la profesión es de esperar tengan un efecto positivo en la salud mental de las dotaciones de este tipo de buques y reduzca tanto el número como la severidad de los accidentes relacionados con las operaciones de aeronaves y botes.

Por último, al emplear medios no tripulados menos pesados que las aeronaves tripuladas su consumo de combustible y por tanto sus emisiones son menores. Esto se espera pueda tener también su aportación a la reducción de gases de efectos invernadero producidos en operaciones y ejercicios militares.

ANEXO II: REFLEXIÓN ÉTICAS Y SOCIALES

El proyecto que nos acontece tiene unas muy importantes implicaciones éticas dado que esta plataforma en el caso de llevarse cabo el proyecto trabajaría con un tipo de armas cuyo empleo cae en una zona gris en el campo de la ética.

El principal factor que hace el empleo de sistemas no tripulados es el hecho de que en caso de un error del sistema resultara en daños colaterales no existe un consenso legislativo sobre cuál es la cadena de responsabilidad. Otro punto de desacuerdo es el peligro que suponen los sistemas no tripulados para el tráfico civil dado que no está completamente demostrado que las redes de comunicaciones actuales garanticen el seguimiento continuo del sistema.

Las medidas aplicadas hoy en día por las fuerzas OTAN para evitar las situaciones de riesgo descritas en el parágrafo anterior delimita el espacio físico en el que operan los sistemas no tripulados para evitar coincidir en espacio y tiempo con el tráfico civil.

ANEXO III: HOJAS DE CÁLCULO EMPLEADAS EN EL PROYECTO

BUQUE B EN ROSCA

DESPLAZAMIENTO (Kg)	KG (m)	LCG (m)	HCG (m)
3102206,14	4,941044309	-4,18239095	-0,000190955

CARGAS MAXIMA CAPACIDAD

CONCEPTO	MASA (Kg)	MASA x Z (Kg*m)	MASA x X (Kg*m)	MASA x Y (Kg*m)	Z (m)	X (m)	Y (m)	
STING RAY TORP (27)	7209,000	38495,123	285097,062	0,000	5,340	39,547	0,000	
TB2 RPAS III (9)	6300,000	66709,629	-112882,322	-14783,356	10,589	-17,918	-2,347	
T-600 (27)	16394,400	191784,278	-290404,791	46619,681	11,698	-17,714	2,844	
SEAD23 (6)	13800,000	132661,608	57248,794	0,000	9,613	4,148	0,000	
TRIPULACION/EFECTOS	2577,600	17749,354	42401,520	0,000	6,886	16,450	0,000	
MUNICION TB2	9000,000	95238,000	-114282,000	0,000	10,582	-12,698	0,000	
VÍVERES	26000,000	133484,000	114842,000	0,000	5,134	4,417	0,000	
EFECTOS GENERALES	19000,000	133798,000	152760,000	0,000	7,042	8,040	0,000	
AGUA POTABLE	33000,000	80883,000	-1053492,000	0,000	2,451	-31,924	0,000	
ACEITE LUBRICANTE	20000,000	84980,000	-431820,000	0,000	4,249	-21,591	0,000	
FUEL OIL	632000,000	1506056,000	10884304,000	0,000	2,383	17,222	0,000	
JP-5	66000,000	212652,000	-2776422,000	0,000	3,222	-42,067	0,000	
TANQUES DIVERSOS	3000,000	6075,000	27438,000	0,000	2,025	9,146	0,000	
LIBROS Y MAT. OFICINA	8000,000	76320,000	-124600,000	0,000	9,540	-15,575	0,000	
TOTAL	862281,000	2776885,991	6660188,263	31836,325				
		KG (m)	LCG (m)	HCG (m)				
		3,220	7,724	0,037				

BUQUE B EN MAXIMA CAPACIDAD

DESPLAZAMIENTO (Kg)	KG (m)	LCG (m)	HCG (m)	KM (m)	GM (m)	
3964487,140	4,567	-1,593	0,008	6,81	2,243	

BUQUE ORIGINAL EN MAXIMA CAPACIDAD

DESPLAZAMIENTO (Kg)	KG (m)	LCG (m)	HCG (m)	KM (m)	GM (m)	
3961000,000	5,791	-1,574	0,000	6,81	1,019	

DESEMBARQUE DE PESOS

CONCEPTO	MASA (Kg)	MASA x Z (Kg*m)	MASA x X (Kg*m)	MASA x Y (Kg*m)	Z (m)	X (m)	Y (m)
MASTIL PRINCIPAL	75848,580	2041570,514	593508,313	0,000		26,916	7,825	0,000
MASTIL RADAR AEREO	21312,772	452596,321	378021,312	0,000		21,236	17,737	0,000
MASTIL CAS	12155,065	248084,026	307030,147	0,000		20,410	25,259	0,000
MASTIL STIR	13496,400	222957,559	-33566,492	0,000		16,520	-2,487	0,000
CABINA HCO	1337,489	17537,303	-51541,286	0,000		13,112	-38,536	0,000
PUENTE Y OTROS LOCALES NIVEL 02	14679,303	254553,059	379710,955	-5697,258		17,341	25,867	-0,388
CHIMENEA	6121,195	97253,944	-137588,787	0,000		15,888	-22,477	0,000
MAMPAROS 01-I Y 01-II	5423,120	71719,675	-100230,101	0,000		13,225	-18,482	0,000
MAMPAROS 01-III Y 01-IV	2638,809	34897,723	-54455,309	0,000		13,225	-20,636	0,000
MAMPAROS 01-V Y 01-VI	3012,915	39845,204	-49533,083	0,000		13,225	-16,440	0,000
CAS	490,000	12676,941	12677,265	0,000		25,871	25,872	0,000
STIR	300,000	5338,836	-374,393	0,000		17,796	-1,248	0,000
MONTAJE OTO MELARA	7500,000	114940,336	-79636,682	0,000		15,325	-10,618	0,000
MEROKA	4500,000	70827,633	-158417,455	0,000		15,739	-35,204	0,000
LANZADOR MK-13	60280,000	632083,138	2500849,833	0,000		10,486	41,487	0,000
TUBOS LANZATORPEDOS	4020,000	39631,081	-15539,171	0,000		9,858	-3,865	0,000
RADAR DE SUPERFICIE	260,000	8513,549	2755,782	0,000		32,744	10,599	0,000
CONSOLAS MK-92 (CIC)	815,000	10794,976	13810,702	0,000		13,245	16,946	0,000
RAN 12L/X	300,000	8849,749	1607,067	0,000		29,499	5,357	0,000
SRQ-4	64,680	1908,006	757,405	0,000		29,499	11,710	0,000
CIC EQUIPOS	5169,065	57726,205	94013,972	0,000		11,168	18,188	0,000
TOTAL	239724,393	4444305,778	3603859,995	-5697,258				
		KG (m)	LCG (m)	HCG (m)				
		18,539	15,033	-0,024				

MOVIMIENTO DE PESOS

CONCEPTO	MASA (Kg)	MASA x Z (Kg*m)	MASA x X (Kg*m)	MASA x Y (Kg*m)	Z (m)	X (m)	Y (m)
MAMPARO 01-VII	831,527	11865,844	25112,813	-470,794		14,270	30,201	-0,566
MAMPARO 01-VIII	2926,753	41764,585	92156,418	0,000		14,270	31,488	0,000
MAMPAROS 0-II Y 0-III	19556,442	229837,675	-893236,004	0,000		11,753	-45,675	0,000
MAMPARO 0-I	8997,865	105747,683	-479949,288	0,000		11,753	-53,340	0,000
CUBIERTA 01-I	3134,172	36584,472	-143152,597	0,000		11,673	-45,675	0,000
MAMPAROS 0-VII Y 0-VIII	1202,880	15810,389	-48423,687	0,000		13,144	-40,256	0,000
MAMPAROS 0-IV Y 0-V	1202,880	15810,389	-59735,100	0,000		13,144	-49,660	0,000
MAMPARO 0-VI (DOBLEZ)	125,765	1653,032	-5651,458	0,000		13,144	-44,937	0,000
MAMPARO 0-VI	1202,880	15810,389	-54053,261	0,000		13,144	-44,937	0,000
TOTAL	39181,165	474884,457	-1566932,163	-470,794				
		KG (m)	LCG (m)	HCG (m)				
		12,120	-39,992	-0,012				

CONCEPTO	MASA (Kg)	MASA x Z (Kg*m)	MASA x X (Kg*m)	MASA x Y (Kg*m)	Z (m)	X (m)	Y (m)
MAMPARO 01-IX	1841,816	26282,609	53254,388	4206,690		14,270	28,914	2,284
MAMPARO 01-X	685,580	9783,187	20550,249	3519,878		14,270	29,975	5,134
MAMPARO 01-XI	653,929	9331,522	20986,504	2431,431		14,270	32,093	3,718
MAMPARO 01-XII	576,955	8233,112	18865,457	1139,059		14,270	32,698	1,974
MAMPAROS 0-IX Y 0-X	12050,360	141622,221	-676788,363	0,000		11,753	-56,163	0,000
MAMPARO 0-XI	8696,020	102200,234	-513172,912	0,000		11,753	-59,012	0,000
CUBIERTA 02-I	14676,505	214493,888	-824066,530	0,000		14,615	-56,149	0,000
TOTAL	39181,165	511946,772	-1900371,207	11297,058				
		KG (m)	LCG (m)	HCG (m)				
		13,066	-48,502	0,288				

VERIFICACIÓN DIF. MASA=0	0,000

EMBARQUE DE PESOS

CONCEPTO	MASA (Kg)	MASA x Z (Kg*m)	MASA x X (Kg*m)	MASA x Y (Kg*m)	Z (m)	X (m)	Y (m)
CUBIERTA DE BOTES ESRIBOR	7151,580	85522,665	6653,172	38381,691		11,959	0,930	5,367
APOYOS CUBIERTA BOTES ER.	381,846	4080,561	837,880	2529,494		10,686	2,194	6,624
APOYOS CUBIERTA VUELO CASTILLO	2029,177	27286,118	116304,514	0,000		13,447	57,316	0,000
ELEMENTOS AÑADIDOS PUENTE NUEVO	3941,974	52563,631	126119,974	-2431,431		13,334	31,994	-0,617
PESCANTO BOTES ESTRIBOR	925,000	11562,500	-3102,284	4977,851		12,500	-3,354	5,381
CUBIERTA 01-III Y 01-IV	1710,392	22619,598	-26891,030	0,000		13,225	-15,722	0,000
MAMPAROS 01-XIII Y 01-XIV	2784,311	36821,952	-45774,764	0,000		13,225	-16,440	0,000
MAMPAROS 01-XV Y 01 XVI	1151,205	15224,452	-16446,030	0,000		13,225	-14,286	0,000
SEPARACIÓN ASPIRACIÓN/EXTRACCIÓN	2461,934	32558,583	-40914,115	0,000		13,225	-16,619	0,000
APOYOS CUBIERTA VUELO TOLDILLA	2177,927	26406,319	-128437,447	0,000		12,125	-58,972	0,000
CUBIERTA DE VUELO	214298,701	3193436,385	850889,280	0,000		14,902	3,971	0,000
MARGEN NUEVOS SENSORES	2297,920	34243,138	0,000	-41362,552		14,902	0,000	-18,000
TOTAL	241311,966	3542325,902	839239,150	2095,053				
		KG (m)	LCG (m)	HCG (m)				
		14,679	3,478	0,009				

MOVIMIENTO DE PESOS VARIANTE B

CONCEPTO	MASA (Kg)	MASA x Z (Kg*m)	MASA x X (Kg*m)	MASA x Y (Kg*m)	Z (m)	X (m)	Y (m)
CUBIERTA VUELO A	214,2987012	3193,436	850,889	0,000		14,9018	3,970576	0
COMPARTIMENTACIÓN ELIMINADA	708625	10357263,000	-1450555,375	0,000		14,616	-2,047	0
TOTAL	708839,299	10360456,436	-1449704,486	0,000				
		KG (m)	LCG (m)	HCG (m)				
		14,616	-2,045	0,000				

CUBIERTA VUELO B	349708,080	5211279,866	964073,486	0,000		14,902	2,757	0,000
AMPLIACIÓN HANGAR	107224,401	1420312,645	-5947656,468	0,000		13,246	-55,469	0,000
LASTRE	251906,818	409018,581	7338045,598	-20152,545		1,624	29,130	-0,080
TOTAL	708839,299	7040611,092	2354462,616	-20152,545				
		KG (m)	LCG (m)	HCG (m)				
		9,933	3,322	-0,028				

VERIFICACIÓN DIF. MASA=0	0,000

RESULTADOS

CONDICIÓN EN ROSCA ORIGINAL

DESPLAZAMIENTO (Kg)	KG (m)	LCG (m)	HCG (m)
3102210,000	6,290	-4,410	0,000

CONDICIÓN EN ROSCA VARIANTE A

DESPLAZAMIENTO (Kg)	KG (m)	LCG (m)	HCG (m)
3102206,140	6,011	-5,409	0,006

CONDICIÓN EN ROSCA VARIANTE B

DESPLAZAMIENTO (Kg)	KG (m)	LCG (m)	HCG (m)
3102206,140	4,941	-4,182	0,000

ESTABILIDAD TRANSVERSAL PARA KG

W	10	15	20	30	40	50	60	70	80	90
4200	0,17	0,269	0,36	0,585	0,776	0,805	0,705	0,515	0,275	0,06
4100	0,171667	0,2696	0,36	0,580417	0,771417	0,810417	0,720983	0,54325	0,317917	0,11
4000	0,173333	0,2702	0,36	0,575833	0,766833	0,815833	0,736967	0,5715	0,360833	0,16
3900	0,175	0,2708	0,36	0,57125	0,76225	0,82125	0,75295	0,59975	0,40375	0,21
3800	0,176667	0,2714	0,36	0,566667	0,757667	0,826666	0,768933	0,628	0,446667	0,264
3700	0,178333	0,272	0,36	0,562083	0,753084	0,832083	0,784917	0,65625	0,489583	0,315
3600	0,18	0,2726	0,36	0,5575	0,7485	0,8375	0,8009	0,6845	0,5325	0,36899
3500	0,181667	0,2732	0,36	0,552917	0,743917	0,842916	0,816883	0,71275	0,575417	0,42
3400	0,183333	0,2738	0,36	0,548333	0,739334	0,848333	0,832867	0,741	0,618333	0,475
3300	0,185	0,2744	0,36	0,54375	0,73475	0,853749	0,84885	0,76925	0,66125	0,53
3200	0,186667	0,275	0,36	0,539167	0,730167	0,859166	0,864833	0,7975	0,704167	0,59
3100	0,188333	0,2756	0,36	0,534583	0,725584	0,864583	0,880817	0,82575	0,747083	0,646663

Desplazamiento	Nº fila	3									
4000	0	0,173333	0,2702	0,36	0,575833	0,766833	0,815833	0,736967	0,5715	0,360833	0,16
3900	0	0,175	0,2708	0,36	0,57125	0,76225	0,82125	0,75295	0,59975	0,40375	0,21
3964,48714	0	0,173925	0,270413	0,36	0,574206	0,765206	0,817757	0,742643	0,581532	0,376074	0,177756

GZ' CORREGIDO PARA KG'

Grados Escora	0	10	15	20	30	40	50	60	70	80	90
Rad. Escora	0	0,174533	0,261799	0,349066	0,523599	0,698132	0,872665	1,047198	1,22173	1,396263	1,570796
GZ' (m)	0	0,389527	0,587259	0,778701	1,186305	1,552106	1,755548	1,80283	1,731903	1,581675	1,401955

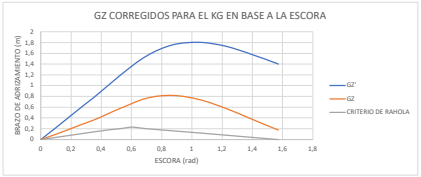
CRITERIO DE RAHOLA

Grados Escora	0	20	30	35	40	90
Rad. Escora	0	0,349066	0,523599	0,610865	0,698132	1,570796
Criterio de Rahola(m)	0	0,14	0,2	0,23	0,2	0

DATOS DE LA CONDICIÓN A CALCULAR

KM	6,81			
KG	5,791	m	GM	1,019 m
KG'	4,566801	m	GM'	2,243199 m
DESPLAZAMIENTO	3964,487	Tm	Dif GM	1,224199 m

CURVA DE ESTABILIDAD GZ' (m)-ESCORA (rad)



CALCULO DE AREAS DE LA CURVA DE ESTABILIDAD

Area (0º-10º) (m^2)	0,034079						
Area (10º-20º) (m^2)	0,102313						
Area (20º-50º) (m^2)	0,703552	Area (20º-40º) (m^2)	0,411667	Area (20º-30º) (m^2)	0,171479		
Area (50º-70º) (m^2)	0,622429	Area total (0º-40º) (m^2)	0,959725	Area total (0º-30º) (m^2)	0,479351	Area total (30º-40º) (m^2)	0,480375
Area (70º-90º) (m^2)	0,550393	Mínimo ICP-03	0,09	Mínimo ICP-03	0,055	Mínimo ICP-03	0,03
Area total (m^2)	2,012766						

PRESUPUESTO PROYECTO DE REFORMA			
TRANSFORMAICÓN DE LA PLATAFORMA	MASA TOTAL (t)	TARIFA COMPRA (+) / VENTA (-) (€/Kg)	VALOR MONETARIO (€)
TRABAJOS DE DESGUACE Y DESMANTELAMIENTO	279	1800	502.030
MASA DE ACERO 'NUEVO'	280	1800	504.888
SOLDADURA	3		10.098
MODIFICACIÓN EQUIPOS Y SERVICIOS			1.544.956
		TOTAL	2.561.972

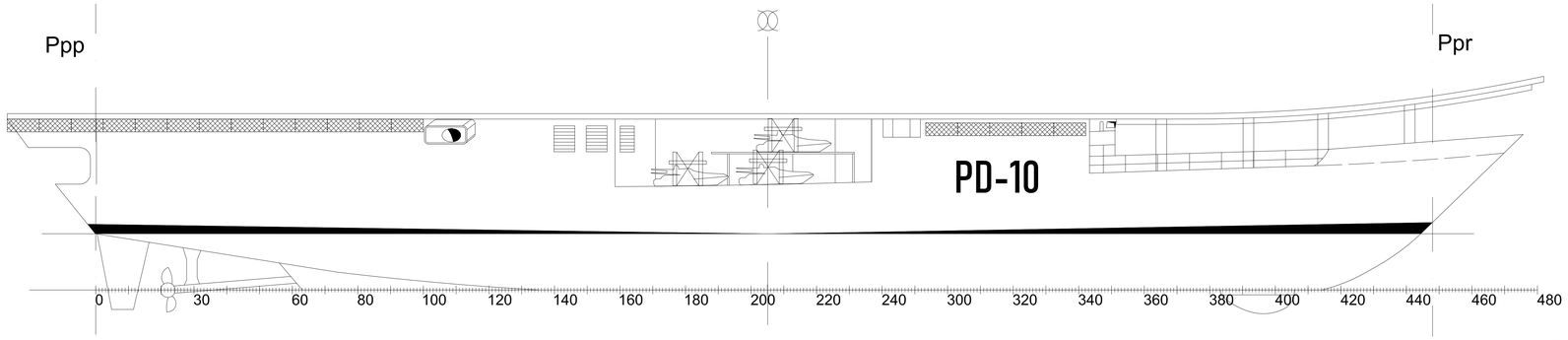
ADAPTACIÓN DE EQUIPOS Y SISTEMAS			PRECIO TOTAL (€)
GRUPO 400: MANDO Y EXPLORACIÓN			5.000.000
GRUPO 700: ARMAS			5.000.000
		TOTAL	10.000.000

SISTEMAS UV	Nº EQUIPOS	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL (€)
STING RAY TORP (27)	27	772531,11	20.858.340
TB2 RPAS III (9)	9	5500000	49.500.000
T-600 (27)	27	4600	124.200
SEAD23 (6)	6	250000	1.500.000
		TOTAL	71.982.540

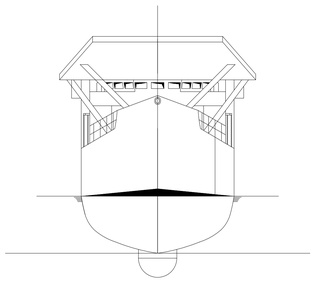
SALARIO MEDIO €/h	HORAS POR UNIDAD PESO h/Tm	COSTE SALARIOS MANO DE OBRA
50	50	708.733

	PRECIO TOTAL (€)
Coste variable	8.525.324
Coste de construcción	93.778.569
Beneficio industrial	28.133.571
Coste de adquisición	121.912.139
Gastos del armador	67.728.966
INVERSIÓN TOTAL	270.915.865

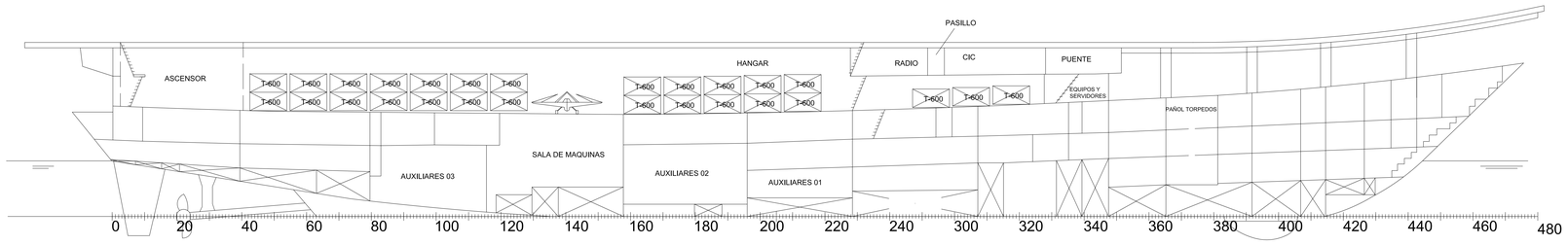
ANEXO IV: DISPOSICIÓN GENERAL DEL BUQUE



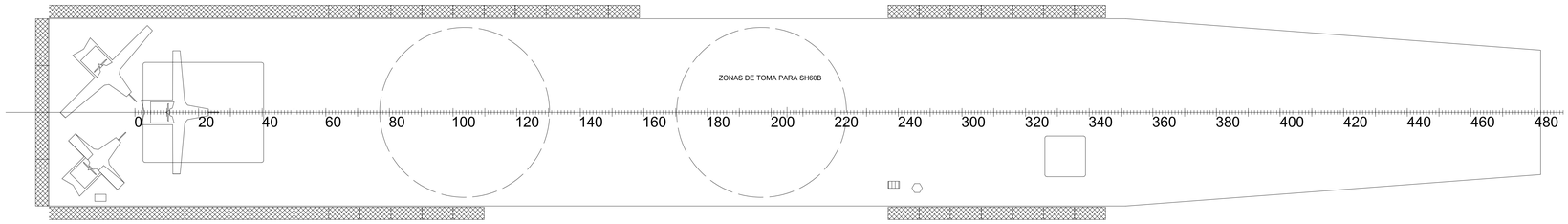
PERFIL



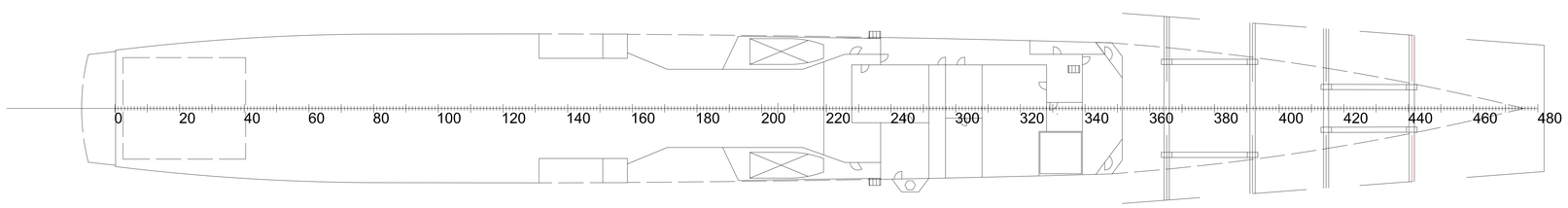
VISTA POR PROA



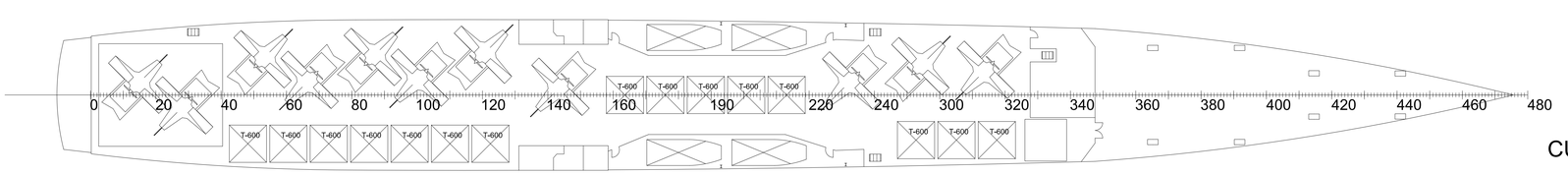
SECCIÓN POR CRUJÍA



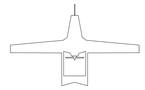
NIVEL 02
(CUBIERTA DE VUELO)



NIVEL 01
(CUBIERTA DE PUENTE)



CUBIERTA PRINCIPAL



Bayraktar TB2

Envergadura .....12,0 m
Longitud ..... 6,5 m
Peso vacío ..... 550,0 kg
Payload .....1500 kg
Autonomía .....27 h

T-600



Volumen=3,5x3,5x1,5 m
Peso en "rosca" estimado=360kg
Payload=276kg
Autonomía=12h

SEAD 23



Eslora ..... 7,0 m
Manga ..... 2,3 m
Puntal ..... 1,2 m
Potencia ..... 250,0 CV
Velocidad máxima ..... 33,0 kn
Peso .....2300,0 kg

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

Eslora total L_{OA} ..... 144,00 m
Eslora entre perpediculares L_{PP} ..... 125,28 m
Manga máxima B_M ..... 18,10 m
Manga de flotación B_{WL} ..... 14,10 m
Francobordo FB ..... 11,25 m
Puntal D ..... 16,52 m
Desplazamiento Δ_r ..... 3102,22 t
Desplazamiento Δ_M ..... 3960,00 t
Desplazamiento Δ_E ..... 3790,00 t
Superfície útil del hangar ..... 927,00 m^2

MINI PORTAAVIONES PD-10		
FECHA:	PLANO DE DISPOSICIÓN GENERAL DE CUBIERTAS AFECTADAS	REV.:
VºBº:		ESCALA:

TFG 52 2023-2024:DISEÑO CONCEPTUAL DEL MINI PORTAAVIONES