

Estudio de la evolución técnica de los veleros a lo largo de la historia

Trabajo Final de Máster



Facultat de Nàutica de Barcelona
Universitat Politècnica de Catalunya

Trabajo realizado por:
María del Mar Fuentes Sánchez

Dirigido por:
Benjamín Pleguezuelos Casino
Marcel·la Castells Sanabra

Máster en Ingeniería Naval y Oceánica

Barcelona, 8 de octubre 2019

Departamento de Ciencia e Ingeniería Náutica y Departamento de Proyectos Arquitectónicos



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH
Facultat de Nàutica de Barcelona



Agradecimientos

Me gustaría mencionar especialmente a los profesores Benjamín Pleguezuelos y Marcel·la Castells, como tutor y co-tutora del trabajo, por su dedicación, apoyo y trato recibido a lo largo de la realización de este. A su vez, quisiera agradecerles toda la ayuda y consejos recibidos durante estos meses. Con sus explicaciones y aclaraciones he conseguido adquirir nuevos conocimientos sobre la evolución que han experimentado los veleros, los materiales y las técnicas de construcción naval que se han desarrollado a lo largo de la historia.

También, mi agradecimiento al personal de la Biblioteca del Museo Marítimo de Barcelona por su ayuda y amabilidad en la búsqueda de materiales bibliográficos relacionados con el contenido del trabajo.

Por último, quisiera agradecer a todos los profesores que he tenido a lo largo de estos dos cursos del Máster en Ingeniería Naval y Oceánica por transmitirnos sus conocimientos y experiencia.

Resumen

La navegación marítima ha sido un factor de gran relevancia para el desarrollo de las sociedades a lo largo de la historia. Para ello, fue necesario la construcción de embarcaciones que se adaptaran a las circunstancias y necesidades de cada momento. Por este motivo, la evolución de la construcción naval siempre ha estado íntimamente relacionada con la evolución de la sociedad.

Desde el Antiguo Egipto hasta la actualidad los barcos han experimentado una gran variedad de modificaciones relativas a sus formas, tamaños, funciones y sistema de propulsión que derivaron en la construcción de una gran variedad de barcos. Al mismo tiempo, estos barcos también estaban sujetos a otros factores como la situación geográfica. Este hecho se debe a que dependiendo de las condiciones marítimas de esta (navegación fluvial u oceánica, corrientes marítimas, viento...) los requisitos que debía presentar el barco discrepaban.

Entre los tipos de barcos construidos encontramos a los veleros. Esta clase de embarcaciones constituyó el único medio de transporte por vía marítima durante gran parte de la historia. A raíz de su elevada utilización, este conjunto de barcos ha experimentado una gran evolución a lo largo de los años. De manera que, dependiendo de la época y de la situación geográfica, podemos apreciar un gran número de veleros con diversidad de formas, aparejos, tamaños, usos, entre otros.

De manera simultánea a la evolución de los veleros, también tuvo lugar el desarrollo de los materiales utilizados para su construcción. Con el paso de los años, se fueron adquiriendo mayores conocimientos a la vez que se produjeron avances tecnológicos que permitieron la construcción de barcos con mejores prestaciones en el mar. Del mismo modo que los materiales, las técnicas constructivas ideadas para la construcción de los veleros también experimentaron un gran progreso.

Este trabajo se centra en el estudio de la obra viva y obra muerta que presentaban los veleros, los materiales que se empleaban en cada una de las épocas estudiadas para su construcción y las distintas técnicas utilizadas a lo largo de la historia para su construcción. Concretamente, aquellos que se han decidido estudiar y de los que se han realizado un modelo de sus respectivos cascos en 3D son los que se desarrollaron en las siguientes épocas: Edad Antigua (barca de Keops), Edad Media (Gokstad, el barco del tesoro de Zheng He y la nao Santa María), Edad Moderna (navíos de línea) y Edad Contemporánea (Cutty Sark y el velero de competición Azzam).

Abstract

Maritime navigation has been a major factor in the development of societies throughout history. To do this, it was required the construction of vessels that adapted to the circumstances and needs of each moment. For this reason, the evolution of shipbuilding has always been closely related to the evolution of society.

From Ancient Egypt until now, vessels have undergone a wide variety of modifications related to their forms, dimensions, functions and propulsion systems that resulted in the construction of a great variety of boats. At the same time, these ships were also subject to other factors such as geographical location. This fact is caused because depending on the maritime conditions of the zone (inland waterway or ocean navigation, ocean currents, wind...) the requirements to be met by the vessel differed.

Among the types of ships built we find the sailing vessels. This type of vessel was the only means of transport by sea for much of history. Due to her high use, this group of vessels has experienced a great evolution over the years. Therefore, depending on the era and geographical location, we can appreciate a large number of sailing vessels with diversity of shapes, rigging, dimensions, functions, among others.

In parallel with the evolution of the sailing vessels, the development of the materials used for their construction also took place. With the passage of the years, greater knowledge was acquired at the same time that technological advances were produced. As a result, those advances allowed the construction of better-performing ships at sea. In the same way as materials, the construction techniques devised for shipbuilding also experienced great progress.

This project focuses on the study of the living work and dead works presented by sailing vessels, the materials used in each of the periods studied for their construction and the different techniques adopted throughout history for their construction. Specifically, those who have decided to study and of those who have made a model of their respective 3D hulls are those who developed in the following eras: Ancient Age (Keops boat), Middle Ages (Gokstad, Zheng He's treasure ship and the nao Santa María), Modern Age (ship of line) and Contemporary Age (Cutty Sark and the racing sailboat Azzam).

Tabla de contenidos

AGRADECIMIENTOS	III
RESUMEN	V
ABSTRACT	VI
TABLA DE CONTENIDOS	VII

INTRODUCCIÓN	1
---------------------	----------

CAPÍTULO 1. ANTIGUO EGIPTO: BARCA DE KEOPS	3
---	----------

1.1 CONTEXTO HISTÓRICO	3
1.2 DIMENSIONES PRINCIPALES	6
1.3 CARACTERÍSTICAS DE LA OBRA VIVA Y OBRA MUERTA	9
1.3.1 CARACTERÍSTICAS DE LA OBRA VIVA	9
1.3.2 CARACTERÍSTICAS DE LA OBRA MUERTA	11
1.4 PROCESO DE REALIZACIÓN DEL MODELO DEL CASCO EN 3D	14
1.4.1 DESARROLLO DEL CASCO EN 3D CON AUTOCAD®	14
1.4.2 MODELADO DEL CASCO EN 3D CON RHINOCEROS®	16
1.5 MATERIALES Y TÉCNICAS DE CONSTRUCCIÓN NAVAL	18
1.5.1 MATERIALES UTILIZADOS EN LA CONSTRUCCIÓN	18
1.5.2 TÉCNICAS DE CONSTRUCCIÓN	19

CAPÍTULO 2. ÉPOCA VIKINGA: GOKSTAD	23
---	-----------

2.1 CONTEXTO HISTÓRICO	23
2.2 DIMENSIONES PRINCIPALES	24
2.3 CARACTERÍSTICAS DE LA OBRA VIVA Y OBRA MUERTA	26
2.3.1 CARACTERÍSTICAS DE LA OBRA VIVA	26
2.3.2 CARACTERÍSTICAS DE LA OBRA MUERTA	28
2.4 PROCESO DE REALIZACIÓN DEL MODELO DEL CASCO EN 3D	31
2.4.1 DESARROLLO DEL CASCO EN 3D CON AUTOCAD®	31
2.4.2 MODELADO DEL CASCO EN 3D CON RHINOCEROS®	33
2.5 MATERIALES Y TÉCNICAS DE CONSTRUCCIÓN NAVAL	35
2.5.1 MATERIALES UTILIZADOS EN LA CONSTRUCCIÓN	35
2.5.2 TÉCNICAS DE CONSTRUCCIÓN	37

CAPÍTULO 3. JUNCOS CHINOS: BARCO DEL TESORO DE ZHENG HE **41**

3.1 CONTEXTO HISTÓRICO	41
3.2 DIMENSIONES PRINCIPALES	44
3.3 CARACTERÍSTICAS DE LA OBRA VIVA Y OBRA MUERTA	46
3.3.1 CARACTERÍSTICAS DE LA OBRA VIVA	47
3.3.2 CARACTERÍSTICAS DE LA OBRA MUERTA	49
3.4 PROCESO DE REALIZACIÓN DEL MODELO DEL CASCO EN 3D	52
3.4.1 DESARROLLO DEL CASCO EN 3D CON AUTOCAD®	53
3.4.2 MODELADO DEL CASCO EN 3D CON RHINOCEROS®	55
3.5 MATERIALES Y TÉCNICAS DE CONSTRUCCIÓN NAVAL	57
3.5.1 MATERIALES UTILIZADOS EN LA CONSTRUCCIÓN	58
3.5.2 TÉCNICAS DE CONSTRUCCIÓN	59

CAPÍTULO 4. SIGLOS XV-XVI: NAO SANTA MARÍA **61**

4.1 CONTEXTO HISTÓRICO	61
4.2 DIMENSIONES PRINCIPALES	63
4.3 CARACTERÍSTICAS DE LA OBRA VIVA Y OBRA MUERTA	66
4.3.1 CARACTERÍSTICAS DE LA OBRA VIVA	66
4.3.2 CARACTERÍSTICAS DE LA OBRA MUERTA	70
4.4 PROCESO DE REALIZACIÓN DEL MODELO DEL CASCO EN 3D	74
4.4.1 DESARROLLO DEL CASCO EN 3D CON AUTOCAD®	74
4.4.2 MODELADO DEL CASCO EN 3D CON RHINOCEROS®	76
4.5 MATERIALES Y TÉCNICAS DE CONSTRUCCIÓN NAVAL	78
4.5.1 MATERIALES UTILIZADOS EN LA CONSTRUCCIÓN	78
4.5.2 TÉCNICAS DE CONSTRUCCIÓN	80

CAPÍTULO 5. SIGLOS XVII-XVIII: NAVÍO DE LÍNEA DE 60 CAÑONES **83**

5.1 CONTEXTO HISTÓRICO	83
5.2 DIMENSIONES PRINCIPALES	86
5.3 CARACTERÍSTICAS DE LA OBRA VIVA Y OBRA MUERTA	88
5.3.1 CARACTERÍSTICAS DE LA OBRA VIVA	89
5.3.2 CARACTERÍSTICAS DE LA OBRA MUERTA	94
5.4 PROCESO DE REALIZACIÓN DEL MODELO DEL CASCO EN 3D	105
5.4.1 DESARROLLO DEL CASCO EN 3D CON AUTOCAD®	105
5.4.2 MODELADO DEL CASCO EN 3D CON RHINOCEROS®	107
5.5 MATERIALES Y TÉCNICAS DE CONSTRUCCIÓN NAVAL	110
5.5.1 MATERIALES UTILIZADOS EN LA CONSTRUCCIÓN	111
5.5.2 TÉCNICAS DE CONSTRUCCIÓN	113

CAPÍTULO 6. SIGLO XIX – PRINCIPIOS DEL SIGLO XX: CLÍPER CUTTY SARK	119
6.1 CONTEXTO HISTÓRICO	119
6.2 DIMENSIONES PRINCIPALES	122
6.3 CARACTERÍSTICAS DE LA OBRA VIVA Y OBRA MUERTA	125
6.3.1 CARACTERÍSTICAS DE LA OBRA VIVA	125
6.3.2 CARACTERÍSTICAS DE LA OBRA MUERTA	128
6.4 PROCESO DE REALIZACIÓN DEL MODELO DEL CASCO EN 3D	132
6.4.1 DESARROLLO DEL CASCO EN 3D CON AUTOCAD®	132
6.4.2 MODELADO DEL CASCO EN 3D CON RHINOCEROS®	134
6.5 MATERIALES Y TÉCNICAS DE CONSTRUCCIÓN NAVAL	137
6.5.1 MATERIALES UTILIZADOS EN LA CONSTRUCCIÓN	137
6.5.2 TÉCNICAS DE CONSTRUCCIÓN	140
CAPÍTULO 7. SEGUNDA MITAD SIGLO XX – SIGLO XXI: VELERO DE COMPETICIÓN AZZAM	143
7.1 CONTEXTO HISTÓRICO	143
7.2 DIMENSIONES PRINCIPALES	145
7.3 CARACTERÍSTICAS DE LA OBRA VIVA Y OBRA MUERTA	148
7.3.1 CARACTERÍSTICAS DE LA OBRA VIVA	149
7.3.2 CARACTERÍSTICAS DE LA OBRA MUERTA	155
7.4 PROCESO DE REALIZACIÓN DEL MODELO DEL CASCO EN 3D	160
7.4.1 DESARROLLO DEL CASCO EN 3D CON AUTOCAD®	160
7.4.2 MODELADO DEL CASCO EN 3D CON RHINOCEROS®	162
7.5 MATERIALES Y TÉCNICAS DE CONSTRUCCIÓN NAVAL	164
7.5.1 MATERIALES UTILIZADOS EN LA CONSTRUCCIÓN	165
7.5.2 TÉCNICAS DE CONSTRUCCIÓN	168
CAPÍTULO 8: COMPARATIVA DE LOS VELEROS ANALIZADOS	175
CONCLUSIONES	185
BIBLIOGRAFÍA	189
WEBGRAFÍA	193

Introducción

El objetivo principal de este Trabajo de Final de Máster consiste en el estudio de la evolución histórica que han desarrollado los veleros. En él se realiza un análisis del diseño y las formas de los veleros estudiados, el cual engloba la obra viva y la obra muerta de estos, y se ha elaborado un modelo del casco de los barcos analizados en 3D. De este modo, se puede realizar una comparación de su evolución a lo largo de los tiempos. A su vez, se determinan los materiales y las técnicas que se han desarrollado para la construcción de los veleros en cada una de las épocas estudiadas.

A lo largo del máster se han estudiado las características y propiedades técnicas que presentan los veleros y que deben tenerse en consideración durante la fase de diseño de estos. Por esta razón, la motivación por la que he decidido realizar este trabajo consiste en ampliar mis conocimientos sobre este tipo de embarcaciones, las cuales constituyen el primer medio de transporte por vía marítima y uno de los más utilizados a lo largo de la historia.

La evolución que los veleros han experimentado con el paso del tiempo ha sido objeto de numerosos estudios. En el caso de los veleros más antiguos, estos estudios se han realizado a partir de hallazgos arqueológicos como pinturas decorativas en paredes, objetos o incluso a través de pecios encontrados. Al mismo tiempo, hay otras investigaciones que están basadas en las anotaciones presentes en documentos de la época del barco analizado. Cabe indicar que estos análisis se pueden llevar a cabo desde varios puntos de vista: a niveles meramente artísticos, del diseño, desde un punto de vista más técnico estudiando la construcción y diseño de los veleros, entre otros.

Debido al gran número de diseños que ha experimentado este tipo de barcos y a la dificultad de encontrar planos de formas correspondientes a estos barcos que fuesen veraces, este trabajo se ha centrado en el estudio de los aspectos mencionados anteriormente relativos a las siguientes épocas: Edad Antigua, Edad Media, Edad Moderna y Edad Contemporánea.

Durante la elaboración de este trabajo, se han consultado diversas fuentes de información relacionadas con los diferentes tipos de veleros que han sido construidos en cada una de las épocas históricas estudiadas y también los materiales y las técnicas utilizados para la construcción de este tipo de barcos. Esta información se ha extraído de diversas fuentes electrónicas, libros consultados en la Biblioteca del

Museo Marítimo de Barcelona, artículos técnicos relacionados con los aspectos analizados y apuntes de determinadas asignaturas cursadas durante el máster.

Este proyecto se ha desarrollado en diversas etapas. La primera de ellas se centraba en la búsqueda de información relativa a los diversos tipos de veleros originados a lo largo de la historia. De esta manera, con la información obtenida se procedía a especificar el alcance del trabajo y la definición del índice. La segunda etapa consistía en la elaboración de los planos y modelos en tres dimensiones de los cascos de los veleros estudiados. La tercera etapa del presente proyecto se centraba en el desarrollo del primer borrador del trabajo. Finalmente, la última etapa se basaba en la revisión del borrador y en la realización de las modificaciones pertinentes para así poder mejorarlo.

Capítulo 1. Antiguo Egipto: Barca de Keops

1.1 Contexto histórico

A partir de diversos hallazgos arqueológicos, urnas de arcilla, pecios, pinturas, entre otros, se puede establecer que durante el periodo del Antiguo Egipto (3150 a. C – 332 a. C) se construyeron las primeras embarcaciones propulsadas a través de velas. Debido a las limitaciones que presentaba la comunicación terrestre, la navegación por el río Nilo constituyó la principal vía de comunicación para esta civilización (González 2015). El Nilo, gracias a su elevado cauce, fue un elemento relevante para la navegación a lo largo de su amplia extensión y para el desarrollo de diversos tipos de embarcaciones, los cuales se diferenciaban entre sí por el material empleado para su construcción y la función que debían desempeñar. Estos primeros barcos se utilizaron para el transporte de personas o mercancías, tanto a cortas como a largas distancias, para la pesca, navegación de recreo, a la vez que algunas de ellas se utilizaban para fines religiosos. Un ejemplo de estas últimas es la barca funeraria de Keops, la cual se analizará con más detalle en los próximos apartados.

En las siguientes imágenes se pueden observar algunas representaciones de estas embarcaciones halladas en expediciones arqueológicas realizadas. La Figura 1 es una copia de un papiro encontrado en el templo de la reina-faraón Hatshepust (perteneciente a la dinastía XVIII, Imperio Nuevo) en Deir el-Bahari, Egipto, en el que se representa un navío utilizado para la navegación por alta mar hacia el país de Punt¹. En la Figura 2 se muestra una pequeña embarcación elaborada con papiro que se utilizaba para la caza y la pesca por las marismas del Nilo. Esta pintura fue hallada en la tumba de Nebamun (perteneciente a la dinastía XVIII, Imperio Nuevo) en Tebas, Egipto.

¹ El país de Punt fue un territorio de gran riqueza durante el Antiguo Egipto y del que actualmente no se conoce su situación geográfica exacta. A partir de las representaciones e información obtenida por medio de los hallazgos arqueológicos se estima que Punt estaba situado en las proximidades del Mar Rojo y de la costa africana cercana al Océano Índico. Regiones en las que en la actualidad se encuentran los países de Sudán, Eritrea, Etiopía, Djibuti y Somalia.

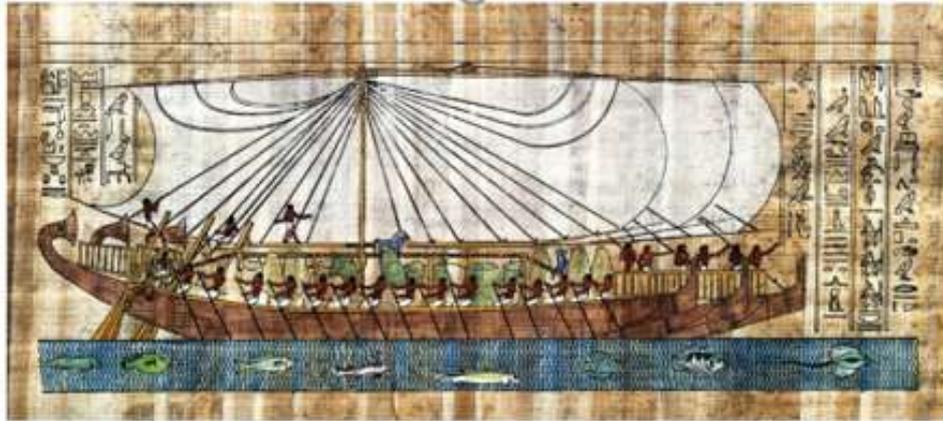


Figura 1. Navío egipcio utilizado para la expedición hacia Punt

Fuente. National Geographic



Figura 2. Bote de papiro utilizado para la caza y pesca

Fuente. National Geographic

Durante el Imperio Antiguo, el cual está comprendido entre el año 2700 a. C y el año 2250 a. C, además de la navegación fluvial por el Nilo los egipcios empezaron a navegar por el Mar Rojo y el Mar Mediterráneo hacia lugares como Biblos (ciudad ubicada actualmente en el Líbano), Chipre o Somalia. De esta manera, establecieron rutas marítimas comerciales con el fin de obtener materias primas, como madera de cedro, minerales, marfil, incienso, entre otros. Por este motivo, en el transcurso del Antiguo Egipto aparecieron las primeras embarcaciones oceánicas, las cuales se conocen con el nombre de “Barcos de Biblos” (*Byblos Boats*) (Gilbert 2008). Este tipo de navíos requerían un amplio conocimiento del comportamiento de estos en el mar, a la vez que presentaban unos requisitos técnicos elevados en comparación con las embarcaciones dedicadas a la navegación fluvial.

1.2 Dimensiones principales

El barco que se analizará a lo largo de este capítulo es la barca de Keops, también conocido como barca solar de Keops o el Barco Real. Este presenta una relevada importancia debido al óptimo estado de conservación de las piezas de madera que lo configuran cuando fue hallado y a que constituye uno de los barcos más antiguos de los que se tiene constancia. Este barco fue construido para el faraón Keops que pertenecía a la dinastía IV, la cual se desarrolló durante el Imperio Antiguo. En la tabla siguiente se muestran los distintos periodos en los que se divide el Imperio Antiguo.

BC	THE THIRTY-ONE DYNASTIES	BC	OLD KINGDOM	BC	THIRD & FOURTH DYNASTIES (principal rulers)
3150	Prehistory (Naqada II c. 3400)	2700		2700	
2700	Archaic Period Dyn. 1 and 2		Third Dynasty		Zoser (reigned 19 yrs.)
2250	Old Kingdom Dyn. 3-6	2630			
2035	1st Intermediate Period		Fourth Dynasty		Huni (24 yrs.)
1668	Middle Kingdom Dyn. 11-13	2520		2630	
1550	2nd Intermediate Period		Fifth Dynasty		Sneferu (24 yrs.) Cheops (23 yrs.) Djedefre (8 yrs.) Chephren (? 25 yrs.) Mycerinus (28 yrs.) Shepseskaf (5 yrs.) Khentkawes (?)
946	New Kingdom Dyn. 18-20	2400			
	Late Dynastic Period Dyn. 21-31		Sixth Dynasty		
332		2250		2520	

Tabla 1. Tabla cronológica de las dinastías en las que se divide el periodo del Antiguo Egipto

Fuente. The Boat Beneath the Pyramid. King Cheops' Royal Ship

Esta barca solar² fue hallada en el año 1954 en una de las dos zanjas encontradas situadas en la parte sur de la Gran Pirámide de Guiza por el arqueólogo Kamal el-Mallakh y se encontraba totalmente

² Las barcas solares eran embarcaciones que pertenecían al ajuar funerario de faraones y altos cargos dignatarios cuya función era exclusivamente funeraria. Muchas de estas barcas, después de ser utilizadas en el rito funerario, eran desensambladas y enterradas en las proximidades de la tumba del faraón o dignatario al que pertenecía. Sin embargo, otras eran enterradas íntegramente.

desensamblada. Estas zanjas estaban selladas y cubiertas por grandes bloques rectangulares de piedra caliza que permitieron conservar en excelentes condiciones las piezas de madera y materiales necesarios para la construcción del barco situados en su interior. Una de estas zanjas fue debidamente abierta y de ella se extrajeron 1224 piezas (Jenkins 1980), las cuales estaban dispuestas en su lugar correspondiente del casco, y demás materiales con los que se reconstruyó el barco funerario de Keops.

La imagen de la izquierda fue una de las primeras fotografías que se realizaron del interior de la zanja cuando aún no estaba totalmente abierta. En ella se puede apreciar el buen estado de conservación de las maderas. Mientras que en la imagen de la derecha se ofrece la vista del interior después de que se retiraran los bloques de piedra caliza. En la imagen queda reflejado cómo estaban dispuestas las distintas piezas y elementos que forman parte del barco.

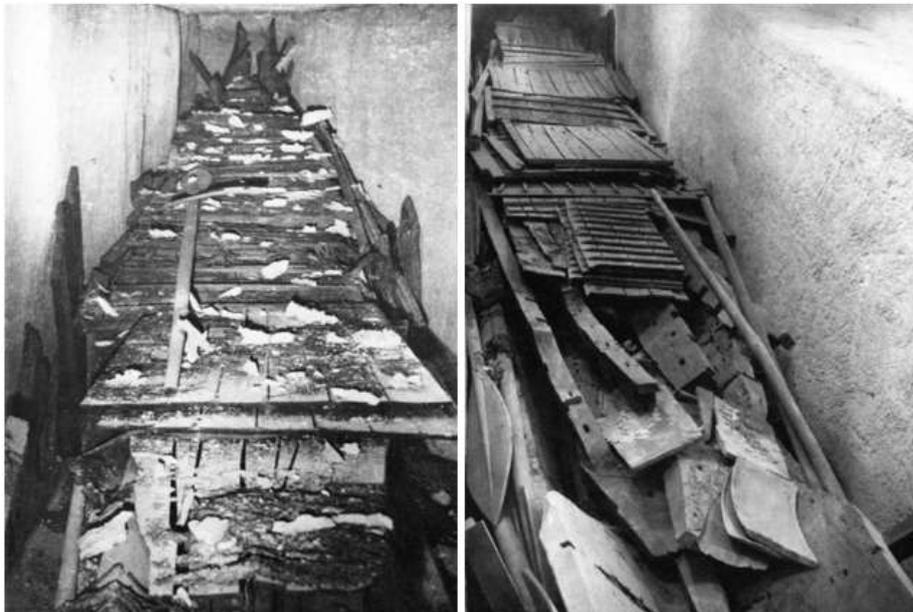


Figura 5. Fotografías del interior de la zanja con la disposición de las piezas que integran la barca de Keops

Fuente. The Boat Beneath the Pyramid. King Cheops' Royal Ship

El proceso de reconstrucción de la barca de Keops fue llevado a cabo por Hag Ahmed Youssef Moustafa, Restaurador Jefe del Departamento de Antigüedades Egipcias (actualmente es el Ministerio de Antigüedades de Egipto). Debido a la gran complejidad que presentó la reconstrucción de esta embarcación, la cual se desarrolló a lo largo de 13 años, queda patente los elevados conocimientos que existían en la época del Antiguo Egipto en relación a la construcción de grandes embarcaciones a vela con las que se podía desarrollar una navegación tanto fluvial como oceánica.

Esta embarcación, la cual se estima que fue utilizada únicamente durante el rito funerario del faraón Keops, está expuesta actualmente en el Museo de la barca de Keops ubicado en el emplazamiento original, en la parte sur de la Pirámide de Keops. En la siguiente imagen se puede observar la barca solar

de Keops una vez finalizada la tarea de ensamblaje de las piezas y la correcta disposición de los elementos que la configuran.



Figura 6. Barca solar de Keops

Fuente. The Boat Beneath the Pyramid. King Cheops' Royal Ship

En la Tabla 2 mostrada a continuación, se indican las dimensiones principales que presenta esta embarcación (Lipke 1984).

Dimensiones principales de la barca de Keops	
Eslora sin los postes de proa y popa	43,32 m
Eslora total (L.O.A)	43,63 m
Manga máxima (22,45 m a popa de la perpendicular de proa)	5,66 m
Altura vertical por encima de las planchas del fondo en la manga máxima	1,78 m
Altura del tope del poste de popa por encima de las planchas del fondo en la manga máxima	7,50 m
Altura del tope del poste de proa por encima de las planchas del fondo en la manga máxima	6,81 m
Calado en la manga máxima	1,48 m
Francobordo en la manga máxima	0,30 m
Desplazamiento en rosca	50 toneladas
Peso Muerto	150 toneladas

Tabla 2. Dimensiones principales de la barca solar de Keops

Fuente. The Royal Ship of Cheops

1.3 Características de la obra viva y obra muerta

En relación con las características que presentaban la obra viva y la obra muerta de las embarcaciones construidas durante el Antiguo Egipto, estas variaban en función del tipo de embarcación. Tal y como se ha comentado anteriormente, a lo largo de los distintos periodos del Antiguo Egipto fueron ideados y construidos diferentes tipos de navíos. Estos, además de las discrepancias relativas a los materiales y técnicas de construcción empleados, también diferían entre ellos en cuanto a la forma del casco y a los medios de propulsión que disponían.

A continuación, se describirán más detalladamente las peculiaridades de la obra viva y la obra muerta que presentaban los distintos tipos de barcos que se construyeron durante este periodo de la historia.

1.3.1 Características de la obra viva

A lo largo de los distintos periodos en los que se divide el Antiguo Egipto se pueden diferenciar principalmente tres tipos de embarcaciones (Jenkins 1980). El primer tipo de embarcaciones son pequeñas barcas elaboradas con cañas de papiro. Estas embarcaciones constituían las más sencillas, eran ligeras y se utilizaban con fines recreativos o para actividades como la caza o la pesca. Al mismo tiempo, estas eran empleadas para la navegación y el desplazamiento de los pescadores y agricultores por las marismas del río. Este tipo de barco no sufrió grandes modificaciones técnicas con el paso del tiempo, en virtud a que estos se siguen utilizando en la actualidad por parte de pescadores en lugares como Etiopía, concretamente en el lago Tana.

Estos esquifes de papiro se caracterizaban por presentar un casco con una eslora variable, pero siempre de dimensiones pequeñas, y un calado reducido en comparación con su francobordo. Al estar formadas por la unión de paquetes de cañas de papiro no disponían de quilla. De este modo, el fondo central del casco de estas barcas era plano, lo que conllevaba que sus secciones tuvieran forma de U. Como consecuencia de este diseño, estas barcas presentaban una mayor superficie mojada, mayor volumen en las líneas de agua inferiores, menor manga en flotación (incrementando así la inestabilidad) y un comportamiento en el agua más deficiente que el correspondiente a embarcaciones con quilla ya que presentaban una menor reserva de flotabilidad. Sin embargo, dado que las aguas del río Nilo son calmadas, este tipo de embarcaciones no requerían grandes requisitos técnicos.

En la página siguiente se muestran dos imágenes en las cuales se aprecian dos esquifes de papiro de esloras distintas.

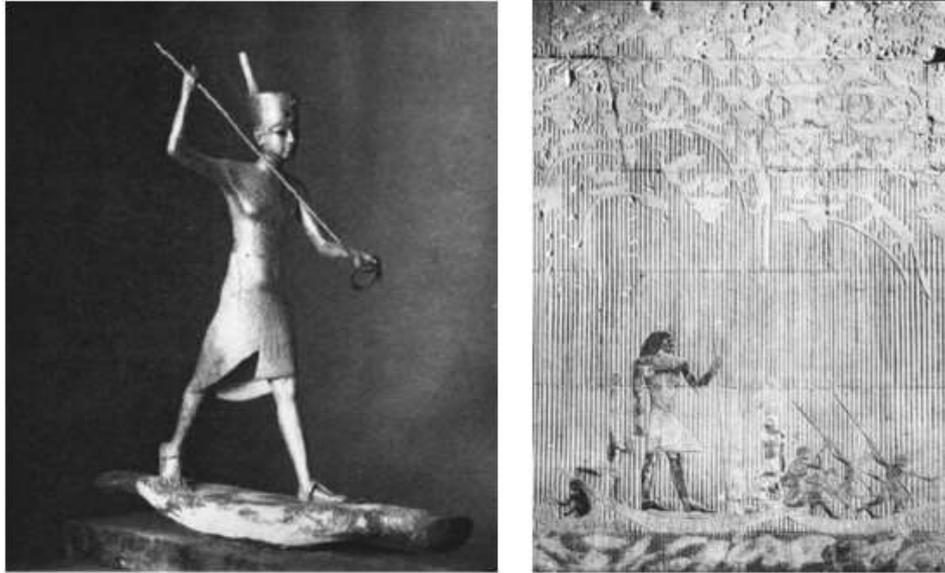


Figura 7. Barcas de papiro

Fuente. The Boat Beneath the Pyramid. King Cheops' Royal Ship

El segundo tipo de embarcaciones eran barcos de madera, los cuales se caracterizaban por ser más estables que las barcas de papiro y podían alcanzar velocidades superiores. Estos barcos, a diferencia de los anteriores, estaban diseñados para la navegación y el transporte por el Nilo. Posteriormente, cuando estas fueron más robustas, también se utilizaron para viajes de mayor distancia como por ejemplo hacia el Mar Mediterráneo y el Mar Rojo.

Al igual que en el caso de las barcas de papiro, los barcos de madera presentaban un casco con fondo plano. A diferencia de los navíos de papiro, estos presentaban unas planchas fijadas en la parte central del fondo del casco a lo largo de toda su longitud que hacían de quilla. Por esta razón, las secciones transversales del casco tenían forma de U.

El tercer tipo de embarcaciones, del que se tiene constancia desde el Imperio Antiguo, son barcos con forma de papiro construidos principalmente para fines religiosos. Concretamente, para el desplazamiento de los faraones o miembros de relevada importancia o bien para algunos cultos funerarios. Un ejemplo de este tipo de barcos es la barca solar de Keops.

Estos barcos disponían de un casco con formas finas, las cuales eran similares a las que presentaban las barcas de cañas de papiro, pero eran construidas con las mismas técnicas y materiales que los barcos de madera. Debido a ello, se determina que estos son una evolución de los barcos de madera a pesar de tener formas similares a las barcas de cañas de papiro. Las formas que adoptaban estos barcos se mantuvieron sin grandes cambios durante todo el periodo del Antiguo Egipto.

En relación al casco, estas embarcaciones se caracterizaban por presentar un calado reducido mientras que el francobordo era de mayor magnitud. Del mismo modo que en las embarcaciones anteriores, sus

secciones tenían forma de U a causa de la plancha central dispuesta en el fondo que hacía de quilla. Como consecuencia de este diseño del casco, estos barcos presentaban una mayor superficie mojada, eran más susceptibles al pantocazo y disponían de una menor reserva de flotabilidad. Estos aspectos afectaban al comportamiento que desempeñaban en el mar. Sin embargo, estas presentaban mejores prestaciones que las correspondientes a las barcas de cañas de papiro.

En la Figura 8 se puede observar el casco de la barca de Keops, en la que se aprecia la plancha central que recorre toda la longitud del casco del barco y que hacía de quilla.



Figura 8. Detalle del casco de la barca funeraria de Keops
Fuente. The Boat Beneath the Pyramid. King Cheops' Royal Ship

1.3.2 Características de la obra muerta

Al igual que en el caso de la obra viva, la obra muerta también presentaba algunas discrepancias en función del tipo de embarcación y al sistema de propulsión que disponían.

En relación a la elevación de la proa y de la popa respecto a la línea de flotación, en las barcas de papiro variaba según las dimensiones de la misma. En algunos casos, especialmente en las de menor eslora, el ángulo que trazaba la roda en su intersección con el plano de flotación era elevado. A diferencia de estas, las embarcaciones de papiro de mayor longitud, los barcos de madera y los barcos con forma de papiro presentaban un casco en el que tanto la proa como la popa estaban situadas muy por encima de la línea de flotación. Las ventajas que presentaba esta forma del casco consistían en que facilitaba la varada y el amarre en la orilla, evitando del mismo modo varadas en el río. A su vez, al presentar un mayor ángulo de la roda en su intersección con el plano de flotación, se conseguía una disminución del cabeceo y del embarque de agua.

Al mismo tiempo, a partir de las pinturas halladas en las expediciones arqueológicas y a los barcos que se han encontrado de esta época, se ha observado que en los barcos con forma de papiro y en los de madera la forma en que se elevaban los postes de proa y de popa variaban. El poste de proa se elevaba de manera perpendicular al agua y con una altura respecto a la línea de flotación elevada, mientras que el de popa trazaba una curvatura hacia las aletas del barco. Estas formas se mantuvieron sin cambios hasta el Imperio Nuevo, momento en el que ambos postes de proa y popa pasaron a estar ambos curvados.

En las siguientes imágenes se muestra esta característica que presentaba el casco de estos barcos, concretamente el de la barca de Keops.

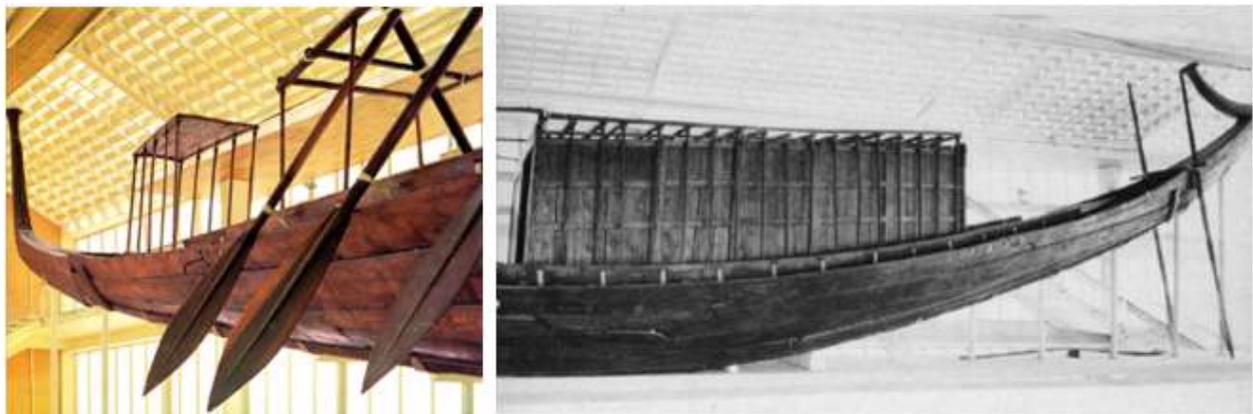


Figura 9. Detalle de las formas de proa y popa de la barca de Keops

Fuente. The Boat Beneath the Pyramid. King Cheops' Royal Ship

En cuanto al sistema de propulsión que presentaban los barcos del Antiguo Egipto, como se ha mencionado anteriormente, también presentaban algunas diferencias entre ellos. En el caso de los esquifes de papiro, los que tenían una mayor eslora disponían de un sistema de propulsión que consistía en un mástil doble. Este se caracterizaba por estar compuesto por dos palos independientes que se unían entre sí en la parte superior formando un triángulo. Este sistema, el cual disponía de una jarcia específica, fue desarrollado especialmente para los barcos más frágiles ya que, al producirse una distribución de la presión correspondiente al mástil y a las grandes velas cuadradas que llevaban, se evitaba la rotura de las cañas de papiro.

En el caso de los grandes navíos que se construyeron para la navegación oceánica, estos eran propulsados por un sistema mixto, es decir, por remos y velas. En relación a estas últimas, al igual que en el caso de las barcas de papiro, durante el Imperio Antiguo los veleros egipcios disponían de un mástil doble. Sin embargo, como consecuencia de los grandes avances técnicos que se introdujeron a lo largo del Imperio Medio, los nuevos navíos pasaron a tener un único mástil en el que se situaba una vela cuadrada sujeta por dos vergas. Más adelante, durante el Imperio Nuevo, el mástil pasó a ser de

menor tamaño para que el casco pudiera soportar mejor su peso, a la vez que la vela cuadrada incrementó también su extensión.

Otra mejora que se introdujo en este periodo consistió en la colocación de un solo remo en la popa del barco, el cual actuaba como un timón. Además de este, en los costados de los barcos iban instalados numerosos remos que se utilizaban como medios de propulsión. A diferencia de estos, los grandes navíos construidos en las épocas anteriores, junto con los remos situados en los costados, disponían de dos remos ubicados en las aletas que servían para guiar al barco.

Como consecuencia de este sistema mixto, las embarcaciones eran capaces de navegar por el Nilo en ambas direcciones de forma más rápida, a la vez que les dotaba de una mayor maniobrabilidad. Gracias a la acción de los remos estas podían navegar a contracorriente a la vez que les permitía navegar contra la dirección del viento.

Al mismo tiempo, a causa de que entre las funciones que tenían las grandes embarcaciones de madera y las barcas con forma de papiro estaban la del transporte y recreo de los faraones y de aquellas personas con altos cargos, se conoce que en numerosas ocasiones estos barcos disponían de una o dos cabinas. Estas estaban situadas sobre planchas independientes instaladas sobre los refuerzos estructurales que presentaban estas embarcaciones en su casco y que se unían a las planchas de los costados del casco.

En cuanto a la embarcación analizada, a partir de las piezas y elementos encontrados se conoce que la propulsión de esta se realizaba mediante remos. Concretamente, disponía de 10 remos de longitudes comprendidas entre 6,5 y 8,5 metros situados 5 a babor y 5 a estribor hacia la proa del barco. Además de estos, la barca también presentaba dos remos en las aletas del casco de longitudes ligeramente superiores a 6,5 metros utilizados para guiar el barco. Junto con los remos, cabe mencionar que numerosos estudios indican que esta embarcación, al igual que los grandes navíos oceánicos que se han mencionado previamente, disponía también de un mástil y de una vela cuadrada (Lipke 1984, Jenkins 1980).

La barca de Keops también presentaba un pequeño baldaquino situado en la proa y una cabina principal de mayor tamaño situada justo a popa de la parte central del barco. Esta última disponía de dos puertas, una situada en proa y la otra en la popa. La puerta situada hacia proa permitía el acceso a una pequeña antecámara, en la que había otra puerta similar que conectaba la antecámara con el espacio principal de la cabina. A su vez, en el interior de la cabina principal iban fijadas tres columnas papiroformes. Además de estas estructuras, en la barca de Keops había una pequeña pasarela que sobresalía del costado de estribor.

En la imagen mostrada a continuación, se puede apreciar la disposición de los 10 remos de proa de la barca solar de Keops al igual que la cabina principal, el pequeño baldaquino situado en la zona de proa y la pasarela ubicada en el costado de estribor del casco.



Figura 10. Disposición de los remos, cabinas y pasarela de la barca de Keops

Fuente. The Boat Beneath the Pyramid. King Cheops' Royal Ship

1.4 Proceso de realización del modelo del casco en 3D

En este apartado se describirán los pasos realizados para el modelado en 3D del casco de la barca solar de Keops. En el primer subapartado se indicará el procedimiento que se siguió para la elaboración del casco del barco en 3D partiendo del plano de formas mediante el programa informático AutoCAD®. En el segundo subapartado se mencionará el proceso con el que se ha obtenido el modelo del casco de este barco en 3D a través del programa Rhinoceros®.

1.4.1 Desarrollo del casco en 3D con AutoCAD®

Para realizar este apartado, el primer paso consistió en la búsqueda de un plano de formas del barco de Keops adecuado. El plano de formas utilizado para el modelado del casco de este barco se extrajo del libro *The Royal Ship of Cheops* escrito por Paul Lipke en el año 1984.

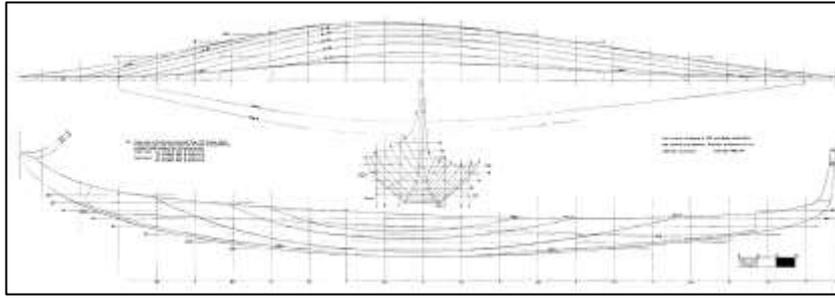


Figura 11. Plano de formas de la barca solar de Keops

Fuente. The Royal Ship of Cheops

Una vez en AutoCAD®, para poder obtener el casco del barco en 3D es necesario trazar la caja de cuadernas y la sección longitudinal del casco correspondiente al perfil diametral de este. Para ello, se utiliza el comando *Spline* del programa y se trabaja en el plano de dos dimensiones. Una vez trazadas estas secciones, por medio de unas líneas auxiliares que representan la situación de las secciones transversales del casco y la línea de crujía del barco, se procede a rotarlas y situarlas en su lugar correspondiente en el plano 3D.

En la Figura 12 se muestra el plano obtenido con AutoCAD® cuando se han trasladado las secciones transversales a su lugar correspondiente en el plano longitudinal.

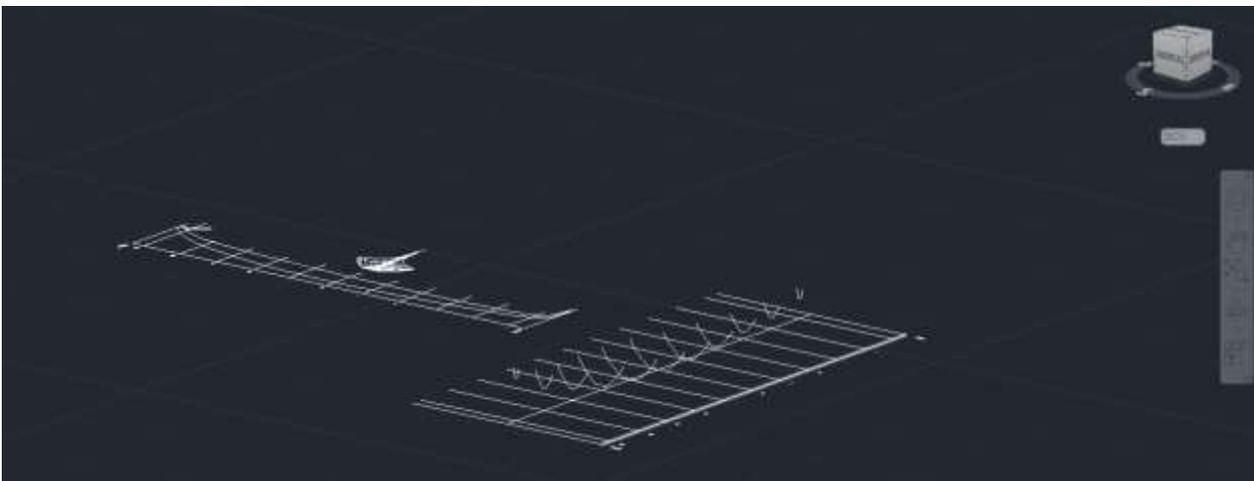


Figura 12. Vista isométrica de las secciones transversales del casco de la barca de Keops

Fuente. Propia

En la Figura 13 se muestra la vista isométrica del casco del barco una vez que el perfil longitudinal del mismo ha sido añadido.

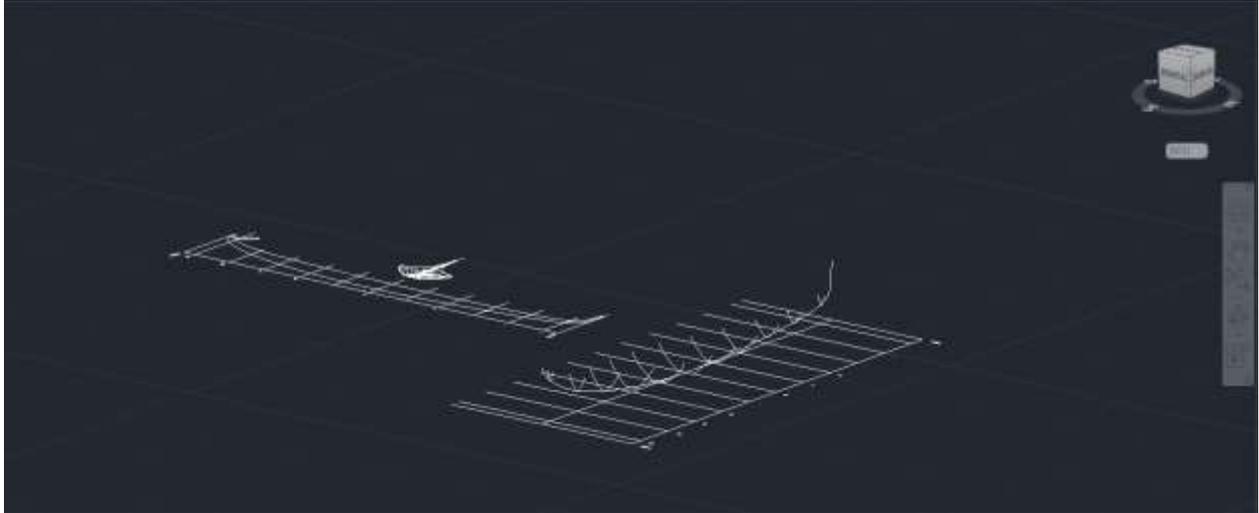


Figura 13. Vista isométrica de las secciones transversales y perfil longitudinal de la barca de Keops

Fuente. Propia

1.4.2 Modelado del casco en 3D con Rhinoceros®

Partiendo del plano obtenido con AutoCAD® del casco de la barca funeraria de Keops, se procede a su modelado en 3D con el programa informático Rhinoceros®.

El siguiente paso consiste en la creación de las superficies de los costados y los extremos de proa y popa a partir de las secciones transversales y del perfil creados previamente con AutoCAD®. En este proceso es importante que tanto las secciones transversales como la sección longitudinal del casco obtenidas del plano de formas sean adecuadas ya que, de lo contrario, durante la creación de las superficies se pueden producir errores en las formas que el programa dibuje entre estas secciones. Estas deformaciones del casco también se pueden dar en las uniones de ambos costados con las zonas de proa y popa. Por este motivo, se debe presentar especial atención al modelado del casco.

La realización de las superficies se lleva a cabo a través del comando *Transición* del programa y se realiza en pequeños tramos, los cuales después se unirán para formar los respectivos costados, para así evitar la aparición de deformaciones en el casco que alteren sus formas pertinentes.

Al mismo tiempo, cabe indicar que en el modelo realizado se ha trazado la forma del casco sin tener en cuenta las curvaturas que presentan los postes de proa y en especial el de popa.

En la Figura 14 de la página siguiente se puede apreciar el casco del barco analizado una vez realizadas las superficies necesarias para su construcción en 3D.

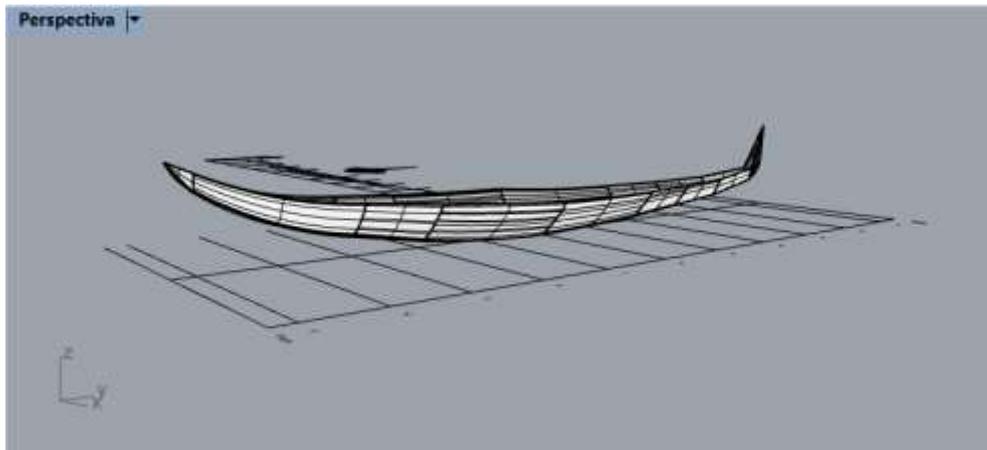


Figura 14. Vista en perspectiva del casco en 3D de la barca de Keops

Fuente. Propia

Una vez creadas las superficies, mediante la opción *Renderizado* del programa se muestra el modelo del casco en 3D que se ha obtenido como resultado del procedimiento mencionado. En las siguientes imágenes se pueden apreciar distintas vistas del modelo del casco realizado con Rhinoceros®.



Figura 15. Vista en perspectiva renderizada del casco en 3D de la barca de Keops

Fuente. Propia



Figura 16. Vista del perfil del costado de babor del casco en 3D de la barca de Keops

Fuente. Propia

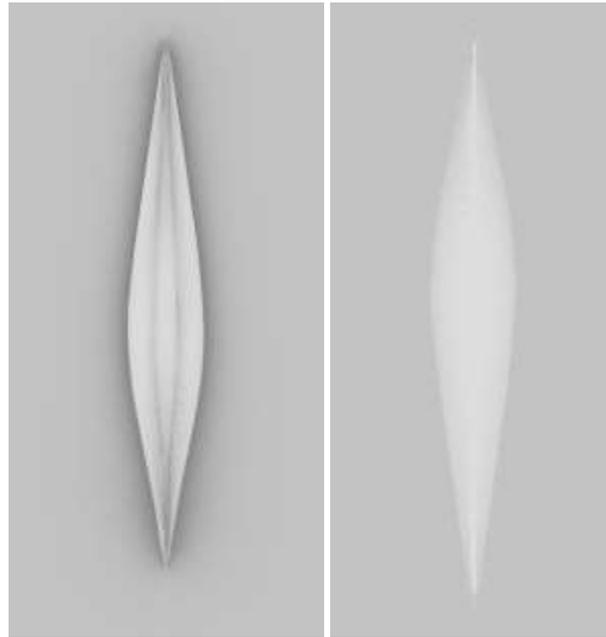


Figura 17. Vista superior (izquierda) e inferior (derecha) del casco en 3D de la barca de Keops
Fuente. Propia

1.5 Materiales y técnicas de construcción naval

Para la construcción de los diferentes navíos que se desarrollaron a lo largo de la época del Antiguo Egipto se utilizaron materiales y técnicas distintas. En los siguientes subapartados se indican los materiales que se emplearon para la construcción de los navíos y las técnicas que fueron desarrolladas y utilizadas durante este periodo.

1.5.1 Materiales utilizados en la construcción

Tal y como se ha comentado en los apartados previos, durante el Antiguo Egipto se construyeron tres tipos de embarcaciones, los cuales estaban fabricados principalmente por dos materiales: papiro y madera.

Respecto a las embarcaciones fabricadas con papiro, estas eran las más sencillas ya que se construían a partir de cañas de papiro. Las ventajas que ofrecía este material radicaban en que permitían que las embarcaciones fueran más económicas, ligeras, presentaran una buena flotabilidad y fáciles de reparar cuando se producían daños.

Los grandes navíos que se desplazaban por el río Nilo y que realizaban viajes de grandes distancias eran contruidos con madera. Para la construcción de estos era necesario disponer de grandes cantidades de madera. A causa de la escasez de árboles de grandes tamaños con los que poder construir los cascos de estas embarcaciones y demás elementos, los egipcios desarrollaron una gran cantidad de rutas con las

que se establecía un comercio de madera y de entre otros productos. Estas rutas se dirigían hacia distintas zonas como el Líbano, Siria o Biblos, siendo esta última la más conocida.

Principalmente, el tipo de madera que se comercializaba con la ciudad de Biblos y con el Líbano era madera de cedro. Esta madera era de gran calidad y se utilizaba en mayor grado para la construcción de las embarcaciones de recreo y las barcas funerarias de los faraones y demás miembros de prestigio. Un ejemplo es la barca funeraria de Keops, la cual está formada principalmente por madera de cedro.

Al mismo tiempo, estos navíos también incorporaban otros tipos de maderas extraídas de árboles locales como acacias o sicomoro. Debido a que estas maderas procedían de árboles de menor tamaño, se utilizaban para fabricar clavijas, mástiles y para pequeños detalles de los barcos.

Además de los materiales mencionados, para la fabricación de las velas que presentaban los barcos se utilizaban fibras de papiro.

1.5.2 Técnicas de construcción

Las técnicas de construcción utilizadas durante esta época histórica se diferenciaban entre sí por los materiales que se usaban. Al mismo tiempo, a partir de los barcos hallados de esta época, se aprecia que también hay algunas variaciones según el periodo en el que las embarcaciones eran construidas.

En el caso de los esquifes de papiro, la técnica de construcción era la más sencilla y se basaba en empaquetar las cañas de papiro. Los extremos de estas eran atados fijamente y tensados hacia arriba y hacia abajo para dar estabilidad y movilidad a la barca.

A diferencia del caso anterior, las técnicas constructivas utilizadas para la construcción de los barcos de madera y de los que presentaban formas de papiro eran más complejas. A partir de los barcos hallados en expediciones arqueológicas se descubrió que durante el Antiguo Egipto estas fueron elaboradas principalmente por dos tipos de técnicas distintas. Estas técnicas, a pesar de sus diferencias, seguían el mismo procedimiento de construcción llamado sobre forro o forrado primero (*shell-first construction*). Este consistía en que inicialmente se unían las tablas que configuraban el casco del barco y posteriormente se incorporaban las cuadernas y demás refuerzos.

A partir de las barcas halladas en Abydos en el año 1991, las cuales pertenecen al Periodo Arcaico, se observó que estaban construidas siguiendo el sistema de cajas y espigas, también denominado técnica de mortaja y espiga. Esta técnica es una de las más conocidas en el campo de la carpintería y se sigue utilizando actualmente en algunos lugares.

Como se ha mencionado, el primer paso consistía en la unión de las planchas (tracas) para formar el casco del barco. En el canto de la tabla de madera se hacía un orificio (mortaja) en el que

posteriormente se introducía una pieza de madera (espiga) con forma rectangular o trapezoidal (abrazaderas en forma de doble cola de milano) y de mayor longitud que el orificio. De esta manera, la parte de la espiga que sobresalía era encajada en la mortaja de la traca superior. Normalmente, esta unión era reforzada a través de otra pieza de madera que atravesaba la espiga por la tabla o por medio de clavijas cilíndricas o cónicas de madera. De este modo se evitaba que se separase.

Una vez construido el casco de la embarcación, se incorporaban en su interior las cuadernas que estaban unidas al casco a través de clavijas.

En la siguiente imagen se puede apreciar un esquema en el que se muestra de manera gráfica este sistema de construcción.

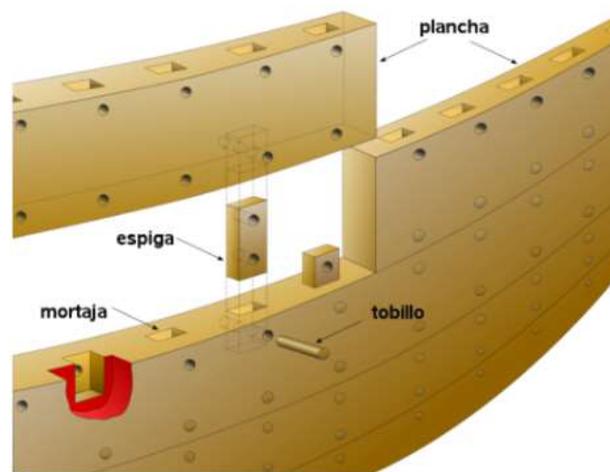


Figura 18. Técnica de construcción de cajas y espigas

Fuente. <https://historiayarqueologiamaritima.wordpress.com/tag/arquitectura-naval/>

Mediante esta técnica, se construían barcos con cascos resistentes, los cuales incrementaban su resistencia como consecuencia a la hinchazón de la madera causada por el contacto del agua.

Otra técnica que se utilizó para la construcción de estos grandes barcos de madera durante el Imperio Antiguo y que se siguió utilizando en los periodos posteriores fue la técnica del cosido de las tracas. En este sistema de ensamblaje, las tracas del forro del casco se unían por sus bordes a través de cordajes trenzados que atravesaban los agujeros realizados a cada tabla. En esta técnica no se utilizaban clavijas dado que las maderas estaban unidas entre ellas mediante el cosido de las cuerdas, las cuales estaban hechas de fibras vegetales.

Tras unir las tracas, se rellenaban las juntas con juncos, fibras de papiro u otros materiales vegetales y se cubrían con resina o brea para calafatearlas. Por medio del método del calafateado, se evitaba la entrada de agua hacia el interior del casco por las pequeñas separaciones que quedaban entre las tracas.

Una vez construido el forro exterior del casco, se incorporaban en su interior un conjunto de refuerzos que se extendían por el casco y permitían que este tipo de barcos pudieran transportar grandes cargas, como columnas, cuando estos realizaban viajes de grandes distancias.

Un ejemplo de aplicación de este sistema de construcción es la barca solar de Keops. En términos generales, el proceso de construcción que se siguió para la reconstrucción de esta barca a partir de los conocimientos que había respecto a esta técnica fue el siguiente.

En primer lugar, se unieron las piezas que formaban el fondo del barco, es decir, la plancha central que actuaba como quilla. Después, se construyeron los costados del casco a partir de las piezas encontradas uniéndolas entre sus extremos, cuyos orificios de costura no alcanzaban la superficie exterior del casco, por medio del cosido de ellas. Tras reconstruir los costados, estos se unieron a la plancha central que funcionaba como quilla.

Cuando el forro exterior del casco estaba unido, se añadieron un conjunto de piezas que se extendían transversalmente a lo largo del casco y que representarían las cuadernas de los barcos actuales. Estas piezas servían para aportar rigidez al casco y sobre ellas se situaban unos puntales. Estos elementos servían al mismo tiempo para soportar el peso de la viga central extendida a lo largo de la eslora del barco. En esta viga central se acoplaban los baos³ y sobre estos se incorporaban dos grandes piezas curvadas, similares a la viga central, que servían de refuerzos longitudinales. Entre estas dos grandes piezas se colocaban las planchas que formaban la cubierta y en la parte central hacia popa se situaba la cabina principal.

A continuación, se muestran dos imágenes en las que se aprecia la estructura interior que presenta la barca solar de Keops (izquierda) y una vista del interior de la cabina principal (derecha).

³ Los baos son vigas dispuestas transversalmente (de un costado a otro del barco) sobre el extremo superior de las cuadernas que actúan como refuerzos transversales estructurales del casco y sostienen las cubiertas.



Figura 19. Estructura interior del casco y vista del interior de la cabina principal de la barca de Keops
Fuente. The Boat Beneath the Pyramid. King Cheops' Royal Ship

Capítulo 2. Época vikinga: Gokstad

2.1 Contexto histórico

Durante el transcurso de los primeros años de la Edad Media, se produjo la aparición de nuevos métodos de construcción naval y nuevas rutas de navegación originados en los países del norte, concretamente en Noruega, Dinamarca, Finlandia y Suecia.

Como consecuencia del crecimiento de la población y la dificultad para encontrar zonas donde poder establecerse que se produjo en estas áreas, esta civilización tuvo que expandirse y desplazarse hacia nuevas tierras donde poder instalarse (Shaw 2016). Este periodo histórico recibe el nombre de Época vikinga y estuvo comprendida entre los años 700 d. C y 1100 d. C.

Dado que el rumbo de la sociedad estaba intrínsecamente ligado a la construcción naval, los vikingos desarrollaron diferentes tipos de barcos cuyas propiedades se adaptaban a las necesidades de esta población. Estos barcos representaron una gran evolución en el campo de la construcción naval ya que las prestaciones que ofrecían, tanto en ríos como en océanos, eran óptimas. Algunas de las características ofrecidas por estas embarcaciones son las siguientes: eran barcos ligeros, marineros, podían alcanzar grandes velocidades, varar en playas o en zonas con poca profundidad sin necesidad de depender de que hubiera puertos, entre otras.

Además de los excelentes barcos que se construyeron para la navegación fluvial y oceánica, los vikingos también se caracterizaron por tener un gran conocimiento de la velocidad y dirección del viento, del comportamiento del mar y una gran habilidad para navegar a mar abierto con navíos a vela.

Gracias a los barcos que diseñaron y a sus conocimientos de la mar, durante este periodo los vikingos realizaron una gran cantidad de travesías que les permitieron establecerse en lugares como Inglaterra, Irlanda, Groenlandia, Islandia, Francia, Alemania, España, Italia y Rusia, incluyendo el viaje transatlántico realizado por Leif Ericson alrededor del año 1000 d. C. con el que llegó a Canadá (Shaw 2016).

A lo largo de este periodo, los vikingos también establecieron diversas rutas comerciales con las áreas donde conseguían establecerse. Algunos de los productos que exportaban a estos territorios son los que se mencionan a continuación: marfil de morsa, huesos de ballena, pieles de animales como zorro, oso o

castor, y también ámbar. En cuanto a los productos que importaban hacia sus tierras, en la siguiente tabla se muestran algunos ejemplos y el lugar de procedencia de estos.

País	Productos importados
Inglaterra	Trigo, lana, miel y estaño
Francia	Sal y vino
Italia	Vidrio
Rusia	Seda, plata y especias

Tabla 3. Productos importados por los vikingos

Fuente. <https://www.rmg.co.uk/discover/explore/vikings%20>

A causa de la expansión de los pueblos de Escandinavia hacia lugares como las costas mediterráneas, provocó que las nuevas técnicas constructivas nórdicas reemplazaran las técnicas de construcción naval que habían sido desarrolladas durante los periodos greco-romanos. Los nuevos barcos vikingos predominaron a lo largo de la Época vikinga por el Mediterráneo hasta la aparición de nuevos diseños de navíos como por ejemplo las carabelas, barcas cañoneras o los galeones.

2.2 Dimensiones principales

A partir de los hallazgos arqueológicos que se han encontrado en granjas, aldeas y pueblos se ha podido conocer cómo era la sociedad vikinga y los barcos que se construyeron durante este periodo. En relación a estos últimos, debido a que los miembros más relevantes del ámbito marítimo eran enterrados junto con sus posesiones, en algunas ocasiones también se enterraban los barcos que estos disponían. Debido a esta tradición y a las condiciones climáticas de Escandinavia, se han podido encontrar barcos prácticamente enteros y en buenas condiciones de conservación. Un ejemplo de ellos es el barco Gokstad, el cual se va a analizar a lo largo de este capítulo.

Este barco vikingo fue hallado accidentalmente por dos niños en un montículo del terreno situado en la granja de Gokstad en el municipio de Sandefjord (Vestfold, Noruega) en el año 1879. Una vez iniciadas las excavaciones dirigidas por Nicolay Nicolaysen en el año 1880, se comprendió al observar el casco de la embarcación y demás elementos que se trataba de un túmulo funerario del siglo X.

Este barco es uno de los grandes navíos vikingos mejor conservados que se disponen en la actualidad. Este hecho se debe a que el túmulo funerario donde se encontraba enterrado estaba por debajo del nivel del suelo y fue construido con arcilla azul y turba. Estos materiales actuaron como un escudo frente a la podredumbre y al deterioro de su casco de roble y demás elementos de pino.

Cuando fue hallado, el barco Gokstad presentaba daños severos en los postes de proa y popa debido a que sobresalían de la capa de arcilla. Además de estos, también tenía dañadas las dos tracas superiores del casco y el mástil no estaba completo. A continuación, se muestran dos fotografías que se tomaron durante la excavación del barco.



Figura 20. Fotografías de la excavación del barco Gokstad en 1880

Fuente. Secrets of the Viking Ships

Tras la realización de los análisis pertinentes a la madera del casco, el cual estaba hecho en su totalidad con madera de roble, se concluyó que el barco Gokstad fue construido alrededor del año 890 d. C, durante el periodo de máximo esplendor de la Época vikinga.

Actualmente, el barco Gokstad, el cual fue meticulosamente restaurado, se encuentra expuesto en el Viking Ship Museum, perteneciente al Museum of Cultural History, que se encuentra ubicado en Bygdøy, Noruega.



Figura 21. Barco Gokstad

Fuente. <https://www.khm.uio.no/english/visit-us/viking-ship-museum/exhibitions/gokstad/gokstad-ship.html>

Las principales dimensiones de este barco vikingo quedan indicadas en la Tabla 4 mostrada a continuación.

Dimensiones principales del barco Gokstad	
Eslora	23,22 m
Manga	5,18 m

Tabla 4. Dimensiones principales del barco Gokstad

Fuente. <https://www.khm.uio.no/english/visit-us/viking-ship-museum/exhibitions/gokstad/gokstad-ship.html>

2.3 Características de la obra viva y obra muerta

En relación a las características que presentaban los barcos vikingos, a diferencia de las embarcaciones que se construyeron durante el Antiguo Egipto, estos eran diseñados siguiendo los mismos requisitos respecto a la obra viva y a la obra muerta, independientemente de la función que debía desempeñar el barco. Sin embargo, los distintos tipos de barcos que se construyeron presentaban algunas variaciones en cuanto a su eslora o a la disposición interna de los espacios (p. ej., situación de las bancadas), las cuales dependían de su uso.

En los siguientes apartados se describirán las características que presentaban la obra viva y la obra muerta de las embarcaciones diseñadas a lo largo de la Época vikinga y que contribuyeron a la superioridad de los vikingos durante parte de la Edad Media.

2.3.1 Características de la obra viva

El casco que presentaban las embarcaciones diseñadas a lo largo de la Época vikinga se caracterizaba por presentar formas alargadas, manga amplia, extremos finos y tener un calado reducido. Estas propiedades les permitían alcanzar velocidades elevadas y que pudieran navegar por ríos (en ambos sentidos), fiordos y aguas costeras de poco calado, a la vez que por mares y océanos. A causa de estas cualidades, los barcos vikingos ofrecían óptimas ventajas tácticas en comparación con los barcos desarrollados en el continente europeo.

En cuanto a la eslora, esta oscilaba según la función que debía realizar el barco. En esta época se desarrollaron principalmente dos tipos de barcos: barcos mercantes llamados *knarr* y otros dedicados a la realización de expediciones oceánicas y también para fines bélicos denominados *longships*. Los primeros, debido a que se dedicaban al comercio, presentaban esloras más reducidas, generalmente eran de alrededor de 15 metros, sus mangas eran más amplias y la velocidad a la que podían navegar también era inferior. A su vez, estos barcos presentaban únicamente una cubierta en los extremos del

barco (proa y popa) de manera que el espacio restante iba dedicado al almacenaje de la carga. El número de tripulantes que permitía este tipo de barcos era aproximadamente de seis personas.

Los barcos *longships* eran de mayor tamaño, su eslora podía ser superior a 20 metros y, debido a las características que presentaban, alcanzaban velocidades que podían llegar a adquirir un valor de 14 nudos. Estos barcos no disponían de cubierta ni tampoco de bancada para los miembros de la tripulación, los cuales podían llegar a ser más de 30 personas.

En el caso de los barcos *longships*, en virtud a las funciones que debían llevar a cabo, sus cascos fueron diseñados con proas afiladas. Este rasgo los diferenciaba de los barcos europeos cuyas proas eran llenas. Al mismo tiempo, este nuevo tipo de proas conllevaba una reducción de la resistencia total que presentaba el barco cuando se aplicaban sobre él fuerzas aerodinámicas e hidrodinámicas.

Las principales ventajas que proporcionaba este tipo de diseño del casco frente al resto de las embarcaciones eran las siguientes. En primer lugar, la eslora de flotación del barco era de magnitudes muy similares a la eslora total del mismo, de manera que no tenían excesivas rodas. Estas últimas estaban reforzadas ya que, dependiendo de la época del año, tenían que ser capaces de romper el hielo que podían encontrar durante la navegación. En segundo lugar, las líneas de agua de los cascos eran extensas en relación con la eslora total del casco. Esta característica permitía que el barco pudiera alcanzar velocidades elevadas. En tercer lugar, como consecuencia de la amplia manga que el barco tenía en la sección de la cuaderna maestra, la cual disminuía progresivamente hacia los extremos, lograba que estos tuvieran una mayor estabilidad. Finalmente, a diferencia de los barcos europeos de la época, a raíz de que disponían de un reducido francobordo y a la ausencia de superestructuras en la cubierta, la pérdida originada por la superficie del barco expuesta al viento era pequeña. De modo que se conseguía reducir el desplazamiento del barco y su deriva (abatimiento).

Al mismo tiempo, en aquellas ocasiones en las que durante sus travesías oceánicas se desarrollaban condiciones meteorológicas y del estado de la mar adversas, con intensos vientos y olas considerables, los cascos tenían la capacidad de ser flexibles. En su contra, esta elasticidad del casco podía generar la rotura de las juntas entre las planchas que configuraban el forro exterior del casco.

A diferencia de las quillas de los veleros tradicionales de velas cuadradas, los *longships* carecían de quillas profundas. Hecho que generaba una ausencia de resistencia lateral por debajo de la línea de flotación. A pesar de la ventaja que este tipo de quilla ofrecía, la ausencia de una quilla profunda hacía que el casco del barco estuviera más sujeto a la deriva. Este elemento, tal y como se indicará más detalladamente en los siguientes apartados, era fundamental para la construcción del barco ya que su tamaño determinaba la eslora total del barco y consistía en el punto inicial del proceso de construcción del barco.

Durante la época de los vikingos, los barcos presentaban un timón de espadilla con el que podían dirigir el rumbo del barco. Este elemento era parecido a un remo y estaba situado en el costado de estribor de la popa del barco. Este se gobernaba a través de una caña ubicada perpendicularmente a la línea de crujía del barco. Tal y como se puede apreciar en la Figura 22, la sección superior del timón era redondeada y la parte inferior tenía forma rectangular, cuya longitud total podía alcanzar un valor de 2,4 metros. La parte superior del eje del timón presentaba dos orificios separados a una distancia entre 200 y 300 milímetros entre ellos.

La posición normal del timón era aquella en la que la caña del timón estaba situada en el orificio superior, mientras que en los casos en los cuales el barco navegaba por aguas poco profundas o varaba en la playa la caña del timón se movía al orificio inferior. A su vez, en la parte central de la pala del timón había otro orificio por donde se pasaba una cuerda que se ataba en el interior del casco del buque pasando por una pieza cilíndrica de madera. De este modo, se podía pivotar el timón.



Figura 22. Vista del timón del Gokstad

Fuente. <https://www.flickr.com/photos/estenvik/10422769394>

2.3.2 Características de la obra muerta

Los barcos vikingos, tanto los comerciales como los bélicos, disponían de una proa y popa que se elevaban verticalmente por encima del agua (tenían formas de proa y popa rectas) y sus rodas no se extendían muchos metros por debajo del agua. Esta característica del casco de las embarcaciones contribuía a la reducción de la resistencia total del barco.

Estos barcos también se caracterizaban por tener los dos extremos del casco simétricos. Es decir, su proa y popa tenían formas iguales. Este rasgo del diseño permitía que los barcos vikingos pudieran cambiar el rumbo en ríos, mares u otros canales o pasos estrechos de manera rápida y sin tener que ciabogar.

En la siguiente imagen se puede apreciar la proa del barco Gokstad.



Figura 23. Vista frontal de la proa del Gokstad
Fuente. Secrets of the Viking Ships

Otra cualidad que presentaba la obra muerta de estas embarcaciones, concretamente la proa de los *longships*, consistía en que estas presentaban ornamentación en sus extremos. Esta se basaba en tallas en la madera y la parte superior de la proa y de la popa estaban decoradas con una cabeza de dragón o serpiente hechas de madera o bien con curvaturas de la madera.

Al mismo tiempo, tal y como se ha mencionado anteriormente, debido al reducido francobordo que presentaban y a la ausencia de superestructuras, estos barcos presentaban una menor resistencia aerodinámica. De manera que también se reducía la tendencia del barco a abatirse (desplazarse transversalmente de un costado a otro) cuando este navegaba con viento del través.

En relación al sistema de propulsión de los barcos vikingos, estos podían navegar tanto a vela como con remos. En el caso de los *knarrs*, estos navegaban principalmente a vela. También disponían de remos, pero estos se utilizaban únicamente como sistema de propulsión auxiliar. Es decir, en aquellas ocasiones en las que no hubiera viento suficiente para poder desplazarse.

Los remos se caracterizaban por ser de longitudes dispares oscilando entre 5 y 6 metros. Este hecho se debe a que era necesario disponer de un remo de menor longitud en la sección de la cuaderna maestra, la cual es más amplia, y otro de mayor longitud tanto en la proa como en la popa del barco. Estos barcos disponían de chumaceras redondas situadas en la catorceava traca del casco, zona donde los esfuerzos serían mínimos cuando estos se estuvieran utilizando. De esta manera, en aquellas ocasiones en las que fuera necesario su utilización, la tripulación podía desplegar los remos desde el interior y recogerlos cuando la navegación se realizase por la acción del viento o cuando el barco atracara en un puerto o varara en otras zonas. En caso de que no fuera necesario disponer de ellos, las chumaceras se tapaban a través de unos discos de madera articulados. Los remos se utilizaban principalmente para la navegación por ríos poco profundos.

En el caso del barco Gokstad, a partir de los elementos que se hallaron tras la excavación se determinó que este *longship* disponía del sistema mixto de propulsión mencionado anteriormente. A pesar de que el barco enarbolaba un mástil, no se encontraron restos sobre el tipo de velas que disponía esta embarcación. Al mismo tiempo, a raíz del número de chumaceras que fueron observadas en los costados del casco, se determinó que este barco tenía 16 remos en ambos costados con una longitud de 6 metros y debía llevar una tripulación formada por 34 personas.

En cuanto a las velas que disponían estos barcos, estos elementos eran de elevada relevancia ya que la navegación a vela era el principal sistema de propulsión de estos barcos cuando realizaban travesías de grandes distancias. Este sistema de propulsión presenta cierta controversia en cuanto a la forma que tenían las velas debido a que no se han hallado velas completas (Shaw 2016). A partir de evidencias pictóricas encontradas de esta época, algunos estudios indican que estas se caracterizaban por ser velas cuadradas, amplias y cuya ubicación no se encontraba a mucha altura del mástil.

Los barcos vikingos disponían de un solo mástil situado ligeramente a proa de la cuaderna maestra sobre tres postes de madera ubicados en la línea de crujía. A su vez, en relación a la jarcia que contenían los barcos vikingos, el mástil estaba sujeto mediante obenques y posiblemente también por estays de proa (*forestay*) y de popa (*backstay*).

Estos barcos ofrecían mayores prestaciones cuando navegaban por la aleta, es decir, cuando recibían el viento por la aleta de estribor o babor, o directamente a popa (ir en popa cerrada). De manera que en caso de que recibieran el viento por la proa el barco no podría navegar y sería necesario cambiar el rumbo de la embarcación para recibir el viento por la popa. Al mismo tiempo, los barcos vikingos no podían navegar con olas por el través por mares extensos ya que se verían afectados por el balance o podrían tener entradas de agua que generasen el hundimiento de las embarcaciones.

2.4 Proceso de realización del modelo del casco en 3D

Para la realización del casco del barco Gokstad en 3D en primer lugar, se emplea el programa informático AutoCAD®. Con él se puede tener la disposición de las secciones transversales y del perfil longitudinal del barco en 3D partiendo del plano de formas del barco. En segundo lugar, por medio del programa Rhinoceros®, se dibuja el modelo del casco del barco Gokstad en tres dimensiones.

En los siguientes subapartados se indican las operaciones que se han desarrollado para la realización del modelo del casco del barco vikingo Gokstad en el 3D.

2.4.1 Desarrollo del casco en 3D con AutoCAD®

En este apartado se describirá el procedimiento que se ha seguido para el trazado de las secciones transversales y del plano diametral del casco partiendo del plano de formas de este. En relación con este último, el plano de formas utilizado para la elaboración del modelo en AutoCAD® es el que se encuentra en el libro *The viking-ship; discovered at Gokstad in Norway* escrito por la persona encargada de la excavación del barco Nicolay Nicolaysen en el año 1882. En la siguiente imagen se muestra el plano de formas utilizado.

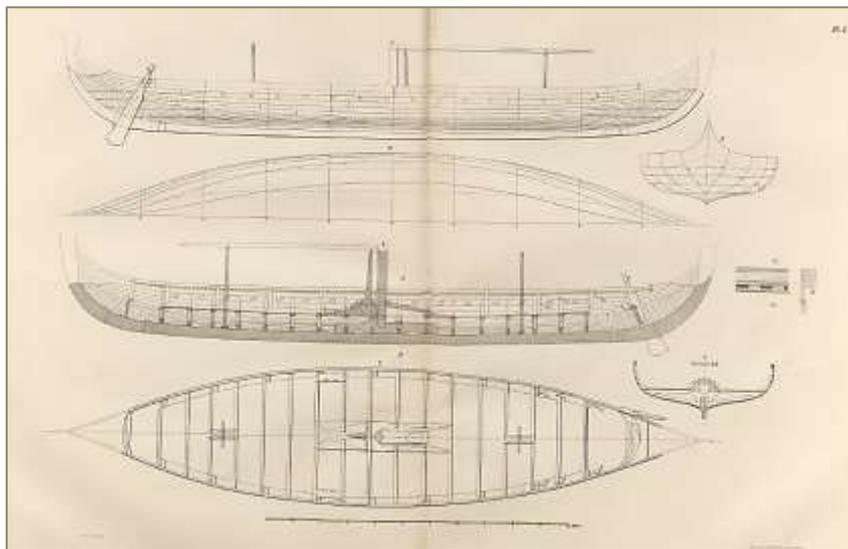


Figura 24. Plano de formas del barco Gokstad

Fuente. The viking-ship; discovered at Gokstad in Norway

Antes de iniciar la descripción del proceso que se ha seguido para la obtención del modelo del casco en 3D con el AutoCAD®, cabe indicar que el trazado se centra en el casco. Por este motivo, se ha prescindido de los demás elementos (del timón de espadilla y del fragmento del mástil) que se observan en el plano de la Figura 24. A su vez, las tradicionales curvaturas que presentan los barcos vikingos en proa y popa no se han trazado debido a que este barco fue hallado sin ambos extremos.

Una vez introducido el plano de formas en el campo de trabajo del programa AutoCAD®, el cual se encuentra en el plano 2D, se traza la caja de cuadernas y la sección longitudinal del casco, perteneciente al plano longitudinal, utilizando el comando *Spline*. Tras dibujar estas secciones, se procede al trazado de unas líneas auxiliares que sirven para situar las secciones trazadas anteriormente en su lugar correspondiente. Una vez dibujadas, el siguiente paso consistía en la rotación de las secciones dibujadas, tanto las transversales como la relativa al plano longitudinal, y en desplazarlas hasta su ubicación. Estos últimos pasos se realizaban trabajando en el espacio 3D.

Después de rotar las secciones transversales y situarlas en su lugar correspondiente del casco, el plano obtenido del casco del barco Gokstad es el que se puede observar en la Figura 25.

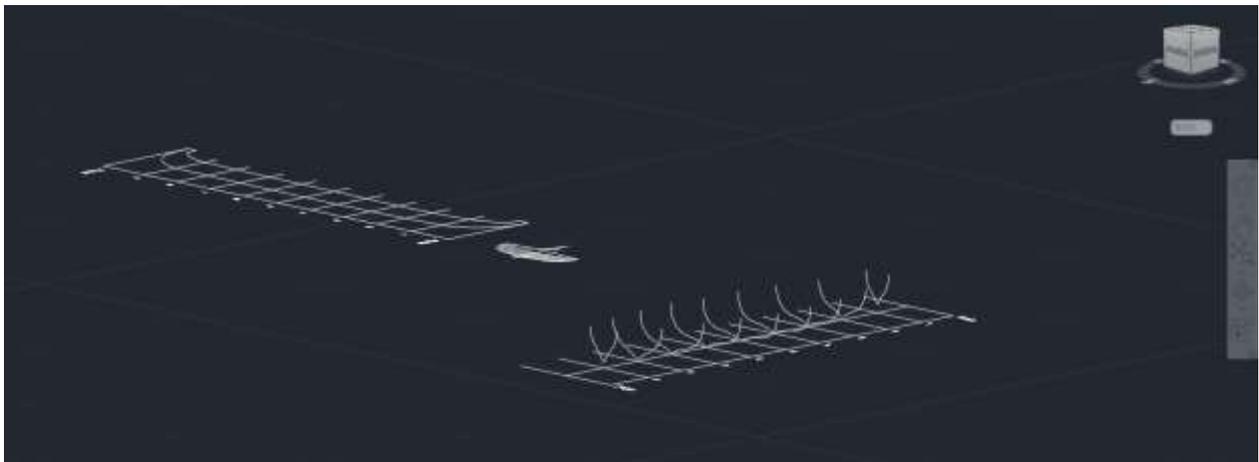


Figura 25. Vista isométrica de las secciones transversales del casco del Gokstad

Fuente. Propia

En la siguiente figura se puede apreciar la disposición de las secciones transversales del casco y también de su perfil longitudinal.

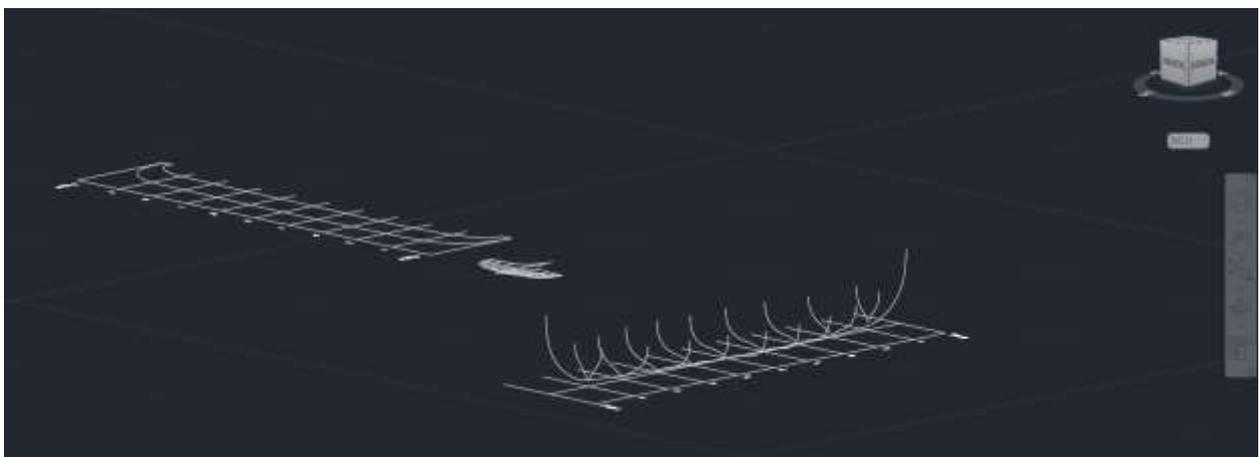


Figura 26. Vista isométrica de las secciones transversales y del perfil longitudinal del casco del barco Gokstad

Fuente. Propia

2.4.2 Modelado del casco en 3D con Rhinoceros®

Una vez finalizado el trazado del modelo del casco en 3D mediante el programa de diseño AutoCAD®, se puede empezar a trabajar con el programa Rhinoceros®.

El primer paso que se ha de realizar se basa en la formación de las superficies relativas a los costados y a los extremos del barco utilizando las secciones transversales y la sección longitudinal trazadas previamente con AutoCAD®. Esta tarea se realiza utilizando el comando *Transición* del programa.

Al igual que en el caso del barco solar de Keops, durante esta fase es importante prestar especial atención a la formación de deformaciones que pueden aparecer en el casco de la embarcación. Por este motivo, las superficies se han trazado en pequeños tramos con la finalidad de evitar estos errores del programa. Posteriormente, tras comprobar que las superficies creadas del casco son las correctas, se han unido formando los costados del barco analizado.

En la Figura 27 se puede observar el casco del barco Gokstad tras crear las superficies correspondientes a sus costados, proa y popa con los que se obtiene el modelo del casco en 3D.

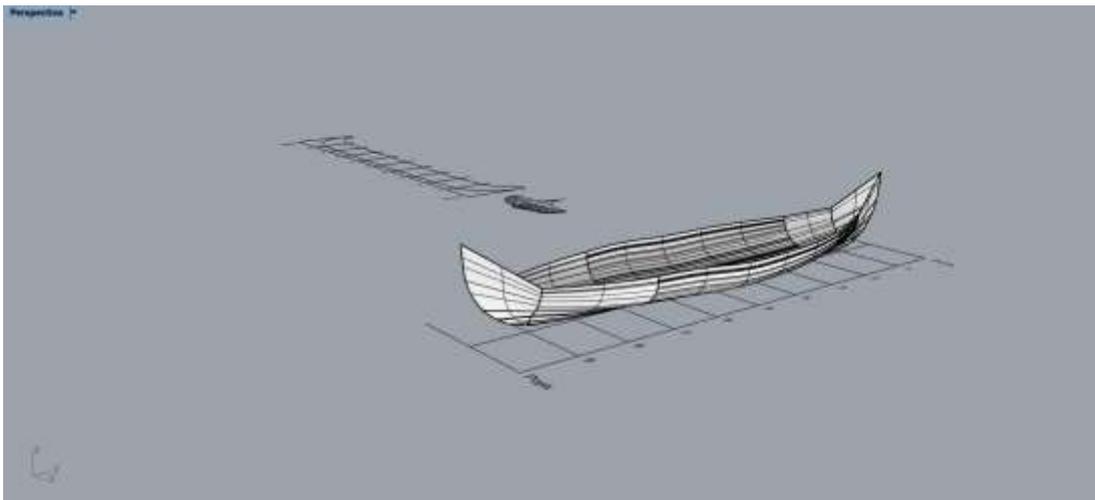


Figura 27. Vista en perspectiva del casco en 3D del barco Gokstad

Fuente. Propia

A través de la opción *Renderizado* del programa se puede apreciar con mayor definición y de manera más clara el modelo del casco en 3D creado. A continuación, se muestran diversas imágenes que representan diversas vistas del casco del modelo que el programa proporciona.

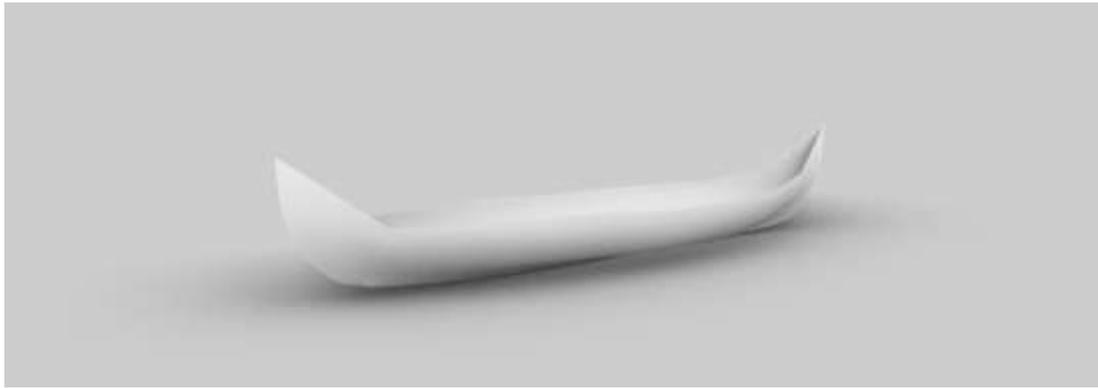


Figura 28. Vista en perspectiva renderizada del casco en 3D del barco Gokstad

Fuente. Propia



Figura 29. Vista del perfil longitudinal del costado de estribor del casco en 3D barco Gokstad

Fuente. Propia

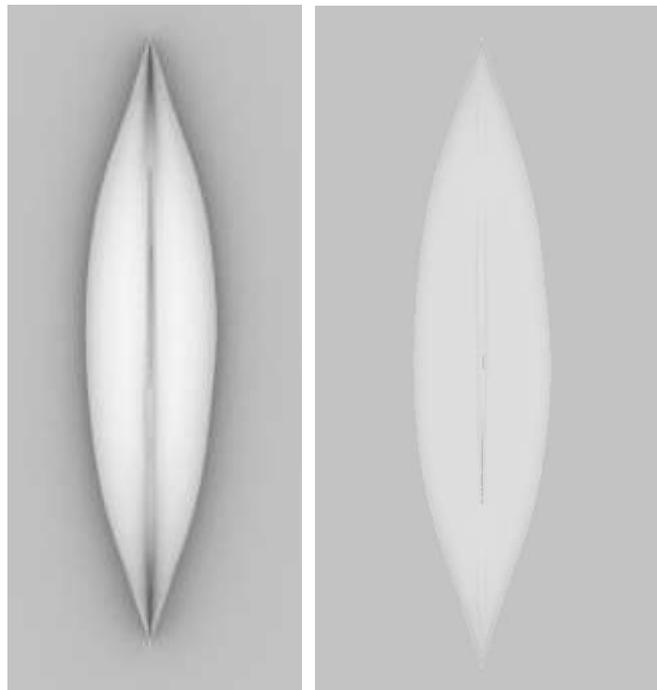


Figura 30. Vista superior (izquierda) e inferior (derecha) del casco en 3D del barco Gokstad

Fuente. Propia

2.5 Materiales y técnicas de construcción naval

Los veleros construidos durante la Época vikinga se caracterizaban por ser rápidos, ligeros y flexibles. Estas características, además de ser consecuencia del diseño de la propia embarcación, también se debían a los materiales que se emplearon para su construcción y a la técnica desarrollada para ello.

En los siguientes subapartados se describirán los principales materiales que se utilizaron en este periodo histórico para la construcción de la embarcación y sus elementos, así como la técnica de construcción naval que seguían los vikingos a lo largo del proceso de construcción de los barcos.

2.5.1 Materiales utilizados en la construcción

De igual modo que los egipcios, los vikingos utilizaron la madera como el único material de construcción de los barcos. Sin embargo, en esta época se emplearon otros tipos de madera, los cuales tenían que ser de gran calidad. Inicialmente, la principal madera que se utilizaba para construir el casco del barco era madera de roble. Para fabricar los remos y la tablazón de cubierta se utilizaba madera obtenida del pino. El primero se encontraba principalmente en el sur de Noruega, sur de Suecia y Dinamarca, mientras que los pinos se hallaban en el norte de Noruega y Suecia. La madera de roble ofrecía una buena resistencia mecánica, un buen comportamiento frente a la humedad y a la acción del mar. A su vez, también tenían una buena resistencia frente a los hongos, insectos y moluscos (Martínez 2012).

Algunos estudios estiman que para la construcción de un *longship* de eslora cercana a 20 metros se requería un total de once troncos de roble (Shaw 2016). Como consecuencia del gran número de árboles necesarios para la construcción de un barco y de la disminución de disponibilidad de robles centenarios en Escandinavia, se comenzó a utilizar con mayor frecuencia madera procedente de los pinos siendo en los últimos años de la Época vikinga el principal material de construcción. Esta madera era relativamente más frágil que la del roble. Para evitar la infestación de gusanos y el deterioro del casco debido a las inclemencias del tiempo, hay evidencias que indican que los barcos se sacaban del agua y se situaban en embarcaderos.

Los vikingos desarrollaron una técnica avanzada sobre el método que se debía seguir para la obtención de la madera, la cual se utilizaría posteriormente para la elaboración de las planchas que configuran el casco de estas embarcaciones. Estas planchas se obtenían partiendo longitudinalmente los troncos de los árboles poco después de ser talados, dotándoles de este modo de una excepcional resistencia. Este hecho se debe a que cuando se parten los troncos estos se rompen siguiendo las vetas de la madera, mientras que cuando se cortan, sus vetas quedan fragmentadas.

Este tipo de madera, denominada madera verde ya que se utilizaba una vez era talada y sin sufrir ningún proceso de secado, era más flexible y más fácil de trabajar con ella. Por lo que su uso facilitaba la

fabricación de aquellas piezas más complejas necesarias para la construcción de los barcos vikingos. En la siguiente imagen se aprecia de manera gráfica la técnica que utilizaban los vikingos para partir los troncos de los árboles y así obtener las planchas necesarias para construir el casco de los barcos.



Figura 31. Técnica utilizada para la obtención de planchas de madera

Fuente. <https://regia.org/research/ships/Ships1.htm>

Una vez partidos los troncos de los árboles en dos secciones, se extraían las planchas que se utilizaban para el casco del barco cortando a lo largo de su longitud y rechazando la parte curva que restaba del tronco. En el caso de los pinos, a partir de un tronco únicamente se podían extraer dos planchas. A diferencia de estos, a partir del tronco de un solo roble se podían extraer un mayor número de planchas de madera.

Al mismo tiempo, las piezas que requerían cierta curvatura, como es el caso de aquellas que hacían de cuadernas, provenían de árboles que presentaban estas curvaturas de manera natural. Es decir, a partir de tramos curvados de los árboles se podían obtener piezas curvadas que posteriormente se utilizaban para la construcción naval. Este hecho tenía como ventajas la reducción del peso de la embarcación, debido a que no se requería unir diversas piezas, y la gran resistencia de estas piezas ya que eran obtenidas siguiendo las vetas de la propia madera.

En relación con la quilla de la embarcación, tal y como se indicó anteriormente, este elemento estaba formado por una sola pieza de roble. Por este motivo, la eslora total de la embarcación venía determinada por la longitud de esta pieza de madera.

La madera de pino, además de los remos y la tablazón de cubierta, también se utilizaba para la fabricación del mástil que enarbolaban los barcos vikingos.

Otros tipos de maderas que se utilizaron en menor grado durante este periodo histórico fueron las siguientes: madera de fresno, de olmo, de abeto y madera de alerce.

A partir de los restos hallados en excavaciones, como en el caso de la excavación del Gokstad, se puede determinar que las velas que se construyeron durante esta época estaban hechas de lana y eran recubiertas con aceites y otros materiales para evitar su deterioro. También, se utilizaba piel de morsa enrollada finamente para poder abarlar las velas, darles mayor resistencia y preservar su forma.

2.5.2 Técnicas de construcción

En la Época vikinga se desarrolló una nueva técnica de construcción naval que difería de las utilizadas en épocas anteriores y de la que se estaba utilizando desde hacía años en otras zonas, como es el caso de la desarrollada en el Mediterráneo. Con ella, los vikingos pudieron construir barcos ligeros y flexibles capaces de adaptarse a las condiciones que ofrecía la navegación fluvial y en mayor grado la oceánica cuando estos se encontraban realizando travesías de grandes distancias.

Esta nueva técnica se denominaba construcción de tingladillo o trincado (*clinker-built* o *lapstrake planking*) consistía en que el forro exterior del casco del barco se construía por medio de planchas que se colocaban y fijaban de manera que el extremo de una plancha quedaba fijado por debajo de la plancha siguiente. Es decir, el extremo inferior de una plancha quedaba sobrepuesto a la plancha anterior y el extremo superior quedaba por debajo de la plancha que se colocara inmediatamente después de esta. Este método de construcción del forro exterior del casco se diferenciaba del método de construcción a tope (*carvel-built*) utilizado en la época greco-romana y que se seguía empleando en el continente europeo hasta la llegada de los vikingos. En la siguiente imagen se puede apreciar de manera clara esta técnica utilizada por los vikingos.

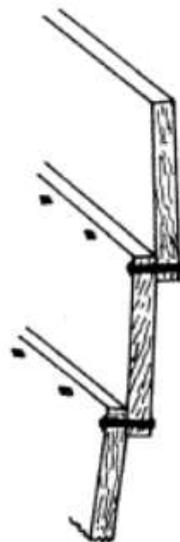


Figura 32. Disposición de las tracas en el casco a tingladillo

Fuente. Shipbuilding and the English International Timber Trade, 1300-1700: a framework for study using Niche Construction Theory

En algunas ocasiones, los barcos de mayor eslora presentaban varias capas de tracas que configuraban el forro exterior del casco. Esta disposición se conoce como doble o triple tingladillo. En la Figura 33 se puede observar un ejemplo de construcción de triple tingladillo.

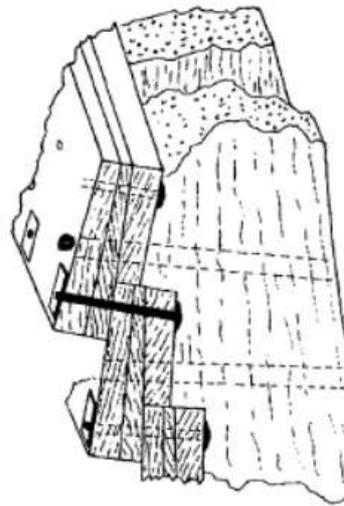


Figura 33. Disposición de las tracas del casco según la técnica de triple tingladillo

Fuente. Shipbuilding and the English International Timber Trade, 1300-1700: a framework for study using Niche Construction Theory

Las planchas de madera que configuraban el forro exterior del casco del barco se fijaban a través de remaches de hierro de aproximadamente 7 centímetros, los cuales actuaban como tornillos, y arandelas redondas de hierro. También, se utilizaban espigas (clavos de madera) que se hinchaban cuando entraban en contacto con el agua, provocando que la unión entre las tracas fuera más resistente. A diferencia de los barcos europeos donde los remaches o espigas se colocaban próximos entre ellos para que el casco fuera más rígido, la separación entre los remaches o espigas utilizados en los barcos vikingos era de 60 centímetros con el fin de proporcionar una mayor flexibilidad al casco.

Al mismo tiempo, en cuanto al proceso de construcción de los barcos vikingos, estos se construían empezando por la unión de las tracas que configuraban el forro exterior y, una vez terminado, se procedía a la introducción de las cuadernas y demás elementos que formaban el interior del casco del barco. Este proceso de construcción sobre forro (*shell-first construction*) también se utilizaba durante el Antiguo Egipto y era más sencillo que el proceso contrario (*skeleton-first construction*). Este hecho se debía a que, en este último, primero se elaboraba la estructura interna del casco y después la exterior, de manera que la superposición de las tracas sería más complicada.

El elemento base del proceso de construcción del barco era la quilla. A partir de esta pieza de madera se empezaba a construir el forro exterior de tingladillo comprendido entre los postes de proa y de popa.

Para evitar la entrada de agua al interior del casco a través de las juntas que quedaban entre las planchas de madera se procedía al calafateado. Estos espacios se llenaban con musgo o lana cubiertos en brea creando un sello hermético.

En relación con el Gokstad, el casco de este barco está construido siguiendo la técnica de construcción de tingladillo de manera que proporciona una mayor resistencia y flexibilidad al casco. El casco está configurado por 16 tracas en cada costado. Por debajo de la línea de flotación se encuentran 9 tracas finas cuyo espesor oscila entre 2 y 3 centímetros, permitiendo de este modo que los costados del barco fueran ligeros.

Capítulo 3. Juncos chinos: Barco del tesoro de Zheng He

3.1 Contexto histórico

Paralelamente a la evolución de la construcción naval que se estaba desarrollando en el Mar Mediterráneo y, posteriormente, en los países del norte, en China se estaban creando un conjunto de barcos cuyas formas y propiedades diferían de ellos. Este tipo de barcos son los denominados juncos chinos. Las principales cualidades que presentaban estos barcos eran su elevada estanqueidad y seguridad durante la navegación.

La aparición de estos barcos, su evolución y las modificaciones que han experimentado a lo largo de los años están intrínsecamente ligados a la situación política y económica de cada momento. Al mismo tiempo, la construcción de este tipo de barcos también estaba influenciada por la disponibilidad de recursos naturales necesarios para su elaboración. De manera que la sociedad de este país y su trayectoria estaba ligada a la evolución tecnológica y a las mejoras del diseño de este tipo de barcos.

Las primeras evidencias de la existencia de los juncos chinos datan de la dinastía Han, la cual estuvo comprendida entre los años 206 a. C y 220 d. C. En estos escritos se menciona la capacidad de carga y de personas que podían transportar, la disposición de los mástiles y las peculiaridades que presentaban las velas de los juncos. Durante la dinastía de Jin, comprendida entre los años 265 d. C y 420 d. C, también se tiene constancia de la construcción de este tipo de embarcaciones y de la transmisión de generación en generación de los conocimientos pertinentes a su construcción.

Posteriormente, a lo largo de la dinastía Song (960 d. C – 1279 d. C) se produjo un incremento del uso de este tipo de embarcaciones como consecuencia del crecimiento de las rutas comerciales y de las políticas de expansión que se promulgaron. A lo largo de la dinastía de Yuan, la cual tuvo lugar entre los años 1279 y 1368, se continuó con las mismas técnicas y diseño de los juncos construidos en el anterior periodo. Sin embargo, los nuevos juncos tenían incrementada su eslora. En relación con este último aspecto, el cual se comentará más detalladamente en el siguiente apartado, hay numerosas evidencias

que indican que los juncos chinos adoptaban unas dimensiones elevadas y disponían de una gran capacidad para transportar tanto personas como mercancías.

Tras la dinastía Yuan tuvo lugar la dinastía Ming, comprendida desde el año 1368 hasta el 1644. A lo largo de este periodo tuvo lugar un gran desarrollo económico y cultural y se produjo la construcción de los juncos de mayor tamaño. La mayoría de estos barcos fueron construidos con la finalidad de formar parte de la flota que se requería para llevar a cabo las numerosas expediciones del Almirante Zheng He (también denominado Cheng Ho) por el Océano Índico. Estas flotas estaban formadas por diversos tipos de juncos de entre los cuales se encontraban los barcos del tesoro (*Treasure ships* o *Baochuan*). Estos últimos constituían los de mayor eslora. En la Figura 34 se ve representado el casco y los mástiles que presentaba un junco chino en el siglo XVI.

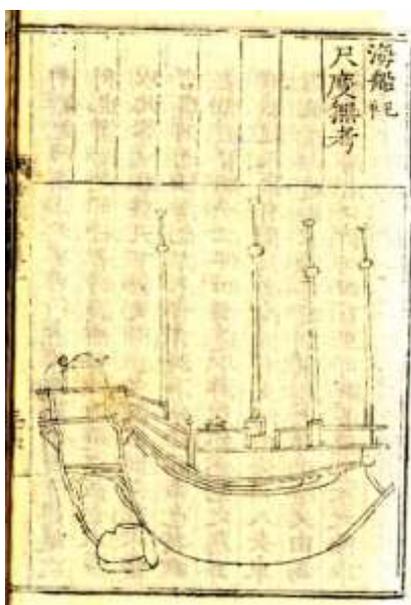


Figura 34. Pintura de un junco chino del siglo XVI

Fuente. Zheng He: an investigation into the plausibility of 450-ft treasure ships

Las principales funciones que desempeñaban los juncos chinos consistían en el transporte de mercancías y de personas, a la vez que también se utilizaban con fines bélicos. Además de estas, estos barcos también fueron usados en gran medida para la piratería por las costas de estas zonas. Dependiendo de las funciones que debía realizar el barco, se construyeron diversos tipos de embarcaciones. A su vez, se pueden apreciar variaciones en el diseño de los juncos según la zona geográfica.

Inicialmente estos barcos estaban diseñados para la navegación fluvial. Sin embargo, como consecuencia de las mejoras en el diseño y en la técnica de construcción que se produjeron durante la dinastía Song, estos también fueron utilizados para realizar viajes por el océano. En el siglo IX estos barcos transportaban mercancías a países como Indonesia o India.

Los grandes viajes que realizaron los juncos chinos se dieron durante la dinastía de Ming, concretamente, entre los años 1405 y 1433, a cargo del Almirante Zheng He. Los más importantes fueron siete y tenían como destino diversos lugares tales como la India, Arabia Saudí, Bangladesh, Tailandia, Vietnam, llegando hasta África oriental, concretamente Somalia, entre otros. Las grandes expediciones de los juncos chinos finalizaron en el año 1433 debido a las nuevas políticas establecidas por los sucesores del emperador Yonle.

En la siguiente imagen se muestra un mapa en el que se aprecia la extensión de China durante la dinastía Ming y también quedan indicados mediante una línea azul los lugares donde llegó el Almirante Zheng He a lo largo de sus numerosas expediciones.

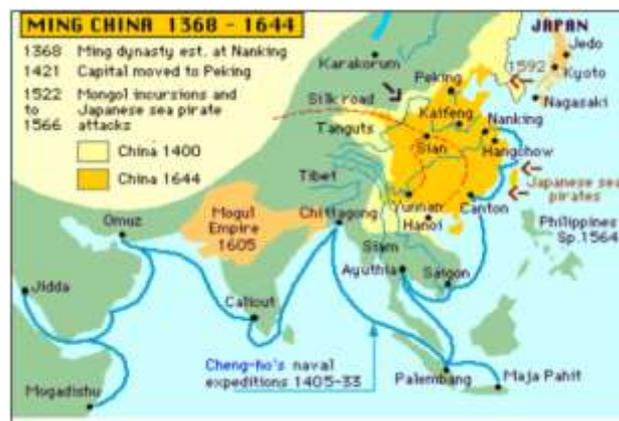


Figura 35. Mapa de China durante la dinastía Ming en el que se representan los viajes de Zheng He
Fuente. Chinese Whispers: Zheng He's Treasure Ships in the context of Chinese Maritime Policy in the Ming Dynasty

Estos barcos se siguen utilizando en la actualidad en zonas del sudeste asiático como la provincia de Fujian o de Zhejiang. Sin embargo, la construcción de los juncos chinos ha disminuido en los últimos años debido a diversas causas. Una de ellas se basa en el material con el que se construyen los barcos, ya que los construidos con madera han sido reemplazados por barcos con cascos de acero u otros materiales. Otra de las causas consiste en los elevados costes asociados a la construcción de los barcos, especialmente los relativos a la madera. Todo ello ha contribuido a que progresivamente se haya producido una reducción del número de personas expertas en la construcción de este tipo de embarcaciones, llegando a ser tres personas en el año 2010. Por este motivo, para evitar la pérdida de los conocimientos de la construcción de los tradicionales juncos chinos, desde el año 2011 el gobierno chino está llevando a cabo numerosas acciones con el fin de impulsar el interés y la construcción de este tipo de barcos.

3.2 Dimensiones principales

Los primeros juncos que se construyeron presentaban esloras reducidas debido a que estos estaban destinados principalmente a la navegación fluvial a pequeña escala. Sin embargo, debido al incremento de su uso y al tipo de navegación que debían realizar, se empezaron a construir embarcaciones con esloras mayores, llegando a su punto álgido durante la dinastía Ming.

Tal y como se ha comentado anteriormente, los barcos que se construyeron en esta época formaban parte de la flota de Zheng He destinada a llevar a cabo grandes travesías. Para ello, se diseñaron distintos tipos de barcos según las funciones que tenían que realizar y la carga que transportaban en su interior. Al mismo tiempo, estos barcos se diferenciaban entre sí por las dimensiones que presentaban.

Uno de los barcos que presentaba mayor relevancia debido a la carga que transportaba y a sus dimensiones eran los barcos del tesoro (*Treasure ships* o *Baochuan*). Estos barcos transportaban en su interior productos chinos, tropas y ganado hacia territorios extranjeros donde los intercambiaban por otros productos locales. De manera que cuando regresaban al territorio chino, llevaban productos que eran considerados tesoros. Por este motivo, estos barcos recibieron el nombre de barcos del tesoro. En este capítulo del trabajo se analizará este tipo de junco chino.

Como consecuencia del gran número de mercancías, personas y ganado que debían transportar estos barcos, era necesario que tuvieran grandes dimensiones. Las primeras evidencias que indican las elevadas dimensiones que presentaban los barcos del tesoro se extraen de la novela *Sanbao Taijian Xia Xiyang Ji Tongsu Yanyi* escrita por Luo Maodeng en el año 1597, más de cien años después de los viajes de Zheng He. En ella se determina que los barcos *Baochuan* tenían una eslora de 127 metros y una manga de 52 metros.

Sin embargo, este rasgo presenta una gran controversia y se han realizado numerosos estudios con los que se pretende determinar las dimensiones correctas que presentaban los barcos del tesoro, ya que no se disponen de restos del casco de los barcos o de un mayor número de archivos en los que se indiquen las dimensiones de estos. El debate que presenta esta cuestión radica en la viabilidad de la construcción de embarcaciones de madera con dimensiones tan elevadas y en la posibilidad de que estas tuvieran la resistencia longitudinal e integridad estructural necesaria para llevar a cabo las navegaciones oceánicas que se produjeron a lo largo de la dinastía Ming (Ward 2006).

Algunos estudios sugieren que estos barcos tenían una eslora comprendida entre 122 y 134 metros y una manga cuyo valor oscilaba entre 49 y 55 metros (Dwinnells 2008). En relación con el desplazamiento, este podía ser desde 800 toneladas hasta 3.100, 14.000 y 20.000 toneladas (Dwinnells 2008). Estas dimensiones eran muy superiores a las que presentaban los veleros europeos contemporáneos a ellos, como es el caso de las naos, carabelas o galeras, y también a los que se

construyeron en épocas posteriores. De manera que este tipo de juncos chinos serían los mayores barcos a vela que se han construido a lo largo de la historia.

A partir de diversas investigaciones realizadas sobre este rasgo de los barcos del tesoro de Zheng He, en algunas fuentes se expone que estos tenían una eslora de 120 metros, 50 metros de manga y disponían de una capacidad de 1.500 toneladas (Minh-Hà L. Pham 2012). En otras se indican que su eslora podía estar abarcada entre 120 y 125 metros y una manga de 50 metros aproximadamente.

A diferencia de las conclusiones alcanzadas en estos estudios, otras investigaciones afirman que las dimensiones de los barcos del tesoro eran más pequeñas. Algunos de ellos determinan que este parámetro debía tener un valor comprendido entre 60 y 76 metros (Church 2005) o bien, menores a 60 metros (Ward 2006). Estas suposiciones se basan en el hecho de que su construcción sería de gran dificultad dado que los ingenieros de esta época debían disponer de grandes conocimientos técnicos, a la vez que los astilleros debían tener los recursos necesarios para poder construir embarcaciones de tales tamaños. También, otro de los motivos por los que se afirma que este tipo de juncos chinos tenían esloras más reducidas a las que originalmente se determinaban era debido a la dificultad de navegación que debían presentar. Es decir, la maniobrabilidad de los barcos del tesoro debía ser reducida.

Al mismo tiempo, a partir de las elevadas dimensiones que presentan los dos grandes astilleros, Longjiang y Nanjing, utilizados durante la dinastía Ming para la construcción naval de juncos se puede estimar que estos debían ser de grandes dimensiones. En este último, el cual se situaba en la que fue la capital de China hasta el año 1421, es donde se construyeron los barcos del tesoro que utilizó Zhen He en sus expediciones (Church 2010). En las excavaciones realizadas en el astillero Nanjing en el año 2003 se hallaron, entre otros elementos, dos codastes popeles pertenecientes a los juncos chinos. Ambos presentaban una longitud de 10 metros. Estos elementos del casco también se complementan con otro codaste de popel hallado en el mismo astillero durante las excavaciones que se hicieron en el año 1957. Este último tenía una longitud de 11,07 metros. Debido al hecho de que estas tres piezas presentaran las mismas longitudes, sugiere que estos elementos debían ser el tipo de codaste popel que tenían los barcos del tesoro. A su vez, al ser tan extensos, se estima que los barcos a los que pertenecían debían presentar unas dimensiones elevadas, aproximadamente 137 metros de eslora. Sin embargo, estas conclusiones también han sido cuestionadas.

En la Figura 36 se puede ver el codaste popel encontrado en las excavaciones.



Figura 36. Codaste popel hallado en el astillero de Nanjing

Fuente. Chinese Whispers: Zheng He's Treasure Ships in the context of Chinese Maritime Policy in the Ming Dynasty

Para la realización del modelado del casco en tres dimensiones del barco del tesoro de Zheng He se han tomado las dimensiones establecidas por Xi Longfei, arqueólogo marítimo e ingeniero naval y profesor de la Wuhan Science University de China (Ward 2006). En la siguiente tabla quedan indicadas las principales dimensiones de este tipo de barco.

Dimensiones principales del barco del tesoro de Zheng He	
Eslora	125,652 m
Manga	50,94 m
Calado	8 m
Altura total	16 m
Desplazamiento	17.700 toneladas

Tabla 5. Dimensiones principales del barco del tesoro de Zheng He

Fuente. Chinese Whispers: Zheng He's Treasure Ships in the context of Chinese Maritime Policy in the Ming Dynasty

3.3 Características de la obra viva y obra muerta

Durante la dinastía Ming, los barcos que se construyeron para las expediciones de Zheng He (comprendidas entre los años 1405 y 1433) se caracterizaban por presentar un alto nivel tecnológico,

muy avanzado al que presentaban los barcos construidos en el continente europeo en la misma época. Estos incorporaron numerosas innovaciones desde un punto de vista estructural y de diseño, algunas de las cuales no fueron introducidas en los barcos europeos hasta el siglo XIX.

En los siguientes subapartados se indican las principales características que tenían estos barcos en relación a la obra viva y obra muerta.

3.3.1 Características de la obra viva

Siguiendo con la tradición de la construcción naval en China, los tipos de juncos que se construían con mayor frecuencia durante la dinastía Ming fueron los *Shachuan* (especialmente en las zonas del norte) y los *Fuchuan* (en las zonas del sur), ambos con sus correspondientes subcategorías. Respecto a este último, se estima que los barcos del tesoro (*Baochuan*) eran barcos adaptados al estilo de los barcos *Fuchuan* (Ward 2006). Estos se construyeron en la región de Fujian, lugar de construcción de un gran número de buques en los inicios de la dinastía Ming, y estaban destinados a realizar travesías oceánicas. A diferencia de estos, los *Shachuan* eran construidos para la navegación por vías navegables interiores.

En relación con el casco que presentaban estas embarcaciones, este variaba en función del tipo de junco. En el caso de los *Shachuan*, el casco se caracterizaba por tener el fondo plano, es decir prescindían de quilla, y tenían un calado reducido. De este modo, se podían adaptar mejor a las necesidades requeridas por las zonas por donde navegaban. Dado que las secciones transversales de estos barcos tenían forma de U, tanto la superficie mojada como el volumen en líneas de agua inferiores que presentaban estos barcos eran elevados.

En comparación con los barcos anteriores, los *Fuchuan* tenían un casco en forma de V, la cual tenía una amplitud elevada, y disponían de una quilla pronunciada, llamada antiguamente orza de deriva, que se extendía a lo largo del casco (quilla corrida). También, el calado de estos barcos era mayor. Estas características hacían que este tipo de juncos fuesen más rápidos y fáciles de maniobrar, incluso en condiciones de mar agitado.

Uno de los aspectos más importantes que presentaban los juncos chinos, debido a las ventajas que ofrece a nivel estructural y de seguridad para las personas que navegaban en ellos, fueron los compartimentos estancos. Esta innovación fue un gran avance para su tiempo y no se introdujo en los barcos europeos hasta el siglo XIX. Se tienen evidencias de este sistema de los juncos chinos desde el siglo XII d.C. Una de estas anotaciones data del año 1298 y estaba escrita por Marco Polo en su obra *Libro de las maravillas del mundo*.

Estos elementos consistían en un conjunto de mamparos, los cuales eran planchas de madera, dispuestos transversalmente en el casco. Estos estaban fijados a la cubierta superior a ellos y al casco

del barco, dotándolo de resistencia transversal a la vez que se creaban compartimentos estancos. Esta estanqueidad se debía a que, en caso de que se produjeran daños en el casco durante la navegación, el agua no podía pasar de un compartimento a otro. El agua que entraba llenaba el compartimento dañado hasta que el nivel del agua que había en su interior igualara al del exterior, permitiendo de este modo que el barco pudiera seguir navegando manteniendo su flotabilidad y evitando su hundimiento. Esta disposición interna del casco, la cual no constaba de cuadernas, se asemeja a la estructura interna que presentan las cañas de bambú. El acceso al interior de estos compartimentos estancos se realizaba por medio de escaleras y escotillas.

A raíz de diversos hallazgos arqueológicos, algunos autores afirman que en determinadas épocas los mamparos contenían unos orificios entre compartimentos (*limber holes*) por donde podía pasar el agua de un compartimento a otro (Ward 2006) y drenarse hacia la sentina. Estos mamparos presentaban dos niveles de orificios cuyas formas diferían en función de su ubicación. Los dos que se encontraban al nivel del casco eran circulares, mientras que el que se hallaba a un nivel superior era triangular. En los casos de emergencia en los que se produjeran daños al casco con vía de agua o fugas de la carga que transportasen, estos orificios eran sellados por medio de unos tapones.

Al mismo tiempo, otra gran innovación que presentaban estos barcos desde sus orígenes era el timón y su ubicación. A diferencia de los barcos vikingos que presentaban un timón de espadilla y de los egipcios que disponían de remos en la popa para guiar al barco, los juncos chinos tenían un timón centrado. Es decir, este estaba situado en el eje de la línea de crujía del barco y se adaptaba a la forma de la popa del barco. Este elemento sobresalía el fondo del casco para minimizar la deriva, era extraíble y se podía elevar cuando el barco navegaba por aguas poco profundas. A pesar de ello, en los juncos *Shachuan* el timón se situaba en un costado y en el casco había integrada una orza con la que se obtenía una mayor maniobrabilidad y estabilidad (Ward 2006).

El timón que poseían estos barcos podía adoptar diversas formas, de manera que durante el proceso de diseño del barco se debía escoger el tipo de timón que se iba a instalar y su tamaño. En la Figura 37 se pueden observar las distintas formas que adoptaba el timón. Las dos filas superiores hacen referencia a los tipos de timón de los juncos que realizaban navegación oceánica, mientras que las dos filas inferiores representan los tipos de timón de aquellos juncos que desempeñaban una navegación fluvial.

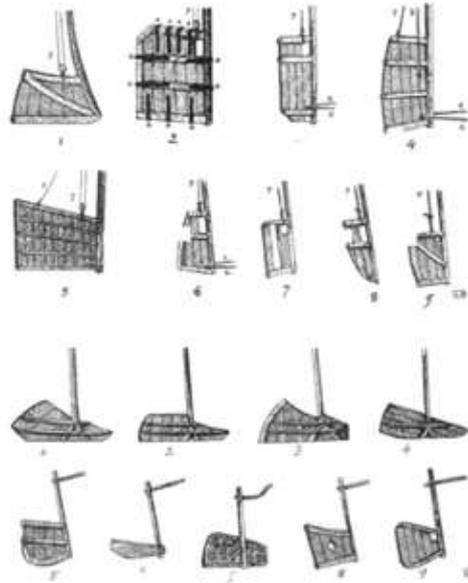


Figura 37. Tipos de timones que presentaban los juncos chinos

Fuente. <http://www.icm.gov.mo/rc/viewer/20027/1168>

A medida que los barcos incrementaban su tamaño, el timón que se instalaba también aumentaba sus dimensiones. Este hecho conllevaba una mayor dificultad para manejarlo por parte de la tripulación debido a la presión que ejerce el agua a ambos lados de la pala del timón. Como consecuencia, la capacidad de maniobrabilidad del barco se veía interferida. Por este motivo, la solución que hallaron consistió en practicar unos orificios en la pala del timón lo suficientemente grandes como para permitir que el agua pudiera fluir a través de ellos, pero los suficientemente pequeños como para poder mantener la integridad y eficacia del timón. De esta manera, al poder manejar el timón sin dificultades, los miembros de la tripulación podían guiar al barco con mayor facilidad y eficacia.

3.3.2 Características de la obra muerta

En relación con la obra muerta, a continuación, se describirán los principales aspectos que caracterizaban a estos grandes juncos chinos referentes a las formas de sus proas y popas y a las innovaciones que presentaba su aparejo.

Los juncos chinos, tanto los barcos del tesoro que realizaban expediciones oceánicas como aquellos de menores dimensiones que se centraban en la navegación por aguas interiores de menor profundidad, se caracterizaban por tener una proa y popa cuadradas. Este tipo de formas difería de las que presentaban los barcos egipcios, vikingos y los barcos occidentales contemporáneos a ellos. Al mismo tiempo, estos barcos disponían de un espejo de popa.

Estas embarcaciones tenían generalmente un gran francobordo, especialmente en la zona de popa ya que en ella estaba situado el castillo de popa. Este se encontraba a gran altura respecto a la línea de

flotación. Esta zona del barco constituía la de mayor tamaño y presentaba una relevada importancia en el proceso de diseño debido a que en la superestructura que había ubicada en ella, se encontraba la acomodación del capitán y su familia y también se utilizaba como templo.

En las siguientes imágenes se muestran dos ejemplos de distintos juncos chinos en los que se pueden apreciar las formas de proa y popa que presentaban.



Figura 38. Juncos chinos con formas de proa y de popa dispares
Fuente. <https://www.exponav.org/las-popas-de-los-buques-su-evolucion/>

Al mismo tiempo, en relación con el número de cubiertas tenían estos barcos, los *Fuchuan* presentaban un mayor número en comparación a los juncos *Shachuan*. En el caso de los barcos del tesoro de Zheng He, se estima que tenían dos cubiertas además del castillo de popa de grandes dimensiones (Ward 2006).

A pesar de que los barcos del tesoro estaban diseñados con la función de realizar grandes expediciones donde se transportaba en ellos diversas cargas y grandes tripulaciones, estos barcos también estaban provistos de armamento. Este estaba configurado por 24 cañones hechos de bronce fundido.

Cabe indicar que, a diferencia de los barcos egipcios y vikingos, los juncos comenzaban a presentar cascos en los que se le aplicaba pintura. Especialmente, en la zona del espejo de popa de las embarcaciones oceánicas es donde realizaban pinturas y dibujos más elaborados.

Una de las grandes innovaciones que se produjo en esta época fueron las velas con sables y su capacidad para girar. Estas velas eran cuadradas y estaban hechas de telas resistentes unidas con sables, los cuales se trataban de cañas de bambú dispuestas horizontalmente, que les proporcionaba una mayor estabilidad, rigidez y gran empuje. A su vez, al tener estos sables, las velas eran más manejables debido a que se podían izar y arriar con mayor rapidez. Otra ventaja que proporcionaban los sables consistía en que dividían la vela en varias secciones. De este modo, en caso de que una de las secciones resultara dañada o sufriera algún desgarre, la vela podía seguir funcionando correctamente.

En la Figura 39 se muestra una imagen de un junco chino del tipo *Fuchuan* en la que se pueden apreciar las velas con sables características de estos barcos.

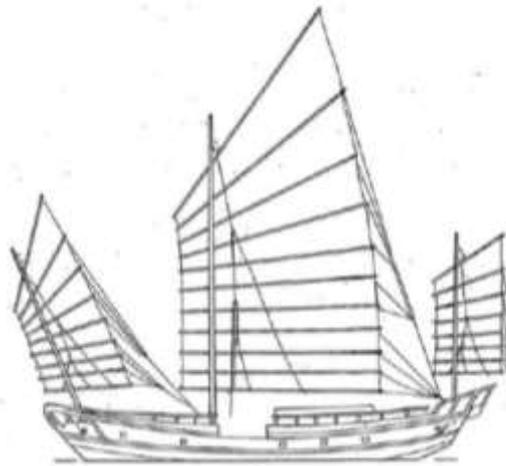


Figura 39. *Fuchuan* con velas con sables

Fuente. The Naval Architecture of Ancient Fujian Style Sea Going Sailing Junks: A Manuscript

Como se ha mencionado previamente, en comparación con las velas fijas que tenían los barcos occidentales, los juncos poseían unas velas que tenían la capacidad de girar dotando al barco de una mayor maniobrabilidad, a la vez que les permitía navegar a barlovento. De esta manera, los juncos chinos podían navegar aprovechando el viento y las olas.

Con respecto a la jarcia de los juncos chinos, esta podía adoptar diversas formas en función del tipo de navegación que debían llevar a cabo y de la zona geográfica donde se construyera el junco. En las siguientes imágenes se pueden observar diversos ejemplos de las jarcias que poseían distintos tipos de juncos. La imagen de la izquierda muestra las velas y la jarcia que presentaban los juncos de navegación fluvial construidos en la provincia de Guandong (o Cantón). La imagen central equivale a la jarcia de los juncos destinados a la navegación oceánica construidos también en Guandong. Finalmente, la imagen de la derecha representa la forma que poseen las velas en los juncos chinos del tipo *Fuchuan*.

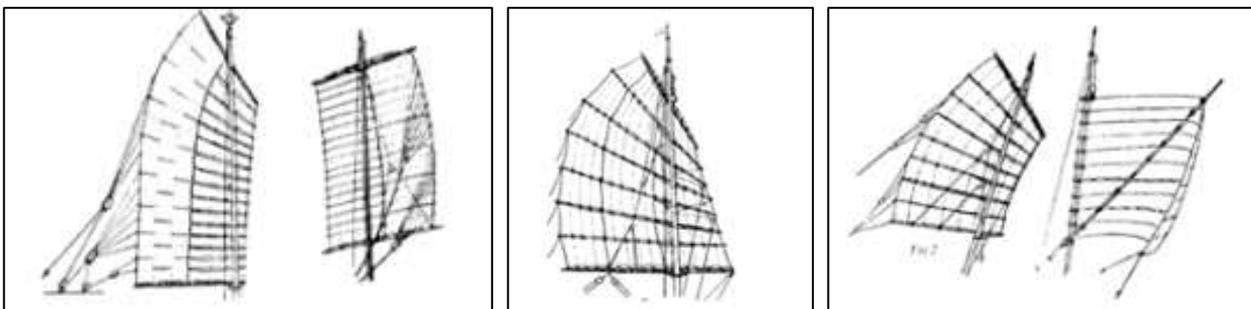


Figura 40. Ejemplos de distintas disposiciones de la jarcia en los juncos chinos

Fuente. <http://www.icm.gov.mo/rc/viewer/20027/1168>

Otra particularidad que tenían estos barcos consistía en el número y ubicación de los mástiles. A diferencia de los barcos vistos en los capítulos anteriores, los juncos chinos poseían múltiples mástiles. Inicialmente, debido a que los primeros juncos eran de menor tamaño, el número de mástiles era más reducido. Los palos que enarbolaban oscilaban entre dos y tres. Sin embargo, a raíz de la necesidad de construir barcos de mayores dimensiones, el número de mástiles que se instalaban en ellos también incrementó. En el caso de los barcos del tesoro, los cuales fueron los que disponían de un mayor número de mástiles, según fuentes de la época de la dinastía Ming establecían que estos barcos tenían nueve mástiles (Ward 2006). En la siguiente imagen podemos observar un junco *Fuchuan* en el que hay instalados tres mástiles y tiene las velas arriadas.



Figura 41. *Fuchuan* con tres mástiles

Fuente. The Naval Architecture of Ancient Fujian Style Sea Going Sailing Junks: A Manuscript

Con respecto a la ubicación de los mástiles, estos no se situaban siguiendo la línea de crujía del barco, es decir, estaban dispuestos escalonadamente entre los costados de babor y estribor. Esta disposición de los mástiles a lo largo de la cubierta permitía una mayor distribución de las cargas aplicadas a lo largo de la extensión del casco.

3.4 Proceso de realización del modelo del casco en 3D

En este apartado se expondrá el modelo en tres dimensiones que se ha realizado del casco del barco del tesoro mediante el programa Rhinoceros®. Para su obtención, ha sido necesario el uso del programa de diseño AutoCAD® con el que, a partir de los planos de formas del casco, se ha trazado el casco del barco en 3D.

En el primer subapartado se describirán los pasos iniciales realizados en los que se ha empleado AutoCAD® y en el segundo se indicarán los pasos finales para el modelado en 3D del casco del barco del tesoro utilizado en las expediciones de Zheng He a inicios del siglo XV.

3.4.1 Desarrollo del casco en 3D con AutoCAD®

El primer paso que se debía realizar para la creación del modelo del casco en tres dimensiones se basaba en la búsqueda del plano de formas del barco *Baochuan*. Como consecuencia de la ausencia de cascos íntegros de este tipo de junco chino muy utilizado durante la dinastía Ming, hay numerosos estudios con los que se han obtenido las formas que posiblemente tendrían este tipo barcos.

Para la realización del modelo del casco se ha utilizado el plano de formas elaborado por Xi Longfei adjunto en la tesis *Chinese Whispers: Zheng He's Treasure Ships in the context of Chinese Maritime Policy in the Ming Dynasty*, la cual fue redactada por Sarah Ward en 2006. En la Figura 42 se muestra el plano de formas utilizado relativos a los barcos *Baochuan*.

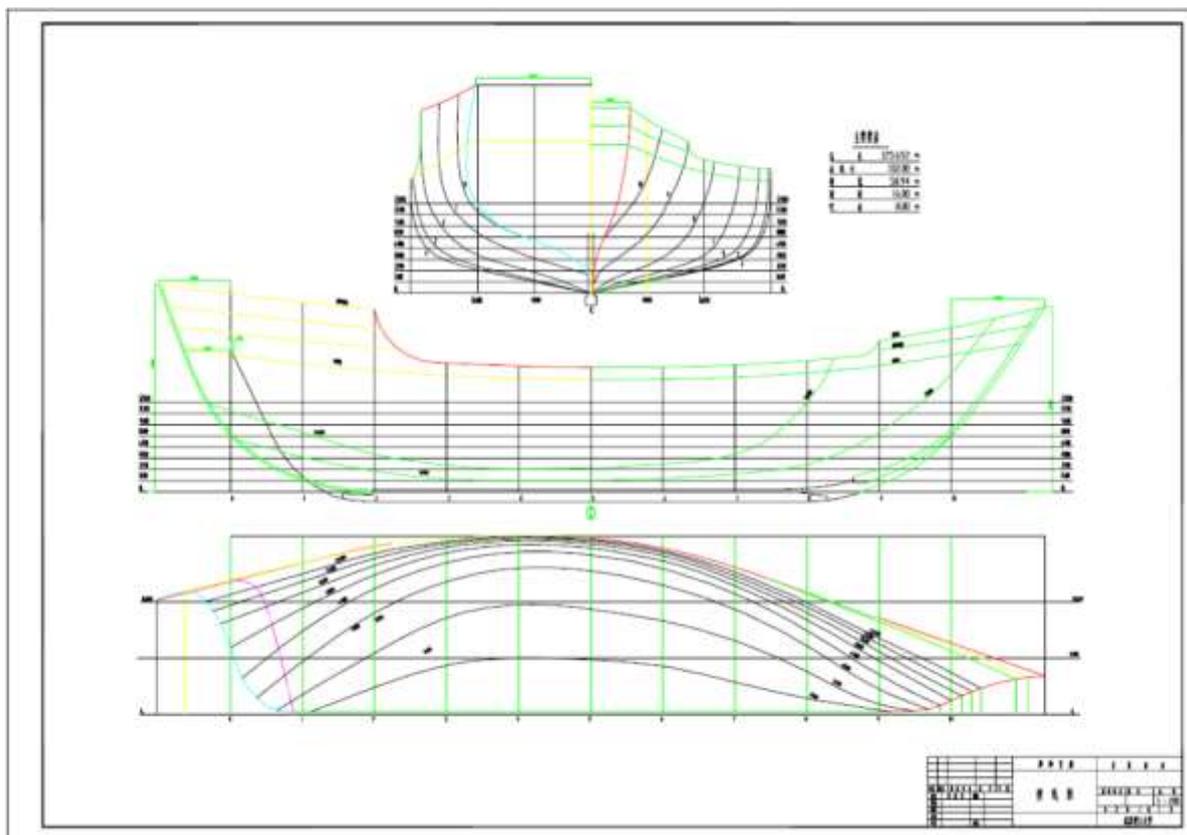


Figura 42. Plano de formas del barco *Baochuan*

Fuente. Chinese Whispers: Zheng He's Treasure Ships in the context of Chinese Maritime Policy in the Ming Dynasty

A partir del plano de formas anterior, se procede al trazado de la caja de cuadernas y del plano diametral del casco del barco en el programa de diseño AutoCAD®. Para la realización de esta operación

se utiliza el comando *Spline* del programa. Tras su trazado en el plano 2D, es necesario rotar estas secciones transversales y longitudinal con el fin de adaptarlas al espacio en 3D del programa. Posteriormente, estas secciones son desplazadas y situadas en su lugar correspondiente para así obtener el casco del barco. Previo a este, se han dibujado un conjunto de líneas auxiliares que representan la línea de crujía del barco, la cual equivale a la eslora total del casco, y las líneas correspondientes a las secciones transversales. De este modo, la ubicación de las secciones resulta más fácil.

Al realizar este paso, se observó que las secciones transversales 0 y 11 no se adaptaban a la forma del perfil longitudinal ya que su longitud era mayor y lo sobrepasaba. Por este motivo, observando la longitud de estas secciones y utilizando las líneas de agua en el plano transversal y diametral, se pudo trazar de manera correcta estas secciones transversales. Con ellas, después de rotarlas al espacio en 3D y situarlas en su lugar correspondiente, se pudo obtener el casco del barco del tesoro de Zheng He correcto.

En las siguientes imágenes se muestran el casco del barco obtenido a partir de las secciones transversales y longitudinal extraídas del plano de formas. En la primera se observan las secciones transversales en el campo de trabajo en 3D del AutoCAD®. En la Figura 44, mostrada en la página siguiente, además de estas secciones también se aprecia la sección longitudinal correspondiente al perfil diametral del casco del barco *Baochuan*.

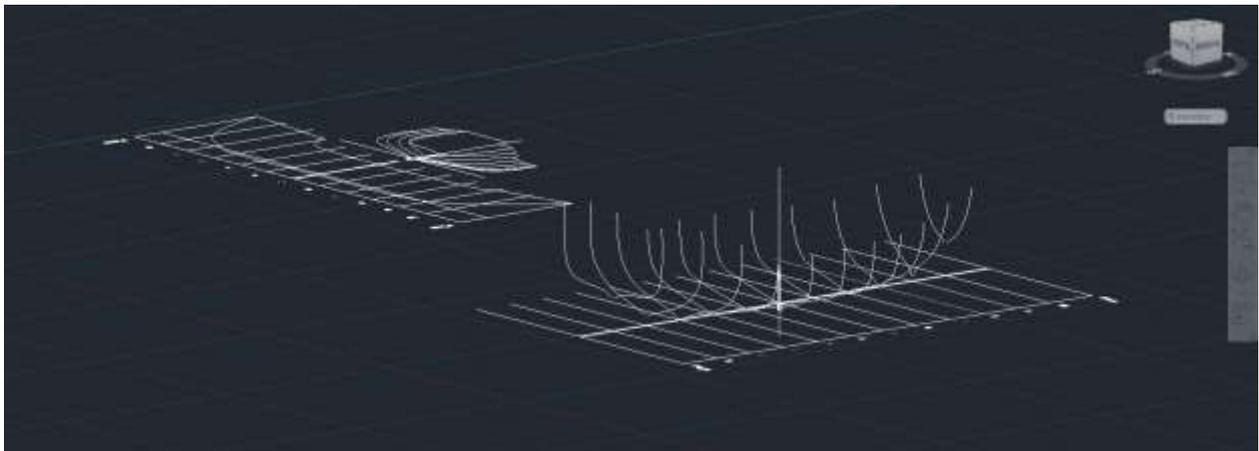


Figura 43. Vista isométrica de las secciones transversales del casco del barco *Baochuan*

Fuente. Propia

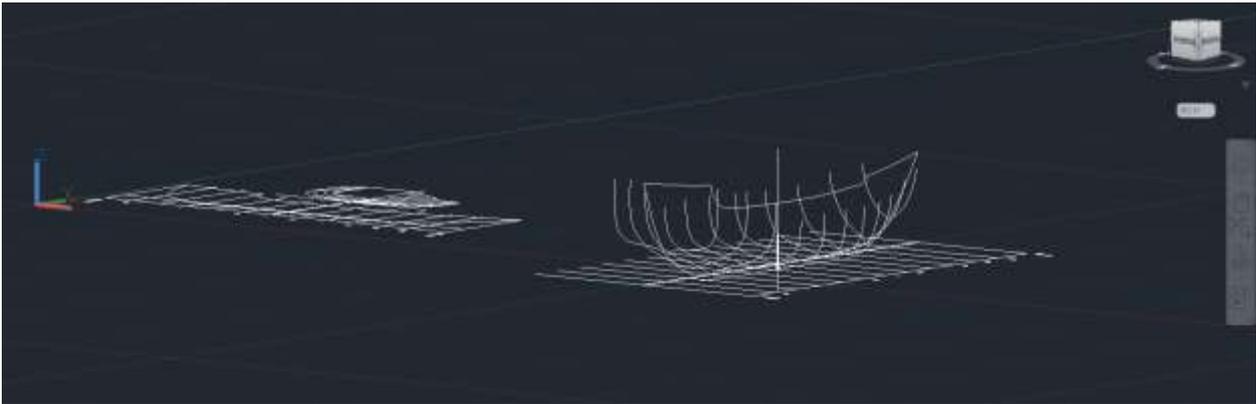


Figura 44. Vista isométrica de las secciones transversales y del perfil longitudinal del casco del barco *Baochuan*
Fuente. Propia

3.4.2 Modelado del casco en 3D con Rhinoceros®

Para realizar el modelado del casco en 3D del barco del tesoro se utiliza el modelo obtenido en AutoCAD®. Una vez importado el archivo a Rhinoceros®, se procede a la creación de las superficies entre las secciones transversales que configuran los costados del casco y también las correspondientes a las zonas de proa y popa. Para ello se emplea el comando *Transición* del programa.

Al igual que en el caso de los barcos de los capítulos anteriores, durante la creación de estas superficies se debe prestar especial atención a la formación posibles deformaciones. Estas pueden producirse cuando el programa detecta erróneamente la transición entre las secciones. Por este motivo, las superficies son creadas en pequeños tramos, los cuales son unidos posteriormente. En este caso, al disponer de unas formas más complejas que los cascos anteriores, se vigiló que no se formaran deformaciones en el casco, especialmente en las zonas de popa y de proa. Asimismo, se debía tener presente la superficie de la quilla ya que en ella también se podían dar deformaciones.

Al mismo tiempo, cabe indicar que en el tramo de los costados correspondiente a la transición entre la sección de la cubierta principal y del castillo de popa también se realizó una pequeña modificación. Este hecho se debe a las superficies que creaba el programa al utilizar el comando *Transición*. Esta no presentaba la forma que debía tener según el plano de formas ya que se producía un gran cambio de altura entre estas dos secciones. Por esta razón, se optó a que este tramo formara una superficie con ángulo recto.

En la página siguiente se puede observar el resultado final obtenido tras realizar las modificaciones mencionadas en las superficies del modelo en 3D del casco.

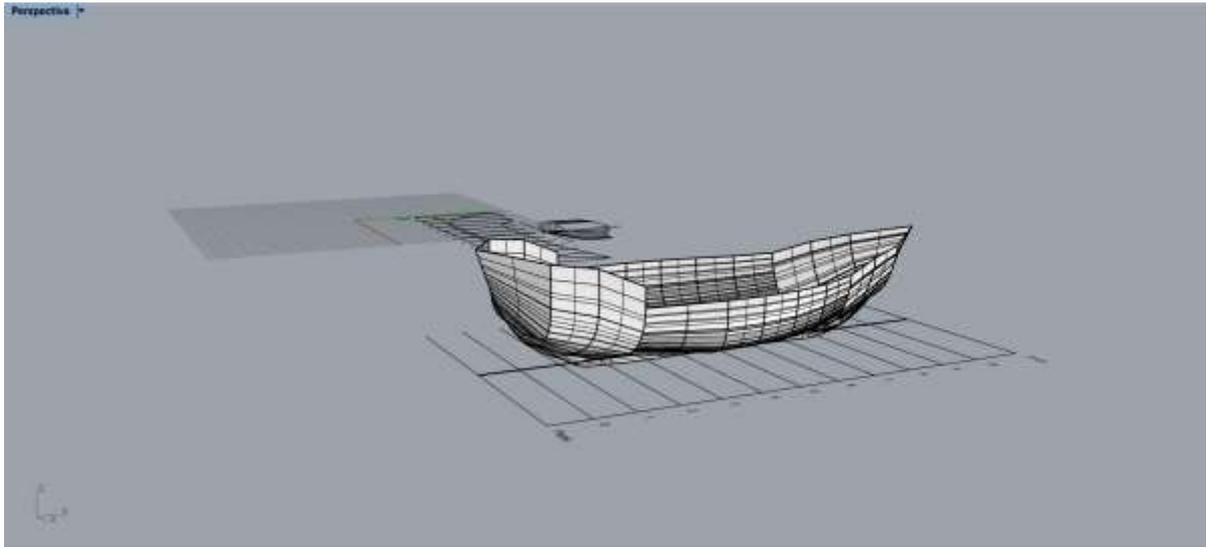


Figura 45. Vista en perspectiva del casco en 3D del barco *Baochuan*

Fuente. Propia

Tras crear el modelo, mediante la opción *Renderizado* del programa Rhinoceros® se puede observar de manera más gráfica y clara el modelo del casco del barco del tesoro de Zheng He. En las siguientes imágenes se pueden apreciar las distintas vistas del casco proporcionadas por el programa.

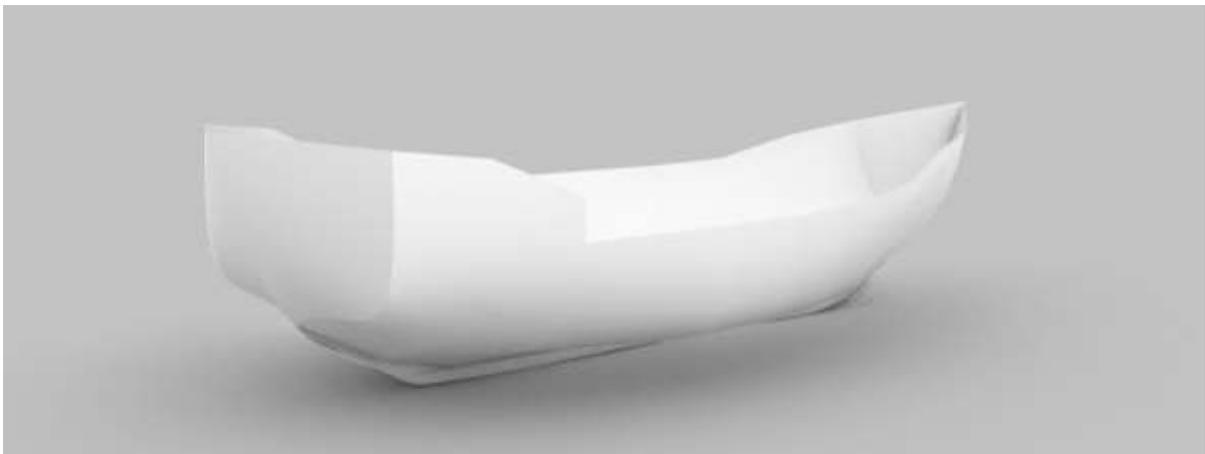


Figura 46. Vista en perspectiva renderizada del casco en 3D del barco *Baochuan*

Fuente. Propia

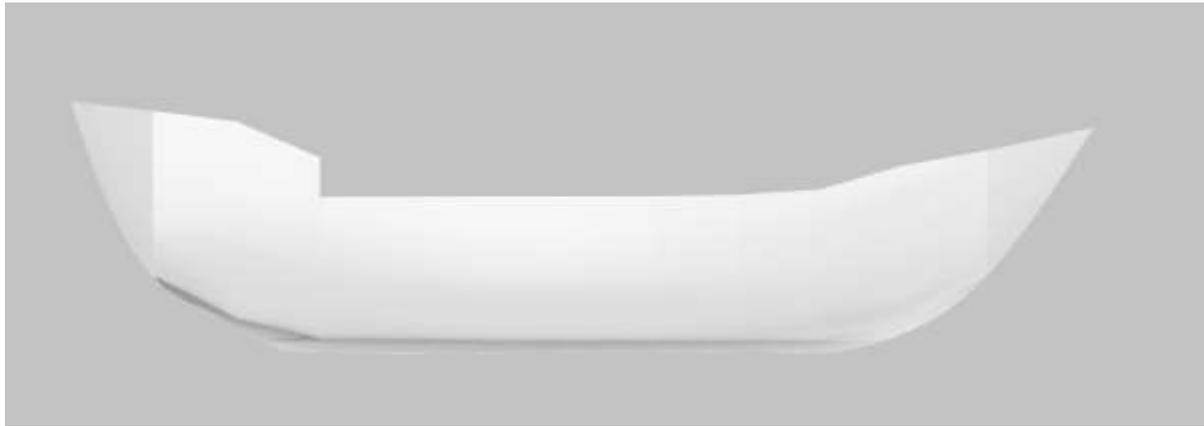


Figura 47. Vista del perfil del costado de estribor del casco en 3D del barco *Baochuan*

Fuente. Propia

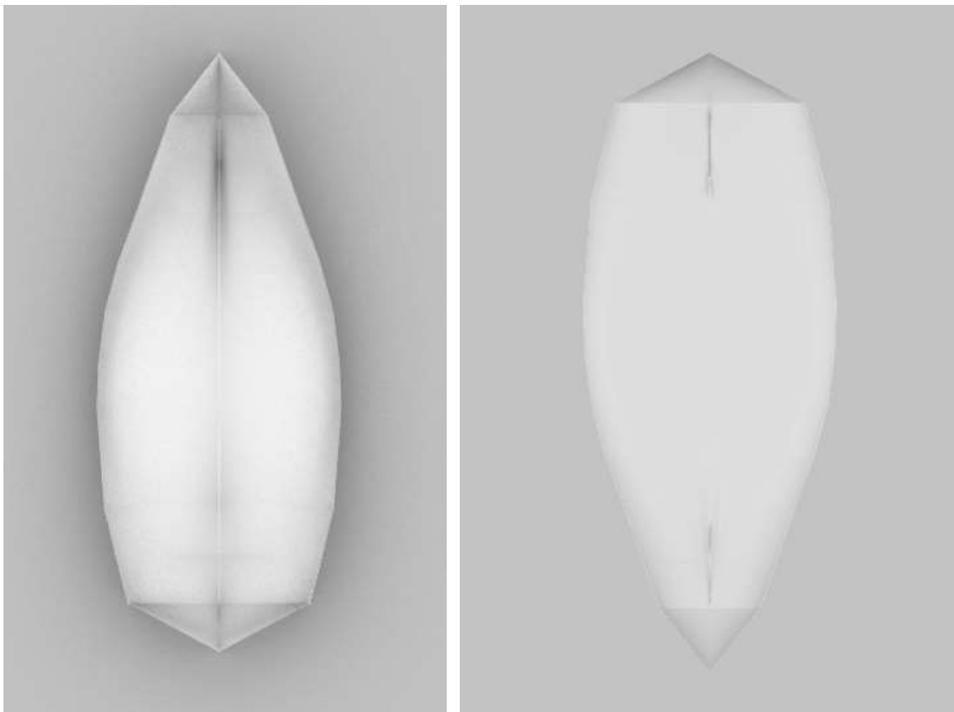


Figura 48. Vista superior (izquierda) e inferior (derecha) del casco en 3D del barco *Baochuan*

Fuente. Propia

3.5 Materiales y técnicas de construcción naval

A lo largo del siglo XI China experimentó un gran desarrollo tecnológico e industrial en el que una gran diversidad de sectores tuvo un incremento considerable de su producción. Algunos de estos sectores son el de la construcción naval, el sector maderero, industria siderúrgica y del mercurio, entre otras. Este gran crecimiento, el cual no se produjo hasta el siglo XVIII en algunos lugares occidentales, tuvo como resultado la unión entre la producción de hierro y la construcción naval. De esta manera, se introdujo el uso del hierro en el sector naval.

A raíz del gran crecimiento tecnológico, la construcción de un barco como los *Baochuan* requería procedimientos estándares relacionados con la selección de las formas que iban a adoptar, su diseño, la selección de los materiales para su construcción, el procedimiento que se debía llevar a cabo para la óptima construcción del barco, entre otros. También, estas guías debían contemplar aquellos procesos de producción tales como los relativos a la carpintería, pintura, siderurgia, entre otros.

En los siguientes subapartados se expondrán los diversos materiales que se utilizaban en los astilleros para la construcción de los juncos chinos y las técnicas que se empleaban para ello.

3.5.1 Materiales utilizados en la construcción

Los juncos chinos, al igual que los barcos egipcios y vikingos, estaban contruidos a partir de madera. No obstante, debido a que la construcción de estos se realizaba en zonas geográficas distintas, el tipo de madera utilizada variaba. Principalmente se utilizaba madera blanda, la cual generalmente era de pino, abeto y alcanfor, a excepción del sudeste asiático donde utilizaban madera noble (madera dura). A su vez, se empleaban distintos tipos de maderas para la construcción de las distintas partes y elementos del barco. A continuación, se mencionarán los tipos de este material que se usaban en función del elemento y del lugar de la embarcación a la que estaban destinados.

Para la construcción del casco del barco se utilizaba generalmente madera de pino chino (*Pinus tabulaeformis*). La quilla que se fijaba a este estaba elaborada a partir de otra variedad del pino local llamada pino de Masson (*Pinus massoniana*).

Los mamparos y los baos de estas embarcaciones se construían a partir de madera de alcanfor. Esta madera se caracterizaba por tener una gran resistencia, durabilidad y un buen comportamiento frente a la corrosión.

En relación con los mástiles que enarbolaban estos barcos, dado que debían ser ligeros y rectos, estaban hechos de madera procedente de abetos locales. Este elemento del casco tenía una buena perdurabilidad debido a que antes de ser instalado era enterrado en un terreno húmedo durante un periodo de tiempo determinado para que absorbiera los conservantes naturales presentes en él.

Tal y como se ha mencionado anteriormente, los sables, elementos característicos de estas velas, estaban hechos de cañas de bambú.

El timón constituía el elemento más reforzado que presentaban los juncos chinos. Por esta razón, estaban fabricados con madera de olmo, la cual se caracterizaba por poseer una gran resistencia. Este elemento también podía estar fabricado a partir de olneya.

Al mismo tiempo, para la construcción del barco también se empleaban clavos (dispuestos longitudinalmente), remaches y soportes en forma de L hechos todos ellos de hierro.

Durante la dinastía Ming, hay evidencias que indican que se establecieron un conjunto de normas estrictas relacionadas con la selección y calidad de los materiales que iban a ser usados en la construcción de este tipo de embarcaciones. A su vez, dado que la construcción de estos navíos requería una gran cantidad de madera, la cual está sujeta a la disponibilidad del momento, en algunas zonas se produjo una escasez de abastecimiento. Un ejemplo es la provincia de Fujian la cual en los inicios de la dinastía Ming no disponía de muchos recursos almacenados. Esto hecho provocó que fueran importadas grandes cantidades de madera, principalmente del sudeste de Asia.

3.5.2 Técnicas de construcción

Con la evolución de la sociedad y el paso del tiempo, el proceso de construcción de los grandes barcos del tesoro, y demás tipos de juncos, fue experimentando diversas modificaciones con las que se podía apreciar la adaptabilidad y evolución de la construcción naval en esta zona. Los conocimientos relativos a las técnicas y procesos de construcción de los juncos chinos se transmitían de generación en generación entre las comunidades locales.

Antes de iniciar el proceso de construcción del barco se llevaba a cabo el diseño de este. En esta fase, se fijaban las dimensiones que el junco debía presentar. Algunos de los principales parámetros que se establecían en esta fase son los siguientes: la longitud de la quilla y su elevación en proa y popa según la función que debía llevar a cabo el barco, las dimensiones de la manga y calado del barco en proporción a la longitud de la quilla, la posición transversal de los mamparos, las dimensiones del timón y la longitud de los mástiles que el barco enarbolaba. A su vez, documentos de la dinastía Song (siglos X – XII) indican que en algunas ocasiones se fabricaban modelos del barco que iba a ser construido. Tras la realización de los estudios y comprobaciones necesarios, si los resultados eran los deseados, se podían determinar las dimensiones del barco aplicando la escala pertinente.

La construcción del casco de estas embarcaciones se basaba en el ensamblaje de las planchas una al costado de la otra. Es decir, a diferencia de la técnica de tingladillo utilizada por los vikingos donde el extremo de una plancha quedaba sobrepuesto a la anterior, la unión de las tracas que formaban el forro exterior era liso (*carvel-built planking*). Para el ensamblado de las planchas de madera se utilizaban clavos y remaches de hierro.

En numerosas ocasiones, dependiendo de la zona del casco, se realizaba un doble o triple forrado. Es decir, en aquellas zonas del casco en las que era necesario una mayor resistencia estructural, se fijaban varias planchas, dos o tres, una sobre la otra. De esta manera se lograba una mayor rigidez del casco del

barco. En el caso del triple forrado, la última capa, es decir, la más externa, actuaba como un revestimiento no estructural.

Una vez ensambladas las tracas del forro exterior, se procedía al calafateado para así dotar de mayor estanqueidad al barco evitando la entrada de agua. Este procedimiento se realizaba introduciendo una mezcla en las juntas que se formaban entre las distintas planchas de madera. Esta mezcla estaba formada por piedra caliza molida y aceite de tung (también llamado aceite de madera de China) junto con cáñamo picado procedente de las redes de pesca viejas. Una vez transcurridas 18 horas, esta mezcla se solidificaba, pero se mantenía flexible.

Al mismo tiempo, con respecto al proceso de construcción que seguía para la construcción de estos barcos, se produce una cierta controversia. En numerosas ocasiones, se determina que estos barcos se construían mediante el proceso de forrado primero (*shell-first construction*) (Minh-Hà L. Pham 2012, Ward 2006). Este proceso consistía en el ensamblado de las planchas que formaban el casco y, una vez construido el casco, se procedía a la incorporación de la estructura interna de este. Sin embargo, otras fuentes determinan que primero se construía la estructura interna del barco a la que posteriormente se le fijaba el forro exterior (*skeleton-first construction*) (Lu 2014, Ward 2006). Debido a que la gran mayoría establece que estos barcos se construían siguiendo el proceso *shell-first*, se considera que este era que se llevaba a cabo en los astilleros chinos para la construcción de los juncos chinos.

En el proceso de construcción *shell-first*, las tracas de aparadura del casco de los juncos se fijaban a la quilla por medio de clavos de hierro inclinados situados con una separación entre ellos de aproximadamente 160 milímetros. Esta plancha posee una gran resistencia, superior a las que presentan las demás tracas que conforman el casco del barco, y tienen una gran relevancia en cuanto al refuerzo de la estructura de la quilla. El forro exterior principal se fija a los mamparos mediante soportes con forma de L de hierro de aproximadamente 60,96 centímetros.

Una vez finalizada la construcción del forro exterior del casco, la incorporación de los mamparos, la fijación de las planchas que formaban las cubiertas (las cuales iban fijadas a los mamparos) y la construcción del castillo de popa, la última fase del proceso consistía en la pintura y decoración del casco.

Capítulo 4. Siglos XV-XVI: Nao Santa María

4.1 Contexto histórico

El periodo comprendido entre los siglos XV y XVI se caracterizó por el afán de expansión y colonización hacia nuevos territorios por parte de las grandes potencias europeas. Uno de los hechos más importantes que tuvo lugar durante este periodo por su gran relevancia histórica consistió en el descubrimiento del continente americano en el año 1492.

Como consecuencia del interés de expansión de estos países, para llevar a término estas expediciones, el sector de la construcción naval experimentó una gran evolución, tanto a nivel técnico como de diseño. Esta evolución se desarrolló de manera diferente en función del lugar geográfico. En los países del norte, especialmente en Holanda, aparecieron un nuevo tipo de barcos llamados *cog* que fueron construidos siguiendo las técnicas de construcción heredadas por los vikingos, pero introduciendo nuevos cambios. Mientras, en los países del sur de Europa, especialmente en Portugal y en España, fueron diseñados y construidos distintos tipos de barcos más rápidos, eficientes y seguros que los anteriores. Estos barcos, además de las funciones que tenían hasta ese momento, estaban diseñados para realizar grandes expediciones oceánicas de exploración, establecer nuevas rutas comerciales y también fueron construidos con fines bélicos. Las nuevas embarcaciones construidas por estos dos países tuvieron una gran relevancia por las óptimas prestaciones que ofrecían y sirvieron de modelo para otros países.

Además de los grandes avances e innovaciones que se dieron en el sector naval a lo largo de este periodo, también se produjeron otros avances relacionados con la navegación. La creación de mapas cartográficos, la aparición del compás de navegación, así como el mayor conocimiento sobre el comportamiento del mar y las corrientes del Atlántico, entre otros, proporcionaron a la tripulación de estos barcos una mayor seguridad y facilidad para el manejo del barco durante la navegación. En relación con el compás de navegación, este elemento ya fue desarrollado e instalado en los juncos chinos, pero presentando diferencias en cuanto a su formato.

A raíz del uso de los nuevos instrumentos y elementos que mejoraron la navegación y de los novedosos barcos diseñados, se establecieron numerosas rutas marítimas comerciales entre las potencias y las

tierras que eran descubiertas y también con otros países. En el caso de Portugal y España, los cuales eran los que tenían un mayor control y predominio de los países del sur de Europa, estas rutas comerciales con sus nuevas tierras les permitieron obtener una gran diversidad de materias primas necesarias para la construcción de los grandes barcos, además de otros fines, a la vez que exportaban sus productos locales para su comercialización. En el caso de Portugal, los principales productos que importaban de las zonas costeras de África eran los siguientes: especias, plata, oro, madera y armas. También comerciaban vía marítima con lugares como Inglaterra, Flandes, Italia y ciudades costeras del norte de Europa.

En el caso de España los principales productos que comerciaban con otros países europeos eran los que se indican a continuación: aceite de oliva, especias, vino, trigo, lana, seda y plata. Al mismo tiempo, debido a que la construcción naval española tenía un elevado prestigio por los barcos de elevadas prestaciones que se construían en los astilleros españoles, hacia finales del siglo XVI también se comercializó la construcción de barcos. Un ejemplo es el caso de la compra de seis galeones españoles por parte de Inglaterra.

En la siguiente imagen se puede observar las rutas marítimas que realizaban los portugueses y españoles en el siglo XVI. Las rutas comerciales de los primeros se representan en color azul, mientras que la de los españoles es de color blanca. En cuanto a esta última, esta ruta se estableció entre China y el puerto de Manila en Filipinas y después se dirigía al puerto de Acapulco en México durante el siglo XVI.



Figura 49. Rutas comerciales marítimas de los portugueses y españoles en el siglo XVI

Fuente. https://en.wikipedia.org/wiki/Iberian_ship_development,_1400%E2%80%931600

En los países del norte de Europa también se desarrollaron numerosas rutas comerciales con las cuales se importaban y exportaban una gran cantidad de productos. Por ejemplo, en Inglaterra debido a su deforestación se requería la importación de madera de otros países para poder construir barcos. Esta

madera la obtenían del comercio con Rusia, país con el que además de comercializar madera también adquirirían otros productos necesarios para la construcción naval como brea y cuerdas.

4.2 Dimensiones principales

A diferencia de las épocas anteriores donde la construcción naval evolucionó más lentamente, en un espacio de tiempo más reducido se produjo la aparición de diversos tipos de barcos en los cuales sus dimensiones, complejidad, así como su precio aumentaron considerablemente.

Durante este periodo histórico, los barcos que se construyeron empezaron a seguir ciertos estándares relativos a las dimensiones y proporciones que debían cumplir. Los armadores acordaban con el maestro carpintero las medidas que debía tener el barco para el arqueado que deseaban. Con estas, se procedía al trazado del barco, cuyas dimensiones debían permitir el mayor aprovechamiento del espacio para poder almacenar la carga que el barco tendría que transportar. Las formas que presentaban los barcos también se basaban en normas o criterios de la geometría clásica (Rubio 1991).

En el siglo XVI, los barcos españoles fueron construidos siguiendo la regla de proporciones “as-dos-tres” que significa por uno de manga, dos de quilla y tres de eslora. Al mismo tiempo, las naos construidas hacia finales del siglo XV también podrían haber sido construidas siguiendo estas directrices (Rubio 2011).

En relación con la nao Santa María, debido a su relevancia histórica se han intentado construir diversas réplicas a partir de los datos de los que se tiene constancia. Estas evidencias se basan en algunas anotaciones que escribió Colón en su diario de abordaje y también del dato aproximado del porte (arqueado) que presentaba este barco según indicaciones de Escalante de Mendoza en 1575.

Sin embargo, cabe indicar que este último dato también presenta cierta confusión a causa de las variaciones que se produjeron durante los siglos XV y XVI relacionadas con el método que se seguía para calcular el porte de un barco, al igual que las unidades de medición. Es decir, en la época de Escalante de Mendoza el arqueado era medido en unidades de toneladas, las cuales eran las unidades oficiales del porte desde mediados del siglo XVI. Estas toneladas correspondían al espacio que ocupaban dos pipas de Castilla (equivalentes a un tonel). Hasta el año 1590, se fijó que este espacio equivalía a ocho codos cúbicos (1385 m³). No obstante, en 1492 el método del cálculo del porte de los barcos era distinto al utilizado hacia mediados del siglo siguiente y el volumen de estos toneles o toneladas de porte eran entre un 20% y un 25% superiores a los ocho codos cúbicos que formaban una tonelada (Rubio 2011). A su vez, a partir del año 1590 se estableció que una tonelada correspondía a ocho codos cúbicos de ribera (1518 m³).

Respecto al método utilizado para el cálculo del porte, hacia finales del siglo XV este se basaba en contar el número de pipas que cabían en el casco y dividir esta cantidad por dos. El resultado obtenido constituía los toneles de porte. A diferencia de este, en el siglo XVI el método de cálculo del porte consistía en hallar el volumen del buque en codos cúbicos y después dividir esta cantidad por ocho. De esta manera, se obtenían las toneladas o toneles de porte (Rubio 2011).

En el caso del barco analizado, al tratarse de una nao de finales del siglo XV se estima que sus dimensiones y proporciones seguirían la regla “as-dos-tres” propias de los astilleros vascos y cántabros, zona donde se estima que fue construida ya que antes de llamarse Santa María (nombre que le puso Cristóbal Colón) la llamaban “La Gallega”. De este modo, queda comprobado que la nao Santa María no se trataba de una carabela, propia de Andalucía y del sur de Portugal, sino de una nao con las características de la zona del norte de España.

Las dimensiones que se han utilizado como referencia son las indicadas en el libro *Arquitectura de las Naos y Galeones de las Flotas de Indias (1492-1590), Tomo I* escrito por José Luis Rubio Serrano en el año 1991. Los valores que adoptan estos parámetros son el resultado de un conjunto de cálculos realizados por investigadores a partir de las anotaciones que se disponen de esta nave. Los valores finales de las dimensiones obtenidas se consideran correctos ya que son coherentes y se asemejan al dato del porte indicado por Escalante de Mendoza y al de otras embarcaciones similares y de la misma época que la nao Santa María, de las cuales se conoce el porte que poseían.

En la siguiente tabla se muestran los valores de las dimensiones mínimas y máximas estimadas de la nao Santa María indicados en el libro mencionado.

Dimensiones principales de la nao Santa María		
	Mínimas	Máximas
Manga	5,— m	7,— m
Quilla, total	10,— m	14,— m
Eslora entre perpendiculares	15,— m	21,— m
Puntal en la 2ª cubierta	4,2 m	5,2 m

Tabla 6. Dimensiones estimadas de la nao Santa María

Fuente. *Arquitectura de las Naos y Galeones de las Flotas de Indias (1492-1590), Tomo I*

A partir de los datos expuestos en la Tabla 6 se puede apreciar que sus medidas eran muy reducidas cuando son comparadas con las grandes dimensiones que presentaban los barcos del tesoro, los cuales fueron construidos a principios del siglo XV.

En relación a la eslora, en el modelado de esta embarcación el valor que ha adoptado la eslora total a partir del plano de formas presente en el libro indicado es de 22,45 metros.

Además de los valores expuestos en la Tabla 6, también han sido calculados los correspondientes al desplazamiento real del barco, peso muerto y capacidad real de carga. Estos se exponen en la siguiente tabla.

Otras dimensiones nao Santa María	
Desplazamiento real	110 – 115 toneladas
Peso muerto	70 toneladas
Capacidad real de carga	40 – 45 toneladas

Tabla 7. Desplazamiento real, peso muerto y capacidad real de carga de la nao Santa María

Fuente. Arquitectura de las Naos y Galeones de las Flotas de Indias (1492-1590), Tomo I

En cuanto al arqueo, siguiendo el método de cálculo utilizado a finales del siglo XV basado en el recuento de pipas daba un total de 180 pipas, repartidas entre la bodega baja (96 pipas) y el entrepuente (84 pipas). Este valor, tras dividirlo entre dos resultaban en 90 toneles. De manera que el porte estimado de la nao Santa María es de 112,5 toneladas, el cual equivale a una cubida del casco de 171 m³. A su vez, empleando el método de cálculo del porte que se utilizaba a principios del siglo XVI (época en la que se dispone el valor del porte de esta nave indicado por Escalante de Mendoza) el resultado obtenido es de 112,66 toneladas. Estos dos valores, se aproximan entre ellos y también al indicado por Escalante de Mendoza, de modo que este puede ser considerado correcto.

En la Figura 50 se observan dos secciones transversales del casco de la nao Santa María en las que se puede apreciar cómo iban estibadas las pipas en la bodega y el entrepuente. Además de estas también se muestra una sección longitudinal y horizontal de esta nave.

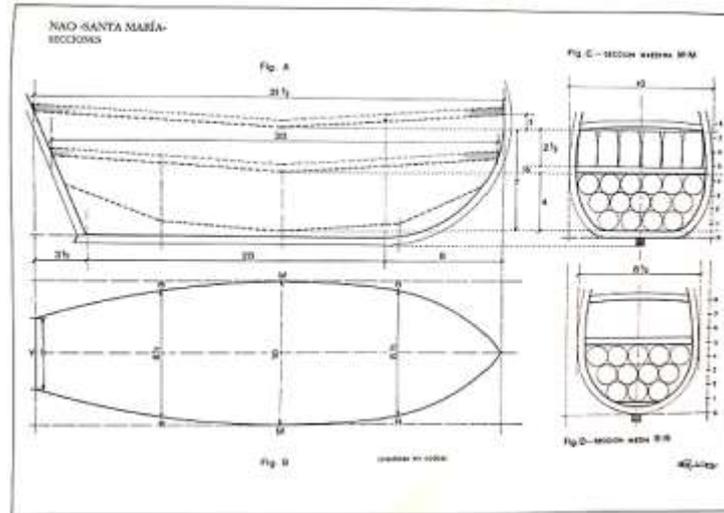


Figura 50. Secciones de la nao Santa María y disposición de las pipas en la sección maestra y sección media
Fuente. Arquitectura de las Naos y Galeones de las Flotas de Indias (1492-1590), Tomo I

4.3 Características de la obra viva y obra muerta

A lo largo de este periodo histórico, el cual comprende el final de la Edad Media y el inicio de la Edad Moderna, tuvo lugar el origen de la navegación oceánica. Gran parte de las potencias europeas empezaron a construir un número elevado de embarcaciones con la finalidad de disponer de flotas extensas, tanto comerciales como militares, para así realizar grandes viajes de expedición por los océanos. A raíz de este nuevo tipo de navegación y de las diversas funciones que los barcos tenían que realizar, se produjo una gran evolución en el sector de la construcción naval.

Esta evolución se caracterizó por la aparición de diversos tipos de barcos en un intervalo de tiempo reducido. Estos se diferenciaban entre sí principalmente por el tonelaje y por el aparejo que presentaban. De modo que su diseño también era distinto ya que este se adaptaba a las necesidades requeridas en esta época.

A continuación, se describirán las principales características de los barcos construidos en el siglo XV y XVI relativas a la obra viva y a la obra muerta.

4.3.1 Características de la obra viva

Los barcos construidos en esta época se diferenciaban de los correspondientes a tiempos anteriores debido a su tamaño. Los nuevos barcos mercantes presentaban esloras cada vez más elevadas para así adaptarse mejor a las necesidades comerciales. Estos nuevos barcos tenían esloras tres veces mayores a las relativas a barcos anteriores y también disponían de una mayor manga. Además del aumento de sus dimensiones, también se incrementó la cantidad de carga que podían transportar en su interior. Estas

características variaban en función del tipo de barco ya que, según su diseño y finalidad, estas eran distintas.

Una de las principales embarcaciones construidas durante este periodo fueron las naos, estas constituyeron los primeros barcos mercantes capaces de realizar grandes viajes oceánicos. No obstante, además de la construcción de las naos, previas a su aparición en el sur del Mediterráneo (concretamente en Portugal y España) se diseñaron otros tipos de barcos que también tuvieron un gran predominio en el sector naval. Estos fueron principalmente las carracas y las carabelas.

Las carracas fueron naves comerciales, las cuales se utilizaron en gran medida desde su origen en el siglo XII hasta el siglo XVI. Las primeras carracas eran de tamaño reducido y su capacidad de carga también era inferior. Sin embargo, a raíz de las modificaciones que se fueron realizando a su diseño para adaptarse a las necesidades del momento, estas fueron aumentando de tamaño y de capacidad de carga. En relación a este último aspecto, las carracas podían transportar un tonelaje mínimo de 300 o 400 toneladas. Al mismo tiempo, este tipo de embarcaciones se caracterizaba por disponer de un calado considerable que hacía que las operaciones de carga y descarga de las mercancías se realizara en puertos de altura.

A pesar de ser embarcaciones de gran tamaño, debido a la dificultad de acceder a determinados puertos por las dimensiones que poseían y a los elevados gastos que suponía el transporte de mercancías por medio de estos, sus dimensiones se vieron reducidas hacia mediados del siglo XV y principios del siglo XVI.

En la siguiente imagen se muestra una representación de una carraca portuguesa construida en el periodo de tiempo analizado.



Figura 51. Representación de una carraca portuguesa de los siglos XV y XVI
Fuente. <https://sectormaritimo.es/diez-tipos-de-embarcaciones-a-vela>

Además de las carracas, en Portugal se diseñó un nuevo tipo de embarcaciones, las carabelas. Este tipo de barcos también fue posteriormente construido por los españoles debido a las numerosas ventajas que ofrecían. Estos barcos fueron diseñados inicialmente para fines comerciales por zonas próximas a la costa. Sin embargo, más tarde fueron también empleadas para llevar a cabo grandes expediciones.

En cuanto a la obra viva que presentaban, las carabelas eran embarcaciones con finas líneas, mangas más reducidas (eran más estrechas, aproximadamente de 7 metros) y su eslora oscilaba entre 18 y 30 metros de longitud. Al mismo tiempo, este tipo de barcos tenía una capacidad limitada para el transporte de carga y de tripulación y su tonelaje oscilaba entre 50 y 160 toneladas. Sin embargo, a pesar de estas limitaciones, las carabelas disponían de una elevada capacidad para virar, eran ágiles, ligeras y poseían una buena maniobrabilidad.

Otra característica que presentaban estas embarcaciones consistía en su calado reducido. Esta propiedad les permitía navegar por zonas con aguas poco profundas, hecho que les beneficiaba frente a los barcos contemporáneos como las carracas y naos para la realización de travesías de expedición hacia nuevos territorios por ríos y aguas poco profundas. En la Figura 52 se muestra una réplica de la carabela portuguesa Boa Esperança de finales del siglo XV.



Figura 52. Réplica de la carabela Boa Esperança

Fuente. https://en.wikipedia.org/wiki/Iberian_ship_development,_1400%E2%80%931600

En relación con las naos, estas embarcaciones fueron diseñadas para realizar viajes oceánicos de larga duración. Estas grandes naves presentaban un casco redondo, tenían formas parecidas a las que presentan las carracas, pero resultaban ser más abultadas. De manera que sus secciones transversales en la parte central del casco tenían formas de U. Estas embarcaciones también disponían de calados elevados.

A su vez, el tonelaje de las naos también era mayor y podía oscilar entre 150 y 500 toneladas. En su interior se almacenaban grandes cantidades de mercancías y también de armas. Este tipo de naves, las cuales en numerosas ocasiones navegaban junto con las carabelas, contaban con un casco más sofisticado que los demás barcos. Habitualmente disponían de barras de refuerzo en sus cascos independientemente de si estaban contruidos con un casco de tingladillo (en los barcos del norte de Europa) o casco liso (en los del sur). En la Figura 53 se puede apreciar la nao Santa María.

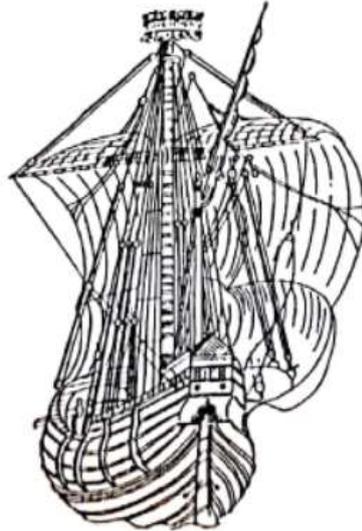


Figura 53. Nao Santa María

Fuente. Arquitectura de las Naos y Galeones de las Flotas de Indias (1492-1590), Tomo I

Con el paso de los años, las naos y las carracas siguieron evolucionando, a diferencia de las carabelas que cayeron en desuso, y a mediados del siglo XVI dieron paso al diseño de una nueva embarcación llamada galeón. Respecto a este último, se aprecian dos tipos distintos: el galeón español y el galeón inglés. Estos barcos fueron los primeros diseñados únicamente para fines militares y también eran capaces de transportar cargas de mayor valor.

A diferencia de los anteriores, los galeones tenían un ratio eslora-manga relativamente superior al de los barcos indicados anteriormente. El casco de estas nuevas embarcaciones estaba diseñado para alcanzar velocidades transatlánticas, ser marineras, disponer de una capacidad de carga adecuada y también para la defensa (Meide 2002). Al igual que en el caso de las naos, estos barcos también tenían integrados en el casco un conjunto de refuerzos con los que el barco se podía adaptar mejor a las condiciones de la mar y a posibles conflictos bélicos.

En la Figura 54 se muestra un ejemplo de este tipo de embarcaciones del siglo XVI.



Figura 54. Pintura de un galeón

Fuente. <https://sectormaritimo.es/diez-tipos-de-embarcaciones-a-vela>

Respecto al timón, inicialmente los barcos medievales disponían de un timón de espadilla situado en uno de los costados del barco. Este hecho se debía a la influencia de los vikingos en la construcción naval, concretamente la construcción de las cocas medievales. Sin embargo, a raíz de los cambios que se empezaron a desarrollar en la construcción naval, este remo que funcionaba como un timón desapareció y en su lugar se introdujo el timón de codaste. Este elemento consistía en una pieza móvil de madera situada verticalmente en el codaste del casco del barco perpendicular a la quilla. A través de este elemento, resultaba más fácil para el miembro de la tripulación responsable dirigir al barco hacia el rumbo deseado y controlarlo. Es decir, permitió una mejoría en la maniobrabilidad de los barcos, incluyendo los de mayor tamaño.

4.3.2 Características de la obra muerta

Del mismo modo que las propiedades de la obra viva evolucionaron de gran manera durante este periodo, su obra muerta experimentó numerosos cambios. Estas modificaciones se basaron generalmente en la aparición de superestructuras en sus cubiertas, en la combinación de distintos tipos de velas y en el aumento de mástiles que enarbolaban. Estos elementos variaban a su vez en función del tipo de embarcación. A continuación, se indicarán las propiedades que presentan los barcos mencionados.

Una de las principales características que presentaban estos barcos relativas a la obra muerta era su elevado francobordo. Estos barcos empezaron a aumentar su tamaño por encima de la línea de flotación de manera considerable. En el caso de las carracas, estas grandes naves contaban con un francobordo superior al de los otros tipos de barcos, siendo las carabelas las de menor. Las carabelas y las naos

también presentaban un estrechamiento de la manga a medida que se elevaba el casco por encima de la línea de flotación. En la siguiente imagen se pueden apreciar los alzados de proa y popa y del perfil longitudinal del costado de estribor de la nao Santa María. En esta se puede apreciar como el casco por debajo de la línea de flotación tiene mayor manga, y a medida que se eleva va disminuyendo.

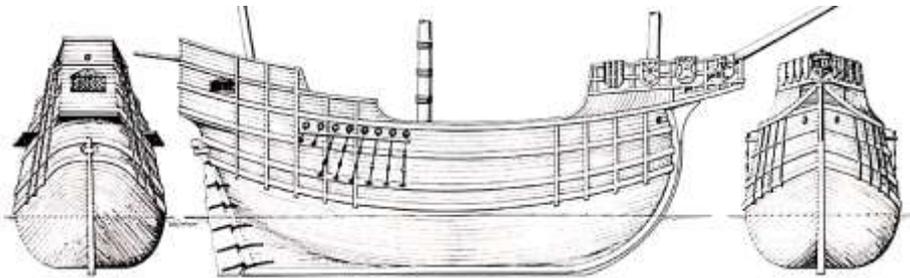


Figura 55. Alzados de proa y popa y perfil longitudinal de la nao Santa María
Fuente. Arquitectura de las Naos y Galeones de las Flotas de Indias (1492-1590), Tomo I

A partir de la imagen anterior, se observa la gran modificación que se dio durante este periodo histórico. Respecto al francobordo, en comparación con el relativo al de las naves vikingas, estos barcos tenían un francobordo muy superior.

En cuanto a las formas que presentaban estos barcos en proa y popa, estas se caracterizaban por ser más rectas. Es decir, en el caso de los barcos vikingos los extremos de las embarcaciones presentaban al final curvaturas. A diferencia de estos, los barcos diseñados en este periodo histórico prescindieron de estas curvaturas y sus formas también diferían. En el caso de las carabelas y las naos, estos barcos tenían proa en cuchara y popa cuadradas. Las carracas presentaban unas popas cuadradas. De esta manera, apareció el espejo de popa, el cual consistía en una superficie plana en el extremo de popa. Este tipo de popas también fueron utilizadas con anterioridad en el diseño de los juncos chinos. Un ejemplo es el del barco analizado *Baochuan*.

Al mismo tiempo, en la cubierta principal se añadieron, tanto en proa como en popa, unas nuevas superestructuras que eran los castillos de proa y de popa. Estos castillos eran similares a los diseñados para los juncos chinos. A diferencia de las naos y las carracas, las carabelas también constaban de un castillo de popa, pero no del de proa. Estos eran de grandes dimensiones, sin embargo, los castillos de proa y de popa pertenecientes a las carracas eran de mayor tamaño y se elevaban a una distancia de la línea de flotación superior a la correspondiente a los otros dos tipos de naves.

En relación al número de cubiertas de estas naves, las carracas eran las que disponían de un mayor número. Estas embarcaciones podían tener entre una y tres cubiertas. Las naos disponían de dos cubiertas, cubierta de castillo y cubierta de toldilla (es una cubierta parcial situada a popa del barco

sobre el alcázar). En el casco de las carabelas, este tipo de barcos disponían de la cubierta principal y la cubierta de toldilla.

Durante esta época, los nuevos veleros tenían una gran variedad de aparejos en los que se combinaban distintos tipos de velas y fueron incrementando el número de palos que estos enarbolaban. Este aumento surgió a raíz de la necesidad de construir barcos más rápidos. Tanto el número de mástiles como el tipo de velas utilizadas dependían del tipo de embarcación y también de la situación geográfica donde esta se construyera.

En relación al número de mástiles que enarbolaba el barco, las naos principalmente tenían tres mástiles: uno en proa (trinquete), el mayor y otro situado en popa (mesana), el cual se situaba ligeramente inclinado. Además de estos, las naos también disponían del bauprés que era un mástil situado en la parte de proa del barco y presentaba cierta inclinación. A diferencia de estas, las carabelas también disponían de trinquete, mayor y mesana, pero no tenían bauprés. Cabe indicar que estos barcos inicialmente disponían únicamente de uno o dos mástiles. No obstante, a medida que se incrementaba su uso aumentó también el número de mástiles llegando a enarbolar cuatro. En el caso de las carracas, estas tenían principalmente tres mástiles, pero en algunas ocasiones también podían disponer de cuatro.

Con respecto al velamen, estos nuevos barcos incorporaron el uso de velas latinas además de velas cuadradas. En el caso de las carracas, las velas eran cuadradas en el árbol mayor y en el trinquete y en el palo de mesana se incorporaba una vela latina (también denominada de cuchillo o triangular), la cual estaba diseñada para ir contra el viento. El velamen de las naos, al igual que las carracas, consistía en velas cuadradas en el mayor y en el trinquete mientras que en el de mesana se disponía una vela latina. Respecto a las carabelas, la disposición de las velas variaba según el número de mástiles que enarbolaba y también de la situación geográfica. Cuando presentaba cuatro mástiles, el trinquete y la mesana tenían velas latinas y el mayor popel y proel tenían velas cuadradas. En otros casos se utilizaba velamen latino en la mesana y velas cuadradas en los palos de mayor y trinquete. La vela cuadrada situada en el trinquete solía ser de menor tamaño para así equilibrar la superficie vélica del barco. Al mismo tiempo, en algunos lugares como Flandes, la vela de la mesana en vez de ser latina era cuadrada. En otras zonas, en el árbol mayor y en el de mesana se utilizaban velas latinas y cuando el barco fuese a realizar viajes oceánicos, se cambiaba este tipo de vela por velas cuadradas.

En el caso de la nao Santa María, además de las velas mencionadas anteriormente, esta nave también disponía de una gavia (pequeña vela que se sitúa en la parte alta del palo mayor o en cualquiera de los otros palos) y de la cebadera (vela situada en el bauprés).

En algunas ocasiones, estos barcos también presentaban cofas (pequeñas plataformas alrededor del mástil) en algunos de sus palos en las que podían situarse los miembros de la tripulación.

Al aumentar el número de mástiles y de velas, la jarcia de estos barcos, tanto firme como de labor, también aumentó. En las siguientes imágenes se puede apreciar la jarcia fija (Figura 56) y la jarcia de labor y velas que disponía la nao Santa María (Figura 57).

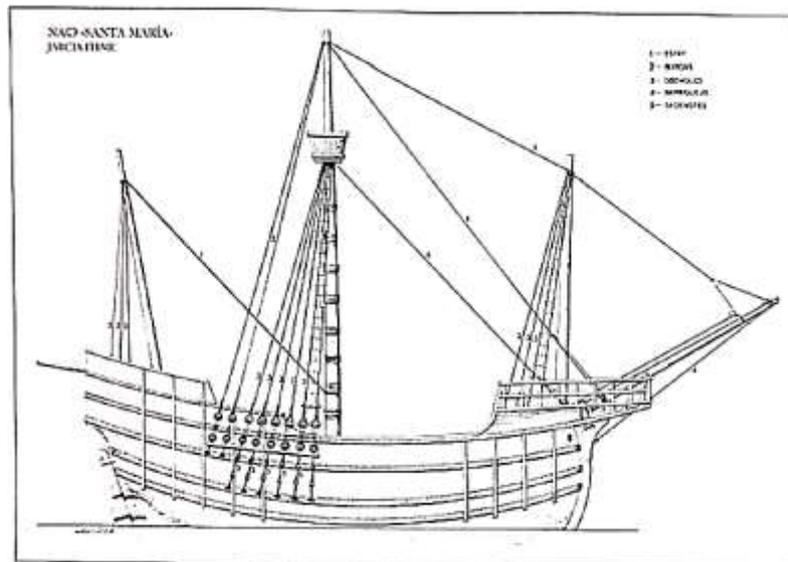


Figura 56. Jarcia firme de la nao Santa María

Fuente. Arquitectura de las Naos y Galeones de las Flotas de Indias (1492-1590), Tomo I

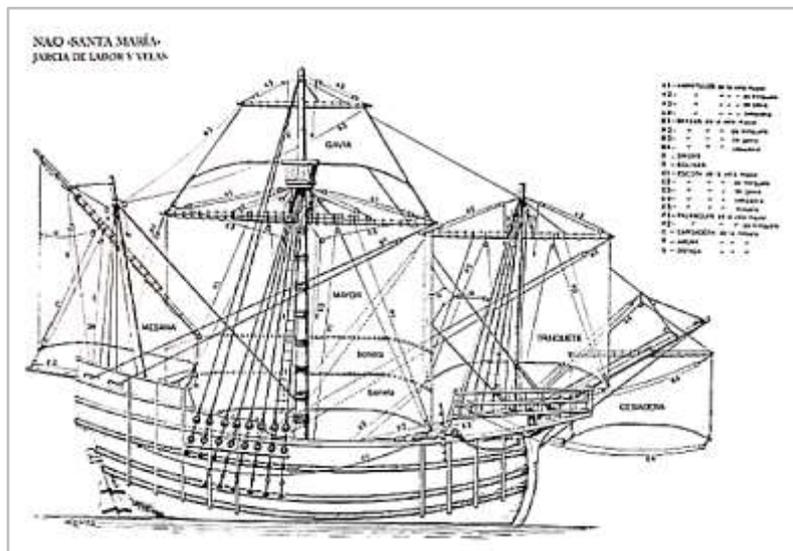


Figura 57. Jarcia de labor y velas de la nao Santa María

Fuente. Arquitectura de las Naos y Galeones de las Flotas de Indias (1492-1590), Tomo I

Además de los aspectos mencionados, debido a que estos barcos también eran utilizados con fines militares, se empezó a incorporar artillería en su casco, especialmente en la zona de proa del barco. En

el siglo XVI, los barcos presentaban unos agujeros en los costados del casco por encima de la línea de flotación llamados troneras que servían para poder situar en ellos los cañones. Un ejemplo de barcos que los llevaban eran los galeones. Estos barcos tenían dos cubiertas junto con una cubierta parcial, cubierta de alcázar y cubierta de toldilla. También disponían de un castillo de proa reducido y el de popa seguía la línea del casco, es decir, no sobresalía. A su vez, disponía de tres mástiles con vela cuadra y en el de mesana podía presentar velas latinas.

4.4 Proceso de realización del modelo del casco en 3D

El modelo en 3D del casco de la nao Santa María se ha obtenido a través del uso de dos programas informáticos de diseño, concretamente AutoCAD® y Rhinoceros®. El primero se ha utilizado para el trazado de las secciones transversales y longitudinal que configuran el casco del barco en base a las trazadas en el plano de formas. El segundo ha permitido dibujar el modelo del casco de la nao Santa María en 3D a partir del modelo creado previamente con AutoCAD®.

En los siguientes subapartados se describirá el procedimiento que se ha llevado a cabo con la finalidad de realizar el modelo del casco de este barco construido a finales del siglo XV.

4.4.1 Desarrollo del casco en 3D con AutoCAD®

El desarrollo del casco en 3D con el programa de diseño AutoCAD® tiene como punto de partida el plano de formas del barco Santa María. Este se ha obtenido del libro *Arquitectura de las Naos y Galeones de las Flotas de Indias (1492-1590), Tomo I* escrito por José Luis Rubio Serrano en el año 1991. En la siguiente imagen se puede apreciar el plano de formas que se ha utilizado para el trazado del casco.

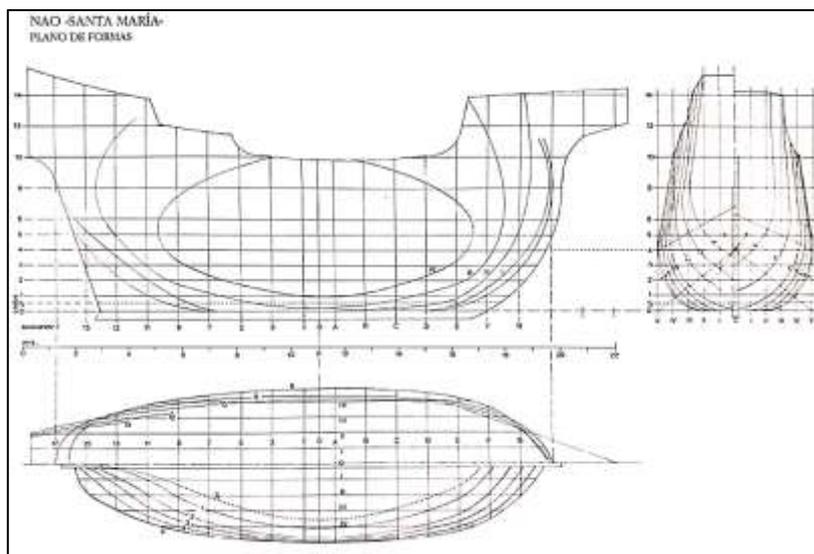


Figura 58. Plano de formas de la nao Santa María

Fuente. *Arquitectura de las Naos y Galeones de las Flotas de Indias (1492-1590), Tomo I*

Tras importar el plano de formas al campo de trabajo de AutoCAD®, el siguiente paso consiste en trazar las secciones transversales de la caja de cuadernas y la sección longitudinal relativa al perfil diametral del casco de la nao por medio del comando *Spline*.

Después, dado que estas secciones se encuentran en el plano de dos dimensiones, se procede a rotarlas al espacio en 3D por medio del comando *3Drotate*. Una vez rotadas todas las secciones, tanto transversales como longitudinal, son situadas en su lugar correspondiente del casco del barco con la ayuda de unas líneas auxiliares trazadas anteriormente. La línea auxiliar longitudinal corresponde a la línea de crujía y las transversales a las cuadernas de trazado. De este modo, a partir de estas secciones se puede obtener la forma del casco que posee la nao Santa María.

En la Figura 59 se puede apreciar el casco del barco analizado cuando las secciones transversales han sido situadas en su lugar pertinente del casco.

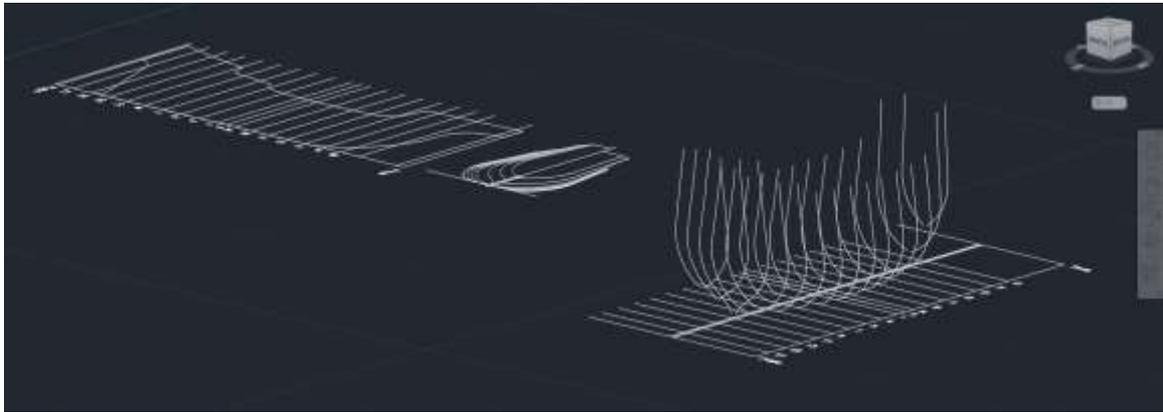


Figura 59. Vista isométrica de las secciones transversales del casco de la nao Santa María

Fuente. Propia

A diferencia de la anterior, la Figura 60 muestra el casco de la nao Santa María después de ubicar la sección longitudinal relativa al plano diametral.

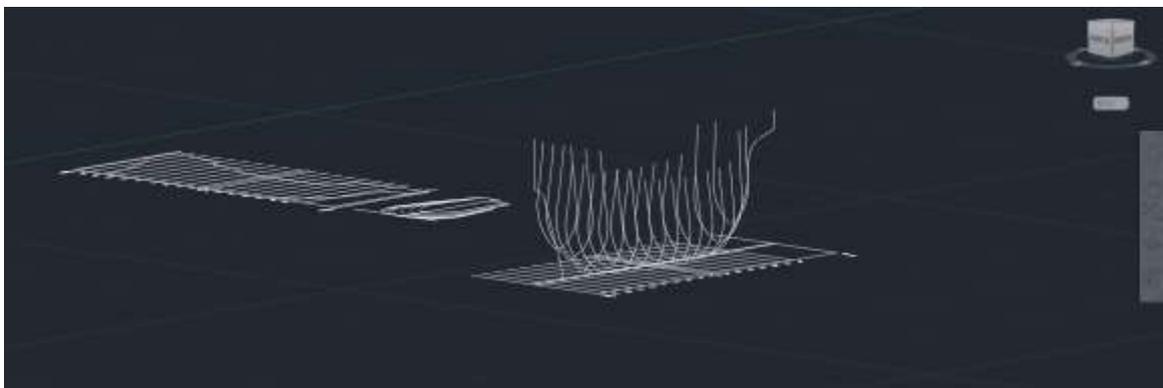


Figura 60. Vista isométrica de las secciones transversales y del perfil longitudinal del casco de la nao Santa María

Fuente. Propia

4.4.2 Modelado del casco en 3D con Rhinoceros®

Una vez se dispone de las secciones que configuran el casco de la nao en 3D, mediante el programa Rhinoceros® se crea el modelo de este.

El primer paso que se ha de realizar, cuando ya se ha importado el archivo al programa, es la creación de las superficies entre las secciones transversales y las zonas de proa y popa definidas por el perfil longitudinal. Con este paso, en el cual se utiliza el comando *Transición*, se obtienen las superficies que representan los costados del casco y las zonas de popa y proa, creando de este modo el casco completo de la nao Santa María.

En el transcurso de este proceso, se debe tener en cuenta que el programa puede producir superficies de manera errónea, es decir, superficies que no se adaptan a la forma que debería tener el casco. Por este modo, se opta a crear superficies en pequeños tramos, los cuales después de comprobar que son correctos, se unen formando el casco completo.

En este caso, al igual que en el caso del junco *Baochuan*, también se debe prestar atención a la parte del casco relativa a la quilla. A causa de que estos barcos tenían las quillas más pronunciadas, en el momento de creación de las superficies se debe vigilar en que no se formen deformaciones.

Cuando ya han sido creadas todas las superficies que forman el casco de este barco, el resultado que se obtiene es el que se puede apreciar en la siguiente imagen.

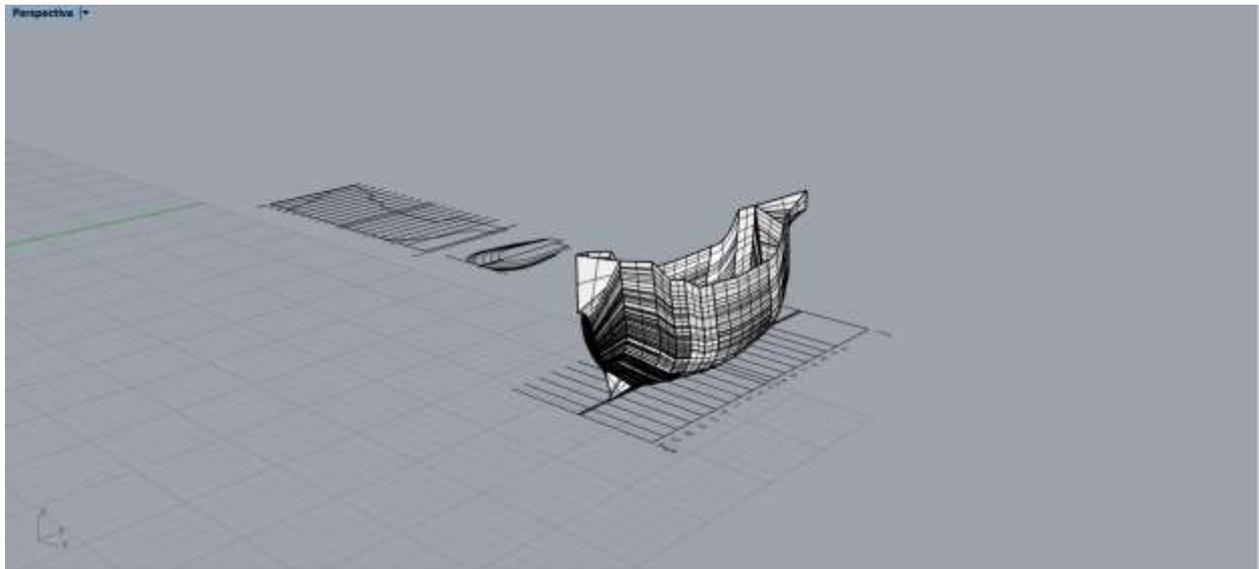


Figura 61. Vista en perspectiva del casco en 3D de la nao Santa María

Fuente. Propia

A través de la opción *Renderizado* del programa Rhinoceros® podemos ver el modelo del casco en 3D creado con mayor claridad en distintas vistas. En la Figura 62 se muestra la vista en perspectiva del casco modelado utilizando esta opción de Rhinoceros®.

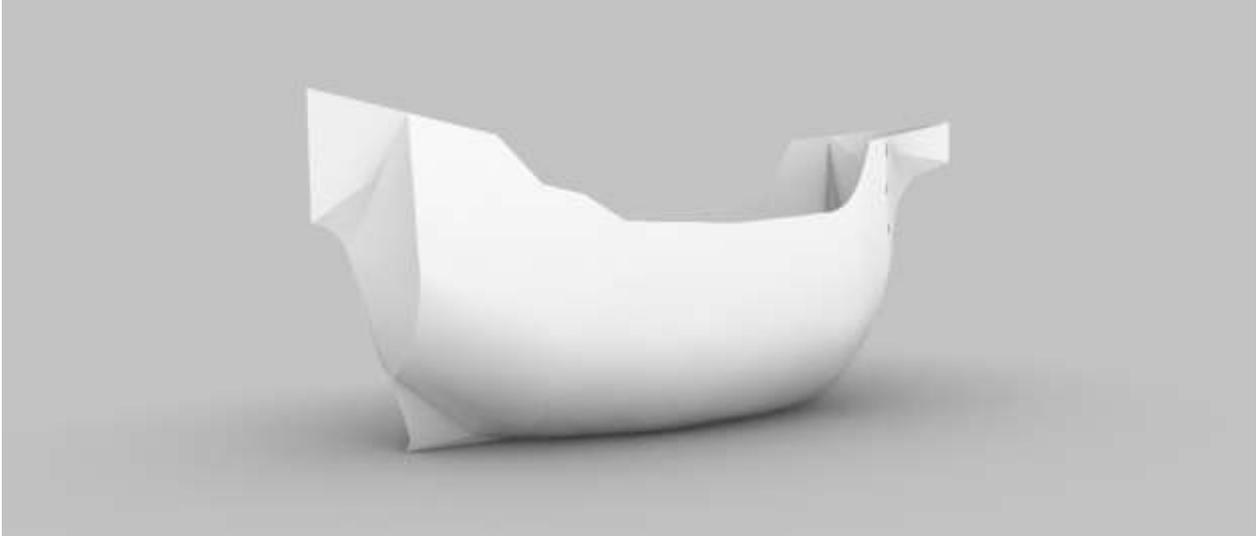


Figura 62. Vista en perspectiva renderizada del casco en 3D de la nao Santa María

Fuente. Propia

En la siguiente imagen se puede apreciar el perfil longitudinal de la nao Santa María correspondiente al costado de estribor.



Figura 63. Vista del perfil del costado de estribor del casco en 3D de la nao Santa María

Fuente. Propia

Las siguientes imágenes muestran la vista superior e inferior del modelo del casco que se ha realizado utilizando la opción del programa *Renderizado*. La imagen de la izquierda corresponde a la vista superior, mientras que la imagen de la derecha muestra la vista inferior de la obra viva del casco.

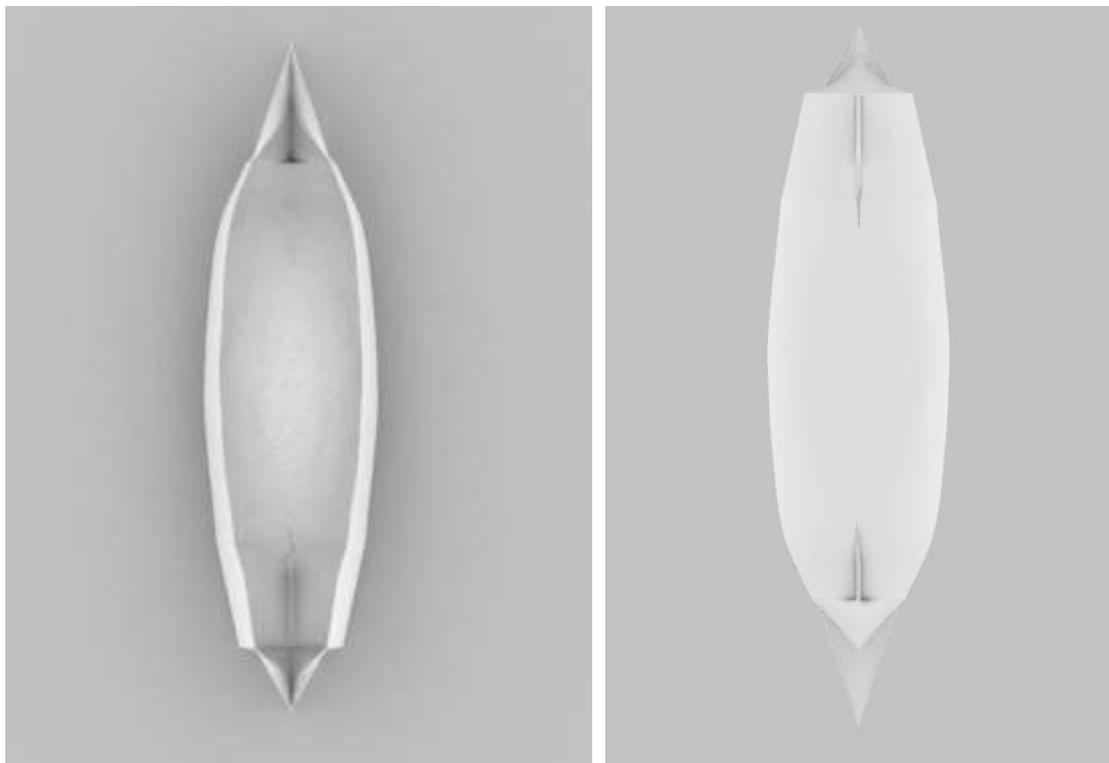


Figura 64. Vista superior (izquierda) e inferior (derecha) del casco en 3D de la nao Santa María

Fuente. Propia

4.5 Materiales y técnicas de construcción naval

A lo largo de los años comprendidos en el periodo estudiado en este capítulo, se dieron diversas variaciones en cuanto a la técnica y al proceso de construcción de los nuevos barcos diseñados. En relación con los materiales utilizados para la construcción de sus cascos y del aparejo, también presentaron algunas modificaciones, pero en menor grado.

A continuación, se describirán los materiales y técnicas utilizados para la construcción naval en los siglos XV y XVI.

4.5.1 Materiales utilizados en la construcción

Del mismo modo que los barcos construidos en el Antiguo Egipto, durante la Época vikinga y en China, el principal material que se utilizaba para la construcción de los barcos era la madera. La procedencia de esta madera solía ser principalmente de robles, pinos, abetos y cedros.

Debido a la resistencia que deben tener elementos del barco como la quilla y las cuadernas, normalmente se utilizaban maderas nobles, como es el caso de la obtenida a partir de los robles. No obstante, también se utilizaba madera de pinos o cedros, la cual no es tan resistente como las nobles (son maderas blandas).

Para la construcción de los mástiles que enarbolaban los barcos, los cuales generalmente estaban fabricados de maderas de pinos, se necesitaba que los troncos de los árboles fueran largos y rectos. En numerosas ocasiones, debido a la dificultad de disponer de ellos, el palo mayor estaba construido a partir de la unión de dos o incluso cuatro árboles y reforzados a su alrededor por una capa de pequeños trozos de madera. Sin embargo, en función de la disponibilidad de recursos, los mástiles eran construidos a partir de una sola pieza. Este es el casco de la nao Santa María, en el que todos sus mástiles estaban construidos de una sola pieza.

A diferencia de la técnica utilizada por los vikingos, las planchas de madera se obtenían serrando los troncos en vez de partirlos. Para llevar a cabo el método empleado por los vikingos era necesario disponer de troncos rectos (sin curvaturas) con vetas regulares en la madera mientras que en el método del serrado no era necesario que estos fueran siempre rectos. De esta manera, se podían utilizar troncos que anteriormente eran rechazados.

Como consecuencia de la elevada cantidad de madera que se requería para la construcción de estos barcos de gran tamaño, se necesitaba un mayor número de árboles. Este hecho provocó la aparición de una gran cantidad de rutas comerciales y de acuerdos entre diversos países para así poder abastecerse de esta materia prima. Las principales potencias durante el siglo XV y XVI del sur de Europa, especialmente Portugal, obtenían este recurso de sus colonias. Por ejemplo, de la isla Madeira, tal y como indica su nombre, podían abastecerse de madera noble (dura). En el caso de España, debido a que disponía una mayor cantidad de recursos, se podía abastecer de árboles locales para la construcción de sus barcos. Sin embargo, hacia finales del siglo XVI se estipuló un número concreto de robles que se debían plantar en determinados distritos para un mayor control de las reservas de madera destinada a la construcción naval.

A diferencia de estos, en Inglaterra también tuvieron que establecer rutas comerciales para obtener madera para la construcción naval. Este hecho se debía a que sus recursos estaban prácticamente extinguidos (también se estaban acabando los recursos que se exportaban de Irlanda) o era de gran dificultad y elevado coste el transporte de estos por el país. Este comercio de madera se produjo principalmente con Rusia. Generalmente se trataba de madera de pino, pero también se comercializaba madera de roble.

4.5.2 Técnicas de construcción

En el sector naval, la aparición y difusión de nuevas técnicas de construcción se suelen producir de manera lenta ya que este es un sector conservador. Este hecho se debe al elevado coste que puede suponer un error. Sin embargo, al igual que en los apartados anteriores, las técnicas de construcción y el sistema de construcción de los veleros que se dieron en esta época también sufrieron algunas modificaciones con respecto a la Época vikinga.

Como consecuencia del aumento del tamaño y complejidad de los barcos, la organización del trabajo en los astilleros también se vio afectada. Los astilleros pasaron a ser grandes instalaciones industriales en las cuales se desarrollaban diversos trabajos. Al mismo tiempo, se empezó a producir la diferencia entre las personas encargadas del trazado y diseño de las dimensiones y del barco y las personas encargadas de los trabajos relacionados con los materiales que se iban a utilizar para la construcción del barco, por ejemplo, los carpinteros de ribera.

La técnica de construcción que se utilizó variaba en función del lugar geográfico donde la embarcación iba a ser construida. En los países del norte de Europa, debido a la tradición vikinga, seguían utilizando la técnica de tingladillo o trincado (*clinker-built* o *lapstrake planking*), de manera que las planchas de sus cascos estaban sobrepuestas unas con otras. En algunas ocasiones, se producía un doble o triple trincado. Del mismo modo, el proceso de construcción se basaba en la construcción del forro exterior del casco de la embarcación y posteriormente, la introducción de la estructura interna (*shell-first construction*). Se estima que los ingleses seguían utilizando este método cuando empezaron a encargarse sus primeras carracas (Smith 2009).

Aquellos barcos construidos en la zona del sur de Europa, tanto las carracas como las carabelas, naos y finalmente los galeones, se caracterizaban por presentar cascos lisos, es decir, las planchas de madera que integraban el casco estaban unidas con sus adyacentes sin sobreponerse (*carvel-built*). Tras fijarlas, se procedía a su calafateado para así evitar la entrada de agua a través de las juntas. Este se basaba en la introducción de algodón o estopa mezclado con brea u otro material impermeable. En relación con su proceso de construcción, este se basaba en el sistema tradicional. Primero se construían y situaban las cuadernas en la quilla para crear la estructura interna del casco y sobre esta se procedía al forrado del casco (*skeleton-first construction*). Por medio de este sistema de construcción se lograban barcos más resistentes y permitía la construcción de naves de mayor tamaño. A su vez, otra ventaja que ofrecía el uso de este método de construcción se requería una menor cantidad de madera. Sin embargo, este tipo de construcción requería más reparaciones y un elevado mantenimiento.

A medida que fueron transcurriendo los años, a causa de la evolución que experimentó el sector naval y la influencia de las nuevas tendencias que se producían en la zona del Mediterráneo, hacia mediados del

siglo XV, los barcos construidos en el norte empezaron a utilizar la técnica *carvel-built* y el sistema de construcción *skeleton-first construction*. Cabe indicar que el término *carvel-built*, que hacía referencia a los cascos lisos y construidos con el sistema de *skeleton-first*, fue introducido por los constructores navales del norte para diferenciar este método con el de trincado o tingladillo.

Capítulo 5. Siglos XVII-XVIII: Navío de línea de 60 cañones

5.1 Contexto histórico

A lo largo de los siglos XVII y XVIII, el afán por la expansión y el trazado de nuevas rutas comerciales por vía marítima por parte de las principales potencias europeas (Inglaterra, España, Francia, Holanda...) provocó que surgiera la necesidad de construir un mayor número de barcos para así poder crear grandes flotas marítimas. Con estas se lograba hacer frente a estos dos propósitos y también servían para defenderse en caso de conflicto bélico marítimo. Durante este periodo se produjeron numerosas batallas navales, como es el caso de la Batalla del Nilo (1799), en las que se evidenciaba la importancia de la construcción naval. La competitividad entre países incrementaba, forzando a que estos diseñaran y construyeran barcos, tanto comerciales como militares, que ofrecieran prestaciones superiores de modo que les aventajaran frente a sus competidores.

En relación con las rutas comerciales, las cuales se extendían por todos los continentes, la más relevante fue la Carrera de Indias. A través de la Flota de Indias, también conocida como Flota del Tesoro Español, se establecieron diversas rutas con las cuales se llevaba a cabo el comercio entre las colonias y la Metrópoli. Estas rutas realizadas por los barcos españoles se veían afectadas por los ataques de la piratería inglesa y francesa, por parte de barcos militares de otras potencias europeas y el establecimiento de bases por parte de estas en las colonias españolas con la finalidad de acabar con el monopolio de España en el continente americano. Para hacer frente a estos ataques, los barcos mercantes disponían de armamento e iban escoltados por barcos militares formando de este modo escuadras navales.

En la siguiente figura se puede apreciar las rutas comerciales por vía marítima más relevantes realizadas por España (indicadas en color rojo) y las realizadas por Portugal (indicadas en verde).



Figura 65. Rutas Comerciales marítimas de España y Portugal

Fuente. https://es.wikipedia.org/wiki/Flota_de_Indias

Al ser tan elevada la relevancia del sector marítimo durante este periodo, tanto a nivel comercial como militar, numerosos historiadores consideran que estos integran la Era de la navegación a vela. Esta está comprendida desde el siglo XVI hasta mediados del siglo XIX. De manera aproximada se establece que esta abarca desde la batalla de Lepanto en el año 1571 hasta la batalla de Hampton Roads en 1862 (en esta última intervienen por primera vez los barcos a vapor). Sin embargo, cabe indicar que las fechas de inicio y fin de esta época pueden oscilar según ciertos criterios.

Como consecuencia de la importancia del sector de la construcción naval en el desarrollo de las principales potencias, tuvo lugar el perfeccionamiento técnico y la estandarización del sector. En este periodo se empezaron a crear barcos donde los aspectos técnicos eran estudiados con mayor atención desde puntos de vista más científicos y donde el diseño del barco fue constantemente modificado. Por ejemplo, en esta época surgieron los primeros planos de formas en los que se trazaban las secciones transversales de los barcos con las cuales se construirían posteriormente las cuadernas del casco. Además del perfeccionamiento técnico de los barcos, en el transcurso de este periodo los barcos también vieron incrementado el nivel de ornamentación que disponían. Especialmente en la zona del mascarón de proa y en las balconadas de popa.

En el caso de España, durante el transcurso del periodo estudiado en este capítulo, el sector naval se caracterizó por el uso mayoritario de los galeones durante el siglo XVII y por el de los navíos de línea durante el siglo XVIII. En relación a este último, su diseño y características técnicas experimentaron diversas modificaciones a raíz de las innovaciones propuestas por los primeros arquitectos navales y también por las influencias de los diseños y sistemas de construcción de países extranjeros, principalmente Inglaterra y Francia.

Los sistemas de construcción naval que se dieron en España se pueden agrupar en cinco etapas. De manera general, la primera etapa fue aquella en la que Antonio Gaztañeta introdujo un gran número de innovaciones en este sector como es el caso de los primeros planos de formas de los barcos. La segunda

etapa se caracterizó por la gran influencia francesa en la construcción de los navíos de línea. A diferencia de la anterior, los nuevos barcos construidos durante la tercera etapa estaban influenciados por los criterios técnicos utilizados en la construcción naval en Inglaterra. Estos habían sido introducidos en la construcción naval española de la mano de Jorge Juan. Después de esta época, se produjeron cambios en el diseño y la construcción de los navíos de línea con los que se obtuvo un nuevo sistema constructivo. Este presentaba una gran influencia del sistema francés aportada por Francisco Gautier. Finalmente, la última etapa se caracterizó por la construcción de grandes navíos de línea con excelentes propiedades diseñados por José Joaquín Romero y Fernández de Landa y Julián Martín de Retamosa. Cabe indicar que en algunas ocasiones se produjo una combinación y simultaneidad entre los diversos sistemas de construcción naval surgidos a lo largo del siglo XVIII en España.

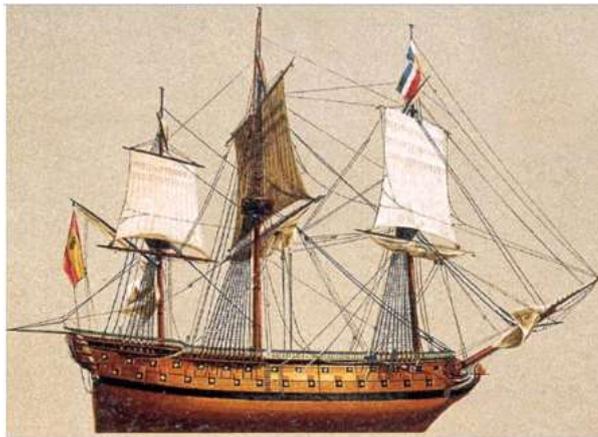


Figura 66. Navío de línea español de 74 cañones de finales del siglo XVIII

Fuente. <https://www.todoababor.es/historia/navio-de-linea-espanol-guia-visual-navio/>

Durante las últimas décadas del siglo XVII se produjo un aumento en la construcción de galeones que formaban parte de la Armada de Mar Océano, también denominada Armada del Océano, y de la Carrera de Indias. A pesar de este aumento, como consecuencia de numerosos conflictos bélicos a nivel estatal y también con países extranjeros, el número de barcos se vio reducido. Sin embargo, durante el siglo XVIII el total de barcos construidos en los astilleros españoles y en los correspondientes a sus colonias (principalmente el astillero de La Habana) incrementó considerablemente alcanzando su máximo valor en el año 1794. En este año se disponía de 76 navíos de línea y 51 fragatas.

El porcentaje de barcos construidos en España durante la primera mitad del siglo XVIII era ligeramente superior al 10% mientras que en la segunda mitad tenía un valor cercano al 70%. A pesar de este aumento, el cual aportaba beneficios económicos ya que no se debían pagar los fletes establecidos al fletar barcos franceses, el número de barcos construidos en España (120 barcos) era inferior al de otras potencias europeas como Inglaterra (261 embarcaciones). Sin embargo, en el año 1796 España era la segunda potencia mundial, por detrás de Inglaterra, con un total de 198 embarcaciones.

5.2 Dimensiones principales

Al igual que en los capítulos anteriores, durante el periodo de tiempo estudiado en este capítulo también se produjo la construcción de diversos tipos de barcos con los cuales se suplían las necesidades del momento. Un ejemplo de ellos son los navíos de línea. Estos se originaron en Inglaterra a finales del siglo XVI como resultado de los avances técnicos relativos al diseño del barco y también de la evolución de los barcos existentes. El primer navío de línea, denominado *Sovereign of the seas*, fue diseñado por Phineas Pett y construido en el año 1637. Estos navíos tenían como finalidad la escolta y defensa de los barcos mercantes cuando realizaban travesías. Para ello, disponían de artillería en los dos costados del barco con la que podían combatir en caso de necesidad. Debido a la formación en línea que trazaban estos barcos cuando se encontraban en situaciones de combate, eran denominados navíos de línea.

Los navíos de línea se podían clasificar en diversos grupos en función de varios criterios como el número de cañones que presentaba, los elementos instalados en el barco, entre otros. En el caso de los navíos de línea construidos en España, estos se agrupaban en tres clases dependiendo del número de cañones que contenían. La primera clase estaba configurada por navíos de línea con más de 100 cañones. La segunda clase estaba integrada por aquellos que tenían un número de cañones comprendido entre 90 y 94. Y la tercera estaba compuesta por navíos que tuvieran entre 60 y 80 cañones.

En el siglo XVII el uso de este tipo de embarcaciones fue consolidándose y sus características se vieron mejoradas, alcanzando de este modo su predominio en el siglo XVIII. Su utilización se extendió desde Inglaterra hasta las demás potencias europeas debido a las prestaciones que ofrecían. En el caso de España, en la siguiente tabla se puede apreciar el número de navíos de línea construidos a lo largo del siglo XVIII según su porte (peso de la carga que el barco puede transportar), el cual está expresado en función del número de cañones. El número total de navíos construidos fue de 223.

Porte	Número	Periodo de construcción
50 – 59 cañones	27	1700 – 1794
60 – 69 cañones	76	1703 – 1789
70 – 79 cañones	96	1716 – 1795
80 – 89 cañones	8	1728 – 1799
90 – 99 cañones	3	1765 – 1767
100 y más cañones	13	1769 – 1794

Tabla 8. Número de navíos de línea construidos en España durante el siglo XVIII

Fuente. La carpintería y la industria naval en el siglo XVIII

El periodo comprendido entre los años 1660 y 1712 se caracterizó por la ruptura con el sistema de construcción naval tradicional. Como consecuencia del estudio del diseño y construcción de los barcos desde un punto de vista más científico en el que se valoraban los aspectos técnicos de estos, se empezaron a promulgar diversas normativas, en España se establecían en forma de Ordenanzas, con las que se especificaban las características que estos barcos debían tener. En ellas se indicaban las dimensiones y proporciones que los navíos de línea debían cumplir, las cuales fueron incrementando paulatinamente con el paso de los años. De manera que en el siglo XVII ya no se seguía la regla de proporciones de los siglos anteriores, regla “as-dos-tres”. Al mismo tiempo que aumentaba el tamaño de estos barcos, su tonelaje también incrementó notablemente.

Uno de los aspectos más debatidos a lo largo del siglo XVIII fue la relación eslora/manga de los navíos de línea. Esta relación fue modificada y adoptó numerosos valores en función del sistema constructivo que se seguía en el momento en el que el barco era diseñado. Aquellos navíos que contaban con una relación eslora/manga entre los valores de 3,65 y 3,73 son los que ofrecían mejores resultados (Hormaechea 2012).

Cabe indicar que hacia mediados del siglo XVIII las dimensiones y proporciones que adoptaban los barcos discrepaban en función del tipo de embarcación. Es decir, los valores que adquirían los parámetros más relevantes del diseño del barco eran distintos en los mercantes a los correspondientes a los barcos de guerra. Estas diferencias también se veían influenciadas por las características del mar por el que los buques debían navegar.

A su vez, además de los avances técnicos, los barcos empezaron a estandarizarse. Un ejemplo son los planos del navío de línea de 60 cañones elaborados por Antonio Gaztañeta en el año 1712 ya que estos eran los que se utilizaron para la construcción de los siguientes barcos: San Carlos, Santa Isabel, San Fernando, San Juan Bautista, Victoria, Príncipe de Asturias, San Antonio y un segundo San Juan Bautista. Los tres primeros se construyeron en astilleros españoles entre los años 1716 y 1717, concretamente en Guarnizo (Santander). Los siguientes fueron construidos en el astillero español de La Habana entre 1718 y 1725, a excepción del navío Príncipe de Asturias que fue construido en San Feliu de Guíxols en el año 1718.

Los barcos mencionados forman parte del primer sistema constructivo que tuvo lugar en España en el siglo XVIII y del que su máximo representante era el propio Antonio Gaztañeta a causa de las modificaciones e innovaciones que aportó a este sector en relación con las proporciones y el diseño de estos barcos. De manera aproximada, se determina que esta etapa estuvo comprendida entre los años 1712 y 1728.

Algunas de las directrices que presentaba este sistema son las siguientes: la eslora venía definida en función del número de cañones del barco, a diferencia de los buques mercantes la quilla de los buques de guerra debía tener un valor de tres codos (1,725 metros) más, el calado se predeterminaba y la altura de la primera cubierta se establecía a partir de la línea de flotación, entre otras.

La relación eslora/manga que presentaban los barcos diseñados según los criterios de Gaztañeta fue uno de los aspectos más criticados por sus contemporáneos españoles ya que estos consideraban que la eslora era elevada en relación con la manga y el peso de la artillería (de Aranda y Antón, 1999). Este hecho provocaba que fueran necesarias numerosas reparaciones en el barco y tenían como resultado final una vida útil del navío muy reducida. Sin embargo, esta relación fue bien acogida en el sistema inglés, los cuales construyeron numerosos barcos con las directrices marcadas por este sistema. Por ejemplo, el Royal George o el Victory.

Para la realización del modelado del casco del navío de línea de 60 cañones estudiado en este capítulo, se ha utilizado el plano de formas de Antonio Gaztañeta mencionado. Las dimensiones principales que presentaba este navío son las que se indican en la siguiente tabla.

Dimensiones principales del navío de línea de 60 cañones	
Manga	21 codos (12,— m)
Quilla (medida interior)	60 codos (34,5 m)
Eslora	76 codos (43,7 m)
Puntal en la primera cubierta (puntal de bodega)	9 codos (5,2 m)
Porte	990 toneladas

Tabla 9. Dimensiones principales del navío de línea de 60 cañones
Fuente. Arquitectura de las Naos y Galeones de las Flotas de Indias (1492-1590), Tomo II

A partir de los datos indicados en la Tabla 9, apreciamos que la relación eslora/manga tiene un valor de 3,6. De modo que este navío de línea de 60 cañones era un barco de gran eslora y ofrecía unas buenas prestaciones. Este navío estaba diseñado para el apoyo a los barcos que configuraban las Flotas de Indias (Rubio 1991).

5.3 Características de la obra viva y obra muerta

A lo largo del siglo XVII, los barcos que se utilizaban con mayor frecuencia eran los galeones. Estos barcos inicialmente seguían teniendo características muy similares a las correspondientes a épocas

anteriores. Sin embargo, en el transcurso de este siglo se promulgaron diversas normativas que introdujeron modificaciones en su diseño. Estas estaban relacionadas principalmente con la obra muerta de los barcos.

Tal y como se ha indicado anteriormente, durante el siglo XVIII se produjeron numerosas transformaciones en el sistema constructivo que derivaron en la construcción de navíos de línea con características muy distintas en un intervalo de tiempo reducido. En algunas ocasiones, estas modificaciones surgieron de forma simultánea o con pocos años de diferencia. Este hecho hizo que los barcos pudieran estar diseñados o que incorporasen técnicas de distintos métodos de construcción. Esta combinación de sistemas que podían presentar los navíos de línea también se debía al extenso periodo de tiempo que se requería para la construcción de un navío. Es decir, desde que la madera necesaria para la construcción de los barcos se cortaba hasta que se terminaba la construcción de estos podían transcurrir diversos años.

Los avances e innovaciones que surgían en el sector naval de una de las principales potencias marítimas europeas eran copiados por las demás, aumentando así la competitividad entre ellas. Los barcos holandeses, franceses, ingleses y españoles eran los que tenían una mayor superioridad técnica. Los barcos españoles destacaban por tener buenas habilidades marineras, grandes dimensiones y disponer de un casco con una estructura sólida y robusta.

En el siglo XVII y en años anteriores, los barcos que se construyeron eran híbridos, es decir, eran mercantes y militares al mismo tiempo. Aquellos que eran destinados a la Carrera de Indias constituían un claro ejemplo de la doble funcionalidad que presentaban estos barcos. A diferencia de estos, durante el siglo XVIII las características de ambos, así como su dimensionamiento y elementos instalados en su interior, estaban claramente diferenciados.

A continuación, se describirán las principales particularidades relativas a la obra viva y obra muerta que presentaban los navíos de línea a lo largo de los siglos analizados en este capítulo.

5.3.1 Características de la obra viva

Una de las características que presentaban estos nuevos barcos consistía en el aumento de su dimensionamiento en comparación con los barcos construidos en épocas anteriores. A medida que pasaban los años, los barcos de nueva construcción tenían un tamaño mayor. En el caso de los navíos de línea, el desplazamiento que tenían podía alcanzar un valor que oscilaba entre 1200 y 3500 toneladas, llegando incluso hasta valores cercanos a 5000 toneladas en los de mayor tamaño. No obstante, el tamaño que presentaban los navíos de línea españoles y la relación eslora/manga adoptaron distintos valores en función del sistema constructivo que se estaba llevando a cabo en el sector naval español.

En el caso del sistema de Antonio Gaztañeta (1712 – 1728), como se ha indicado anteriormente, la eslora tenía un valor elevado en relación con la manga del navío. Posteriormente, entre los años 1728 y 1750 el sistema que se utilizaba era el establecido por Antonio Gaztañeta, pero con nuevas características influenciadas por el sistema francés. Una de estas mejoras consistía en que la eslora de los buques era elevada en relación al número de cañones que presentaban. Estos barcos se caracterizaban por ser marineros y superiores a los construidos en los mismos años por las demás potencias europeas, algunas de las cuales copiaron su diseño.

Durante la etapa de Jorge Juan (1750 – 1765) se incorporaron nuevas propuestas técnicas, influenciadas por los cambios técnicos realizados por los ingleses, entre las cuales se encontraba la reducción del tamaño de los navíos de línea. A pesar de esta reducción de sus dimensiones, los navíos de línea españoles tenían una eslora superior a la que poseían sus homólogos ingleses. Del mismo modo, la estabilidad de los navíos de línea españoles era mayor a las que presentaban los ingleses del mismo número de cañones.

Posteriormente, en la etapa de Francisco Gautier (1765 – 1782), la cual se caracterizaba por la introducción al sistema constructivo español de aspectos propios del correspondiente a Francia, la relación eslora/manga era mayor a la que había en ese momento en los diseños españoles. En la siguiente imagen se muestra un dibujo del navío de línea San Juan Nepomuceno, el cual fue construido siguiendo las directrices marcadas por Gautier.



Figura 67. Navío de línea San Juan Nepomuceno de 74 cañones
Fuente. https://todoavante.es/index.php?title=Juan_Nepomuceno,_San

En la última etapa (a partir del año 1782), el sistema constructivo consistía en una combinación de las ventajas del sistema inglés y francés creando un sistema de construcción de navíos de línea autóctono. Este sistema fue diseñado por José Joaquín Romero Fernández de Landa y, unos años más tarde, fue modificado por Julián Martín de Retamosa. Los cambios que este incorporó consistían en el afinamiento de las proas y el reforzado de las popas para así evitar el cabeceo violento que podían padecer los barcos. A través del seguimiento de los criterios técnicos establecidos en esta última etapa, se logró construir barcos marineros que ofrecían un comportamiento en el mar perfecto. Es decir, el diseño de estos barcos era óptimo.



Figura 68. Navío de línea Neptuno de 80 cañones

Fuente. https://www.iaph.es/export/sites/default/galerias/arqueologia-subacuatica/documentos/xPDF-38x_fichas_barcos_trafalgar.pdf

Las grandes dimensiones de los navíos de línea provocaban que estos fueran barcos lentos. En el caso de los buques diseñados siguiendo los nuevos criterios de diseño introducidos por Francisco Gautier, dado que presentaban un ratio eslora/manga mayor, el buque podía alcanzar velocidades superiores. A pesar de esta ventaja, estos barcos tenían una estabilidad reducida, presentaban una menor capacidad para instalar cañones en las cubiertas y podían adquirir escoras elevadas incluso con vientos de poca fuerza (de Aranda y Antón 1999).

Como consecuencia de las reducidas velocidades que podían adquirir los navíos de línea, estos eran escoltados por otros barcos más pequeños cuyas prestaciones hacían que fueran más ligeros y veloces. Estos buques eran utilizados en tareas en las que fuera necesario disponer de buques con una movilidad rápida y capacidad para llevar a cabo acciones de manera independiente a la flota de la que formaban

parte. Generalmente, estos barcos eran fragatas y corbetas. Otros barcos militares que también podían navegar junto a ellos eran los bergantines o las goletas.

Con respecto a las formas que presentaban los navíos de línea, las secciones transversales del casco se distinguían por ser más redondeadas, es decir, tenían una forma de U pronunciada. De manera que la manga de estos barcos era amplia por debajo de la línea de flotación y, a medida que ascendía, esta se iba estrechando. Esta característica del casco también se daba en los barcos construidos en épocas anteriores, como por ejemplo las naos, pero los valores que adquirían las dimensiones de los navíos eran superiores. Las zonas del barco que presentaban una mayor amplitud correspondían a la parte central del barco (siendo máxima en la cuaderna maestra) e iban disminuyendo progresivamente hacia la proa y popa. De modo que las secciones transversales en estas zonas tenían una forma de V amplia. Es importante tener en consideración que el diseño del casco, es decir, las formas de sus secciones también variaban en función del sistema que se utilizara para su diseño.

Otra característica que presentaban estos barcos consistía en su elevado calado, el cual podía llegar a ser de 8 metros. El valor que adoptaba el calado de un navío de línea estaba influenciado por diversos aspectos. En primer lugar, este estaba ligado a la clase del navío de línea. Es decir, aquellos que presentaran un mayor número de cañones solían tener un calado superior al correspondiente a navíos de línea con menor artillería. En segundo lugar, el sistema constructivo español que se siguiera durante la fase de diseño del navío también afectaba al valor de su calado. Finalmente, los valores que podían adquirir este parámetro también diferían según los criterios de diseño utilizados en los sistemas constructivos de las principales potencias europeas.

En relación a la quilla, los navíos de línea se caracterizaban por presentar una quilla pronunciada que se extendía a lo largo del casco del navío de línea, desde la roda hasta el codaste de la embarcación. Al mismo tiempo, los navíos contenían una sobrequilla en el interior del casco. La roda que presentaban estos buques estaba situada en el extremo de proa de la quilla y se alzaba verticalmente.

En el codaste del casco, al igual que en los siglos anteriores, iba fijado el timón de codaste. El diseño del timón se mantuvo sin ninguna modificación y consistía en una pala rectangular o trapezoidal en la parte que quedaba bajo el agua. En la parte alta de esta pala iba encajada la caña del timón, la cual penetraba en el casco del navío a través de una abertura realizada en la base de la bovedilla⁴.

⁴ La bovedilla es la parte inferior y con mayor inclinación del casco que forma la popa del buque. Bajo ella están situados el timón y la hélice del barco.

A lo largo de la primera mitad del siglo XVII se introdujo una mejora en relación a este elemento. Esta se basaba en fijar a la caña del timón una barra vertical denominada pinzote que ascendía por las cubiertas del buque hasta la cubierta superior. El pinzote tenía la capacidad de girar sobre un soporte y proporcionaba ángulos de metida que oscilaban entre 5° y 10° a ambos costados del barco. Con esta mejora, el timonel, el cual hasta ese momento se encontraba en el interior del barco sin ver el exterior, podía ver el exterior desde la cubierta y la orientación que presentaban las velas (Prieto y Martín 2017).

En la siguiente imagen se puede apreciar un esquema de la disposición de los elementos introducidos para poder manejar con mayor facilidad el timón del barco.

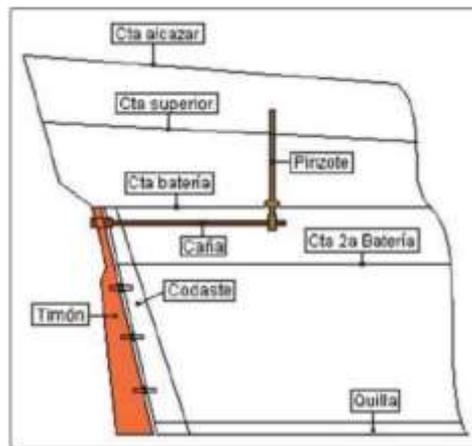


Figura 69. Timón de codaste con pinzote
Fuente. Evolución tecnológica del timón de codaste

Durante los últimos años de la primera mitad del siglo XVII se introdujeron otros elementos con los cuales se pretendía facilitar la maniobrabilidad del buque intentando controlar el gobierno del barco desde la cubierta. Para ello apareció otro sistema en el que, además de la pala y caña del timón, se utilizaba un tambor situado en la cubierta. En este nuevo elemento iba enrollado un cabo, denominado generalmente guardines, cuyos chicotes (extremos) estaban sujetos a los cabos del aparejo que movían la caña del timón, los cuales descendían por las cubiertas del barco y estaban formados por dos montones, uno de ellos fijo a la amurada y el otro era móvil y estaba sujeto a la caña del timón (Prieto y Martín, 2017). Este sistema fue el primer método de gobierno del barco a distancia. En una de las caras del tambor se situaba la rueda del timón, la cual transmitía el movimiento a la caña del timón.

La Figura 70 muestra un esquema de la disposición de los elementos que presentaba el sistema formado por el timón de codaste con tambor.

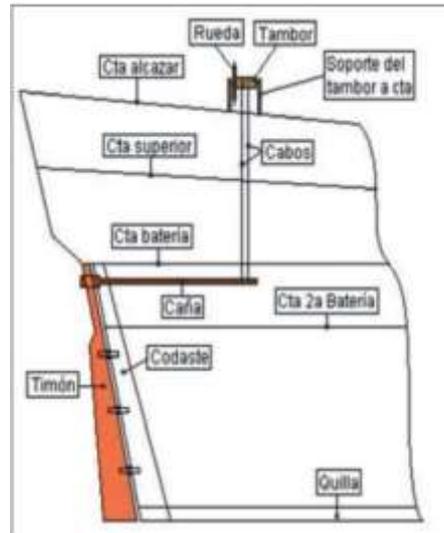


Figura 70. Timón de codaste con tambor

Fuente. Evolución tecnológica del timón de codaste

5.3.2 Características de la obra muerta

En relación a la obra muerta de estos barcos, esta desarrolló numerosos cambios a causa de los distintos sistemas constructivos que se dieron en el transcurso de los siglos XVII y XVIII. Algunos de estos aspectos están relacionados con las formas del casco, especialmente en proa y otros con elementos que forman parte del casco. A diferencia de estos, en el caso de los navíos de línea, los relacionados con el aparejo o la artillería que presentaban los barcos no tuvieron cambios tan pronunciados de un sistema a otro.

Durante el siglo XVII, los galeones experimentaron numerosas modificaciones en función del uso específico que presentaban. A través de estos cambios, este tipo de barco evolucionó hasta constituir otro nuevo, los navíos de línea, hacia finales de la primera mitad del siglo. En el sector naval español, los barcos construidos hacia finales del siglo XVII y principios del siglo XVIII son considerados al mismo tiempo como los últimos galeones y los primeros navíos de línea ya que no cumplían con las características propias del siglo XVI ni de los navíos del siglo XVIII. De manera oficial, los navíos construidos a partir del año 1732 eran clasificados como navíos de línea.

Las novedades técnicas introducidas estaban principalmente ligadas a un aumento del tamaño del barco, cambios en las dimensiones de los castillos de proa y popa, velamen, disposición de los mástiles y

modificaciones del tajamar⁵. Estos cambios eran introducidos al sistema constructivo español por medio de Ordenanzas. Por este motivo, los barcos debían cumplir lo establecido en ellas de manera estricta. En las siguientes imágenes se pueden apreciar las modificaciones comentadas que se aplicaron en los galeones y que derivaron en la aparición de los navíos de línea como consecuencia de las Ordenanzas publicadas.

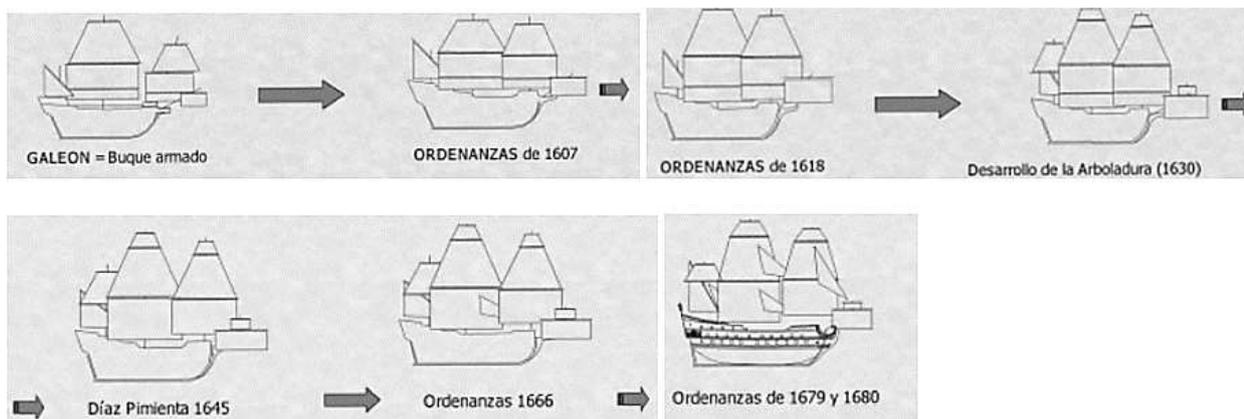


Figura 71. Evolución de los galeones a lo largo del siglo XVII

Fuente. Arquitectura y construcción navales en la España Atlántica, el siglo XVII y primera mitad del XVIII. Una nueva sistematización

Como se ha mencionado anteriormente, los navíos de línea tenían una manga que iba estrechándose a medida que se elevaba por encima de la línea de flotación y presentaban un francobordo considerable. Respecto al último parámetro, en el transcurso de los años comprendidos entre los siglos analizados en este capítulo, este variaba dependiendo del sistema de construcción utilizado. Por ejemplo, durante el uso del sistema “a la inglesa” introducido por Jorge Juan se llevó a cabo una reducción del francobordo con respecto al que presentaban los navíos de línea correspondientes al método anterior.

Del mismo modo que los buques construidos durante los siglos XV y XVII, los navíos de línea también contaban con un castillo de popa. A partir de la segunda mitad del siglo XVII y principios del siglo XVIII, la zona del espejo de popa de estos barcos presentaba una gran ornamentación formada principalmente por tallas. Asimismo, como consecuencia de que las formas de popa empezaron a diseñarse con una disposición más abierta a finales del siglo XVII, se construyeron galerías y balcones en esta zona. Estas

⁵ El tajamar es un tablón con forma curva o conjunto de piezas que se adaptan a la forma de la roda del casco y están ensamblados a esta por su parte exterior. Este elemento sirve para cortar el agua cuando el buque está navegando.

también estaban decoradas con tallas. Sin embargo, el nivel de ornamentación que tenían los navíos de línea se redujo a niveles más simplificados durante el primer tercio del siglo XVIII.

Las proas de los navíos de línea tenían forma de proa de cuchara. Al igual que en la zona de popa, los navíos disponían de un castillo de proa y también de un mascarón con una ornamentación elevada. La ornamentación de esta zona estaba restringida a las formas que estipulaban las normativas. Sin embargo, mediante la entrada en vigor de la Real Orden del 10 de septiembre de 1793, se pudo escoger las formas que adoptaría el mascarón siempre y cuando estuvieran relacionadas con el nombre del barco.

En los navíos de línea de 60 cañones analizados, los cuales fueron construidos a partir del plano de formas de Gaztañeta a inicios del siglo XVII, tanto las zonas de proa como de popa presentaban una ornamentación considerable. En el mascarón de proa, dado que la Real Orden del 10 de septiembre de 1793 todavía no había entrado en vigor, este consistía en la tradicional talla con figura de un león. En la siguiente imagen se puede apreciar esta característica del navío de línea de 60 cañones.



Figura 72. Mascarón del navío de línea de 60 cañones diseñado por Antonio Gaztañeta
Fuente. Arquitectura de las Naos y Galeones de las Flotas de Indias (1492-1590), Tomo II

El sistema de construcción empleado para el diseño y construcción de los navíos de línea se puede determinar identificando y observando unos elementos concretos. Estos aspectos diferenciales pueden ayudar en la mayoría de los casos para establecer el periodo al que pertenece, sin embargo, no son totalmente concluyentes debido a en ocasiones se produjo una simultaneidad de sistemas o una

combinación de estos en un mismo navío. Los elementos distintivos que sirven para identificar los sistemas son los siguientes: cintas⁶, tajamar, mesas de guarnición⁷, serviolas⁸ y escobenes⁹.

Durante el periodo de tiempo en el que se empleó el sistema ideado por Gaztañeta, se produjeron variaciones en cuanto a la posición y el número de las cintas. La primera fase se considera que tiene como inicio el año 1712 y se caracterizaba por la siguiente disposición: el cintón principal estaba compuesto por dos planchas de madera (cintas) separadas por tracas de menor espesor denominadas entrecintas. El segundo cintón seguía el mismo criterio que el principal. En la Figura 73 se puede apreciar la disposición de las cintas en esta primera fase.

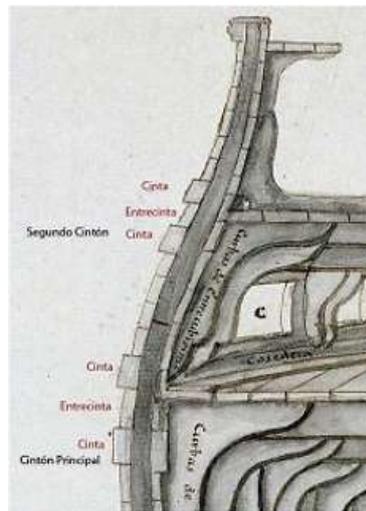


Figura 73. Disposición de las cintas durante la primera fase del sistema de Gaztañeta

Fuente. <https://blogcatedranaval.com/tag/historia-naval-2/page/22/>

La segunda fase, a partir del año 1720, se caracterizaba por tener un cintón principal en el que dos tablas de gran espesor estaban unidas por sus costados. El segundo cintón estaba compuesto únicamente por una cinta del mismo espesor que las del principal. En la última fase (aproximadamente

⁶ Una cinta es un listón de madera que recorre el exterior del casco desde proa a popa en ambos costados del casco y por encima de la línea de flotación. Este elemento se utiliza como refuerzo a la tablazón.

⁷ La mesa de guarnición en un buque es una plataforma de pequeñas dimensiones situada en los costados del buque donde se encuentran los palos que este enarbola. En ella se afirman las jarcias correspondientes.

⁸ La serviola es un elemento parecido a un pescante que se encuentra ubicado en la parte exterior del buque próxima a las amuras. La configuración de este elemento permite tener el ancla del barco estibada en uno de sus costados.

⁹ El escobén es aquel orificio practicado en la proa del barco por encima de la línea de flotación por el que pasan las cadenas correspondientes a las anclas y amarras.

hacia el año 1728) el cintón principal, al igual que el anterior, estaba formado por dos maderos de gran espesor unidos entre sí por sus lados. El segundo cintón consistía en dos planchas de madera gruesas separadas entre ellas por una entrecinta, la cual presenta un menor espesor.

En las siguientes imágenes se pueden apreciar las modificaciones que presentó este rasgo del casco de los navíos de línea construidos según el método indicado por Gaztañeta. La imagen de la izquierda representa la disposición utilizada a partir del año 1712, la central la correspondiente al año 1720 y la imagen de la derecha la que se usaba aproximadamente desde el 1728.

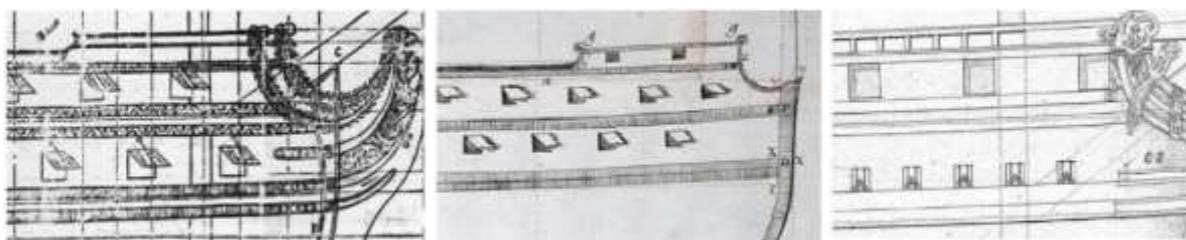


Figura 74. Modificaciones de la disposición de los cintones según la etapa del sistema constructivo de Gaztañeta

Fuente. <https://blogcatedranaval.com/tag/historia-naval-2/page/22/>

A diferencia del sistema anterior, la disposición de las cintas que se utilizó en los siguientes sistemas no presentó tantas modificaciones. A lo largo de los años en los que estuvo en vigor el sistema de Jorge Juan, la disposición de las cintas era la siguiente. El cintón principal estaba compuesto por cuatro cintas iguales, es decir, del mismo espesor y con las mismas dimensiones. El segundo cintón estaba integrado por tres cintas de igual espesor. En el sistema de Gautier, tanto el cintón principal como en el segundo cintón, estaban formados por tres tracas cuyo espesor variaba en función de la posición. Es decir, las tracas se colocaban intercaladas entre ellas siendo la central la que poseía un menor espesor. En cuanto al sistema originado por Romero de Landa y Retamosa, este presentaba un cintón principal formado por cuatro tracas de madera del mismo espesor y un segundo cintón con tres tracas de espesor inferior al principal. Este sistema se parecía al introducido por Jorge Juan, pero en este último la diferencia de espesores era más visible.

En las siguientes imágenes se muestra la disposición de las cintas en el casco del navío de línea según el criterio determinado por los sistemas de Jorge Juan (izquierda), Gautier (central) y Romero de Landa y Retamosa (derecha).

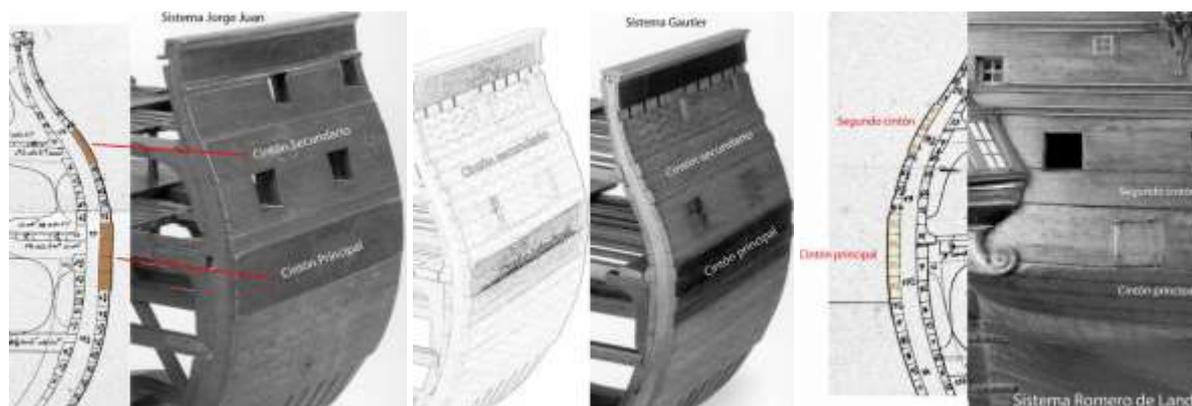


Figura 75. Disposición de las cintas en función del sistema constructivo utilizado

Fuente. <https://blogcatedranaval.com/tag/historia-naval-2/page/22/>

Otro rasgo de los barcos con los que se puede determinar el sistema de construcción utilizado para su diseño y construcción es el tajamar. Este elemento adoptó numerosas formas dependiendo del método empleado. En las siguientes imágenes se puede apreciar las diferencias entre sistemas relativas a este elemento del casco. Estas están ordenadas según la evolución cronológica de izquierda a derecha.

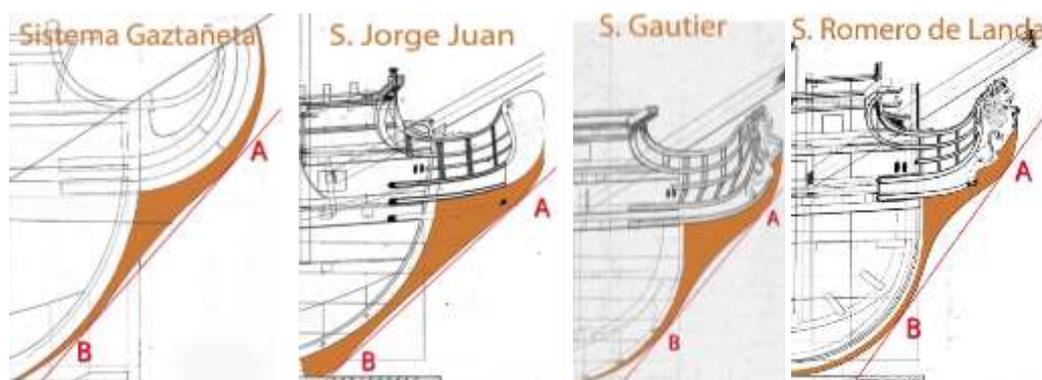


Figura 76. Evolución de la configuración del tajamar según el método de construcción utilizado

Fuente. <https://blogcatedranaval.com/tag/historia-naval-2/page/22/>

En el caso del sistema de Gaztañeta, se observa que la parte superior y central eran las partes más anchas de la pieza. Desde ese punto el tajamar disminuía siguiendo la curvatura que trazaba la roda hasta llegar al pie de roda. A diferencia de este, el sistema de Jorge Juan, influenciado por el inglés, presentaba un tajamar de mayor tamaño. La parte superior era más ancha y a medida que se acercaba al pie de roda no disminuía, sino que empezaba a aumentar de tamaño una vez pasado el punto de su estrechamiento. El sistema con influencia francesa introducido por Gautier era parecido al de Gaztañeta. Las principales diferencias entre estos dos sistemas consistían en que la parte alta del tajamar del sistema de Gautier presentaba un tamaño mayor y a medida que este se acercaba al pie de roda se iba reduciendo hasta alcanzar unas dimensiones menores. En cuanto al sistema de Romero de Landa y Retamosa, este se asemejaba al introducido por Gautier. Estos métodos se diferenciaban en que

en el sistema de Romero de Landa y Retamosa, el estrechamiento que trazaba el tajamar cuando se acercaba al pie de la roda se iniciaba en un punto superior al que dibujaban los pertenecientes al sistema de Gautier.

Los escobenes y las curvas bandas¹⁰ son otros elementos con los que podemos determinar el sistema utilizado en un navío de línea ya que su ubicación cambiaba según el utilizado. En el sistema de Gaztañeta, las curvas bandas estaban situadas sobre las tracas que configuran el cintón principal. En el sistema de Jorge Juan se situaban tres curvas bandas en ambos costados del casco del navío, de las cuales la primera (la más cercana a la quilla) estaba a la altura de la primera traca del cintón principal y la última se situaba encima del canto de la cuarta cinta del cintón principal. El método de Gautier difería de los anteriores por el hecho de que en sus navíos había dos curvas bandas en cada costado del barco ubicadas dentro del espacio ocupado por el cintón principal. El sistema de Romero de Landa y Retamosa adoptaba las mismas directrices que el sistema de Gaztañeta en cuanto al número de curvas, dos en cada costado del barco. Para distinguir los sistemas hay que prestar atención en el número de cintas que configuran el cintón principal. En este último sistema, la primera curva se situaba encima de la segunda cinta que forma el cintón principal y la segunda curva banda estaba ubicada en la cuarta cinta.

En cuanto a los escobenes, en el método introducido por Gaztañeta se encontraban justo por debajo del segundo cintón. A diferencia de este, en el sistema ideado por Jorge Juan los escobenes se situaban por encima de las curvas de bandas. Del mismo modo que el método anterior, en el correspondiente a Gautier, los escobenes se ubicaban por encima del cintón principal. En los navíos de línea construidos con el sistema de Romero de Landa y Retamosa, estos elementos se situaban encima de las curvas bandas.

En la siguiente página se incluyen unas imágenes con las que se pueden apreciar de manera clara las modificaciones relativas a la ubicación que experimentaron estos elementos del barco según su sistema de diseño.

¹⁰ Las curvas bandas, también denominadas curvas de tajamar, son aquellas curvas situadas horizontalmente sobre las cintas que presenta el buque en ambos costados. Este elemento se utiliza para sujetar el tajamar sobre la proa del barco.

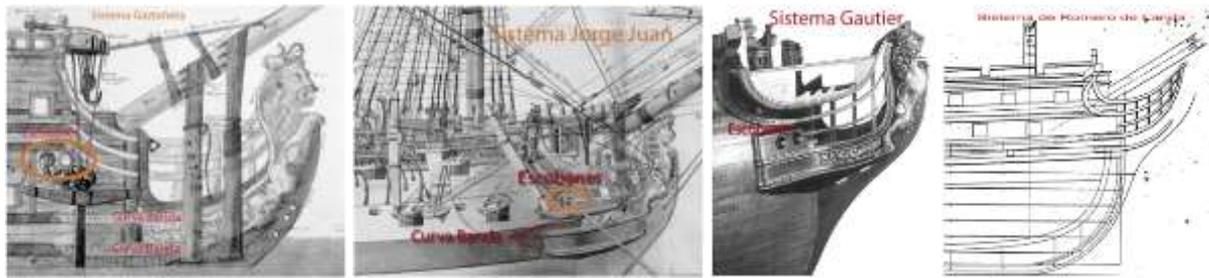


Figura 77. Ubicación de los escobenes y curvas bandas en los distintos sistemas de construcción naval españoles

Fuente. <https://blogcatedranaval.com/tag/historia-naval-2/page/22/>

Otro elemento que también presentaba cambios según el sistema utilizado para el diseño del barco eran las mesas de guarnición, concretamente su ubicación. Es importante tener en cuenta que, durante la vida útil de los navíos de línea, estos componentes podían cambiar su posición debido a diversos factores. A lo largo de los años en los que se empleó el sistema de Gaztañeta, la posición de las mesas de guarnición estaba ligada a los mástiles. Las correspondientes al palo mayor y al trinquete se situaban encima del segundo cintón, mientras que la relativa al palo de mesana debía estar por encima de la tercera cinta. En el caso de los navíos de línea construidos con el método de Jorge Juan, las mesas de guarnición estaban situadas a más altura que las del sistema anterior siendo la de mesana la más elevada. Estas mesas quedaban por encima de las portas de la segunda batería. En algunas ocasiones, además de las mencionadas, los navíos tenían instaladas mesetas, mesas de guarnición más pequeñas. La situación de estas mesas era más a popa que las referentes a la de mesana. En el sistema de Gautier, estos elementos del barco presentaron diversas posiciones. Inicialmente las tres mesas de guarnición estaban ubicadas a la misma altura por encima de las portas¹¹ de la segunda batería. Posteriormente, las mesas de mesana se ubicaron en una posición más elevada. En los navíos construidos siguiendo el sistema de Romero de Landa y Retamosa, se mantuvo la posición de las mesas de guarnición de trinquete y mayor y la de mesana se ubicaba por encima de las portas del alcázar.

En la Figura 78 se puede observar un fragmento del casco del navío de línea San Francisco de Asís en el que se aprecia la situación de una de las mesas de guarnición según el sistema constructivo de Gautier.

¹¹ En los buques de guerra, las portas son aquellas superficies articuladas que sirven para abrir y cerrar las troneras.



Figura 78. Detalle de una de las mesas de guarnición del navío de línea San Francisco de Asís de 70 cañones

Fuente. https://www.iaph.es/export/sites/default/galerias/arqueologia-subacuatica/documentos/xPDF-38x_fichas_barcos_trafalgar.pdf

El último punto que se utiliza para determinar el sistema con el que se ha diseñado un navío de línea son las serviolas. La principal diferencia que hay entre los sistemas respecto a este elemento se basa en la configuración de la misma y a su fijación a los baos que configuran la cubierta del castillo de proa del navío.

En relación con los mástiles que enarbolaban los navíos de línea, estos barcos presentaban los mismos que los galeones y que la gran mayoría de barcos construidos durante este periodo. Los navíos de línea disponían de tres palos: trinquete, mayor y mesana, a la vez que un bauprés en la proa del barco. La ubicación, inclinación y tamaño de estos variaba en función de las propiedades establecidas por el sistema utilizado para el diseño y construcción del barco. Por ejemplo, en los navíos construidos siguiendo las directrices establecidas por Gaztañeta, el bauprés estaba situado con una inclinación de 35° respecto a la línea de la quilla del barco. Otro ejemplo consiste en que en el sistema de Romero de Landa y Retamosa, este último decidió retomar el criterio utilizado por el sistema inglés en el que el palo mayor se situaba más hacia popa.

El velamen de los navíos de línea también fue modificando su configuración durante el transcurso de los siglos XVII y XVIII. Habitualmente este consistía en velas cuadradas y una vela latina (y no de cangreja como presentaban otros barcos) en el palo de mesana (de Aranda y Antón, 1999). Sin embargo, en relación con esta última, hay cierta controversia ya que en algunas fuentes se determina que en el mástil de mesana se utilizaba una vela latina, mientras que en otras indican que hacia finales del siglo XVIII esta fue sustituida por la vela cangreja.

A diferencia de los barcos anteriores, los navíos de línea aumentaron el número de velas en los palos proporcionando de este modo una mayor maniobrabilidad. Estos barcos tenían en cada uno de sus palos unas velas llamadas juanetes y sobre ellas se situaban otras denominadas sobrejuanetes. Estas pequeñas velas se largaban únicamente con vientos de poca intensidad (serenos). La superficie vélica de

los navíos españoles era superior a la que tenían los navíos ingleses del mismo porte. Este hecho podía ser una desventaja ya que el riesgo de averías incrementaba considerablemente. Por este motivo, con el sistema de Romero de Landa y Retamosa se llevó a cabo un perfeccionamiento del velamen.

Con respecto a la jarcia de estos barcos, esta estaba constituida principalmente por los siguientes elementos: estáis, burdas, brazas, escotas, obenques, flechastes, drizas, cargadera (o candaliza) de la mesana, brioles de las velas mayor y trinquete, apagapenoles, ostas, chafaldetes y palanquines.

En el diseño de los navíos de líneas analizados, el velamen que disponían era el siguiente: vela mayor, gavia mayor, juanete mayor, vela de trinquete, velacho (o gavia de trinquete), juanete de trinquete, vela de mesana, gavia de mesana, vela cebadera y gavia de cebadera. En relación con la jarcia, estos barcos tenían los elementos mencionados anteriormente.

Los navíos de línea eran barcos cuya función era de defensa, de manera que, con el fin de estar preparados para hacer frente a posibles conflictos bélicos, estos disponían de diversas cubiertas artilladas a ambos lados del casco. Generalmente presentaban dos o tres puentes en los que iban ubicados un número determinado de cañones. La cantidad de estos que debía contener el navío de línea era uno de los factores más relevantes del diseño de las cubiertas del barco. La altura a la que estaban dispuestas estas baterías de cañones dependía del sistema constructivo con el que se diseñaba el barco. Por ejemplo, Gautier cuestionaba las directrices tomadas por Jorge Juan con respecto a este punto ya que consideraba que la batería baja se encontraba a poca distancia del agua.

Además de estas cubiertas artilladas, en algunas ocasiones la cubierta principal de los navíos de línea también presentaba artillería, la cual estaba compuesta principalmente por cañones de menor peso. Estos barcos también disponían del alcázar, en el que a veces se instalaban cañones, y de la toldilla.

En relación a la artillería que contenían estos barcos, este aspecto era de relevada importancia ya que, como se ha indicado anteriormente, los navíos de línea se clasificaban en función de su poder ofensivo. Este abarcaba desde un navío con 50 cañones hasta más de 120. La disposición de los cañones se basaba en instalar los de mayor peso en la cubierta inferior y la artillería más ligera en las superiores. Los buques que se utilizaron con mayor frecuencia eran los navíos de línea de 70 cañones y posteriormente, los de 74 cañones. A su vez, se instalaron dos o tres baterías en la cubierta más baja por debajo del contrafuerte del castillo de popa con el fin de poder defenderse en caso de retirada.

En la siguiente imagen se determinan los distintos navíos de línea que se construyeron a lo largo del periodo estudiado según el número de cañones y de cubiertas artilladas que presentaban.



Figura 79. Tipos de navíos de línea construidos durante el siglo XVII y XVIII

Fuente. <https://blogcatedranaval.com/tag/historia-naval-2/page/22/>

Los navíos de línea diseñados mediante el plano de formas realizado por Gaztañeta analizado en este capítulo contenían 60 cañones en baterías que se distribuían en dos puentes y en el alcázar. En la primera cubierta se ubicaban 24 cañones de 18 libras (8,16 kg), 26 piezas de 12 libras (5,44 kg) en la segunda cubierta y 10 cañones de 6 libras (2,72 kg) en el alcázar. El poder ofensivo de estos navíos era inferior al que utilizaban los navíos ingleses y holandeses.

Además de los barcos de tres y dos cubiertas, en el astillero de La Habana se construyó en el año 1769 el mayor navío de línea siguiendo los criterios establecidos en el sistema anglo-español de Jorge Juan. Este barco estaba dotado de cuatro baterías de cañones y un total de 136 cañones. Este navío español se denominaba Santísima Trinidad y se hundió en el sur de Cádiz tras ser capturado durante la batalla de Trafalgar en el año 1805. En la siguiente imagen se muestra el modelo del navío de línea Santísima Trinidad expuesto en el Museo Naval de Madrid.



Figura 80. Modelo del navío Santísima Trinidad del Museo Naval de Madrid

Fuente. La construcción naval española del siglo XVIII a través de algunos modelos de arsenal del Museo Naval de Madrid

Los navíos de línea iban escoltados generalmente por fragatas y corbetas dado que presentaban una velocidad reducida. Estos barcos de escolta también disponían de armamento instalados en sus cubiertas. En el caso de las fragatas, tenían un solo puente en el que situaban hasta 50 cañones en batería. Por el contrario, las corbetas tenían ubicadas en un solo puente al menos 20 cañones dispuestos en baterías.

5.4 Proceso de realización del modelo del casco en 3D

El proceso de realización del modelo del casco del navío de línea de 60 cañones dibujado por Antonio Gaztañeta en el año 1712 se ha llevado a cabo en dos etapas. La primera ha consistido en el trazado de las secciones del barco a partir del plano de formas del mismo mediante el programa de diseño AutoCAD®. Tras dibujarlo en el plano y transportarlo al campo de trabajo de 3D, este se ha traspasado al programa informático Rhinoceros®. Mediante este, se puede obtener el modelo del casco del barco analizado en 3D.

En los siguientes subapartados se indicarán con más detalle los pasos realizados para la obtención final del casco modelado en 3D.

5.4.1 Desarrollo del casco en 3D con AutoCAD®

Con la finalidad de obtener el modelo del barco en AutoCAD®, es necesario disponer en primer lugar del plano de formas del mismo. Este se ha extraído del libro *Arquitectura de las Naos y Galeones de las Flotas de Indias (1492-1590), Tomo II* escrito por José Luis Rubio Serrano en el año 1991. En la Figura 81 se puede apreciar el plano de formas utilizado para el trazado del casco.

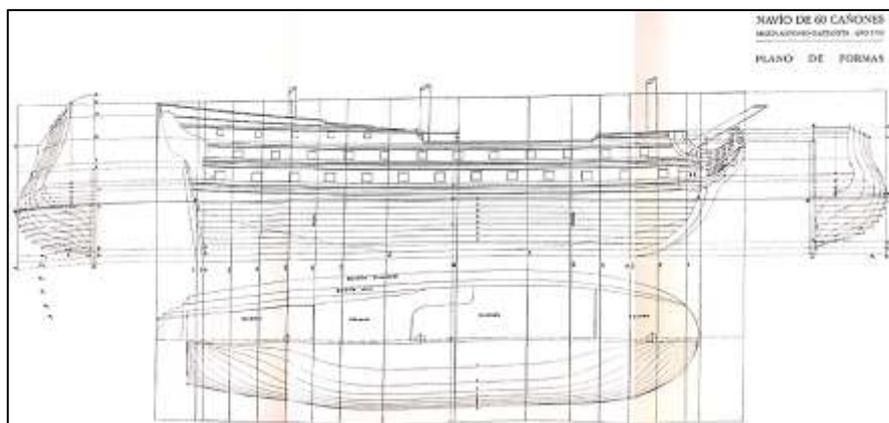


Figura 81. Plano de formas del navío de línea de 60 cañones según Antonio Gaztañeta en el año 1712

Fuente. *Arquitectura de las Naos y Galeones de las Flotas de Indias (1492-1590), Tomo II*

En la siguiente imagen se aprecia una copia del plano de formas original trazado por Antonio Gaztañeta en el año 1712.

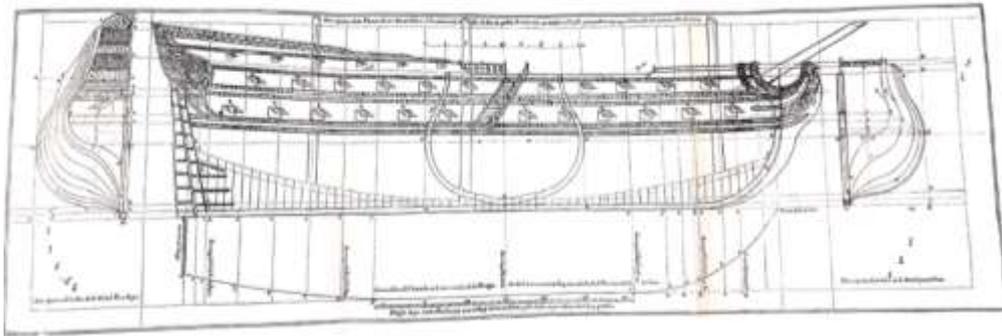


Figura 82. Plano de formas original del navío de línea de 60 cañones elaborado por Antonio Gaztañeta en 1712
Fuente. Arquitectura de las Naos y Galeones de las Flotas de Indias (1492-1590), Tomo II

El primer paso que se debe realizar después de incorporar el plano de formas del navío de línea en el campo de trabajo del programa AutoCAD® consiste en el trazado de las secciones transversales y de la correspondiente al perfil longitudinal. Para realizar esta acción, se utiliza el comando *Spline* y se trabaja en el plano 2D.

Una vez dibujadas estas secciones, al igual que en los capítulos anteriores, a través de unas líneas auxiliares equivalentes a las cuadernas de trazado y a la línea de crujía se facilita la ubicación de las secciones transversales en su lugar correspondiente. Antes de situarlas, es necesario rotarlas para tenerlas en el espacio 3D. Esta acción requiere el uso del comando *3Drotate* del AutoCAD® ya que mediante este se pueden abatir las secciones dibujadas al eje deseado. De esta manera, al tenerlas en el espacio 3D y situarlas en la posición pertinente, obtenemos la representación del casco del navío de línea de 60 cañones.

En la Figura 83 se puede apreciar el resultado obtenido en AutoCAD® tras situar las secciones transversales en su lugar correspondiente.

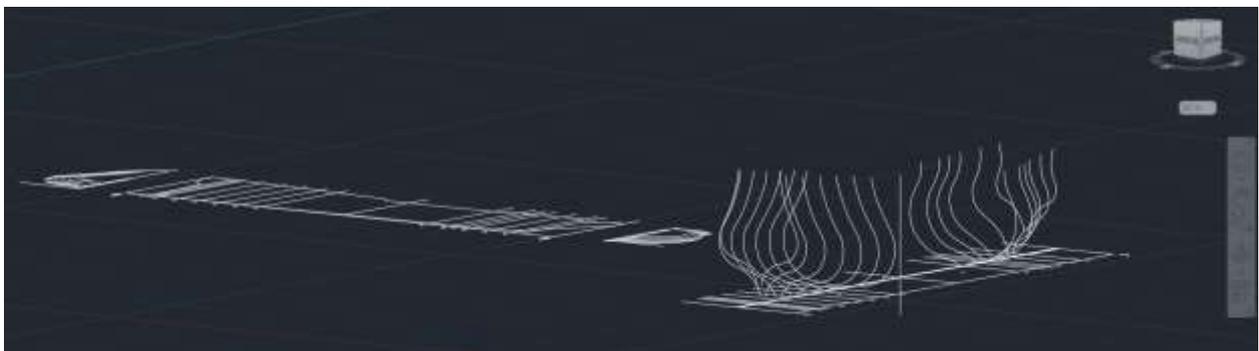


Figura 83. Vista isométrica de las secciones transversales del casco del navío de línea de 60 cañones
Fuente. Propia

En ella se observa que las secciones trazadas en el plano de formas diseñado por Antonio Gaztañeta no comprenden todo el casco del barco. Es decir, la parte central del casco no está definida. Este hecho se debe a que las secciones no se encuentran representadas de conjuntamente en una caja de cuadernas, sino que están divididas según si pertenecen a proa o popa. De manera que las correspondientes a la parte central del casco del navío de línea no están definidas.

A diferencia de la imagen anterior, en la Figura 84 se puede apreciar el esquema del casco dibujado una vez se ha situado el plano longitudinal del casco del barco.

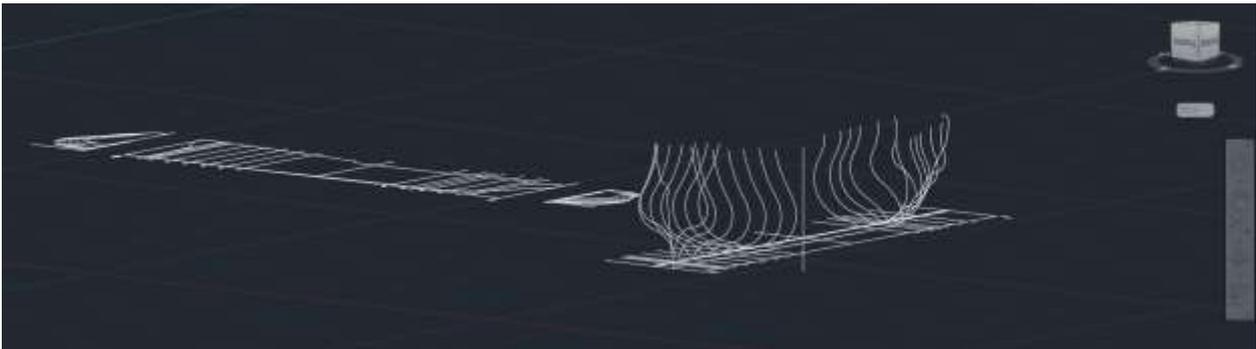


Figura 84. Vista isométrica de las secciones transversales y perfil longitudinal del casco del navío de línea de 60 cañones

Fuente. Propia

5.4.2 Modelado del casco en 3D con Rhinoceros®

Después de trazar las secciones transversales y el perfil longitudinal con los que se ha obtenido el casco del navío de línea, se procede a exportar el archivo del AutoCAD® a Rhinoceros® para su modelado en 3D.

El primer paso consiste en la creación de las superficies entre las secciones y también con el perfil en las zonas de proa y popa. Para la realización de este paso se utiliza el comando de Rhinoceros® *Transición*. De este modo, el resultado obtenido consiste en las superficies que configuran el casco completo del barco analizado.

Al igual que en los barcos modelados en los capítulos previos, es necesario tener en consideración la formación de posibles deformaciones en las superficies como consecuencia de errores de trazado del programa. Es decir, en ocasiones al trazar la superficie entre las secciones o entre las secciones con el perfil para modelar la proa y popa del barco se producen errores del trazado. Por este motivo, se opta a realizar tramos más reducidos, los cuales son posteriormente unidos mediante el comando *Unir* para tener todo el casco en una misma superficie.

Como se ha podido observar en el trazado de las secciones en AutoCAD®, la parte central del casco no está definida por secciones transversales. Sin embargo, al trazar la superficie correspondiente a los costados del barco comprendida entre las dos secciones transversales más próximas a la cuaderna maestra, se aprecia que esta parte del casco tiene las mismas líneas y que el programa crea este tramo del modelo del casco de manera correcta.

En la página siguiente, la Figura 85 muestra las secciones creadas para definir el casco del navío de línea de 60 cañones.

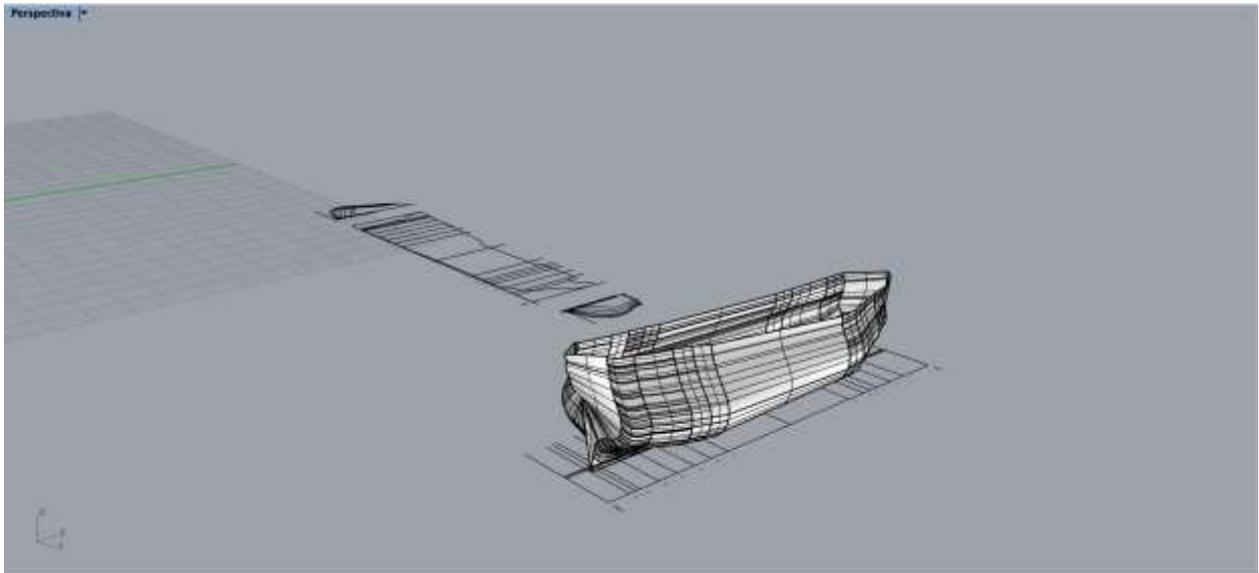


Figura 85. Vista en perspectiva del casco en 3D del navío de línea de 60 cañones

Fuente. Propia

Tras la realización de las acciones mencionadas, el siguiente paso consiste en que por medio del comando *Renderizado* y de las distintas vistas que este programa ofrece, se puede observar de manera más clara el modelo del casco del barco. A continuación, se muestran un conjunto de imágenes de las vistas ofrecidas por Rhinoceros® del modelo del casco creado en 3D perteneciente al navío de línea de 60 cañones diseñado por Antonio Gaztañeta a inicios del siglo XVIII.

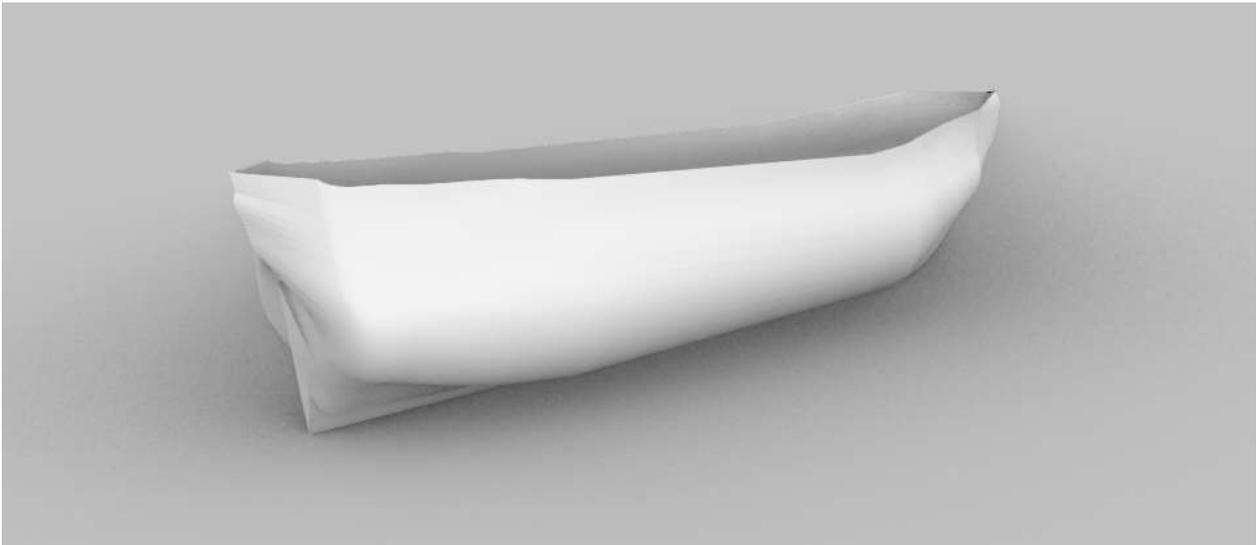


Figura 86. Vista en perspectiva renderizada del casco en 3D del navío de línea de 60 cañones

Fuente. Propia

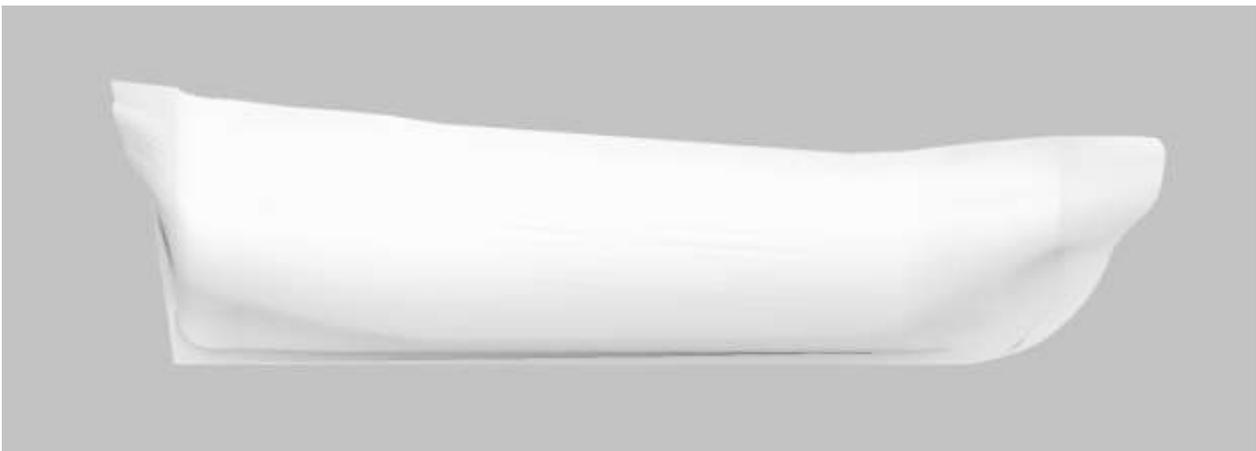


Figura 87. Vista del perfil del costado de estribor del casco en 3D del navío de línea de 60 cañones

Fuente. Propia

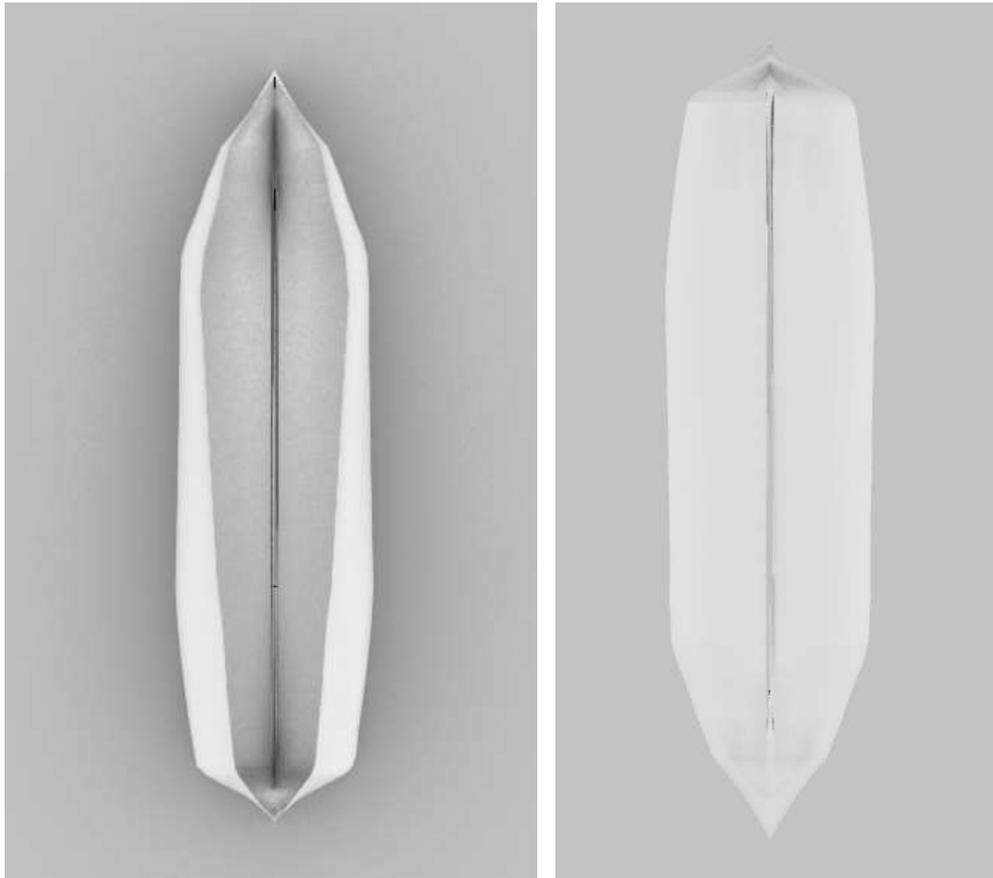


Figura 88. Vista superior (izquierda) e inferior (derecha) del casco en 3D del navío de línea de 60 cañones

Fuente. Propia

5.5 Materiales y técnicas de construcción naval

Como consecuencia de las innovaciones y del estudio desde un punto de vista más técnico del diseño y construcción de los barcos, los navíos de línea fueron construidos por medio de distintos métodos. La utilización de uno u otro método dependía principalmente del sistema de construcción naval que se empleara durante la fase de diseño del barco. Por este motivo, la arquitectura naval española experimentó numerosos cambios en los que se partía del sistema tradicional y fueron evolucionando hasta incorporar técnicas procedentes los sistemas que se utilizaban en Francia e Inglaterra.

En relación con los materiales, estos adquirieron una mayor relevancia debido a su influencia en el desarrollo de la navegación en el mar del barco y en la duración de la vida útil de los mismos. Por este motivo, los materiales utilizados también experimentaron modificaciones en comparación con los barcos construidos en épocas anteriores.

En los siguientes subapartados se describirán más detalladamente los materiales y las técnicas de construcción utilizados para la construcción de los navíos de línea.

5.5.1 Materiales utilizados en la construcción

El material empleado en la construcción de los navíos de línea continuaba siendo principalmente la madera. Las más habituales eran las de roble, abeto, caoba, encinas, pino y teca.

El conocimiento del comportamiento de las maderas era fundamental y de relevada importancia para la correcta operación del barco y del estado de su casco. Este aspecto también estaba ligado a la calidad de la madera utilizada para la construcción del barco y a la óptima o mala silvicultura. Por este motivo, los principales factores que se debían tener en cuenta durante la selección de los árboles eran los siguientes: la elección de la especie según el destino de la madera en el barco y la elección de la forma del árbol en función de la disposición en el diseño (de Aranda y Antón 1999).

La procedencia de las maderas utilizadas era de bosques locales cercanos a los astilleros. De manera que el material utilizado podía variar según la situación geográfica del astillero. En las zonas del norte de España, se utilizaba mayoritariamente madera procedente del roble, hayas, pino albar, pinabete o el olmo. Mientras que en zonas del levante español se utilizaban otros tipos de madera como la madera del almendro, olivo, naranjo, entre otros. En el caso de Andalucía, la madera que se utilizaba procedía de encinas o alcornoque en. Al mismo tiempo, de las colonias españolas como Cuba, Honduras y Filipinas, también se importaba madera para la construcción naval. Estas eran de árboles como los mangles, guayacán, limoncillos, caoba, ébanos, teca, entre otros.

En la siguiente tabla se indican los tipos de maderas utilizados para la construcción de los navíos de línea españoles en función de la parte de la estructura del barco a la que estaban destinados.

Parte del barco	Tipo de madera
Piezas estructurales (quilla, cuadernas, codaste, roda y pie de roda)	Madera de roble (especialmente el pedunculado)
Baos y medios baos	Madera de roble y de algunas coníferas, como es el caso del pino melis
Tablas, cintas de forros y otras piezas de vuelta	Madera de pino, álamo negro y alerce
Arboladuras	Madera de pinos de Riga o abetos. En caso de ausencia de ellos se utilizan pinos salgareños
Tallas y mascarones	Maderas de tejo y de sabina
Timón	Madera del haya
Obra muerta	Madera de cedro
Adornos y mobiliario	Madera del nogal o caoba.

Tabla 10. Tipos de madera utilizadas según la parte del barco a la que estaban destinados

Fuente. La carpintería y la industria naval en el siglo XVIII

A raíz de la importancia de la madera y su tratamiento, tanto en las etapas previas a la construcción del barco (tala, corte, llegada al astillero, entre otras) como en las posteriores, se promulgaron diversos reglamentos en los que se establecían las operaciones que se debían realizar para obtener el máximo beneficio de este material. Durante la etapa en la que se siguió el sistema propuesto por Jorge Juan, se redactó un reglamento de maderas en el que se trataba este aspecto. Concretamente, en él se determinaban las medidas y formas que debían tener las piezas principales del casco del barco en el corte y la construcción naval, se realizaba una selección más precisa de la madera y se introdujeron mejoras relativas a su tratamiento. Posteriormente, Gautier realizó otro en el que se introdujeron variaciones respecto a las indicadas en el reglamento anterior. Algunas de las mejoras estaban relacionadas con la tala, el corte y el proceso de secado de la madera. Del mismo modo, a lo largo de los años en los que estuvo en vigor el sistema de Romero de Landa y Retamosa, se promulgó otro reglamento de maderas con el que se establecían nuevas medidas para el tratamiento de la madera.

La construcción de estos navíos requería una elevada cantidad de este material debido a que el casco estaba construido por medio de tablas superpuestas entre ellas, las cuales se unían por medio de clavos de hierro y podían llegar a alcanzar un valor de medio metro de espesor. La gran cantidad de madera consumida junto con el agotamiento de los bosques generó un problema de aprovisionamiento ya que el precio de este material cada vez era más elevado. Por este motivo, en los distintos sistemas de

construcción que se dieron en el sector de construcción naval española se buscaban opciones con las que se pudiera reducir el número y el tamaño de las piezas de madera utilizada.

A pesar de que la madera continuaba siendo el principal material utilizado para la construcción de los barcos, en algunos países se empezó a reforzar el exterior de la obra viva del casco mediante planchas de cobre o plomo. Con este material se conseguía evitar la incrustación de moluscos y crustáceos marinos en el casco, se lograba un mejor resultado en cuanto al mantenimiento del casco y hacía que el velero ofreciera mejores prestaciones en la mar. Este último punto consistía principalmente en que, a pesar de que el peso del barco se veía incrementado, se conseguía una reducción de la resistencia al rozamiento y con ello, un aumento de las velocidades que el navío de línea podía alcanzar. Otra de las ventajas principales que resultaban del empleo de estos materiales consistía en un aumento de la vida útil del barco. Además de esta ventaja económica, también ofrecía una superioridad en los conflictos bélicos ya que resultaba más complicado provocar daños en esta zona del casco.

Como consecuencia de los beneficios que este material ofrecía y de las derrotas frente a barcos ingleses que utilizaban este material en el casco, el sistema de construcción naval español introdujo el uso del cobre para forrar la parte exterior del casco del barco a partir del año 1783. En el sistema de Gautier y de Romero de Landa y Retamosa se hicieron pruebas basadas en forrar de cobre la obra viva del casco. A través de estas, se consiguió construir barcos con un buen comportamiento en la mar.

Sin embargo, a pesar de las buenas cualidades del casco del barco, hacia finales del siglo XVIII la calidad de la madera de pino utilizada para la construcción de los mástiles no era óptima. Este hecho provocaba que los palos de los navíos se vieran fácilmente afectados por condiciones del mar y meteorológicas adversas.

5.5.2 Técnicas de construcción

La arquitectura naval española se caracterizó por experimentar numerosos cambios en el transcurso de los siglos XVII y XVIII. En el primero, el sistema de construcción se mantuvo sin grandes modificaciones, siendo el sistema tradicional de ligazones superpuestas el que se utilizaba con mayor frecuencia. Por el contrario, las técnicas de construcción aplicadas en el siglo XVIII fueron las que se vieron más modificadas debido a que estas estaban intrínsecamente ligadas a los sistemas de construcción desarrollados por Gaztañeta, Jorge Juan, Gautier y Romero de Landa y Retamosa. Sin embargo, todos los sistemas constructivos tenían en común que se iniciaban con la construcción de la estructura interna del barco y posteriormente, se daba paso al forrado del casco y a la instalación de los demás elementos del barco.

Al mismo tiempo, un factor que presentaba una relevada importancia durante el diseño y la elección de la técnica de construcción que se debía aplicar para la construcción del navío de línea consistía en su poder ofensivo. Es decir, el número de cañones que habían de ser instalados en el barco, y con ello el número de troneras, determinaba el diseño del mismo y el sistema de construcción.

Durante el siglo XVII la construcción naval seguía utilizando la técnica tradicional de construcción denominada sistema de ligazones superpuestas o método de varenga-genol. Este fue utilizado hasta el inicio del siglo XVIII, momento en el que se comenzó a usar el sistema ideado por Antonio Gaztañeta.

En este sistema tradicional los barcos eran construidos sin planos y se partía de las dimensiones principales (eslora, manga, puntal, quilla, entre otras) y otros elementos como los refuerzos estructurales que debía presentar el navío de línea proyectado. Por medio de esta información se llevaban a cabo dos técnicas diferentes para la construcción de las cuadernas de cuenta, las cuales integraban el cuerpo central del barco, y los extremos de este (Hormaechea 2012).

La construcción del cuerpo central partía de la varenga maestra y se utilizaban dos elementos que eran unas plantillas y otras graduadas llamadas grúas. A partir de este elemento estructural, las varengas consecutivas eran trazadas con un tamaño que iba disminuyendo progresivamente hasta alcanzar los redeles (cuadernas adicionales situadas simétricamente a proa y popa de la maestra). A estos elementos se fijaban los genoles de las cuadernas de cuenta, los cuales tenían el mismo radio. Estas cuadernas se construían sin claras, es decir, sin espacios entre la varenga perteneciente a una cuaderna y el genol de la siguiente.

Una vez construidos estos conjuntos preensamblados de varengas y genoles, los cuales se elevaban de manera progresiva ya que seguían las formas del casco del barco, se procedía a añadir en la parte más elevada otros elementos estructurales como los barraganetes. Las dimensiones de todos estos elementos estaban sujetos a normativas y también a las indicaciones especificadas en el proyecto del barco.

En la Figura 89 se puede observar la disposición de las varengas y genoles que configuraban el casco de los barcos construidos siguiendo el sistema español de ligazones superpuestas.



Figura 89. Sistema tradicional de ligazones superpuestas

Fuente. La construcción naval española del siglo XVIII a través de algunos modelos de arsenal del Museo Naval de Madrid

A diferencia de la anterior, la técnica que se utilizaba para la construcción de los extremos del buque no estaba regulada a excepción de la altura de los redeles. Estas zonas eran trazadas a través de unos listones flexibles, también conocidos como madres, con los cuales se podía definir las formas que adoptaba el perfil de proa y popa del navío.

En el año 1712, Antonio Gaztañeta introdujo cambios al sistema de construcción tradicional anterior basados en el diseño de la caja de cuadernas del buque a construir. De esta manera, las secciones de proa y popa no se diseñaban con madres en el mismo momento de construcción ya que estas estaban prediseñadas y trazadas sobre papel. Por este motivo, aparecieron los primeros planos de formas en el sector de la construcción naval española. En la siguiente imagen se muestra un plano en el cual se aprecian las secciones transversales y el perfil de un navío de 64 codos de quilla elaborado por Gaztañeta.

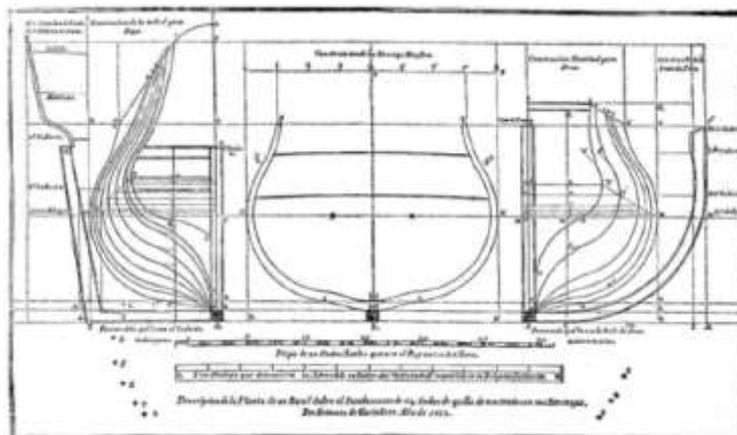


Figura 90. Plano de un navío de 64 codos de quilla elaborado por Gaztañeta

Fuente. La construcción naval española del siglo XVIII a través de algunos modelos de arsenal del Museo Naval de Madrid

Después del sistema constructivo de Gaztañeta, hubo un periodo de tiempo en que el sistema español estuvo influenciado por técnicas empleadas por los franceses. Este hecho generó algunas modificaciones en el método de construcción anterior generando otro conocido como sistema a la española. Principalmente, estos cambios se basaban en que se construían en el suelo unas cuadernas de armar, las cuales estaban prediseñadas, y eran arboladas enteras dejando una clara entre ellas. Estas cuadernas, y también las que se instalaban de relleno, se construían a partir de una “doble cuaderna” en la que las ligazones se unían de manera alternada. En la Figura 91 se puede ver de manera más clara como se formaba la estructura del casco de un navío de línea mediante este nuevo sistema.

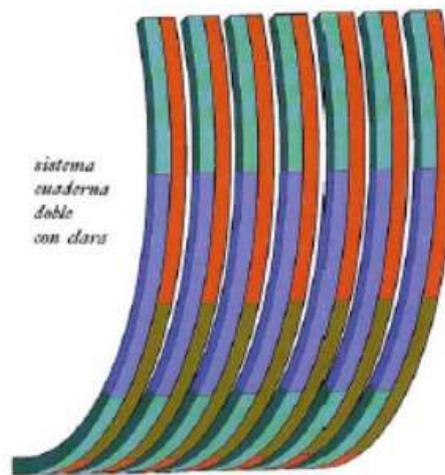


Figura 91. Esquema de la construcción del casco de un navío de línea con el sistema a la española

Fuente. La construcción naval española del siglo XVIII a través de algunos modelos de arsenal del Museo Naval de Madrid

Como consecuencia de las grandes dimensiones de las piezas con las que se formaban los cascos (lo que conllevaba un aumento del consumo de madera), el elevado precio de construcción, el mantenimiento y la tendencia de estos cascos a experimentar quebranto (provocando que se realizaran carenas de manera frecuente) hizo que surgiera un nuevo método de construcción. Este método fue elaborado por Jorge Juan hacia mediados del siglo XVIII e introducía técnicas utilizadas en el sistema inglés.

La principal diferencia de este sistema con los que se empleaban anteriormente consistía en que las piezas utilizadas para formar una cuaderna eran de menor tamaño. Sin embargo, a pesar de que estas se podían fabricar de manera más estándar y que su coste era más reducido, la cantidad de madera requerida incrementaba ya que se necesitaban más refuerzos. Al mismo tiempo, en este sistema se utilizaban más cuadernas de armar, entre las cuales se incorporaban dos cuadernas de henchimiento, los planos eran más elaborados y las piezas utilizadas para la construcción de las cuadernas eran delineadas antes de llevar a cabo su labrado.

A su vez, este sistema se caracterizaba por la ausencia de piques y horquillas, elementos que se utilizaban en el sistema español para la construcción de los extremos de proa y popa. En este sistema se utilizaba un conjunto cuadernas de menor tamaño que se instalaban de lado sobre unos elementos llamados dormidos, los cuales iban situados sobre la quilla del barco. También, en el sistema de los ingleses se podían colocar las cuadernas con un cierto giro, las cuales se denominaban cuadernas de reviro. Esta característica del sistema fue motivo de muchas desavenencias entre los constructores ingleses instalados en España y los españoles, hecho que hizo que tuviera poca implantación en el sistema español y también en el francés.

En la imagen mostrada a continuación, se puede apreciar los elementos utilizados para la construcción de una cuaderna según lo estipulado en el sistema constructivo de Jorge Juan y aprobado en la Junta de Constructores del año 1752.

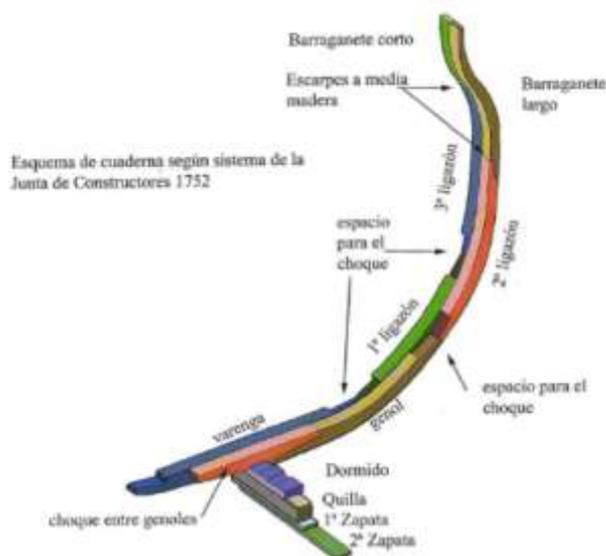


Figura 92. Esquema de la construcción de las cuadernas en el sistema de Jorge Juan en el año 1752

Fuente. La construcción naval española del siglo XVIII a través de algunos modelos de arsenal del Museo Naval de Madrid

El sistema ideado por Jorge Juan estuvo en vigencia aproximadamente 15 años y fue objeto de numerosas modificaciones con las que se obtuvo un sistema mixto en el que se utilizaban rasgos del sistema español y del inglés.

Este sistema constructivo a la inglesa fue sustituido por otro propuesto por Francisco Gautier, en el que se daba una gran influencia de la metodología constructiva que se seguía en Francia. Principalmente, los cambios que se introdujeron estaban relacionados con la construcción de las cuadernas del casco. Las nuevas normativas indicaban que las varengas, ligazones y genoles debían estar unidas a través de pernos cuadrados de hierro hasta la primera cubierta del barco.

A continuación, se muestran dos modelos de las secciones centrales correspondientes a dos navíos de línea construidos siguiendo el sistema a la francesa y el sistema a la inglesa. La imagen de la derecha muestra el modelo de la sección central del navío San Juan Nepomuceno, primer navío construido con el sistema de Gautier. La imagen de la izquierda es el modelo de la sección central del navío San Genaro, el cual constituía uno de los últimos navíos de línea construidos con el sistema propuesto por Jorge Juan.



Figura 93. Modelos de las secciones centrales de los navíos San Genaro y San Juan Nepomuceno

Fuente. La construcción naval española del siglo XVIII a través de algunos modelos de arsenal del Museo Naval de Madrid

Por medio de las imágenes anteriores se pueden apreciar las diferencias que había en la estructura interna de los navíos construidos con el sistema a la inglesa y con el sistema a la francesa.

La última etapa en la que se produjo la aparición de un nuevo sistema constructivo en el sector naval español fue hacia finales del siglo XVIII. Esta estuvo encabezada en primer lugar por José Joaquín Romero y Fernández de Landa y posteriormente por Julián Martín de Retamosa. Este sistema se caracterizaba por el hecho de que en él se combinaban las ventajas que ofrecía tanto el sistema francés como el inglés. Con este nuevo sistema se obtuvieron los navíos de línea españoles más perfectos construidos a lo largo del siglo XVIII y que presentaban un comportamiento excelente en el mar.

Al igual que los barcos analizados en los capítulos anteriores, en las últimas etapas de la construcción se realizaba el calafateado del barco. De modo que las juntas de las tablas de los costados, fondo y cubiertas eran rellenadas por una mezcla de estopa y brea para así evitar la entrada de agua al interior del buque. Además de esta operación, uno de los trabajos más importantes que se desarrollaba para el mantenimiento del barco era las carenas. Esta actividad permitía reemplazar las partes de madera que estaban podridas o que eran inservibles. Para ello, la operación de carena se basaba en recomponer y calafatear aquellas zonas del barco que estuvieran dañadas.

Capítulo 6. Siglo XIX – Principios del siglo XX: Clíper Cutty Sark

6.1 Contexto histórico

El siglo XIX se caracterizó por la introducción de numerosas modificaciones que tuvieron una gran repercusión en el sector naval. Estas se basaban principalmente en dos aspectos: la aparición de los barcos de vapor y el uso del hierro (con su posterior cambio al acero) como material para la construcción de barcos. Otro de los avances que tuvo lugar en este siglo, concretamente a partir del año 1840, consistió en la introducción de las hélices en los barcos.

A principios del siglo XIX los navíos de línea continuaban siendo uno de los barcos que se utilizaban con mayor frecuencia. Estos tenían como funciones la de escolta durante la navegación a lo largo de las rutas comerciales y también fueron usados en numerosas batallas navales (p. ej., Guerras Napoleónicas o la Guerra de Independencia de los Estados Unidos) que se produjeron durante este periodo. Junto con los navíos, continuaban siendo empleados otros tipos de barcos construidos durante el siglo anterior. Un ejemplo de estos son las fragatas. En España, como consecuencia de las numerosas batallas de las que formó parte, en el año 1816 únicamente se disponían de 22 navíos de línea y 18 fragatas.

Años más tarde, tanto en Estados Unidos como en Inglaterra, apareció de manera simultánea un nuevo tipo de barco con formas más finas que podían alcanzar velocidades elevadas (entre 14 y como máximo 20 nudos) y que estaban destinados al transporte de mercancías de gran valor económico, a la vez que también podían transportar pasajeros. Estos nuevos barcos recibían el nombre de clíperes (o clippers).

Estos permanecieron en uso a lo largo del siglo XIX hasta los años 20 del siglo XX, de manera que fueron los últimos grandes veleros construidos para el transporte de mercancías y personas. Este hecho se debe principalmente a la aparición de los barcos de vapor. La primera nave a vapor, denominada Charlotte Dundas, apareció en Inglaterra en el año 1801 y fue diseñado por William Symington. Estos barcos eran utilizados con fines comerciales y también militares. Sin embargo, a mediados del siglo XIX, los clíperes seguían siendo el principal medio de transporte por vía marítima. Manteniendo de este

modo la era de la navegación a vela. Un ejemplo de este tipo de barcos es el Cutty Sark, el cual se analizará más detalladamente en los siguientes apartados de este capítulo.



Figura 94. Clíper Thermopylae

Fuente. <https://www.victoriaharbourhistory.com/transportation/sea-transportation/sailing-vessels/the-clipper-ship-thermopylae/>

Las principales ventajas que ofrecían los clíperes consistían en que, a lo largo de las derrotas comerciales que realizaban, no tenían que hacer numerosas escalas para poder disponer de los elementos necesarios para su propulsión. Debido a que los barcos de vapor tenían que abastecerse de combustible (carbón) y agua dulce (para generar vapor), se veían obligados a hacer escalas en varios puertos antes de llegar al de destino. No obstante, este tipo de veleros tenía la desventaja de su dependencia al tiempo. Es decir, para poder desplazarse de manera rápida y llegar al puerto de destino en un intervalo de tiempo reducido, requerían que las condiciones meteorológicas fueran adecuadas, especialmente las relativas a la fuerza del viento y al estado de la mar.

Como consecuencia de las ventajas que ofrecían los clíperes frente a los primeros barcos de vapor, los primeros fueron utilizados mayoritariamente para las navegaciones oceánicas de largas distancias. Por el contrario, las naves a vapor se utilizaban en navegaciones por zonas próximas a la costa, para la navegación fluvial o para realizar rutas de corta distancia. Como consecuencia, estos grandes veleros lograron estar muchos años compitiendo con los barcos a vapor en cuanto a la capacidad de carga que podían transportar y a su eficiencia.

En relación con las rutas comerciales que se dieron a lo largo del siglo XIX, estas tenían como destino principalmente China, Australia, Norteamérica y América del Sur. La ruta establecida de Europa hacia China, también conocida como Carrera del té, estaba integrada por un conjunto de clíperes que recibieron el sobrenombre de clíperes del té o clíperes de China (*Tea clippers* o *China clippers*). Estos barcos, especialmente los ingleses, fueron los que realizaron este tipo de ruta con la que se

comercializaba, además del té, especias. En el caso de las rutas destinadas al comercio con Australia, país emergente en ese periodo, los principales materiales que se comercializaban eran los siguientes: oro, trigo y lana. En cuanto al continente americano, a raíz de la fiebre del oro que se produjo alrededor del año 1850, se establecieron nuevas rutas dirigidas al Oeste de Estados Unidos. Las rutas que se producían con los países de América del Sud consistían principalmente en el comercio del nitrato de Chile, el cual era transportado al continente europeo y utilizado como abono para sus campos. Para llevar a cabo estas travesías, los clíperes debían pasar por el Cabo de Hornos, Cabo de Buena Esperanza y el Cabo de Leeuwin.

Al igual que en el siglo anterior, las principales potencias económicas competían entre ellas por el diseño y la construcción de clíperes con los que se pudieran realizar grandes viajes en un periodo de tiempo reducido. Como consecuencia de esta elevada competencia, surgió una competición entre los grandes clíperes para ver que barco era capaz de poder realizar trayectos de largas distancias en el menor periodo de tiempo posible. Al mismo tiempo, esta competición se basaba en que aquel que llegara primero al lugar de destino podría fijar los precios de las cargas. Las más relevantes se producían en el viaje de China hacia Europa, principalmente hacia Inglaterra.

En la siguiente imagen se pueden apreciar algunos de los récords que se establecieron a lo largo del siglo analizado, concretamente del 1846 al 1869, indicando el nombre del clíper (o clipper), ruta y duración del viaje.

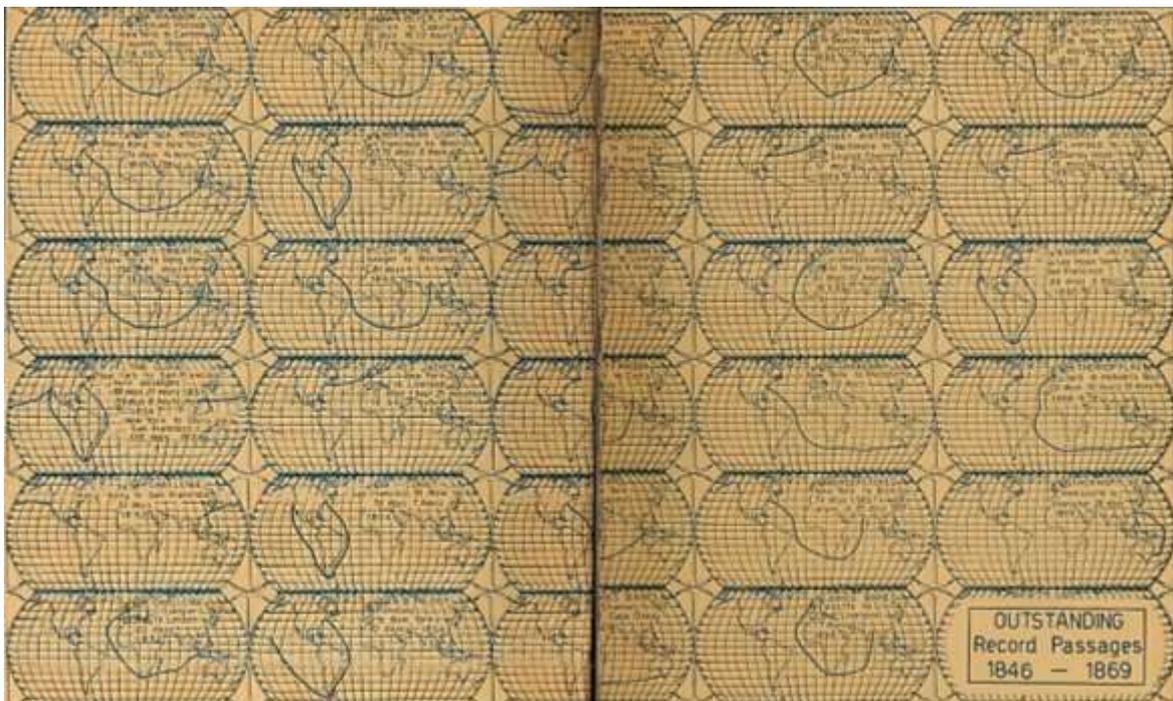


Figura 95. Récords establecidos durante los años comprendidos entre 1846 y 1869

Fuente. Clipper ships of America and Great Britain, 1833 -1869

El factor que contribuyó en gran medida al declive del uso de los clíperes, y por consiguiente al final de la era de la navegación a vela, fue la apertura del Canal de Suez en el año 1869. A través de este, los barcos de vapor podían evitar pasar por el Cabo de Buena Esperanza y dirigirse de manera más rápida a los puertos de destino. Un ejemplo es el viaje entre Londres y Shanghái, el cual vio reducida la duración de la navegación a menos de la mitad. A diferencia de estos, los clíperes no podían pasar por este canal si no eran remolcados por remolcadores. Por este motivo, los grandes veleros mercantes continuaban trazando las rutas tradicionales con las que se pasaba por el cabo situado en Sudáfrica. El Cabo de Buena Esperanza se caracterizaba por ser una zona en la que se podían producir tempestades de manera repentina y con elevada violencia. De manera que los barcos de vapor podían navegar de forma más segura mientras que los veleros no podían evitar su paso por esta zona.

En la actualidad, se siguen conservando varios clíperes construidos durante el siglo XIX, como por ejemplo el Cutty Sark. Algunos de estos barcos, como consecuencia de su desuso en lo referente al transporte mercancías, fueron utilizados como buques escuelas. Al mismo tiempo, durante la Primera Guerra Mundial se utilizaron también este tipo de veleros para el transporte de mercancías.

6.2 Dimensiones principales

Tal y como se ha mencionado anteriormente, el origen de este tipo de barcos se encuentra en Estados Unidos, concretamente en Baltimore (*Baltimore clippers*), a principios del siglo XIX. En el año 1833 se construyó el que es considerado que fue el primer clíper, el cual se denominaba Ann McKim. En esta misma década, en Escocia también se construyeron este tipo de embarcaciones. Los clíperes constituyeron una clase de veleros que cambiaron el diseño que presentaban los barcos hasta ese momento. Al mismo tiempo, debido a las ventajas que proporcionaban estos navíos frente a las correspondientes a los barcos de vapor, los clíperes estuvieron en funcionamiento hasta aproximadamente la década de 1920.

Un ejemplo de estos barcos, y de los que actualmente aún se conserva en buen estado, es el Cutty Sark. Este barco constituye uno de los últimos clíperes del té, a la vez que fue uno de los más veloces, alcanzado una velocidad máxima superior a 17 nudos.

Este barco fue diseñado por Hercules Linton para la compañía Willis & Sons de John Willis. Su construcción se inició en Dumbarton, próximo al Río Clyde, en Escocia y posteriormente fue remolcado a Greenock para realizar los últimos trabajos relativos a los mástiles que enarbolaba y a su jarcia. La botadura de este fue el 22 de noviembre del año 1869 y su primer viaje a China se dio al año siguiente, en 1870. Dado que el Cutty Sark fue botado la misma semana que la apertura del Canal de Suez, tuvo que competir durante gran parte de su vida útil con los barcos de vapor.

En la siguiente imagen se puede observar una representación del clíper Cutty Sark.



Figura 96. Pintura del clíper Cutty Sark

Fuente. http://www.solarnavigator.net/history/clipper_ships.htm

Al tratarse de un clíper del té, la ruta que llevaba a cabo estaba establecida entre Europa y las Indias Orientales. Además del transporte del té, una vez que esta ruta pasó a ser realizada por barcos de vapor, llevó a cabo diversas travesías hacia Australia, para el comercio de lana, y también hacia Estados Unidos a lo largo de los años en los que estuvo funcionando como barco mercante.

Desde su construcción, este velero ha presentado diversos dueños. En el año 1895, el Cutty Sark pasó a manos de la naviera portuguesa Ferreira y fue utilizado como buque escuela. Posteriormente, en el año 1922 volvió a Inglaterra donde estuvo funcionando como buque de entrenamiento, pero sin realizar desplazamientos con él, y como museo flotante. Finalmente, en el año 1954 fue trasladado al dique seco situado en Greenwich de manera permanente, pasando a ser de este modo un museo. Actualmente, desde el año 2015 este clíper pertenece al National Maritime Museum.



Figura 97. Clíper Cutty Sark

Fuente. <https://www.theoriginaltour.com/es/attractions/cutty-sark>

En el año 2006, se inició el proceso de restauración del mismo y finalizó en el año 2012. Cabe indicar que el 21 de mayo del año 2007 sufrió un gran incendio provocando que parte de las maderas que integraban el barco fueron dañadas. Los desperfectos se produjeron mayoritariamente en la parte central del barco. Alrededor de un 5% de los materiales originales fueron dañados, ya que las cubiertas que también se vieron afectadas por la acción del fuego estaban construidas con materiales que habían sido incorporados en el siglo XX.

En la Figura 98 mostrada a continuación, se pueden apreciar los daños que presentaba el barco tras el incendio sucedido en el año 2007.



Figura 98. Daños causados en el Cutty Sark por el incendio sucedido en el año 2007

Fuente. <https://edition.cnn.com/2012/04/24/world/europe/cutty-sark-reopen/index.html>

En la Tabla 11 se indican las principales dimensiones que presenta el clíper Cutty Sark.

Dimensiones principales del clíper Cutty Sark	
Eslora	64,8 m
Manga máxima	11 m
Manga de trazado	10,67 m
Puntal de la bodega	9,45 m
Puntal de trazado	6,83
Tonelaje de arqueo bruto	962,9 toneladas
Tonelaje de arqueo neto	961,39 toneladas

Tabla 11. Dimensiones principales del clíper Cutty Sark

Fuente. Clipper ships of America and Great Britain, 1833 -1869

En relación con la eslora, este parámetro del barco presentaba un aumento considerable con respecto a los navíos de línea construidos a lo largo del siglo anterior. Un factor importante que determinaba el valor que adquiriría la eslora del clíper era el material utilizado para su construcción. Con la aparición del hierro como material de construcción naval, permitió que estos veleros incrementaran su tamaño. Con este aumento, se conseguía también transportar una mayor cantidad de carga. Al mismo tiempo, la carga que debía transportar este tipo de buques era otro de los aspectos que se debía tener en consideración durante la fase de diseño del mismo.

6.3 Características de la obra viva y obra muerta

Los clíperes se caracterizaron por presentar un diseño que se diferenciaba en gran medida con los veleros construidos en épocas anteriores. Se realizaron cambios en sus formas, dimensiones, velamen, superestructuras, entre otros. Las buenas prestaciones que presentaban los clíperes en relación a su comportamiento en el mar, permitieron que estos se mantuvieran como buques destinados al transporte de mercancías y pasajeros a pesar de la aparición de los primeros barcos de vapor.

En los siguientes subapartados se describirán los principales aspectos de este tipo de veleros relacionados con su obra viva y obra muerta.

6.3.1 Características de la obra viva

En comparación con los barcos diseñados a lo largo de la Edad Media y de la Edad Moderna, los clíperes fueron ideados con el objetivo de alcanzar velocidades elevadas, de manera que realizaran grandes travesías en intervalos de tiempo reducidos. Por este motivo, los diseños de estos barcos presentaban unas formas del casco alargadas, finas y simples, con largas líneas de agua y con extremos afilados (especialmente la proa) que les permitían navegar a grandes velocidades.

Al mismo tiempo, los clíperes eran barcos con calados elevados. Estos presentaban unos tamaños mayores a los relativos a épocas anteriores. Sus esloras adquirieron valores superiores y se caracterizaban especialmente por tener mangas más reducidas. Este último rasgo era distinto al que disponían los barcos vistos en los capítulos previos, los cuales constaban de mangas amplias. Debido a las formas que adoptaron estos grandes veleros, las secciones transversales de su casco adquirieron forma de V. De manera que el barco disponía de una mayor estabilidad, menor superficie mojada, mayor volumen en las líneas de agua superiores y un buen comportamiento en el mar a raíz de poseer una mayor reserva de flotabilidad y a que su influencia a sufrir pantocazos era menor. No obstante, estos cascos presentaban una mayor resistencia por formación de olas.

En la siguiente imagen se puede apreciar una vista frontal de la proa del casco del clíper Cutty Sark. En ella queda reflejada las formas en V que presentaba las secciones transversales de este buque.



Figura 99. Vista frontal de la proa del clíper Cutty Sark

Fuente. <https://www.theoriginaltour.com/es/attractions/cutty-sark>

Es importante tener en cuenta que estos veleros fueron evolucionando con el paso de los años. Los primeros clíperes construidos en América, los cuales tenían esloras más reducidas, desarrollaron diversas modificaciones en los astilleros de Inglaterra. El clíper inglés se caracterizaba por tener formas del casco elegantes, esloras superiores, mangas de menor tamaño y una amurada más baja. Además de estos dos países, también se construyeron clíperes en Francia, Alemania, Brasil, Holanda, entre otros.

Como consecuencia de que estos barcos no disponían de amplias mangas, la capacidad de carga se vio reducida. Durante el periodo comprendido entre los años 1845 y 1855 se construyeron clíperes en los que se sacrificaba la cantidad de carga que se podía transportar en ellos por la velocidad. Estos eran los denominados clíperes extremos. Además de esta clase, a mediados de siglo también se inició la construcción de otro tipo de clíperes con dimensiones intermedias.

Respecto al tonelaje que estos veleros podían transportar en su interior, este parámetro se debía tener en cuenta durante la fase de diseño del velero ya que el valor que adquiriera tenía que cumplir con lo establecido en las normativas. El tonelaje también servía para el cálculo de las tasas y de las cuotas de los puertos.

Este tipo de veleros también se caracterizaba por disponer de una estructura interna que difería de las que presentaban barcos como las naos, navíos de línea, entre otros. Esta diferencia se basaba principalmente en el material utilizado para la construcción de la quilla y de las cuadernas. Estos barcos estaban construidos utilizando un sistema de construcción mixto (el cual se explicará con más detalle en el apartado 5) en el que estos elementos estaban construidos con hierro. Mediante esta técnica se lograba eliminar los elementos estructurales que no fuesen necesarios. Al mismo tiempo, se obtenía una

mayor rigidez del casco, con la que el barco era capaz de soportar de manera correcta las cargas que generaban los mástiles y las velas.

Los clíperes presentaban una quilla corrida que se extendía longitudinalmente por todo el casco. Este tipo de quilla provocaba que el radio de giro del barco fuera mayor. De modo que podía dificultar la maniobrabilidad del clíper y ser un obstáculo cuando este estuviera en el puerto. Al mismo tiempo, en el codaste del casco tenía incorporado un timón de codaste. En la Figura 100 se muestra una vista del casco del clíper Cutty Sark en la que se observa su quilla.



Figura 100. Vista de la quilla del clíper Cutty Sark

Fuente. http://www.solarnavigator.net/history/clipper_ships.htm

En el caso del clíper Cutty Sark, sus formas se caracterizaban por seguir los criterios establecidos por el sistema constructivo inglés. Su casco presentaba formas alargadas y estrechas con las que podía alcanzar grandes velocidades (la velocidad máxima podía ser superior a 17 nudos). Debido a que actualmente este barco está expuesto como un museo, se realizaron algunas alteraciones en el casco, como por ejemplo una apertura en la zona de la aleta de babor, para que el público tuviera acceso al interior del barco. Al mismo tiempo, se encuentra elevado a tres metros del suelo sujeto por un conjunto de soportes situados a ambos lados del casco. De esta manera, los visitantes pueden apreciar las formas y el fondo del casco del barco.

A continuación, se muestran dos imágenes en las que se puede observar el casco del Cutty Sark. La imagen de la izquierda muestra la popa del casco del barco. En ella también se puede ver parte del timón de codaste que disponía este clíper. En la imagen de la derecha se observa la proa del barco y parte del costado de babor.



Figura 101. Vistas de la popa (izquierda) y de la proa (derecha) del clíper Cutty Sark

Fuente. http://www.solarnavigator.net/history/clipper_ships.htm

A inicios del siglo XIX, los primeros barcos de vapor tenían instalados una máquina de vapor que accionaba dos ruedas de palas. Estos barcos no navegaban por mar abierto ya que las olas podían provocar la elevación por encima del agua de una de las ruedas, mientras que la otra quedaba sumergida en el agua. Como consecuencia de estas limitaciones, a partir del año 1840 se introdujo el uso de las hélices como sistema de propulsión del barco. Este nuevo elemento proporcionaba una mayor eficiencia.

Al mismo tiempo, una vez iniciada la utilización de acero como material de construcción naval, en el año 1858 se construyó un barco de vapor que presentaba doble casco. En el espacio de separación de los cascos había instalada una estructura reticular construida con vigas de hierro. En el casco interior se situaron un conjunto de mamparos transversales y longitudinales, los cuales formaban compartimentos estancos. A pesar de los beneficios que esta estructura aportaba al barco, la aplicación de este tipo de estructura interna del casco no se implementó hasta el siglo siguiente.

Además de los barcos mencionados, hacia los años 1870 y principios del 1900 se diseñaron otro tipo de veleros construidos en su totalidad con hierro y acero. Estos veleros mercantes disponían de una gran eslora y su capacidad de carga era mayor a la que presentaban los clíperes. Su desplazamiento oscilaba entre 2000 y 5000 toneladas.

6.3.2 Características de la obra muerta

Al igual que las características relacionadas con la obra viva de los clíperes, las correspondientes a la obra muerta también presentaban modificaciones con respecto a los buques construidos anteriormente.

En relación con las formas de proa y de popa, como se ha indicado anteriormente, estas se caracterizaban por ser más finas. Estos barcos tenían una proa lanzada. No obstante, en numerosas ocasiones los clíperes en vez de tener una proa lanzada disponían de una proa de violín, también denominada proa de clíper o de yate. Esta forma tenía como peculiaridad que trazaba una curvatura en la parte del casco que queda por encima de la línea de flotación. Estos tipos de proas permitían que el ataque del casco del barco a las olas fuera menos brusco y que el barco navegara a velocidades elevadas. Los clíperes convencionales podían navegar a una velocidad que oscilaba entre 16 y 18 nudos, mientras que en el caso de los clíperes extremos podían adquirir una velocidad de 20 nudos. En relación con la popa, estos barcos estaban diseñados con una popa redonda.

A diferencia de las naos, navíos de línea, entre otros, los clíperes no tenían un castillo de popa ni de proa de grandes dimensiones. Este tipo de grandes veleros disponían de una cubierta principal con mayor tamaño donde la cubierta de toldilla estaba situada a poca altura, al igual que la cubierta del castillo de proa. Estos barcos solían disponer de tres cubiertas correspondientes a la principal, entrepunte y a la bodega inferior. En relación a su francobordo, este parámetro en los clíperes era más reducido, especialmente en aquellos que se construían en Inglaterra. En la siguiente imagen podemos apreciar la obra muerta del Cutty Sark. En ella se observa que la proa de este barco es del tipo de violín (o proa de clíper) y la forma de popa es redonda. También se puede ver que parte del timón se encuentra por encima de la línea de flotación.



Figura 102. Obra viva del clíper Cutty Sark

Fuente. <https://edition.cnn.com/2012/04/24/world/europe/cutty-sark-reopen/index.html>

En cuanto a los mástiles que enarbolaban este tipo de barcos, con el fin realizar travesías en el menor tiempo posible se incrementó el número de palos instalados en ellos. Principalmente los clíperes tenían tres mástiles (trinquete, mayor y mesana) además del bauprés. Sin embargo, en algunos clíperes se

instalaron cinco o seis palos. En todos ellos se situaba el número de vergas necesarias para las velas que el clíper presentaba.

El velamen que tenían los clíperes se caracterizaba por ser de gran tamaño, de manera que su superficie vélica era elevada. Estos barcos disponían de un gran número de velas dispuestas en sus mástiles que, junto con la forma alargada del casco, permitían que el clíper pudiera navegar a velocidades elevadas. La gran parte de las velas (mayor, trinquete, mesana, sus respectivos juanetes y sobrejuanetes, cangreja de popa, entre otras) eran velas cuadas. Las velas del foque, fofoque y contrafoque eran velas triangulares. Tal y como se ha mencionado anteriormente, este aumento del velamen podía conllevar daños en la estructura del casco debido a su elevado peso, el cual incrementaba de manera considerable cuando las velas se mojaban.

Como consecuencia del número de palos y de la gran cantidad de velas que poseían este tipo de veleros del siglo XIX, la jarcia estaba configurada por una gran cantidad de cables (obenques, estays, entre otros). En aquellos clíperes que enarbolaban cinco mástiles, el aparejo que presentaban era el correspondiente al de las fragatas, mientras que los de seis palos tenían el aparejo propio de las goletas.

En el clíper analizado, el número de palos que enarbolaba era tres (trinquete, mayor y mesana) y también disponía del bauprés. El palo mayor tenía una altura de 47 metros, el número de velas era 32 cuya superficie vélica total era de 2976 metros cuadrados y la jarcia total tenía un valor de 17.702 metros. En la Figura 103 se ofrece una vista frontal del Cutty Sark en el que se puede apreciar parte de su jarcia, mástiles y vergas.



Figura 103. Vista desde proa del aparejo del clíper Cutty Sark
Fuente. <https://www.theoriginaltour.com/es/attractions/cutty-sark>

Al mismo tiempo, cabe indicar que el aparejo de los clíperes podía variar en función de las zonas por donde tuviera que navegar. Por ejemplo, en las rutas del té era necesario incrementar el área de las velas para así obtener una mayor propulsión. En aquellas ocasiones en las que el clíper debía navegar hacia Australia, se requería un valor más reducido de superficie vélica al igual que del número de mástiles.

Del mismo modo que en los navíos de línea, los cascos de estos barcos también estaban pintados. Generalmente, los clíperes estaban pintados de color negro y en algunas ocasiones se trazaba longitudinalmente una línea blanca en ambos costados del buque. En las zonas de proa y popa, la ornamentación, la cual era mucho menor que en los periodos anteriores, estaba pintada con pintura dorada. En el caso del Cutty Sark, tal y como se puede observar en la siguiente imagen, este estaba pintado siguiendo estas pautas.



Figura 104. Vista de la pintura del clíper Cutty Sark

Fuente. <https://www.theoriginaltour.com/es/attractions/cutty-sark>

En relación a los primeros barcos de vapor, la principal ventaja que ofrecían respecto a los de vela consistía en su capacidad de navegar independientemente de la dirección del viento y de las mareas. Sin embargo, debido a la dependencia al carbón que estos presentaban para el funcionamiento de las máquinas de vapor instaladas en ellas, las naves a vapor también enarbolaban mástiles.

En la página siguiente se muestra un ejemplo de un barco de vapor que presentaba esta configuración en la que se combinaba la propulsión a vela y a vapor.

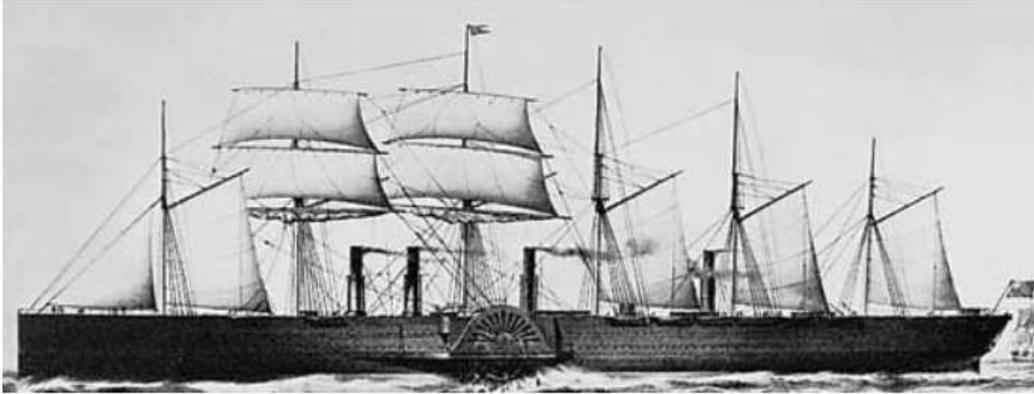


Figura 105. Barco de vapor Great Eastern

Fuente. <https://www.britannica.com/topic/Great-Eastern>

En el caso de los veleros con casco de hierro, estos presentaban las mismas formas que las correspondientes a los clíperes. En relación a su aparejo, estos enarbolaban entre tres y cinco mástiles y sus velas eran cuadradas.

6.4 Proceso de realización del modelo del casco en 3D

El modelo del casco en tres dimensiones del barco Cutty Sark fue creado por medio del uso de los programas informáticos AutoCAD® y Rhinoceros®. Partiendo de los planos de formas del barco, se procedió a la construcción del casco del clíper estudiado por medio de las secciones transversales y de la sección longitudinal perteneciente al plano diametral del mismo. Una vez obtenido el casco en el campo de trabajo 3D del AutoCAD®, mediante el programa Rhinoceros® se obtiene el modelo final del casco de este barco.

En los siguientes subapartados se describe más detalladamente el procedimiento realizado para la obtención del casco del clíper Cutty Sark.

6.4.1 Desarrollo del casco en 3D con AutoCAD®

Las operaciones realizadas para obtener el casco del barco en AutoCAD® tienen como punto de partida el plano de formas del barco. En el caso del Cutty Sark, se ha utilizado el que está incluido en el libro *Clipper ships of America and Great Britain, 1833 -1869* escrito por Helen La Grange en el año 1936. A continuación, se muestra el plano utilizado.

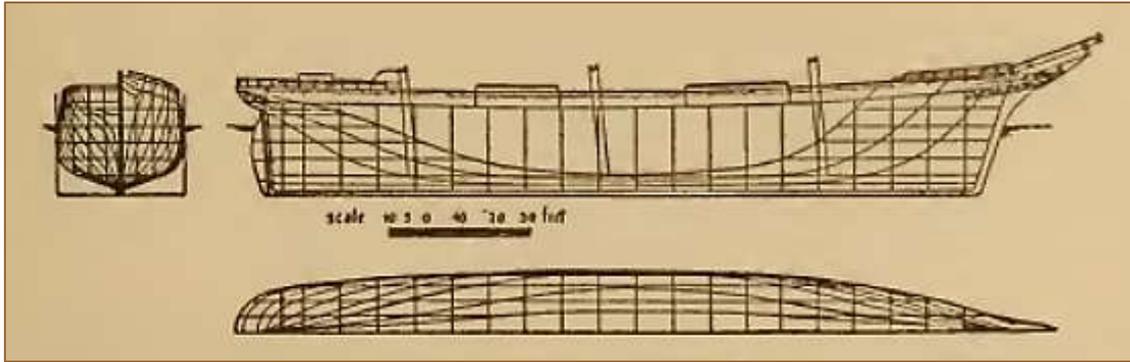


Figura 106. Plano de formas del clíper Cutty Sark
Fuente. Clipper ships of America and Great Britain, 1833 -1869

Una vez está dispuesto el plano de formas en el campo de trabajo en dos dimensiones de AutoCAD® se realiza el trazado de la caja de cuadernas y del perfil longitudinal. Esta acción se lleva a cabo mediante el comando *Spline*. Cuando estas están trazadas, es necesario abatirlas para así poder trabajar en la vista isométrica del programa. Para ello, el comando utilizado es el denominado *3Drotate*. Después de rotarlas se procede a situarlas en su lugar correspondiente del casco, de modo que se obtiene la forma que presenta el casco del clíper Cutty Sark.

Antes de realizar el último paso mencionado, para situar de manera correcta las secciones transversales y longitudinal del casco, son trazadas unas líneas auxiliares. Estas líneas representan las cuadernas de trazado y la línea de crujía del barco. De esta manera, se facilita la ubicación de las secciones con las que se obtiene el casco del Cutty Sark.

En la Figura 107 se puede apreciar el casco obtenido del Cutty Sark una vez han sido dispuestas las secciones transversales en sus posiciones pertinentes.

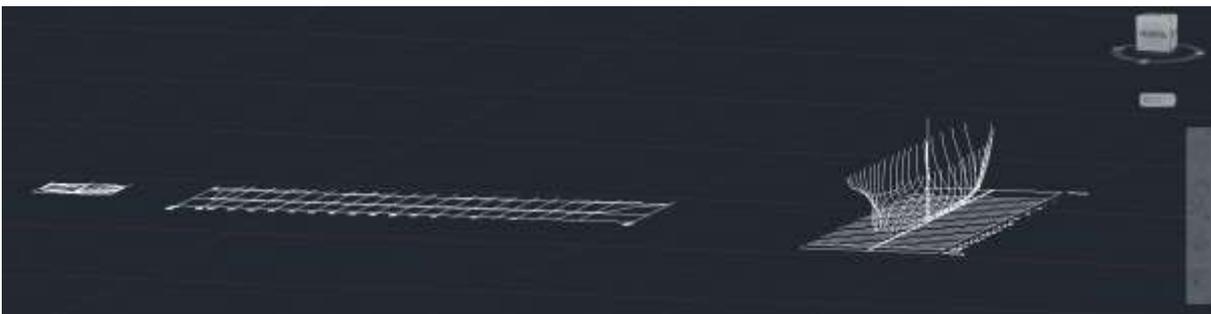


Figura 107. Vista isométrica de las secciones transversales del casco del clíper Cutty Sark
Fuente. Propia

Posteriormente, cuando las secciones transversales se encuentran posicionadas a lo largo de la eslora, se sitúa el perfil longitudinal del casco. El resultado obtenido se muestra en la Figura 108.

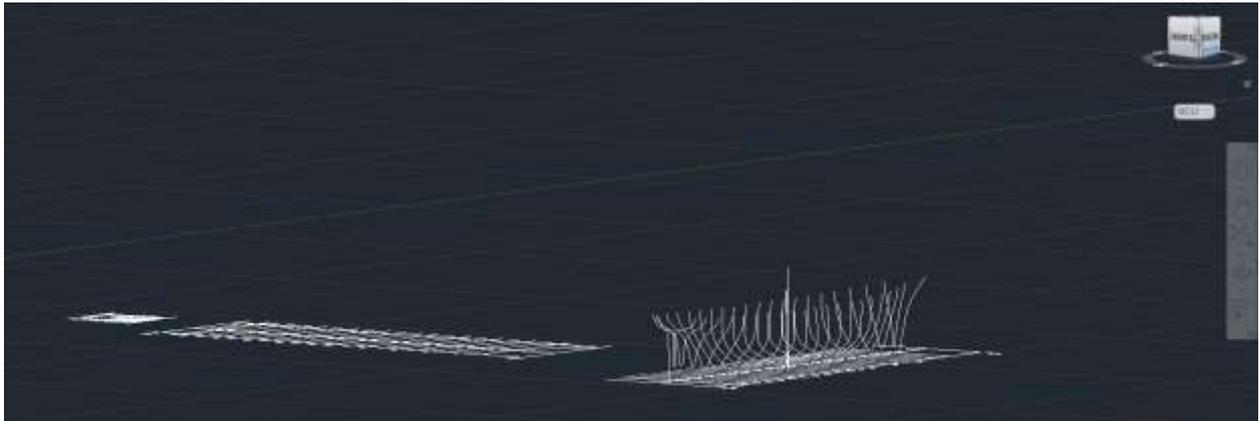


Figura 108. Vista isométrica de las secciones transversales y del perfil longitudinal del casco del clíper Cutty Sark
Fuente. Propia

6.4.2 Modelado del casco en 3D con Rhinoceros®

Tal y como se ha indicado anteriormente, con la estructura del casco dibujada en AutoCAD® se procede al modelado del casco del barco Cutty Sark con el programa Rhinoceros®.

La primera acción que se debe realizar consiste en incorporar archivo obtenido en AutoCAD® al campo de trabajo del Rhinoceros®. Una vez insertado, se crean las superficies existentes entre las secciones transversales trazadas y los extremos de proa y de popa. A raíz de la creación de estas superficies, el resultado final obtenido es el casco completo del Cutty Sark en 3D. Este proceso de creación de las superficies se realiza por medio del comando *Transición* disponible en el programa.

A lo largo del desarrollo de las superficies, es importante tener presente la posible aparición de deformaciones. En algunas ocasiones, las superficies que el programa crea cuando se han seleccionado diversas secciones transversales o las correspondientes a las zonas de proa y de popa presentan errores. Por este motivo, se debe prestar especial atención y para evitar la aparición de estas las superficies creadas se han realizado en tramos reducidos. Después, estos tramos han sido unidos con el comando *Unir*. El resultado obtenido es el modelo completo del casco Cutty Sark en 3D.

En la siguiente imagen se presenta el modelo del casco del Cutty Sark elaborado. En ella pueden apreciarse las superficies generadas por el programa Rhinoceros®.

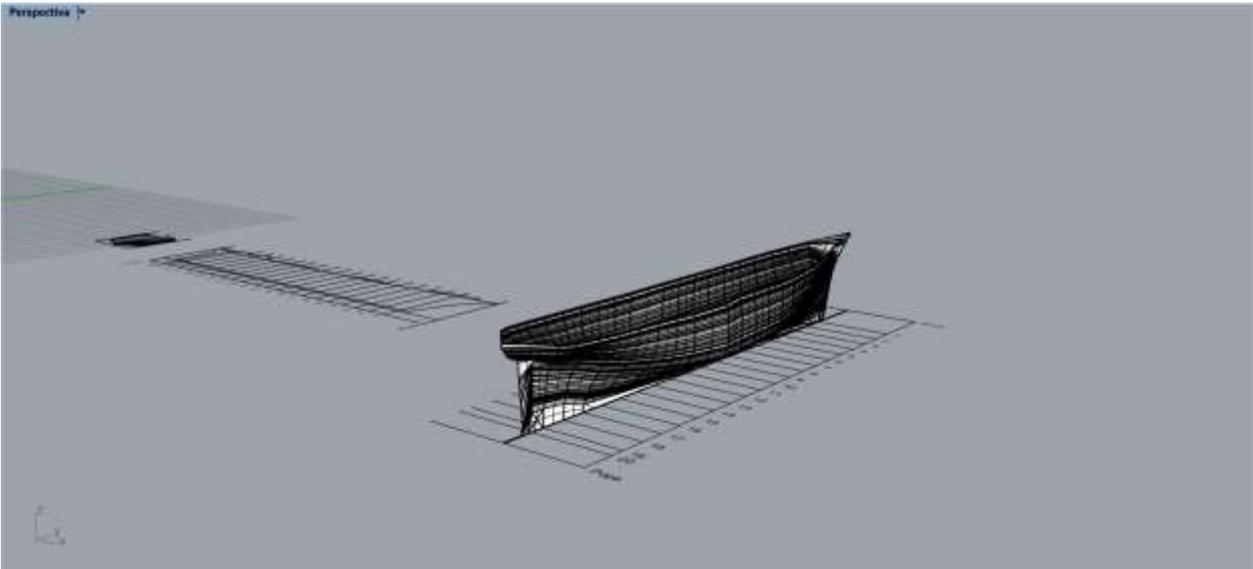


Figura 109. Vista en perspectiva del casco en 3D del clíper Cutty Sark

Fuente. Propia

Este programa dispone de otro comando llamado *Renderizado* con el que se puede observar de manera clara el casco del barco diseñado a través de las cuatro perspectivas que ofrece el programa. Las siguientes imágenes muestran el casco del Cutty Sark desde las vistas proporcionadas.

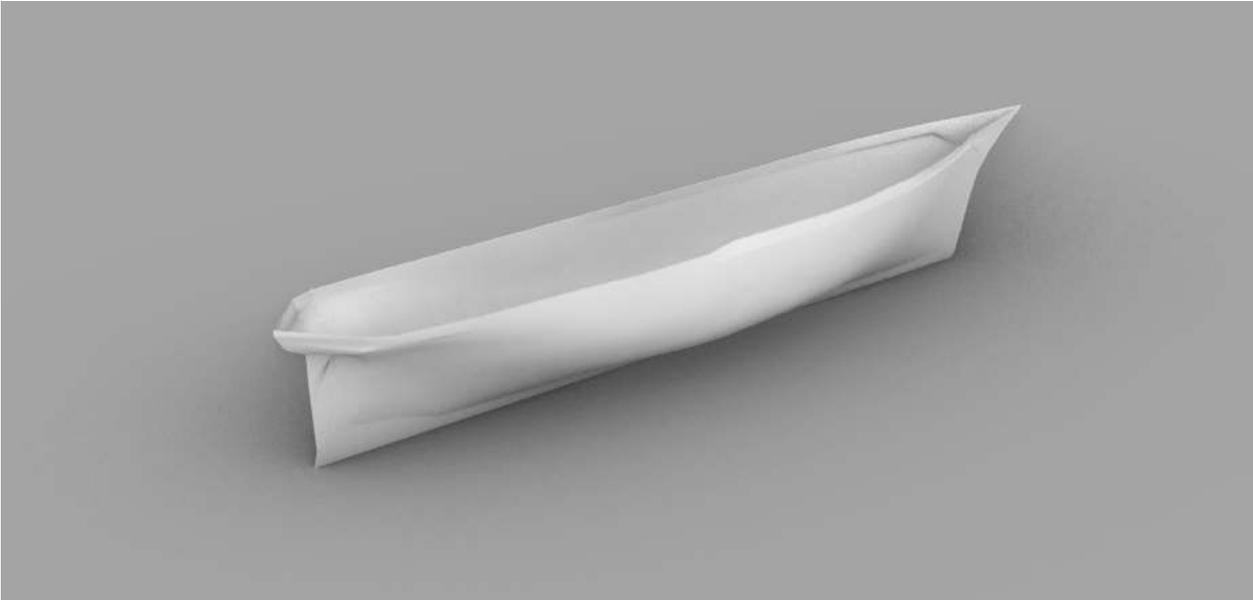


Figura 110. Vista en perspectiva renderizada del casco en 3D del clíper Cutty Sark

Fuente. Propia

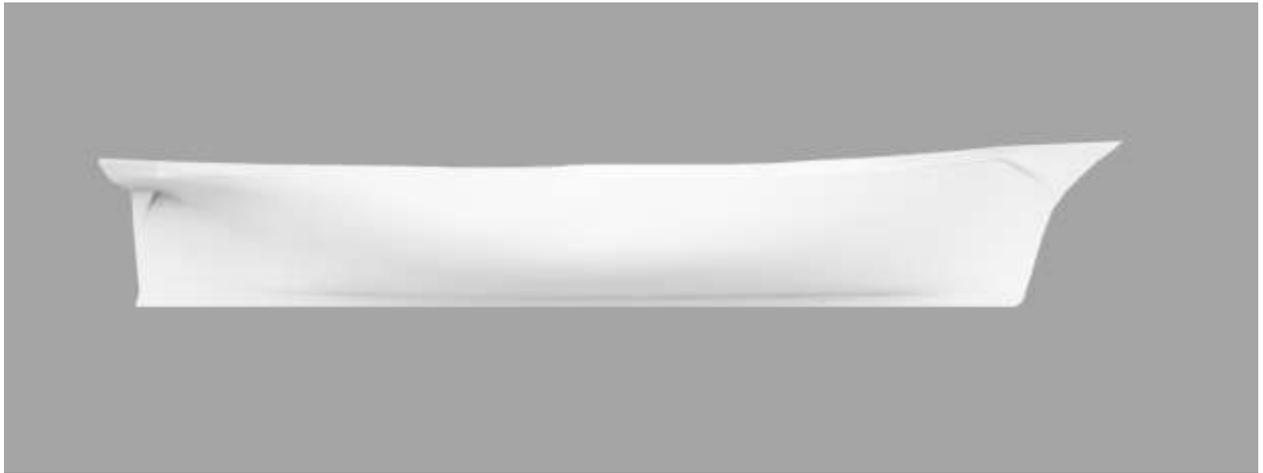


Figura 111. Vista del perfil del costado de estribor del casco en 3D del clíper Cutty Sark

Fuente. Propia

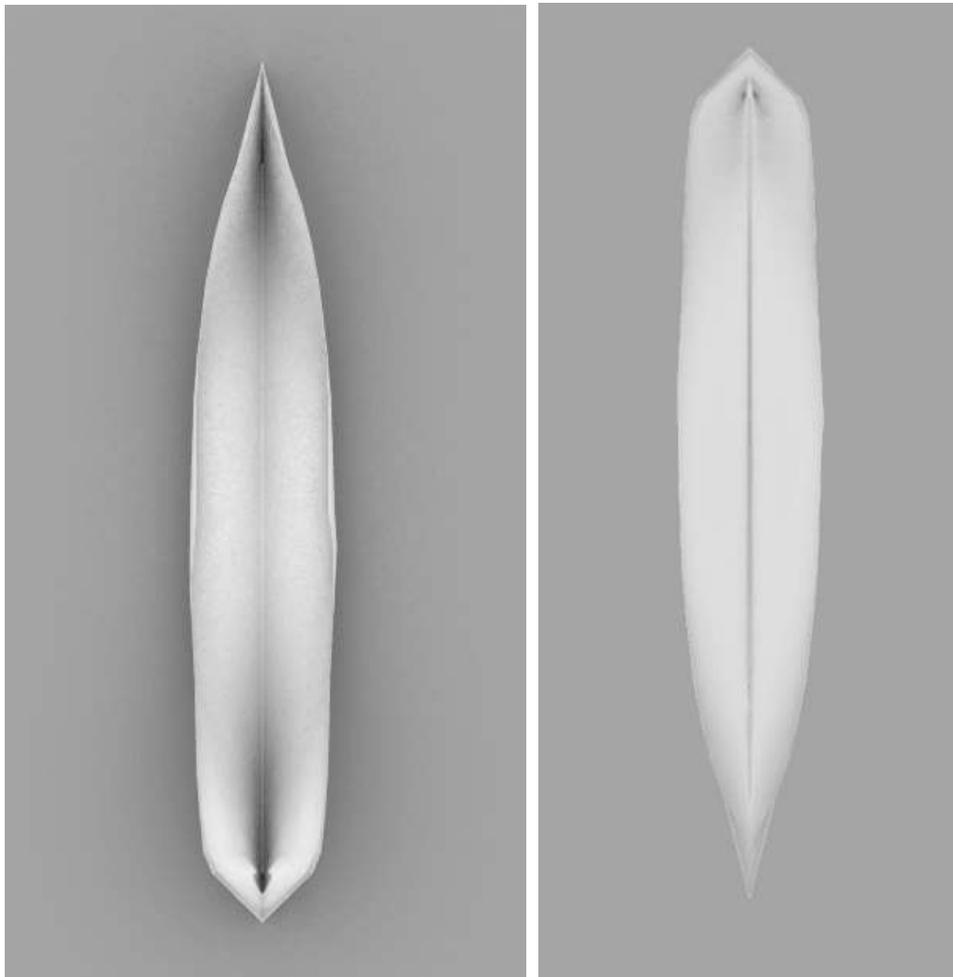


Figura 112. Vista superior (izquierda) e inferior (derecha) del casco en 3D del clíper Cutty Sark

Fuente. Propia

6.5 Materiales y técnicas de construcción naval

A lo largo de la segunda mitad del siglo XVIII y principios del siglo XIX tuvo lugar la Revolución Industrial, hecho que comportó un gran desarrollo y la aparición de numerosos avances tecnológicos en diversos sectores entre los cuales se encontraba la industria siderúrgica. A raíz de la producción de manera industrial de productos como el acero o el hierro, estos materiales empezaron a utilizarse de manera más extensa. Entre sus campos de aplicación se encontraba el de la construcción naval.

A lo largo de los años del periodo estudiado, se produjeron grandes cambios relacionados con el material y la técnica utilizados para la construcción naval. Estos se describirán en los siguientes subapartados.

6.5.1 Materiales utilizados en la construcción

La construcción naval a lo largo de este siglo experimentó grandes cambios en cuanto al material utilizado. Sin embargo, estas modificaciones se realizaron generalmente en aquellos países donde la situación económica era favorable. En otros donde los recursos eran más reducidos, los barcos seguían utilizando los materiales tradicionales.

A diferencia de los siglos anteriores, donde los barcos se construían únicamente a partir de diversos tipos de madera (cedro, roble, teca, olmo, pino, abeto, etc.) a partir del año 1800 se introdujo el uso del hierro y del acero en la construcción naval. Inicialmente, estos nuevos materiales se utilizaban para la estructura interna de este (quilla, cuadernas, baos, etc.). Las demás partes del barco eran construidas a partir de madera. No obstante, algunos de los primeros clíperes fueron contruidos íntegramente con diversos tipos de madera.

Los primeros barcos contruidos con hierro a finales del siglo XVIII presentaban problemas con los compases instalados a bordo debido a que este material hacía que se desviasen. Por este motivo, la expansión del hierro como material para la construcción naval no se produjo hasta la aparición de las esferas Thomson, barra de Flinders e imanes compensatorios (dispuestos longitudinal y transversalmente). Estos elementos estaban situados en la bitácora de los barcos.

La incorporación definitiva del hierro a este sector en la década de 1820 conllevó numerosas ventajas. En primer lugar, permitió aumentar el tamaño de los barcos ya que aquellos que eran contruidos a partir de madera no excedían de los 80 metros. En segundo lugar, la estructura interna del casco en los barcos de madera tenía un tamaño elevado. Este hecho comportaba una reducción del espacio donde se podía almacenar la carga. Por este motivo, en los clíperes contruidos con hierro el espacio destinado a la carga incrementaba considerablemente. En tercer lugar, las cuadernas y demás refuerzos internos del casco hechos con hierro hacían que el barco fuera más resistente. Como consecuencia, estos veleros se

veían afectados en menor grado por los esfuerzos de arrufo y de quebranto. Finalmente, otra ventaja que ofrecía este material consistía en que los trabajos destinados a mantener el barco en óptimas condiciones eran inferiores en los barcos construidos con hierro que en los de madera.

A pesar de los beneficios que aportaba el hierro, este material presentaba una baja resistencia a la corrosión. Con la finalidad de prevenirla, en este periodo surgieron las primeras pinturas antioxidantes. Sin embargo, la eficacia de estas en sus inicios no era adecuada.

Además de los clíperes, a mediados del siglo XIX se construyeron veleros que estaban hechos únicamente de hierro. Este tipo de construcción, junto con las ventajas indicadas, tenía unos costes menores que los que conllevaba la construcción de un barco de madera. El primer barco construido en su totalidad con hierro forjado fue el *Great Britain* en el año 1843 en Inglaterra. Este barco estaba propulsado mediante una hélice a la vez que también disponía de velas.

Al mismo tiempo, en algunas ocasiones la obra viva de los barcos construidos con madera y hierro (este último utilizado para la estructura interna del clíper) presentaba un recubrimiento hecho con planchas de cobre. De esta manera, se prevenía la aparición de incrustaciones en ella a la vez que permitía navegar a mayor velocidad por los océanos. Este recubrimiento con planchas de cobre también se aplicaba al timón del barco. En el caso de los barcos con casco de hierro, no se realizaba el revestimiento de cobre debido a la corrosión bimetálica.

En el caso del *Cutty Sark*, el casco de madera estaba recubierto mediante planchas de metal Muntz (aleación de zinc y cobre), de manera que se evitaba la adhesión en él de algas marinas, moluscos, entre otros. El tipo de madera utilizada, al igual que en los barcos anteriores, variaba en función de su ubicación. Aquella que quedaba por encima de la línea de flotación era de teca de las Indias Orientales, para el casco se utilizaba madera de olmo procedente de América, el codaste y la roda eran de madera de teca, en el entrepuente se utilizaba madera de pino y el timón estaba fabricado con roble inglés. Las planchas de madera que formaban el forrado exterior estaban fijadas a la estructura interna de hierro por medio de pernos de metal Muntz. La quilla original del barco fue sustituida en el año 1920 por otra hecha de madera de pino. Como se puede apreciar en la Figura 113 mostrada en la página siguiente, el recubrimiento con planchas de esta aleación de cobre y zinc también se aplicaba al timón del barco.



Figura 113. Timón con revestimiento de planchas del metal Muntz del clíper Cutty Sark

Fuente. <https://www.flickr.com/photos/mhl20/7568577564/>

A pesar de los beneficios que ofrecía el hierro, a partir del año 1880 se empezó a reemplazar este material por el acero. Algunas de las características que presentaba este último son las siguientes: era más resistente, dúctil, fácil para trabajarlo, tenía un coste bajo, ente otras. El acero fue usado principalmente para la construcción de los barcos propulsados con máquinas de vapor.

Además del casco, siempre que fuera posible se empezaron a utilizar estos materiales, especialmente el acero, para la construcción de los mástiles que enarbolaban los clíperes y los veleros de hierro. Las vergas que tenían los mástiles y la jarcia de estos barcos también comenzaron a fabricarse de acero. Junto con las velas, estos elementos eran los que requerían un mayor mantenimiento, el cual tenía un precio elevado.

Mediante la aplicación en la construcción naval de estos nuevos materiales, los barcos que se construyeron a lo largo de este periodo se caracterizaron por presentar una prolongada vida útil. Algunos clíperes estuvieron en activo durante 30 o 40 años.

Es importante tener en cuenta que el auge del uso del hierro y del acero en la construcción naval, los cuales reemplazaron a la madera, estuvo influenciado por los avances tecnológicos que se dieron en este periodo. Uno de ellos consiste en la aplicación de las máquinas de vapor como sistema de propulsión del barco, sustituyendo de este modo a las velas. Otro de estos avances que tuvieron una gran repercusión en el sector naval fue el uso de las hélices, las cuales relevaron a las ruedas de palas que tenían instalados los primeros barcos de vapor.

Además de materiales mencionados, a mediados del siglo XIX se produjo la introducción de un nuevo material para la construcción naval. Este se denominaba ferrocemento y estaba compuesto por arena, cemento, mallas de alambre o acero de pequeño diámetro y agua. Estas últimas, estaban distribuidas

uniformemente a través de la sección transversal del hormigón, el cual tenía un espesor reducido. Este material proporcionaba ligereza, flexibilidad y resistencia a los barcos. Inicialmente, el ferrocemento se empleaba para la construcción de botes ya que los costes asociados a los materiales requeridos para su construcción eran inferiores. Con el paso de los años también fue utilizado para la construcción de pequeñas embarcaciones a motor o buques mercantes (este último debido a la falta de acero como consecuencia de la Primera Guerra Mundial). No obstante, a pesar de que su uso fue incrementando a principios del siglo XX, su aplicación en la construcción de veleros era reducida.

6.5.2 Técnicas de construcción

Del mismo modo que los materiales, las técnicas de construcción experimentaron diversas modificaciones como consecuencia a los avances tecnológicos que se dieron en la construcción naval a lo largo de este periodo. Estos cambios provocaban la división de la industria según el tipo de barco que se quisiera construir, es decir, velero o barco de vapor.

A mediados de este periodo se desarrolló la técnica de construcción mixta o construcción compuesta por hierro forjado y madera (*composite ship construction*). Esta técnica consistía en que los elementos que integraban la estructura interna del casco, como la quilla o las cuadernas, estaban fabricados con hierro forjado. Una vez ensambladas de manera adecuada estas piezas, tenía lugar el forrado del casco a partir de tracas de madera. Esta técnica fue comúnmente utilizada para la construcción de los clíperes ya que hacía que fuesen más resistentes y ligeros, a la vez que les dotaba de una mayor velocidad durante la navegación oceánica y un mayor espacio para el transporte de cargas en un periodo de tiempo reducido. El último clíper construido siguiendo esta técnica fue el Torrens cuya botadura se llevó a cabo en el año 1875. No obstante, a pesar de que este nuevo método constructivo se utilizaba mayoritariamente en los clíperes, algunos barcos de vapor fueron construidos siguiendo este sistema.

Un ejemplo de aplicación de este sistema de construcción mixta es el clíper del té Cutty Sark. Este presentaba una estructura interna hecha de hierro, con forrado de madera y recubrimiento de la obra viva con planchas de una aleación de cobre y zinc. En la página siguiente se muestra una vista del interior del barco en la que se pueden distinguir los elementos mencionados.



Figura 114. Vista actual del interior del clíper Cutty Sark

Fuente. <https://www.theoriginaltour.com/es/attractions/cutty-sark>

En relación al procedimiento que se seguía, este se basaba en construir inicialmente la estructura interna que constituía el casco del barco y posteriormente, se realizaba el forrado de este (*skeleton-first construction*). A continuación, se indicará el proceso que generalmente se cursaba para la construcción de este tipo de barcos.

Una vez seleccionado el material que se utilizaría para la construcción del barco, el primer paso consistía en posicionar la quilla. Generalmente se colocaba una falsa quilla debajo de la verdadera para proporcionar una sujeción más firme en el agua. La fijación de la falsa quilla se realizaba de tal modo que fuese fácil extraerla sin generar daños en la quilla en caso de que el barco varara. Posteriormente, a la quilla se le fijaban la roda y el codaste. Una vez dispuestos estos elementos, se procedía a la colocación de las cuadernas, las cuales habían sido previamente construidas en el suelo y levantadas a lo largo de la quilla. Tras situar las cuadernas se procedía a la colocación de la sobrequilla como refuerzo longitudinal. A su vez, alrededor de las zonas donde se situaban los mástiles se incorporaban refuerzos que servían para soportar las cargas que se producían en estas zonas. Las cuadernas estaban aseguradas con hierro. También, se colocaban las buzardas de proa y de popa con las que se reforzaban las cuadernas y se unían los dos costados. En esta fase del proceso de construcción se llevaba a cabo el calafateado con el fin de que la estructura fuese estanca y se evitara la entrada de agua.

Cuando la estructura del casco ya estaba formada, se procedía al forrado, interno y externo, del casco mediante planchas de madera. El forrado interior se realizaba partiendo de la sobrequilla y se alzaba por los costados del casco. Las planchas que configuraban estos forrados, tanto interior como exterior, se fijaban permanentemente al mismo tiempo, es decir, en una operación. Al igual que en los barcos vistos

en los capítulos previos, las tracas del barco presentaban diversos espesores. Después de realizar el forrado se calafateaban las juntas para evitar la entrada de agua.

Tras el forrado y el calafateado del casco, la siguiente fase consistía en la construcción de las cubiertas. Estas estaban dispuestas de tal modo que se asegurara la estanqueidad del barco a la vez que se dejaban los espacios correspondientes a los agujeros de los mástiles, escotillas, escaleras, entre otros.

Finalmente, se instalaban en el barco los elementos necesarios para el correcto funcionamiento del barco como, por ejemplo, aquellos que configuran el timón de codaste (pala del timón, rueda, caña, etc.), anclas, bombas, ventiladores, pequeños botes salvavidas, entre otros.

Tal y como se ha indicado anteriormente, en esta época se desarrolló una técnica que consistía en el revestimiento del forro exterior de madera mediante planchas de cobre. Antes de colocar estas planchas en el fondo del casco, las cuales se fijaban por medio de clavos, se le aplicaba brea.

En el caso de los barcos construidos con hierro y acero, las planchas que se utilizaban para los costados en vez de colocarse horizontalmente, como en los barcos de madera, eran instaladas verticalmente. Estas se fijaban mediante la técnica del remachado. Esta consistía en que las planchas que se iban a instalar se perforaban y se utilizaban unas planchas adicionales para reforzarlas. Los remaches, los cuales estaban precalentados a una temperatura de 1200 °C, se colocaban pasándolos por los orificios de las planchas. Dado que una de las cabezas tenía forma redondeada, cuando se situaba el remache se golpeaba el otro extremo para así formar la segunda cabeza. Una vez se había enfriado, se producía una contracción térmica con la que se ejercía presión a las planchas que se estaban uniendo. El mayor velero mercante que se construyó utilizando esta técnica fue el Preußen.



Figura 115. Velero mercante Preußen

Fuente. <http://www.sotaventonline.com/los-ultimos-barcos-mercantes-de-vela-2/>

Capítulo 7. Segunda mitad siglo XX – Siglo XXI: Velero de competición Azzam

7.1 Contexto histórico

A medida que los barcos propulsados por motores fueron experimentando numerosos avances y a que requerían unos costes de construcción más reducidos, su utilización en el sector naval se vio incrementada. Este tipo de barcos pasaron a ser los principales medios de transporte por vía marítima destinados a llevar a cabo las rutas relativas al comercio internacional de mercancías. Además de emplearse con fines mercantes, los barcos que disponían de un motor instalado en su interior también se utilizaron con otros objetivos que derivaron en la aparición de diversos tipos de barcos. Como, por ejemplo: remolcadores, pesqueros, barcos de recreo, entre otros.

La difusión de su uso y el elevado número de aplicaciones que presentaban los buques propulsados por motores provocó que los barcos en los que las velas constituían su sistema de propulsión principal quedaran relegados principalmente a actividades de recreo y a competiciones deportivas. Además de utilizarse para los fines mencionados, existen numerosos veleros de grandes dimensiones construidos en el siglo anterior que son empleados como buques escuela. Un ejemplo de estos es el buque escuela de la Armada española Juan Sebastián de Elcano. En la Figura 116 se muestra una imagen del buque Juan Sebastián de Elcano.



Figura 116. Buque escuela Juan Sebastián de Elcano

Fuente. <https://es.boats.com/consejos/veleros-y-navegacion-a-vela-una-introduccion/>

En relación con los veleros diseñados para la competición, estos barcos tenían como único sistema de propulsión las velas. De manera que su navegación dependía de la acción del viento sobre sus velas. Este deporte se caracteriza por presentar una gran diversidad categorías que derivan en el diseño y la construcción de numerosos tipos de veleros. Estos pueden estar diseñados para regatas en las que se compite individualmente, otros para competiciones de dos o tres tripulantes o bien, veleros de mayor tamaño donde el número de miembros de la tripulación es superior. Las regatas deportivas, además de diferenciarse por la cantidad de tripulantes, también se distinguen entre ellas por la duración y el recorrido de las mismas. Algunas de estas se desarrollan en un solo día a lo largo de la costa, otras se realizan por todo el mundo en varias etapas, mientras que otras no tienen escalas. Un ejemplo de los veleros dedicados a la competición es el velero Azzam, el cual se estudiará a lo largo de este capítulo.

La vela como ocio surgió a finales del siglo XIX, momento en el que se crearon los primeros clubes de vela y en el que los veleros pasaron a utilizarse mayoritariamente como crucero familiar. A diferencia de los anteriores, en los veleros de recreo actuales las velas se utilizan únicamente como un sistema de propulsión complementario al sistema de propulsión principal. Es decir, este tipo de naves disponen de aparejo y también de motores instalados en el interior del casco.

En las siguientes imágenes se muestran dos ejemplos de veleros cuyo diseño varía según la función que deben llevar a cabo. La imagen de la izquierda corresponde a un velero de recreo, mientras que en la imagen de la derecha se pueden apreciar diversos ejemplos de veleros de competición.



Figura 117. Ejemplos de veleros de recreo (izquierda) y de competición (derecha)

Fuente. <https://es.boats.com/en-el-agua/veleros-casco-quilla-aparejo-usos-y-mas/>

En algunos casos, los veleros están diseñados para poder llevar a cabo tanto navegación deportiva como de recreo. De modo que estos podrán equiparse según las necesidades requeridas por el uso que presentaban.

Al mismo tiempo, a lo largo de este periodo se produjo la aparición de una gran variedad de materiales destinados al sector naval. Estos permitieron la construcción de cascos más resistentes y ligeros. De esta manera, los veleros podían alcanzar velocidades más elevadas, a la vez que incrementaba su capacidad

para soportar las cargas aplicadas sobre el casco como consecuencia a condiciones meteorológicas adversas. Al igual que los materiales utilizados para la construcción de los cascos, otros elementos de los veleros, como las velas o los mástiles, empezaron a producirse utilizando estos nuevos materiales. A través de ellos, se lograba obtener mejores resultados que los correspondientes a los materiales de épocas anteriores. La utilización de estos en el sector naval causó el desarrollo de numerosos sistemas de construcción de veleros, los cuales se diferenciaban en gran medida de los utilizados anteriormente.

En relación con la navegación, en este periodo se incorporaron en los barcos numerosos instrumentos técnicos de comunicación y seguridad que servían como ayuda durante la navegación, incrementando de este modo la seguridad de las personas que navegan en él. Algunos ejemplos de estos instrumentos son los siguientes: radares, GPS (*Global Positioning System*), EPIRB (*Emergency Position Indicating Radio Beacons*), SART (*Search and Rescue Transponders*), emisoras de radio VHF, entre otros.

7.2 Dimensiones principales

Los veleros construidos a lo largo del siglo XX y XXI presentan una gran variedad de dimensiones debido a que están determinadas por la función que ha de realizar el barco. Por este motivo, la finalidad del barco es uno de los aspectos más relevantes y que se debe tener en consideración durante la fase de diseño del proyecto de construcción de un barco.

En función de su tamaño, los veleros se pueden clasificar de manera general en las siguientes categorías: naves de vela ligera, veleros de crucero, yates y super o mega yates. Las embarcaciones de vela ligera son aquellas que presentan unas dimensiones más reducidas. Un ejemplo son los Optimist, cuya eslora es de 2,40 metros. Este tipo de veleros suele utilizarse como veleros deportivos. Los veleros de crucero tienen unas dimensiones mayores que las correspondientes a los de vela ligera y pueden utilizarse tanto para fines recreativos como para competiciones deportivas. En cuanto a los yates, este tipo de veleros disponen de una eslora inferior o igual a 24 metros, mientras que los super o mega yates tienen una eslora total superior a 24 metros.

En relación con las embarcaciones de vela deportivas, estas surgieron a lo largo del siglo XIX y se fueron extendiendo durante el siglo XX. Desde sus inicios, los veleros dedicados a la vela deportiva estuvieron sujetos a normativas en las que se homogeneizaban las características que debían presentar las naves. Estas fueron estipuladas con el fin de lograr una igualdad entre los barcos que participaban en una misma competición.

Los veleros de competición estaban divididos de manera general en dos grandes grupos que son los siguientes: los monotipos y los de clases open (o clases restringidas). Ambos tipos presentan al mismo tiempo distintas subcategorías. Los primeros están formados por aquellas clases de naves en las que sus

dimensiones y formas están diseñadas siguiendo las directrices impuestas para la competición. Es decir, todas las embarcaciones que participan en una determinada regata presentan un diseño único. De esta forma, los navegantes compiten en igualdad de condiciones y es su habilidad y destreza la que determina el resultado final de la competición. Este tipo de embarcaciones formaron parte de las pruebas deportivas de los Juegos Olímpicos de París del año 1900.

A diferencia de estas, los veleros agrupados en las clases open, también denominada como clases restringidas o fórmulas internacionales, permiten que las formas de las naves sean determinadas por los diseñadores de cada equipo participante en la regata, pero respetando las dimensiones estipuladas por la clase. Principalmente, los organizadores de la competición fijaban los parámetros que influyen en la velocidad del barco, los cuales eran la eslora, las velas y el peso. Al mismo tiempo, estas también se determinaban por motivos de seguridad.

En el caso del velero analizado denominado Azzam, perteneciente al equipo Abu Dhabi Ocean Racing (Emiratos Árabes Unidos), competió en la regata oceánica Volvo Open 70 (VO70), también conocida con el nombre de Volvo Ocean 70, correspondiente a la edición del 2011 – 2012. Esta nave fue diseñada por Farr Yacht Design y construida por la compañía Persico Marine (Italia) en el año 2010. En la Volvo Open 70 tenía como patrón a Ian Walker y quedó en quinto lugar. Este velero quedó totalmente destruido en el año 2015 debido a un incendio que se produjo cuando este se encontraba en Francia.

La VO70 consistía en una regata oceánica que daba la vuelta al mundo y se diferenciaba de la Barcelona World Race por el hecho de que en la VO70 se realizan escalas, mientras que en esta última la competición se desarrolla sin paradas y sin poder recibir ayudas del exterior.

En la edición mencionada, la VO70 estaba integrada por veleros de clase open. Es decir, cada equipo tenía la libertad de diseñar las formas del velero cumpliendo con las dimensiones establecidas. En la Tabla 12 quedan reflejados los valores que debían respetar los diseñadores cuando trazaban las formas y dimensiones de los veleros de esta regata.

Dimensiones principales del velero Azzam	
Eslora total	21,5 m
Manga	5,7 m
Máximo calado	4,5 m
Desplazamiento	14.000 kg

Tabla 12. Dimensiones principales del velero Azzam

Fuente. <http://www.farrdesign.com/715.html>

En la Figura 118 me muestra una imagen del velero de competición Azzam.



Figura 118. Velero Azzam

Fuente. <http://www.farrdesign.com/715.html>

Tras la competición de la edición del 2011 – 2012, el 28 de junio de 2012 se indicó que en la siguiente edición, la cual tendría lugar en el año 2014 – 2015, los veleros serían reemplazados por los Volvo Ocean 65. Estos se diferenciaban de los anteriores ya que se decidió normalizar las dimensiones principales y las formas que debería cumplir el diseño de los veleros que participaran en ella. De esta manera, todos los veleros tendrían el mismo diseño, es decir, serían monotipos. Este diseño era elaborado por la compañía Farr Yacht Design. Estos cambios perseguían aumentar la seguridad de los miembros de la tripulación, a la vez que permitía una reducción de los costes.

En la siguiente tabla comparativa se indican los valores de las dimensiones principales y especificaciones técnicas que debían cumplir los veleros que participaron en la Volvo Open 70 y los correspondientes a las embarcaciones que compitieron en la regata Volvo Ocean 65 del año 2014 - 2015.

	Volvo Ocean 65	Volvo Open 70
Eslora total	22,14 m	21,50 m
Manga	5,60 m	5,70 m
Máximo calado	4,78 m	4,50 m
Desplazamiento	12.500 kg	14.000 kg
Altura del palo	30,30 m	31,50 m
Francobordo en el mástil	1,72 m	1,60 m
Superficie de la vela mayor	163 m ²	175 m ²
Superficie de la vela de proa	133 m ²	200 m ²
Longitud del bauprés	2,14 m	1,82 m
Número de velas (incluye el tormentín)	9	10
Agua de lastre	<ul style="list-style-type: none"> - Dos tanques laterales de 800 litros (bajo la bañera y en el espejo de popa). - Un tanque central de 1100 litros a proa del mástil. 	Un tanque central de 1600 litros a popa del mástil.

Tabla 13. Tabla comparativa de las especificaciones técnicas de la Volvo Ocean 65 y de la Volvo Open 70
Fuente. Volvo Ocean Race. Round the world y https://archive.theoceanrace.com/es/boat/21_Especificaciones-tecnicas.html

7.3 Características de la obra viva y obra muerta

Los veleros diseñados a lo largo del siglo XX y XXI han experimentado una gran evolución en cuanto a las formas, dimensiones, disposición y configuración del aparejo, apéndices, entre otros. Parte de estas modificaciones e incorporaciones se deben al aumento en los conocimientos relacionados con la hidrodinámica y la hidrostática que se han producido a lo largo de este periodo estudiado. Como consecuencia, los nuevos veleros no están diseñados basados únicamente en la experiencia, sino que previo a su construcción, concretamente durante la fase de diseño, se estudia el comportamiento que tendría la nave en el agua. Los avances tecnológicos desarrollados a lo largo de estos años han

permitido que los veleros actuales ofrezcan unas prestaciones en el mar óptimas y proporcionen una mayor seguridad, tanto para el barco como para las personas que se encuentran en él.

A su vez, se debe tener en consideración que estas innovaciones se aplican de distinto modo en función de la finalidad del barco. Es decir, el diseño de los veleros dedicados a la competición estará orientado a adquirir velocidades elevadas mientras que en los de crucero o yates su prioridad será ofrecer la máxima comodidad posible para las personas que naveguen en él.

En los siguientes subapartados se detallarán las características que presentan estos veleros relacionadas con su obra viva y obra muerta.

7.3.1 Características de la obra viva

En relación a la obra viva, esta ha experimentado numerosas modificaciones a lo largo del siglo XX y XXI que han derivado en la aparición de diversos tipos de veleros. Estos navíos, además de clasificarse según sus dimensiones, también pueden agruparse siguiendo varios criterios. Aquellos relacionados con la obra viva se basan en el tipo de casco y en el tipo de apéndices que poseen.

Teniendo en consideración el tipo de casco, los veleros se pueden agrupar en dos grandes grupos: monocascos y multicascos. Los primeros, tal como indica su nombre, son aquellos que disponen de un solo casco. Estos representan la evolución de los veleros diseñados y construidos en las épocas anteriores y siguen siendo uno de los principales tipos de barcos que se utilizan hoy en día. Como se ha indicado anteriormente, estos veleros pueden adoptar diversas dimensiones.

En relación con los multicascos, este grupo se puede dividir al mismo tiempo en dos clases: catamaranes y trimaranes. Los primeros catamaranes fueron diseñados en el año 1875 por Nathaniel Herreshoff. Sin embargo, su aplicación no comenzó a extenderse hasta el siglo siguiente, concretamente hasta el año 1960. Estos barcos están formados por dos cascos idénticos que se caracterizan por presentar formas estrechas y alargadas. Estos se unen entre sí mediante una plataforma rígida. Este tipo de veleros presenta una estabilidad más elevada (debido a que disponen de una manga superior), mayor espacio para la habitabilidad y comodidad que los correspondientes a un monocasco de la misma eslora.

En el caso de los trimaranes, estos veleros están integrados por dos cascos laterales de menor tamaño situados en los costados de un tercero, que configura el casco central. Los tres cascos se encuentran unidos a través de unas estructuras rígidas con forma tubular. Generalmente, los cascos laterales del trimarán son los que aportan estabilidad lateral, mientras que el casco central es donde se encuentra la habilitación del barco. Generalmente, este tipo de veleros se utiliza para competiciones.

En las siguientes imágenes podemos apreciar dos ejemplos de los veleros multicasco. El velero de la izquierda se trata de un catamarán, por el contrario, el de la derecha es un trimarán.



Figura 119. Ejemplos de un catamarán (izquierda) y un trimarán (derecha)
Fuente. <https://es.boats.com/en-el-agua/veleros-casco-quilla-aparejo-usos-y-mas/>

A pesar de que los veleros multicascos han ido incrementando su uso y popularidad, presentan algunos inconvenientes relacionados principalmente con su atraque en los puertos. Los catamaranes requieren dos amarres para atracar y los trimaranes necesitan entre dos y tres amarres.

Los veleros actuales también pueden clasificarse en función de los apéndices sumergidos que presenten instalados en su casco. Principalmente, los elementos que sirven para diferenciarlos son la quilla y la orza.

Las quillas de los veleros, al igual que en los barcos estudiados en los capítulos anteriores, son elementos que forman parte del casco y sirven para mantener la estabilidad lateral de la embarcación. En los veleros monocasco, la quilla que presentan contiene lastre en su interior. A diferencia de estos, los multicascos no disponen de quillas con peso adicional. Los tipos de quillas que actualmente pueden presentar los veleros son los que se mencionan a continuación.

El primer tipo de quilla es la utilizada en los barcos estudiados de épocas anteriores, es decir, la quilla corrida. Este tipo de quilla se extiende a lo largo del casco de la embarcación desde la proa hasta la popa. También, se caracteriza por tener una profundidad más reducida. En este tipo de configuración, el timón que presenta el velero es un timón de codaste. Motivo por el que se encuentra en la popa de la nave. Los veleros que disponen de este tipo de quilla describen un radio de giro elevado.



Figura 120. Velero con quilla corrida
Fuente. <https://es.boats.com/en-el-agua/veleros-casco-quilla-aparejo-usos-y-mas/>

El segundo tipo de quillas se denomina quilla de aleta. Este tipo de quilla se caracteriza por estar separada del timón, presentar una mayor profundidad y ser más estrecha. A su vez, estas quillas disponen de una longitud reducida en relación con la eslora total del velero.



Figura 121. Velero con quilla de aleta

Fuente. <https://es.boats.com/en-el-agua/veleros-casco-quilla-aparejo-usos-y-mas/>

La tercera clase de quilla que puede presentar un velero recibe el nombre de quilla con alas o quilla de bulbo. Este tipo de quilla deriva de la quilla de aleta. Esta se caracteriza por presentar en la parte inferior un bulbo o un par de alas. De esta manera, al tener el peso de la embarcación concentrado en un punto más bajo, se logra aumentar la estabilidad del velero. El inconveniente que presentan las quillas con alas o quillas de bulbo consiste en que aumenta la resistencia de la embarcación.



Figura 122. Velero con quilla con alas

Fuente. <https://es.boats.com/en-el-agua/veleros-casco-quilla-aparejo-usos-y-mas/>

El último tipo de quillas que pueden disponer los veleros actuales consisten en las quillas de balance. La configuración de este tipo se basa en dos quillas situadas en los costados de la embarcación. Es decir, a estribor y babor de la línea de crujía del casco. Al estar ubicadas en los costados del barco también funcionan como estabilizadores, reduciendo de este modo el balance que puede experimentar el velero. La quilla de balance tiene una profundidad reducida, particularidad que le permite varar en playas de arena o en el fango cuando se da marea baja. La desventaja de este tipo de apéndice consiste en que dispone de una capacidad de reducción de la deriva inferior a las quillas de aleta. Este tipo suele estar instalada en embarcaciones de pequeñas dimensiones.



Figura 123. Velero con quilla de balance

Fuente. <https://es.boats.com/en-el-agua/veleros-casco-quilla-aparejo-usos-y-mas/>

Las orzas son aquellos apéndices que permiten evitar los desplazamientos laterales del velero debido a la acción del viento en las velas. Es decir, este elemento contribuye a que el velero no derive. A diferencia de las quillas, las cuales son elementos integrados en el casco del velero, las orzas pueden retirarse al interior del casco del velero. Esta característica permite que los veleros puedan incrementar su velocidad, facilitan el transporte de la embarcación cuando está siendo remolcada y logra una reducción de su calado cuando navega en aguas de poca profundidad.

Al igual que en el caso de las quillas, los veleros presentan distintos tipos de orza, concretamente dos, que se diferencian entre sí por el movimiento que describe la orza cuando se eleva por encima de la línea de flotación. El primer tipo de orzas son las de pivote, las cuales se caracterizan por la rotación de este elemento sobre un pasador. Este movimiento genera que la parte inferior de la orza gire en ángulo recto hacia el interior del casco. El segundo tipo de orzas que puede contener un velero actual son las orzas de sable. Esta clase puede elevarse totalmente hacia arriba y hacia abajo a través de una ranura en el casco del velero. Es decir, estas orzas se deslizan verticalmente.

En la Figura 124 podemos apreciar dos representaciones de los tipos de orzas que pueden tener instaladas los veleros. El velero de la izquierda presenta una orza de sable, mientras que el de la derecha dispone de una orza de pivote.

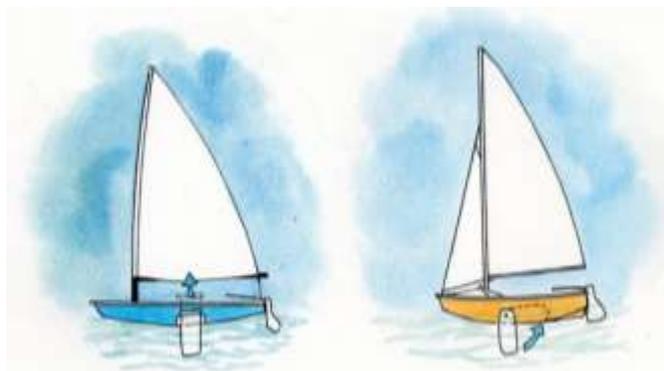


Figura 124. Tipos de orzas instaladas en los veleros

Fuente. <https://es.boats.com/en-el-agua/veleros-casco-quilla-aparejo-usos-y-mas/>

En algunas ocasiones, los veleros pueden tener instaladas unos tipos de quillas denominadas quilla retráctil y quilla pivotante, que se asemejan a las orzas mencionadas anteriormente. La diferencia que existe entre estos dos elementos radica en el hecho de que las quillas contienen lastre en su interior con la finalidad de incrementar la estabilidad del velero.

Los veleros diseñados a lo largo del periodo analizado se caracterizan por presentar unas formas del casco diseñadas de tal modo que se adapten mejor a las necesidades requeridas por la función que desarrollará el velero. En numerosas ocasiones, las embarcaciones de recreo presentan unas formas finas en la proa (cuyas secciones transversales podían adoptar forma en V o en U) e incrementaba su manga hasta la sección media. Las zonas correspondientes a la popa suelen ser más amplias y sus secciones transversales generalmente tienen forma en U.

En relación con el timón, los veleros pueden adoptar diversos tipos. Como se ha mencionado anteriormente, los veleros que poseen una quilla corrida generalmente presentan un timón de codaste. Otro tipo de timón es el denominado timón suspendido o colgante. Este fue utilizado en los años 80 del siglo XX y se caracterizaba por estar sujeto al casco del barco únicamente por el soporte superior. Parecido al anterior, el timón sobre el espejo de popa es aquel que está fijado al espejo de popa mediante un soporte superior. En algunas ocasiones, aquellos veleros que presentan una quilla con longitud reducida, disponen de una clase de timón llamada timón con alerón (o *skeg*). Este apéndice se sitúa en la popa del barco a proa del timón. Finalmente, los veleros actuales, tanto aquellos que realizan navegación oceánica como los de crucero o los catamaranes, pueden tener instalado un timón doble. Este tipo de timón permite obtener un mayor control del rumbo que traza el barco cuando este escora, de manera que su eficiencia es superior a la correspondiente a los timones tradicionales que poseen una única pala.

Es importante indicar que en aquellas ocasiones en las que los veleros disponen de un sistema de propulsión principal integrado por un motor, estos también presentan incorporadas en sus cascos hélices.

Las características relativas a la obra viva de aquellos veleros que participan en competiciones deportivas quedan definidas por un conjunto de normativas. Estas pueden establecer, como se ha mencionado anteriormente, aspectos como las dimensiones del barco, el diseño de las formas del casco o los apéndices sumergidos que presentan en su casco y sus características. A través de estas normas relacionadas con el diseño estructural y con la estabilidad del barco, se pretende garantizar la seguridad de los tripulantes durante el transcurso de la competición en el mar.

En el caso del velero analizado, al tratarse de una embarcación destinada a participar en la competición de la Volvo Open 70, las formas que adoptaba su casco estaban dirigidas a la obtención de velocidades

elevadas. Estas se basaban en formas finas en la parte de proa e iba incrementando llegando a su valor máximo en la sección media del barco. A partir de la sección media, la manga del barco disminuía ligeramente. Por este motivo, este velero presentaba unas secciones transversales de proa con forma de U, la cual aumentaba su amplitud a lo largo de su eslora hasta llegar a popa. Al mismo tiempo, en esta edición de la competición, los veleros debían presentar en su interior cuatro mamparos estancos. Esta cantidad fue incrementada a ocho cuando la Volvo Ocean Race cambió de diseño en la siguiente edición. Este aumento proporciona un mayor refuerzo y hace que la estructura del velero sea más resistente.

En relación a los apéndices que disponía, estos consistían en una quilla pivotante con un bulbo en la parte inferior, la cual podía desplazarse transversalmente hasta un ángulo de 40° a cada banda, permitiendo mejorar la estabilidad del velero. También, este velero presentaba un timón y una orza de sable situada en el costado de babor a proa de la quilla. En la Figura 125 se puede apreciar parte del casco del velero Azzam.



Figura 125. Vista de parte del casco y del costado de babor del velero Azzam

Fuente. <https://www.yachtsandyachting.com/news/158957/Abu-Dhabi-Ocean-Racing-lead-VO70s>

Además de los apéndices que se han mencionado anteriormente, actualmente se están instalando otros elementos a la obra viva del casco de los barcos denominados foil, hydrofoil o hidroalas. Estos elementos son unos perfiles aerodinámicos, parecidos a las alas de los aviones, que permiten que el casco del velero se eleve por encima del agua cuando el este alcanza velocidades elevadas. De este modo, cuando el casco del velero se eleva, la resistencia al avance de este se ve reducida. Inicialmente, estos apéndices se instalaban en los veleros de alta competición, como es el caso de la regata Copa América (*America's Cup*). No obstante, en la actualidad se está empezando a instalar también en veleros de recreo. Un ejemplo de este último es el Swan 36.

7.3.2 Características de la obra muerta

La obra muerta de los veleros actuales se caracteriza por presentar diversas modificaciones con respecto a los veleros analizados anteriormente.

Algunas de estas modificaciones están relacionadas con las formas que adoptan los extremos de los veleros. Actualmente, las proas de estas embarcaciones pueden ser de distintos tipos, los cuales generalmente son los siguientes: proas lanzadas, proas rectas y proas invertidas. A pesar de estas, los veleros también pueden tener una proa en cuchara. En cuanto a las popas, estas también presentan diferencias con respecto a las relativas a los barcos analizados anteriormente. Las popas se caracterizan por ser popas cuadradas, popas redondas o popas llanas. En algunas ocasiones, en las embarcaciones de gran tamaño que presentan popas cuadradas, en la superficie que forma el espejo se sitúan las escaleras con las que el pasajero puede descender al mar.

En la Figura 126 se observa la proa que presentaba el velero de competición de la Volvo Open 70 Azzam. Concretamente, se puede determinar que esta era una proa recta.



Figura 126. Vista de la proa del velero Azzam

Fuente. <https://www.yachtsandyachting.com/news/158957/Abu-Dhabi-Ocean-Racing-lead-VO70s>

En esta época, los veleros presentan una gran variedad de configuraciones relativas al aparejo. Generalmente, los veleros de hoy en día disponen de un aparejo inferior al que presentaban los buques pertenecientes a la Era de la navegación a vela. Además de diferenciarse por su configuración, las velas que se utilizan en la actualidad son mayoritariamente velas triangulares denominadas velas bermudianas o velas marconi. Sin embargo, los veleros también pueden presentar velas áuricas, las cuales tienen formas trapezoidales, o velas latinas. A continuación, se indicarán los tipos de aparejos que se utilizan con mayor frecuencia.

La configuración del aparejo más utilizada en los veleros es el *sloop* a tope de palo. Este tipo también es conocido con el nombre de balandra o balandro. Esta configuración está integrada por un único mástil y dos velas trinagulares, la mayor y una vela de proa. En relación a esta última, según su tamaño y forma puede tratarse de un foque, génova o spinnaker. La diferencia entre estos tres tipos de velas radica en su tamaño. Cuando las dimensiones de esta son elevadas y toca el palo de la mayor recibe el nombre de génova, por el contrario, si no toca el palo se denomina foque, la cual está situada a proa del velero. El spinnaker es aquel tipo de vela triangular de mayor tamaño que es utilizada cuando el velero navega con vientos de popa o de la aleta, es decir, vientos portantes. En relación a la jarcia, estos barcos presentan un estay de proa, el cual está comprendido entre la proa de la embarcación y la parte superior del mástil. En el caso de los veleros con spinnaker, estas se manejan por medio del tangón.



Figura 127. Velero con aparejo *sloop* a tope de palo

Fuente. <https://es.boats.com/en-el-agua/veleros-casco-quilla-aparejo-usos-y-mas/>

El siguiente tipo de aparejo que pueden poseer los veleros consiste en el *sloop* fraccionado, también denominado aparejo *sloop* a 3/4 o 7/8. Este fue muy utilizado durante las décadas de los 60 y 70 del siglo anterior y en la actualidad se emplea en algunas embarcaciones destinadas a realizar competiciones de alto rendimiento. Esta configuración del aparejo es muy parecida a la anterior, pero se diferencian por la longitud que abarca el estay de proa. En este tipo, el estay de proa presenta una menor longitud debido a que está anclado a una altura de 3/4 o 7/8 del palo de la mayor. De manera que no alcanza el tope del mástil. Estos veleros presentan una jarcia que consiste en el estay de proa, el cual, para mantenerlo tenso, también se dispone de burdas.



Figura 128. Velero con aparejo *sloop* fraccionado

Fuente. <https://es.boats.com/en-el-agua/veleros-casco-quilla-aparejo-usos-y-mas/>

Otro tipo de disposición del aparejo se denomina cúter o *cutter* (en inglés). A diferencia de los casos anteriores, el mástil de estas embarcaciones está situado más hacia popa, pero sin llegar a sobrepasar el eje del timón. De este modo, se pueden izar dos velas de proa, además de la vela mayor. Estas dos velas de proa son el foque y la trinqueta. La jarcia de estos veleros consiste en un estay para el foque y un estay de trinqueta para la trinqueta. Este tipo de configuración se utiliza frecuentemente en los veleros de crucero a causa de su facilidad de manejo cuando se producen diversas condiciones de viento.



Figura 129. Velero con aparejo cúter

Fuente. <https://es.boats.com/en-el-agua/veleros-casco-quilla-aparejo-usos-y-mas/>

El cuarto tipo de aparejo que pueden presentar hoy en día los veleros es el aparejo queche también conocido por su nomenclatura en inglés, *ketch*. Esta configuración se caracteriza por enarbolar dos mástiles, el mayor y otro de menor tamaño situado a popa del anterior, pero por delante del timón. Este mástil se denomina palo de mesana. Al enarbolar dos mástiles, en esta configuración la superficie vélica puede repartirse obteniendo de este modo tres velas de menores dimensiones. Este hecho hace que estas sean más fáciles de maniobrar. Sin embargo, el aparejo queche tiene como inconveniente que la vela mayor provoca turbulencia sobre la mesana.



Figura 130. Velero con aparejo queche

Fuente. <https://es.boats.com/en-el-agua/veleros-casco-quilla-aparejo-usos-y-mas/>

Los veleros también pueden disponer de un tipo de aparejo llamado yola o *yawl* (en inglés). Este tipo de configuración se asemeja al anterior, pero se diferencian entre sí por la ubicación del palo de mesana. En estas naves, este mástil se encuentra a popa del eje del timón. De modo que la vela de mesana es de menor tamaño. Actualmente, este tipo de aparejo no se utiliza debido a que las nuevas formas de popa de los veleros imposibilitan ubicar el palo de mesana en esta posición.



Figura 131. Velero con aparejo yola

Fuente. <https://es.boats.com/en-el-agua/veleros-casco-quilla-aparejo-usos-y-mas/>

El último tipo de configuración del aparejo se denomina goleta o *schooner* (en inglés). Como se ha mencionado en los capítulos anteriores, este tipo de configuración apareció en el siglo XVIII. Normalmente este enarbola dos mástiles, el mayor y el trinquete. No obstante, las goletas pueden enarbolar más mástiles, alcanzando en algunas ocasiones hasta seis palos. El tamaño del mástil de proa generalmente tiene las mismas dimensiones que el mayor, pero también puede ser inferior a este. La superficie vélica de estos veleros se distribuye entre numerosas velas, las cuales presentan superficies parecidas.



Figura 132. Velero con aparejo goleta

Fuente. <https://es.boats.com/en-el-agua/veleros-casco-quilla-aparejo-usos-y-mas/>

El velero Azzam presentaba una proa recta y una popa llana. En relación con el aparejo que debía disponer, este consistía en el mástil de la mayor y en un bauprés. El velamen de este velero consistía en 10 velas, cada una de las cuales tenía un valor de superficie determinado, y un tormentín. Esta última es parecida al foque, pero con dimensiones inferiores y es izada en el estay de proa cuando se dan temporales. Durante la navegación, el velero izaba la vela mayor y, dependiendo del viento (especialmente de su dirección y velocidad) izaban aquella de las nueve restantes que mejor se adaptara a estas condiciones. De manera que el Azzam izaba como máximo dos velas al mismo tiempo.

En la Figura 133 podemos apreciar las elevadas dimensiones que presentaban las velas de este velero de competición analizado.



Figura 133. Vista del casco y del aparejo del velero Azzam

Fuente. <http://www.farrdesign.com/715.html>

7.4 Proceso de realización del modelo del casco en 3D

El modelo del casco de la embarcación de competición Azzam se ha obtenido siguiendo el mismo procedimiento utilizado en los barcos analizados en los capítulos anteriores. La primera fase consistía en la obtención de la forma del casco en tres dimensiones por medio del programa de diseño AutoCAD®. En la segunda fase, la cual partía del dibujo trazado a través del programa anterior, se consigue construir el modelo del casco del velero Azzam en 3D por medio del programa Rhinoceros®.

En los siguientes subapartados se indicarán los procesos que se han realizado con los programas mencionados, primero con AutoCAD® y posteriormente con Rhinoceros®, con los cuales se ha obtenido el modelo del casco en 3D del velero analizado.

7.4.1 Desarrollo del casco en 3D con AutoCAD®

El primer paso que se ha de realizar para la obtención del casco del Azzam en AutoCAD® consiste en el trazado de las secciones transversales y de la sección transversal relativa al plano diametral del casco. Para poder llevar a cabo esta acción es necesario disponer del plano de formas de este. El que se ha utilizado corresponde al plano de formas elaborado en el año 2011 por François Chevalier. En la siguiente imagen se muestra el plano de formas utilizado en este capítulo.

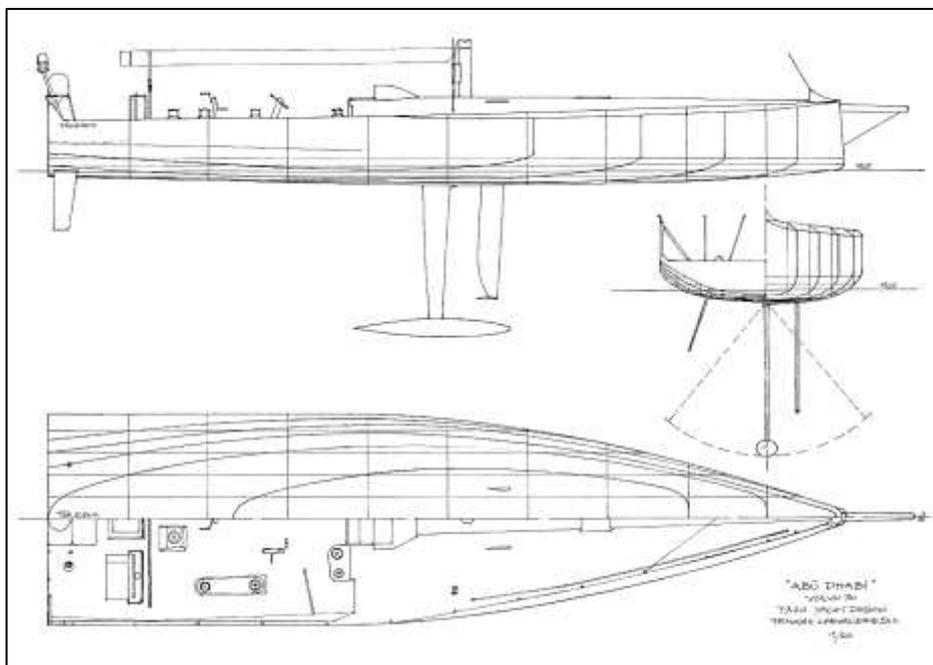


Figura 134. Plano de formas del velero de competición Azzam

Fuente. <http://sailingtrivia.ravenyachts.fr/2012/04/volvo-ocean-race-yacht-designs-by.html>

Una vez el plano de formas anterior es introducido en el campo de trabajo del programa AutoCAD®, se procede al trazado de las secciones transversales y sección longitudinal mediante el comando *Spline*.

Debido a que estas han sido trazadas en el plano de dos dimensiones, para poder obtener las formas del casco que posteriormente se utilizarán en Rhinoceros®, es necesario disponerlas en el espacio de 3D. Mediante el comando *3Drotate* se abaten estas secciones. De este modo, el siguiente paso consiste en situar las secciones transversales y longitudinal en su lugar correspondiente del casco de la embarcación.

Para realizar este último paso, se han dibujado previamente un conjunto de líneas auxiliares con las que se facilita esta operación y con las cuales las secciones son situadas en su ubicación de manera correcta. Las líneas que representan las cuadernas de trazado permiten situar adecuadamente las secciones transversales del casco del barco, mientras que la línea de crujía es utilizada para posicionar correctamente la sección longitudinal correspondiente al plano diametral del velero.

En la Figura 135 se muestra la forma que presenta el casco del velero Azzam tras situar en su lugar correspondiente las secciones transversales extraídas del plano de formas.

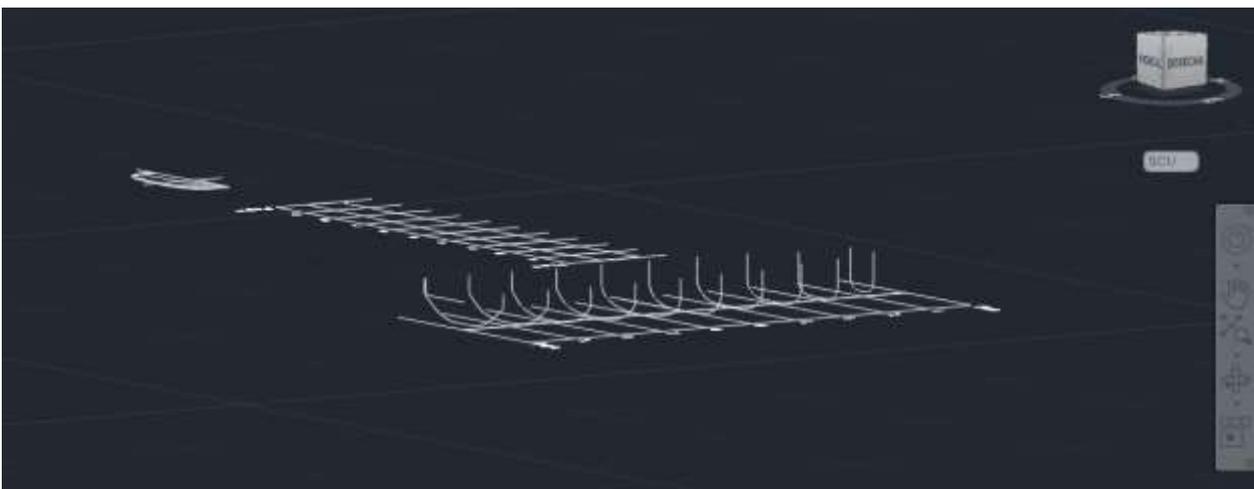


Figura 135. Vista isométrica de las secciones transversales del casco del velero Azzam

Fuente. Propia

Una vez transportada la sección longitudinal del casco, el resultado obtenido puede apreciarse en la Figura 136.

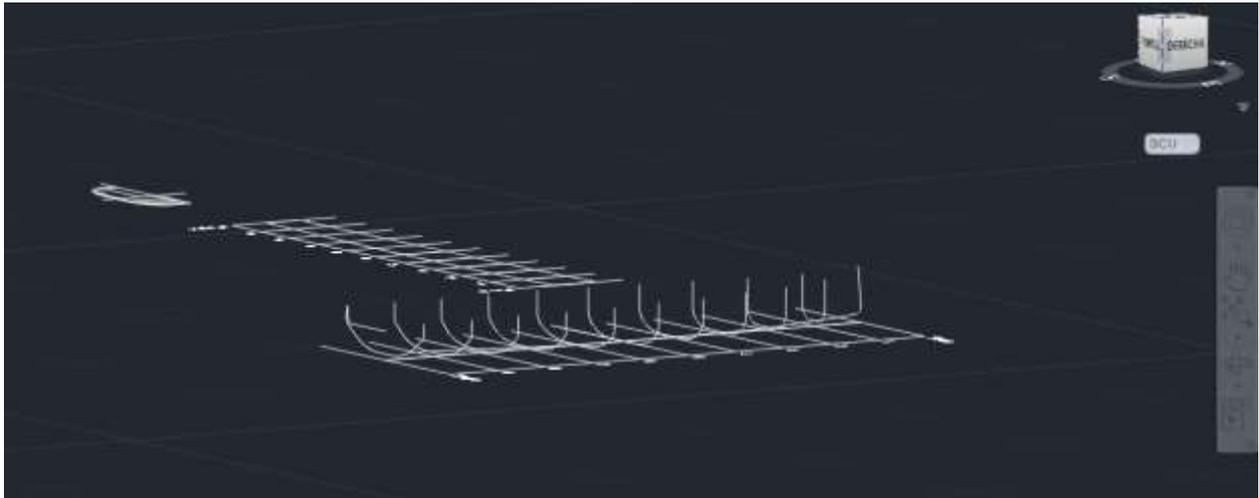


Figura 136. Vista isométrica de las secciones transversales y del perfil longitudinal del casco del velero Azzam

Fuente. Propia

7.4.2 Modelado del casco en 3D con Rhinoceros®

El modelo en tres dimensiones del casco del velero de competición Azzam se obtiene partiendo del casco obtenido con el programa AutoCAD®. Por este motivo, el primer paso que se ha de realizar en esta etapa consiste en importar el archivo generado anteriormente con AutoCAD® al campo de trabajo de Rhinoceros®.

Una vez se ha introducido, la siguiente operación consiste en la creación de las superficies que definen los costados del velero y también las pertenecientes a los extremos del barco, es decir, a la proa y a la popa. Este proceso se lleva a cabo a través del comando *Transición* del programa. El resultado final obtenido corresponde al casco completo del velero Azzam.

Del mismo modo que en los capítulos anteriores, durante la creación de las superficies se debe tener presente la posibilidad de que se produzcan deformaciones en las superficies creadas. Este hecho puede originarse debido a un error de lectura del programa al seleccionar numerosas secciones transversales o bien, pueden producirse en las zonas de proa y popa. Por esta razón, inicialmente se crean las superficies relativas a los costados del casco y a los extremos de este. Cuando se ha comprobado que no se han creado deformaciones en el casco, se unen las superficies por medio del comando *Unir*. De este modo, se obtiene el modelo en 3D del casco del velero Azzam.

La Figura 137 muestra el resultado final obtenido por medio del programa Rhinoceros® tras la creación de las superficies que componen el casco del barco estudiado.

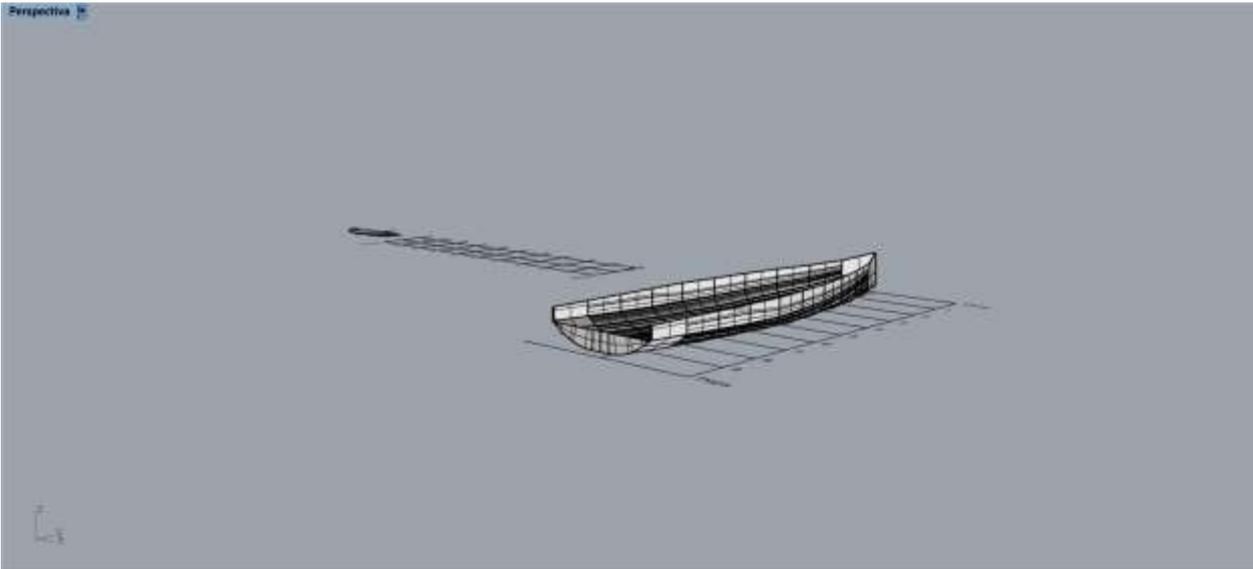


Figura 137. Vista en perspectiva del casco en 3D del velero Azzam

Fuente. Propia

Con la finalidad de observar de manera más clara la forma que adopta el casco de este barco, se utiliza la opción disponible en Rhinoceros® denominada *Renderizado*. Con ella podemos ver en las distintas vistas del programa el modelo del casco dibujado.

A continuación, se muestran un conjunto de imágenes del modelo del casco desde diversas vistas. En la Figura 138 se muestra la vista en perspectiva del casco del Azzam. La siguiente muestra la vista del perfil del costado de estribor del barco analizado. Finalmente, las últimas imágenes corresponden a las vistas superior e inferior del casco que proporciona el programa.

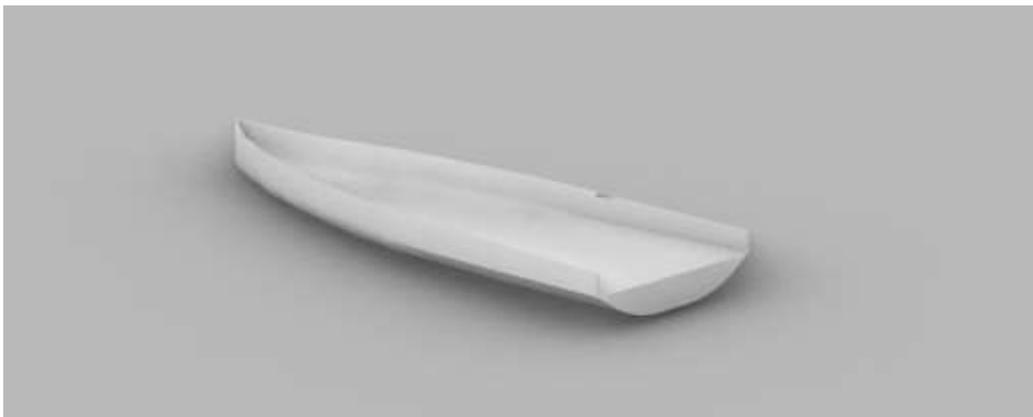


Figura 138. Vista en perspectiva renderizada en 3D del velero Azzam

Fuente. Propia



Figura 139. Vista del perfil del costado de estribor del casco en 3D del velero Azzam
Fuente. Propia

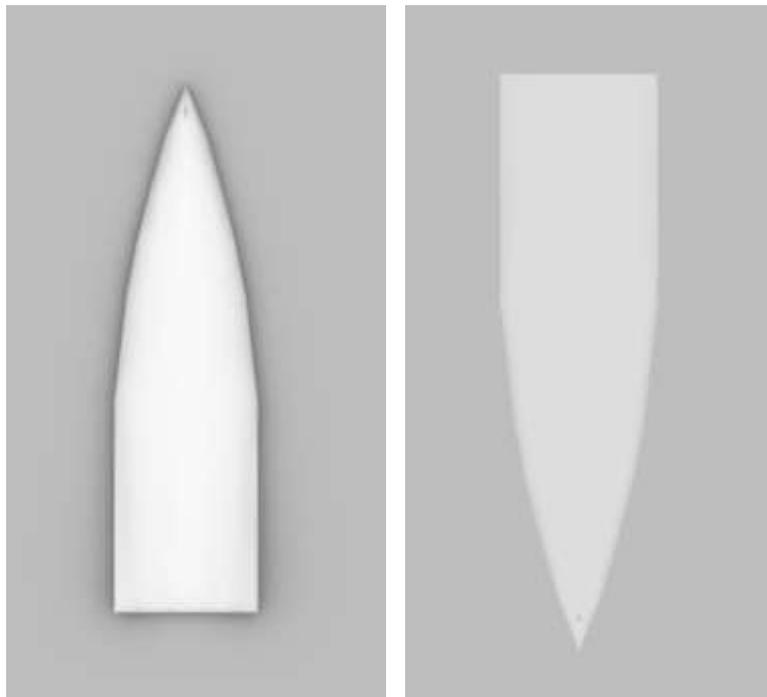


Figura 140. Vista superior (izquierda) e inferior (derecha) del casco en 3D del velero Azzam
Fuente. Propia

7.5 Materiales y técnicas de construcción naval

En relación con los materiales y las técnicas de construcción naval, estos experimentaron una gran evolución a lo largo de los años comprendidos entre los siglos estudiados en este capítulo. Este desarrollo se produjo gracias a los avances tecnológicos que se dieron y al incremento del conocimiento sobre estos dos factores. La aparición de los nuevos materiales constructivos, junto con las condiciones económicas favorables, hizo que desde el siglo XX la construcción de veleros (tanto de competición como de recreo) aumentara considerablemente.

En los siguientes subapartados se indicarán los distintos materiales que se utilizan en la actualidad en el sector de la construcción naval y las técnicas que se emplean para ello.

7.5.1 Materiales utilizados en la construcción

A lo largo del siglo XX y del siglo XXI se ha producido la aparición de numerosos materiales destinados a la construcción naval. A raíz del aumento de los conocimientos sobre estos materiales y de la aparición de avances tecnológicos aplicables a estos, los nuevos materiales han ido perfeccionándose con el paso de tiempo.

Estos materiales fueron los siguientes: madera contrachapado marino, aluminio o madera. En relación con el primero, este material apareció en la década de los años 30 del siglo XX y hasta la década de los años 50 se popularizó su utilización para la construcción naval. Este hecho se debía principalmente a que el periodo de construcción requerido era reducido, el proceso era fácil (dado que el contrachapado se encolaba, es decir, no era necesario aplicar el proceso de construcción relativo a la construcción con madera) y permitía construir barcos resistentes. En el caso de los veleros, su aplicación no se produjo hasta el año 1951 con la construcción de la clase de velero Vaurien diseñada por Jean-Jacques Herbulot.

Con respecto a la madera, en la actualidad se sigue utilizando para la construcción de veleros con diseños tradicionales, pero con menor frecuencia que en las épocas anteriores. Aquella que es de mayor calidad se emplea generalmente para algunas zonas determinadas de los veleros de recreo con un tamaño elevado.

Además de los materiales anteriores, uno de los grandes avances que ha experimentado la construcción naval en el siglo XX, concretamente hacia los años 40, fue la aparición y difusión de los materiales compuestos (*composite*). Estos materiales proporcionaban numerosos beneficios, tanto a nivel estructural como económico. Uno de ellos consistía en que los veleros contruidos con estos materiales eran más ligeros, de manera que aumentaba la velocidad que podían alcanzar. Al mismo tiempo, a causa de que la estructura de cascos contruidos con estos materiales era resistente, los veleros podían resistir en aquellas circunstancias donde las condiciones meteorológicas fuesen adversas. A su vez, el uso de estos permitía la construcción en serie de cascos de veleros, los cuales resultan ser resistentes y con propiedades homogéneas, así como duraderos y con un coste inferior al correspondiente a los barcos de madera.

Los materiales compuestos, como determina el nombre, son aquellos que están formados por la combinación de dos o más materiales insolubles entre sí, que provoca la obtención de un nuevo material con propiedades características específicas. Es decir, las propiedades del nuevo material difieren de las que presentan los materiales de origen. Estos componentes no se deben fusionar ni

disolver entre ellos cuando se crea el material compuesto y se ha de poder identificar los elementos que lo forman a través de medios físicos.

Generalmente, los componentes que lo integran, también conocidos con el nombre de fases, son dos: matriz y refuerzos. El primero se trata de una fase continua, mientras que el refuerzo es una fase discontinua. Las propiedades de estas fases, la proporción utilizada y la geometría del refuerzo (forma, orientación y tamaño) son los factores que determinan las propiedades que poseerá el material compuesto.

Los refuerzos utilizados para la obtención del composite se pueden clasificar en dos grupos: partículas (cargas y aditivos) o fibras. Los materiales compuestos están formados principalmente por fibras y, en algunas ocasiones, también son añadidas partículas. Estas fibras se pueden agrupar aplicando dos criterios distintos. El primero consiste en su clasificación en función de la longitud o tamaño y el segundo se basa en el ordenamiento de las fibras continuas. En el primer caso, las fibras se agrupan en continuas (las cuales están alineadas) y discontinuas (pueden estar alineadas o bien dispuestas al azar). El segundo criterio de clasificación divide a las fibras en tres clases: unidireccionales, bidireccionales (tejidos, fieltros, trenzados y ensamblados) y tridimensionales (tejidos en 3D).

Al mismo tiempo, las fibras de refuerzo que se utilizan para reforzar la matriz aportan un buen comportamiento mecánico, es decir, resistencia y rigidez al material compuesto que forman. En función del material las fibras se pueden clasificar en inorgánicas (vidrio y carbono) y sintéticas (aramida y otros). Este último tipo de fibras suele aplicarse para usos especiales como barcos destinados a realizar competiciones deportivas o bien los de defensa.

En relación con la matriz, este componente del composite presenta numerosas funciones. Las principales son las siguientes: transmitir los esfuerzos mecánicos al refuerzo a través de la frontera refuerzo-matriz (interfaz), proteger al refuerzo de los esfuerzos de compresión, unir mediante fuerzas adhesivas (químicas y mecánicas) las fibras de refuerzo, garantizar la disposición espacial de las fibras y conservar las formas y, por último, proteger a las fibras que configuran el refuerzo del material compuesto de los agentes externos (p. ej., ataques químicos o humedad). La matriz se puede clasificar en tres tipos: metálica, cerámica y polimérica. Este último tipo es el que se aplica con mayor frecuencia en el sector naval.

La matriz polimérica puede clasificarse en función de varios criterios como por ejemplo el origen del polímero. Sin embargo, la clasificación más generalizada divide los tipos de matrices en tres grupos en función del comportamiento térmico del polímero. De este modo, los tres tipos de matrices poliméricas son los que se indican a continuación: termoplásticos, elastómeros y termoestables. Las matrices poliméricas termoestables son resinas endurecibles y constituyen las que se utilizan principalmente en

el sector de la construcción naval. Algunos ejemplos de estas son la resina epoxi, viniléster, poliéster o fenólica. Algunas de estas resinas presentan al mismo tiempo distintos subtipos.

Junto con la matriz y el refuerzo, otro elemento que forma un material compuesto es el núcleo. Este puede ser de tres tipos, los cuales son los siguientes: madera, espuma sintética y panal o nido de abeja. A pesar de que el núcleo provoca un incremento del peso y espesor del laminado, este componente aporta al casco de la embarcación una rigidez superior.

El primer velero construido con este tipo de material se dio en Estados Unidos en los años 30 del siglo anterior. El casco de este velero estaba fabricado con una resina melanínica reforzada con fibras de lino. En la década de los años 50 se produjo una disminución del precio de la fibra de vidrio, hecho que conllevó a una reducción del coste total de la construcción de veleros con materiales compuestos. De este modo, a raíz de que estos eran más económicos que los veleros construidos con madera, la construcción naval con estos novedosos materiales incrementó.

El desarrollo técnico de estos materiales se dio principalmente por los veleros y barcos a motor de competición. Este hecho se produjo a raíz de que estos buscaban materiales con los que se pudiera maximizar el rendimiento estructural del casco (el cual reportara a su vez una reducción del peso de la embarcación) y que tuvieran la capacidad de soportar de forma adecuada las cargas aplicadas.

Las primeras embarcaciones construidas con poliéster reforzado con fibra de vidrio (PRFV), en inglés *glass reinforced plastic* (GRP), aparecieron hacia finales de los años 50 y mediados de los 60 del siglo anterior. Actualmente, más del 90% de los veleros están construidos con este material, seguidos del aluminio y de la madera contrachapado marino. No obstante, el número de veleros construidos con materiales compuestos fabricados con fibra de carbono cada vez es mayor.

En el caso del velero estudiado, según las especificaciones determinadas en la normativa de la competición Volvo Open 70, los cascos de estos barcos podían estar construidos con fibra de vidrio, fibras de aramida o fibras de carbono.



Figura 141. Vista del velero de competición Azzam

Fuente. <https://www.yachtsandyachting.com/news/158957/Abu-Dhabi-Ocean-Racing-lead-VO70s>

Estos materiales, además de utilizarse para la construcción de los cascos de las embarcaciones, también son empleados para la construcción del aparejo que estas tienen instalados a bordo. Por ejemplo, uno de los materiales con los que se fabrican los aparejos de los veleros (mástiles, jarcia y botavara) es la fibra de carbono.

En relación con las velas, a partir del año 1950 se empezaron a utilizar tejidos sintéticos ya que mejoran las características y comportamiento de estas. Estos elementos del velero pueden estar fabricadas a partir de diversos tipos de materiales, los cuales se pueden clasificar de manera general (independientemente de la marca o nombre comercial del fabricante) en cuatro grupos. Estos son los siguientes: poliéster (p. ej., DRACON, PENTEX o VECTRAN), poliamidas (p. ej., NYLON), aramidas (p. ej., KEVLAR, TECHNORA BLACK o TWARON) y carbono. En los veleros deportivos de competiciones como la Volvo Ocean 65, las velas no pueden estar fabricadas con carbono ya que este podía causar interferencias con las señales de los satélites. Estos nuevos materiales reemplazaron a las velas fabricadas a partir del algodón o del lino utilizadas en épocas anteriores.

7.5.2 Técnicas de construcción

Relacionado con el desarrollo de nuevos materiales con aplicación en el sector naval, este periodo se caracterizó por la aparición de numerosas técnicas de construcción de los cascos de los veleros. Desde sus inicios, estas no han dejado de evolucionar y han originado un cambio considerable respecto a los métodos y procesos constructivos que se utilizaban anteriormente. Las que se utilizan en la actualidad se basan principalmente en aquellas que están relacionadas con la construcción de los cascos de las embarcaciones mediante materiales compuestos. No obstante, cabe indicar que cuando el material

seleccionado es la madera, aluminio o contrachapado marino, se sigue utilizando el proceso de construcción visto en el capítulo anterior.

Los procesos de construcción con materiales compuestos se caracterizan por la obtención simultánea del material y del casco durante el proceso de fabricación. Es decir, cuando se fabrica el material para construir el casco de la embarcación se está obteniendo a la vez el propio casco. Por este motivo, se debe prestar especial atención a lo largo del proceso de construcción. Estos sistemas constructivos, especialmente durante la etapa de fabricación del material, presentan una mayor relevancia que los correspondientes a los utilizados con los materiales tradicionales.

Los principales métodos utilizados en la construcción de veleros mediante materiales compuestos se pueden agrupar en tres grupos: moldeo por contacto, moldeo por vía líquida y moldeo asistido por vacío. Dentro de estos se producen diversas subdivisiones, las cuales se mencionarán a continuación.

Las técnicas de moldeo por contacto son las más sencillas y económicas. Estas se basan en la aplicación de numerosas capas de refuerzo y matriz sobre un molde de manera manual. A su vez, no requieren presión ni temperatura externa. En estas técnicas, la participación de los operarios tiene una gran relevancia ya que las acciones de estos son las que determinarán las características, tanto físicas como químicas, que presente el material compuesto final.

El moldeo por contacto puede llevarse a cabo mediante tres métodos distintos que son los siguientes: laminado manual, proyección simultánea e impregnadores. A continuación, se describirán las principales características de estos tipos de técnicas de moldeo por contacto.

El laminado manual fue uno de los primeros métodos constructivos con materiales compuestos. Este consiste en la aplicación de sucesivas capas del material seleccionado de refuerzo sobre un molde, el cual presenta las formas diseñadas del casco de la nave, y se impregnan con resina a través de un rodillo o brocha. Mediante la acción del rodillo, además de facilitar la impregnación del refuerzo con la resina, también sirve para procurar evitar que queden atrapadas burbujas de aire entre las diversas capas que forman el casco.

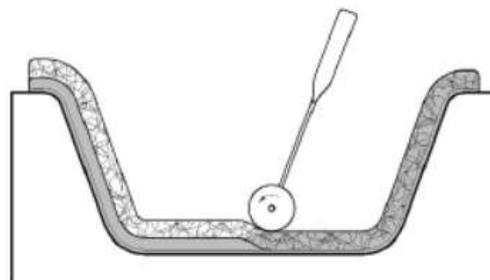


Figura 142. Técnica de laminado manual

Fuente. Materiales compuestos, procesos de fabricación de embarcaciones

Durante este proceso, es importante tener en cuenta el proceso denominado curado. Se entiende por curado el proceso en el que la resina pasa de un estado líquido a un estado sólido, es decir, es el proceso de endurecimiento de la resina. Para ello, se añade a la resina unas sustancias denominadas catalizador y acelerador. De este modo, cuando estos componentes se mezclan, se inicia el proceso de curado.

En la secuencia de fabricación del casco, se aplican otros elementos con los que se consigue obtener un mejor resultado final, así como minimizar el riesgo de que se produzca ósmosis en las zonas que están en contacto con el agua. Estos elementos son el gelcoat y el velo de superficie. El gelcoat es la primera capa de resina (puede ser poliéster o viniléster) que se aplica sobre el molde debido a que este protege al laminado de los factores ambientales. Sobre esta capa se aplica el velo de superficie. Al mismo tiempo, también se suele añadir otra capa de un material similar al gelcoat denominada topcoat. A diferencia del anterior, el topcoat es la última capa de resina que se aplica. Con esta capa se impide el contacto entre la resina y la humedad del ambiente. De manera que facilita y garantiza el proceso de curado de la última fase del laminado.

En relación con la técnica de proyección simultánea (pulverización), esta consiste en la proyección de fibras de refuerzo cortadas (normalmente se trata de hilos de roving) mezcladas con resina catalizada. Por medio de esta técnica, la matriz y el refuerzo se depositan al mismo tiempo sobre el molde. Tras su pulverización, para mejorar la impregnación de las fibras de refuerzo y evitar que se formen burbujas entre las capas, se realiza un compactado mediante el uso de rodillos o espátulas.

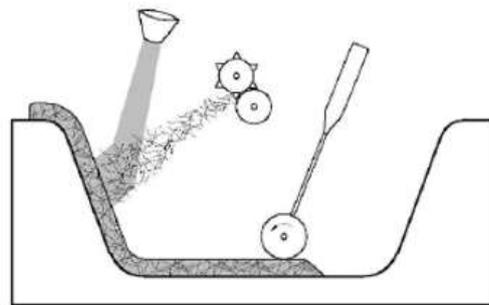


Figura 143. Técnica de proyección simultánea

Fuente. Materiales compuestos, procesos de fabricación de embarcaciones

La técnica de moldeo por contacto con impregnadores es aquella que consigue mecanizar una parte del proceso de moldeo por contacto. Esta técnica consiste en que el refuerzo es sumergido en un baño de resina catalizada y, posteriormente, se retira el exceso. Esta última acción se realiza mediante la compresión de la estructura textil (refuerzo) por medio de diversos rodillos de compactación. Una vez impregnado y retirado el exceso de resina del material, es transportado y depositado en el molde. Tras depositarlo, se lleva a cabo el compactado por medio de rodillos o espátulas. De esta manera, se consolida el material, a la vez que se impide la formación de burbujas entre las capas.

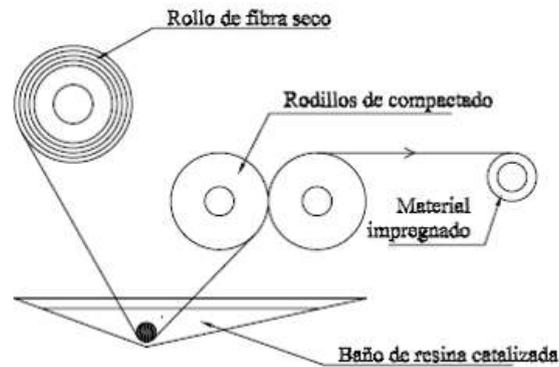


Figura 144. Técnica de moldeo por contacto con impregnadores
Fuente. Materiales compuestos, procesos de fabricación de embarcaciones

El segundo método de producción de los materiales compuestos y, por consiguiente, del casco de la embarcación es el moldeo por vía líquida. Esta técnica se basa en que el contacto entre las fibras de refuerzo y la resina se realiza en el interior de un molde cerrado. El primer paso consiste en la aplicación de las fibras seleccionadas sobre el molde. Cuando este está cerrado, se introduce la resina, la cual está catalizada, en su interior a través de un conjunto de mecanismos. A diferencia de las técnicas anteriores, la compactación de las capas se realiza a través de unos contramoldes rígidos u otros sistemas. Este conjunto de técnicas puede dividirse en dos categorías: técnica de infusión y técnica de moldeo por transferencia de resina (*Resin Transfer Molding, RTM*).

En el caso de la técnica de infusión, el primer paso que se lleva a cabo consiste en la disposición de las fibras seleccionadas en el molde. Después, se cubre el molde con una bolsa de vacío y se procede al compactado por medio de presión de vacío. De esta manera, se consigue extraer el aire que había quedado atrapado entre las capas del laminado. El siguiente paso es la introducción de resina catalizada al interior del molde. Esta se introduce por medio de un conjunto de mangueras, las cuales están situadas por el molde de manera estratégica. Finalmente, cuando el molde del casco está lleno, no es necesaria la aplicación de calor para que se produzca una polimerización de las resinas completa. Es decir, esta se da a temperatura ambiente.

En relación con la técnica de moldeo por transferencia de resina (RTM), esta nueva técnica consiste en la inyección de resina en un molde cerrado y bajo presión, sobre el cual se habían situado previamente los refuerzos secos. La principal diferencia entre este sistema y el anterior radica en que en esta se aplica sobre el conjunto una elevada temperatura para así poder reducir el tiempo de curado.

La tercera clase de técnica con la que se pueden obtener cascos fabricados de materiales compuestos son las técnicas de moldeo asistidas por vacío. Estas técnicas permiten construir cascos con mejores propiedades que las obtenidas a través de los métodos anteriores. No obstante, los costes de este

método son ligeramente más elevados. En esta técnica, las resinas requerían generalmente un proceso de curado a temperaturas elevadas. Al mismo tiempo, utilizaban la presión externa para ejercer compresión sobre el laminado durante el ciclo de curado con el fin de mejorar la unión entre las capas del laminado, aumentar la proporción de matriz en el material final y obtener un laminado con un valor de densidad superior.

Del mismo modo que los métodos anteriores, el moldeo asistido por vacío puede llevarse a cabo siguiendo dos técnicas. Estas son las siguientes: laminado manual compactado y el laminado preimpregnado. Este último puede ser total o parcial.

La técnica de laminado manual por vacío tiene como finalidad principal la optimización de la interacción entre el refuerzo y la matriz del material. Por este motivo, en esta técnica se crea una presión adicional durante el proceso de curado sobre el molde, en el cual se han aplicado previamente los refuerzos y la matriz que configuran el material compuesto.

En el caso de la técnica de laminado preimpregnado total, esta se utiliza mayoritariamente para la construcción de naves de altas prestaciones. El material final obtenido se conoce con el nombre de *prepreg*. El primer paso de este proceso consiste en impregnar estructuras textiles con resinas (habitualmente resinas epoxi y fenólicas) y almacenarlas a bajas temperaturas debido a que estos materiales preimpregnados poseen un tiempo de vida reducido. De este modo, se ralentiza el proceso de curado de las mismas. En el momento en que estos vayan a ser utilizados, se realiza el proceso de descongelación. Durante este, es importante evitar que el refuerzo preimpregnado adquiera humedad ya que esta afectaría a la calidad del material final. Finalmente, cuando estos laminados se han situado en su lugar correspondiente del molde del casco de la embarcación y se han realizado compactados intermedios mediante vacío entre un número determinado de capas, se aplica un incremento de temperatura y presión al conjunto para que así tenga lugar el curado. Mediante esta técnica, se consigue separar el proceso de fabricación de los cascos de las embarcaciones en dos etapas. La primera es la etapa de la preparación de los refuerzos y matrices y la segunda es aquella en la que se desarrolla el modelado y la obtención del material compuesto final.

A diferencia de la anterior, la técnica de laminado de preimpregnados parciales se caracteriza por el hecho de que en esta no requiere la realización de compactaciones intermedias entre un número determinado de las capas. Al no tener que realizarse estas acciones, el tiempo de construcción es inferior. Además de la diferencia anterior, en esta técnica el preimpregnado se realiza de distinto modo. Las fibras del refuerzo seleccionado son impregnadas parcialmente. Este tipo de preimpregnado puede ser a través de un impregnado selectivo o bien, a través de películas de resina preimpregnada. El beneficio que reporta esta técnica consiste en que las fibras del refuerzo que se encuentran secas

facilitan la salida del aire presente entre las capas que configuran el laminado antes de que se produzca el inicio del curado. En las siguientes imágenes se muestra de forma esquemática las diferencias entre el preimpregnado parcial por películas de resina (izquierda) y preimpregnado parcial selectivo.

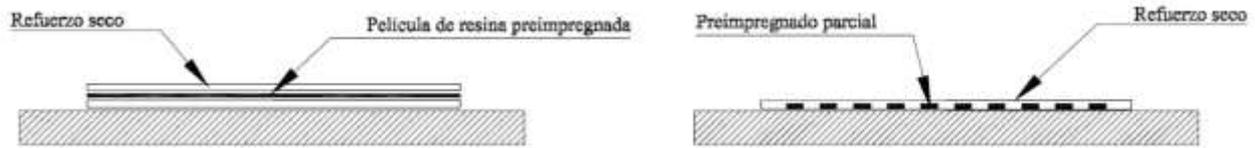


Figura 145. Técnica de laminado de preimpregnado parcial por películas de resina y selectivo
Fuente. Materiales compuestos, procesos de fabricación de embarcaciones

Además de los métodos de construcción anteriores, existe otra técnica denominada autoclave. Esta se utilizaba inicialmente para la construcción de piezas o estructuras de las embarcaciones. Sin embargo, actualmente se está empezando a utilizar para la construcción del casco de estas, pero de forma muy minoritaria. Esta técnica consiste en la aplicación de laminados preimpregnados sobre un molde, el cual posteriormente es introducido en un recipiente (autoclave). Una vez en su interior, se aplica un valor de presión de compactación elevado, así como una temperatura elevada durante el proceso de curado. De esta manera, se obtiene un material con una resistencia considerable y con unas propiedades favorables. En la Figura 146 se muestra un esquema de este método del autoclave.

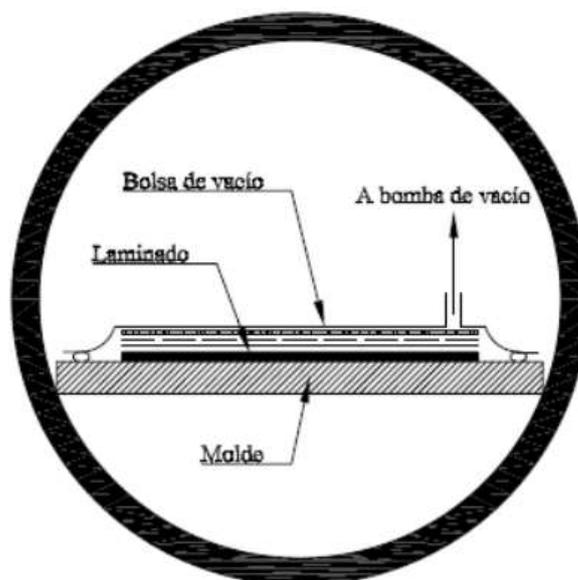


Figura 146. Técnica de autoclave
Fuente. Materiales compuestos, procesos de fabricación de embarcaciones

Capítulo 8: Comparativa de los veleros analizados

A partir de los veleros analizados, podemos apreciar que los barcos han experimentado numerosos cambios a lo largo de los periodos estudiados. Estas modificaciones están relacionadas principalmente con el diseño que estos presentaban (formas, dimensiones, entre otros aspectos), con el aparejo que enarbolaban, pero también con otros factores relacionados con su construcción. Concretamente, con los materiales utilizados para su construcción y las técnicas y procesos constructivos que se seguían para ello. A continuación, se expondrán las principales modificaciones que se han producido durante las épocas estudiadas relativas a los aspectos mencionados.

En relación con las dimensiones de estos barcos, se puede determinar que estas adoptaban los valores requeridos por las necesidades de las personas. Es decir, dependiendo de la función que debía llevar a cabo el barco (p. ej., transporte de mercancías y/o pasaje, buques de guerra, buques destinados a la expansión o al descubrimiento de nuevos lugares o barcos de ocio), las dimensiones que este presentaba oscilaban. Por este motivo, encontramos veleros con tamaños elevados, como es el caso de los navíos de línea, clíperes o de los juncos chinos, mientras que en otras épocas los veleros tenían unas dimensiones inferiores. Un ejemplo de estos últimos son los barcos vikingos.

En la siguiente tabla, se muestran los valores de la eslora y manga que presentaban los veleros analizados en el trabajo. De este modo, podemos apreciar las variaciones que han experimentado los veleros respecto a sus dimensiones. Especialmente, se observa que estos parámetros han ido aumentando con el paso del tiempo.

Evolución de las dimensiones principales de los veleros analizados			
Velero	Época	Eslora	Manga
Barca solar de Keops	Antiguo Egipto	43,63 m	5,66 m
Gokstad	Época vikinga	23,22 m	5,18 m
Barco <i>Baochuan</i>	S. XV	125,652 m	50,94 m
Nao Santa María	S. XV	22,45 m	Mín. de 5 m; Máx. de 7 m
Navío de línea de 60 cañones	S. XVIII	43,7 m	12 m
Cutty Sark	S. XIX	64,8 m	11 m
Azzam	S. XXI	21,5 m	5,7 m

Tabla 14. Evolución de las dimensiones principales de los veleros analizados

Fuente. Propia

Como se ha indicado en sus respectivos capítulos, es importante tener en consideración que tanto en el caso del junco chino como en el de la nao Santa María, su dimensionamiento presenta cierta controversia. Respecto al primero, según fuentes de la época en la que se construyeron, los barcos del tesoro analizados presentaban unas dimensiones muy elevadas. Estas han sido ampliamente analizadas a través de numerosos estudios en los que los valores finales de estos parámetros son dispares. De manera que en la actualidad no se puede establecer una conclusión definitiva. En cuanto a la nao Santa María, también se han realizado numerosos estudios con los que se pretende determinar los valores correctos que poseía esta embarcación. La dificultad para determinar las dimensiones de estos dos barcos se debe principalmente a la ausencia de pruebas materiales o bien, de planos o dibujos técnicos de estos barcos y a la reducida cantidad de datos que se disponen de la época sobre ellos.

Al mismo tiempo, podemos apreciar que las dimensiones que adoptaban los veleros también dependían de los criterios que se tenían en consideración en la época en la que eran construidos. Un ejemplo de esta diferencia de criterios lo podemos apreciar comparando la barca solar de Keops y el navío de línea de 60 cañones. Estas embarcaciones disponen de unas esloras muy parecidas, mientras que el valor de sus mangas presenta una gran diferencia. En el caso de la manga de la barca de Keops, el valor que adquiere este parámetro es de 5,66 metros, mientras que en el navío de línea de 60 cañones su manga es de 12 metros.

A su vez, estas discrepancias en los criterios utilizados para determinar las formas y proporciones de los veleros también oscilaban en función del lugar geográfico donde se construían. Este rasgo fue especialmente visible a lo largo del siglo XVII y XVIII ya que el mismo tipo de barco construido en dos

países distintos presentaba proporciones distintas. Un ejemplo de estas discrepancias es la relación eslora-manga.

Otro de los aspectos que estuvo sujeto a modificaciones periódicas desde su origen hasta la actualidad fueron las formas que presentaban los veleros. A través de los veleros analizados, podemos observar que este rasgo de los barcos ha experimentado una gran evolución. Inicialmente, tanto las embarcaciones egipcias como las vikingas se caracterizaban por tener formas finas. Sin embargo, las secciones transversales de la barca de Keops tenían forma en U, mientras que las formas en el Gokstad eran en V y con una manga amplia.

A medida que pasaba el tiempo, especialmente a lo largo de los años comprendidos entre los siglos XV y XVIII, los veleros empezaron a incrementar sus mangas creando cascos con mangas de gran amplitud. No obstante, en los barcos construidos en este periodo, este parámetro se caracterizaba por presentar un valor elevado en la zona de la obra viva del casco y, a medida que se elevaba de la línea de flotación, esta iba disminuyendo. Los barcos analizados que presentaban este diseño fueron los siguientes: la nao Santa María y el navío de línea de 60 cañones. Las secciones transversales de estos grandes veleros adoptaban forma en U. Respecto al barco del tesoro *Baochuan*, este también presentaba una disposición de formas en U, pero se diferenciaba de las anteriores por no presentar el estrechamiento de la manga por encima de la línea de flotación.

Posteriormente, el valor de las mangas disminuyó con el fin de que el velero pudiera navegar a velocidades elevadas y realizar travesías de grandes distancias en intervalos de tiempo reducidos. Estos veleros, los clíperes, construidos durante el siglo XIX tenían como peculiaridad sus formas elegantes, alargadas y estrechas con líneas finas. Este tipo de veleros disponían de secciones transversales con formas en V. Un ejemplo de este tipo de veleros es el clíper estudiado Cutty Sark.

En el caso del velero de competición Azzam, las formas que adopta su casco son finas en la parte de proa (tiene forma en U reducida), en la sección media tiene una amplitud mayor, la cual se reduce hasta la popa (tiene forma en U amplia).

Por medio de las siguientes imágenes de los veleros analizados se puede apreciar las distintas formas que han experimentado los veleros a lo largo de la historia.

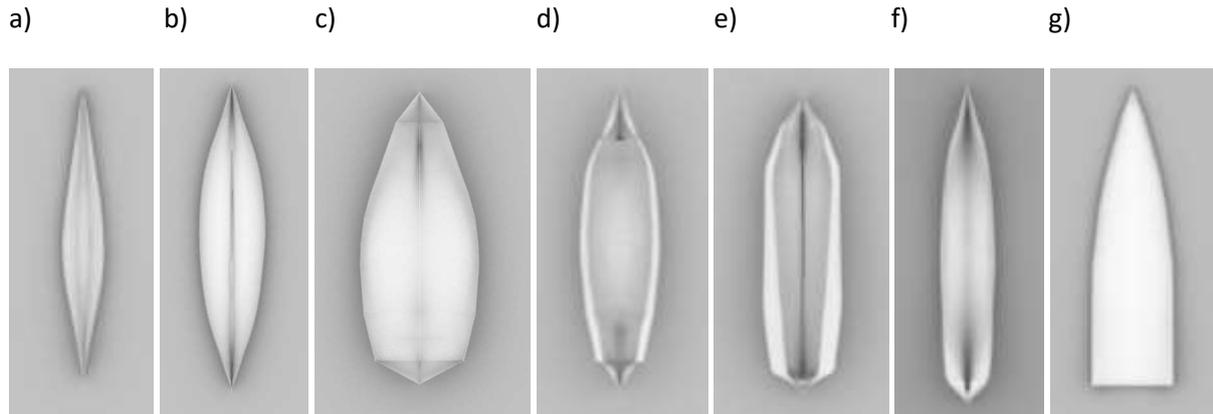


Figura 147. Evolución de las formas de los veleros analizados. a) barca solar de Keops b) Gokstad c) junco chino *Baochuan* d) nao Santa María e) navío de 60 cañones f) Cutty Sark g) Azzam

Fuente. Propia

En relación con el calado y el francobordo de estos veleros, se puede determinar que el velero *Baochuan* era el que presentaba unos valores superiores. Seguido de este velero, los que también tenían un calado y francobordo elevado eran el navío de línea de 60 cañones y la nao Santa María. Después de estos, el clíper *Cutty Sark* también disponía de un calado elevado, pero su francobordo era inferior al que presentaban los anteriores. Los tres veleros restantes, barco de Keops, Gokstad y Azzam, son los que tenían un calado y francobordo más reducidos.

Relacionado con el punto anterior, a partir de los veleros analizados se puede determinar que las dimensiones de la obra muerta también han estado sujetas a numerosos cambios. Estas diferencias se deben principalmente a la aparición de los castillos de proa y de popa, los cuales empezaron a instalarse en los veleros a partir del siglo XV. Esta particularidad de los barcos se observa en el junco chino *Baochuan* (disponía de un castillo de popa), en la nao Santa María y en el navío de línea de 60 cañones. Estos dos últimos presentaban un castillo tanto en proa como en popa de elevadas dimensiones. En el caso del *Cutty Sark*, este velero presentaba un castillo de proa y de popa con dimensiones muy inferiores que no sobresalían excesivamente de la cubierta principal. Con respecto a la barca solar de Keops, esta presentaba una cabina principal y un baldaquino de pequeñas dimensiones.

A diferencia de estas, tanto el velero de competición Azzam como el barco vikingo Gokstad se caracterizan por la ausencia de superestructuras sobre su cubierta principal. En este último, además de no presentar ningún tipo de superestructura, tampoco poseía cubierta principal ni bancada para los tripulantes.

Mediante las siguientes imágenes, las cuales corresponden a la vista del perfil del casco de los veleros estudiados, se puede apreciar las características mencionadas relacionadas con las dimensiones y formas de la obra muerta de estos.

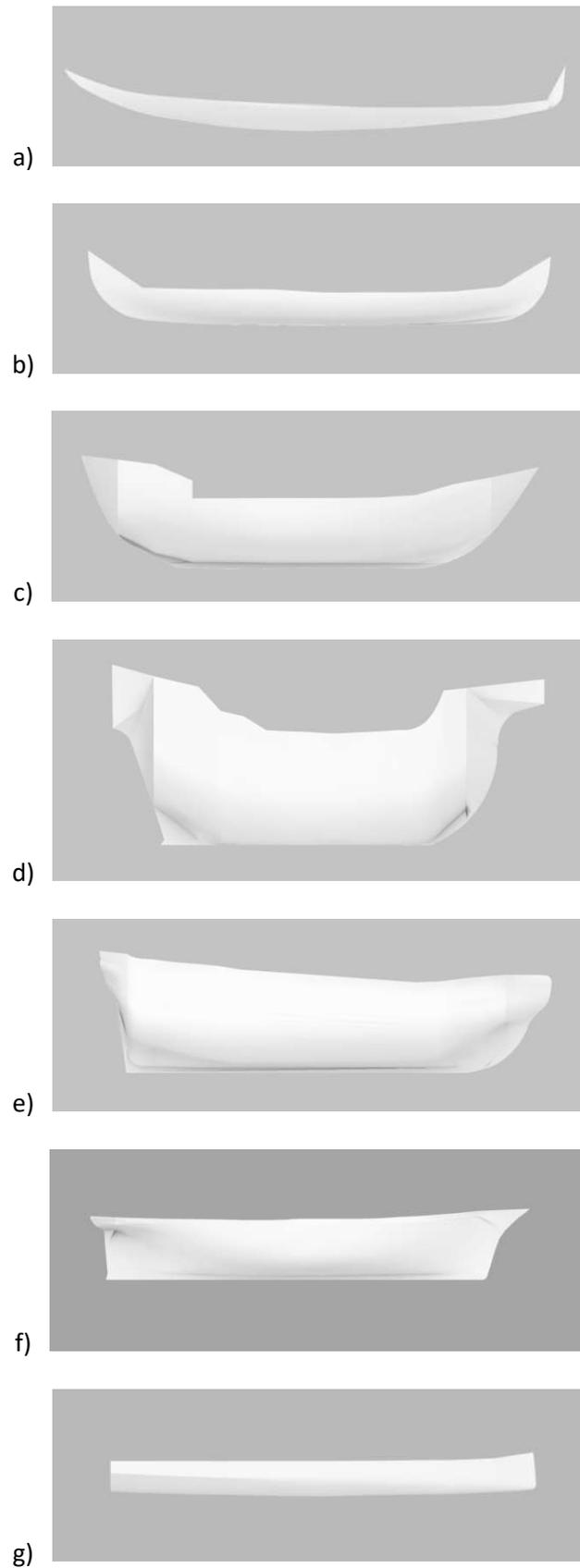


Figura 148. Comparativa de las formas y dimensiones de la obra muerta de los veleros analizados. a) barca solar de Keops b) Gokstad c) junco chino *Baochuan* d) nao Santa María e) navío de 60 cañones f) Cutty Sark g) Azzam

Fuente. Propia

A partir de las imágenes anteriores, también podemos observar como la proa y la popa han adoptado distintas formas a lo largo de las épocas históricas analizadas. Las formas de las proas pasaron de ser inicialmente rectas a adoptar formas de proa lanzada y en cuchara. En el caso del clíper Cutty Sark, este velero presentaba una proa diferente a las anteriores y que se utilizaba únicamente en este tipo de embarcaciones, proa de violín o de clíper. En cuanto al velero Azzam, este presenta una proa recta.

En referencia a las popas, estas se caracterizaron por ser también rectas en el Antiguo Egipto y en la Época vikinga. En esta última, el velero Gokstad tiene como particularidad que dispone de una proa y popa simétricas. Con el paso del tiempo, las popas fueron adoptando formas más cuadradas. En el siglo XIX, las popas eran más redondas. En el velero actual Azzam, la popa que presenta es una popa llana.

Otro elemento de los veleros que experimentó numerosos cambios fue el timón. Inicialmente, los barcos eran diseñados con un sistema de propulsión mixto en el que el velero se propulsaba mediante la vela y los remos. Estos últimos estaban situados en los costados de la embarcación y en la popa del barco. A través de los remos de popa, se podía gobernar el rumbo del velero. Un ejemplo de estos barcos es el caso de la barca solar de Keops analizada. En el caso de los barcos vikingos, estos también disponían de un sistema de propulsión mixto. No obstante, en estos barcos los remos eran utilizados como un sistema de propulsión auxiliar y en uno de los costados de la embarcación se instalaba un timón espadilla. Posteriormente, a partir del siglo XV, los juncos chinos empezaron a utilizar timones centrados. En el caso de los barcos europeos, estos empezaron a disponer de timones de codaste. En el siglo XVII se introdujeron mejoras a este elemento que derivaron en la aparición de dos tipos de timones de codaste: timón de codaste con pinzote y timón de codaste con tambor. En la actualidad, además del timón de codaste, los veleros pueden adoptar distintos tipos de timones, como, por ejemplo, el timón suspendido o colgante o el timón doble.

Con respecto al velamen que presentaban los veleros analizados, podemos observar que este estaba sujeto a las exigencias del momento en los que estos eran diseñados y construidos. La cantidad y el tamaño que adoptaban las velas fue aumentando con el paso de los años. Este incremento del número de velas se debía principalmente a la necesidad de aumentar la velocidad de las embarcaciones. Pasando de este modo de los barcos egipcios y vikingos con una sola vela a la complejidad del velamen de los grandes clíperes.

Al mismo tiempo, en el periodo comprendido entre el siglo XIX y principios del siglo XX, el tamaño de las velas también se veía influenciado por la ruta que trazaría la embarcación. Por esta razón, dependiendo de las zonas geográficas por donde tenía que navegar el velero, se determinaban las dimensiones de las velas.

A partir de los veleros estudiados, también se puede observar que las velas han adoptado formas distintas dependiendo del periodo histórico. Los veleros construidos hasta el siglo XV, como es el caso de la barca solar de Keops y del Gokstad, presentaban velas cuadradas. A partir de este siglo, se introdujeron las velas latinas. En los barcos analizados Santa María y el navío de línea de 60 cañones, las velas que utilizaban eran mayoritariamente cuadradas y disponían de una latina. Además de estos tipos, también se utilizan en la actualidad velas triangulares y velas áuricas.

Al igual que el velamen, el número de mástiles que enarbolaban los veleros ha estado sujeto a numerosos cambios a lo largo de la historia. Esta modificación consistía en el aumento de palos para así poder disponer de una mayor cantidad de velas y, por consiguiente, tener la capacidad de adquirir velocidades superiores. Este incremento se produjo hasta el momento en el que este tipo de barcos fue sustituido por las naves a vapor en el siglo XX. En la actualidad, el número de palos que enarbolan los veleros es inferior.

En la siguiente tabla se puede apreciar la variación del número de mástiles que enarbolan los veleros analizados correspondientes a las épocas estudiadas.

Evolución del número de mástiles que enarbolan los veleros analizados		
Velero	Época	Número de mástiles
Barca solar de Keops	Antiguo Egipto	Uno
Gokstad	Época vikinga	Uno
Barco <i>Baochuan</i>	S. XV	Nueve
Nao Santa María	S. XV	Tres y un bauprés
Navío de línea de 60 cañones	S. XVIII	Tres y un bauprés
Cutty Sark	S. XIX	Tres y un bauprés
Azzam	S. XXI	Uno y un bauprés

Tabla 15. Evolución del número de mástiles que enarbolan los veleros analizados

Fuente. Propia

Al mismo tiempo, cabe indicar que su ubicación en el barco, tamaño e inclinación varían en función de la época en la que el barco fue construido.

En relación con los materiales, el principal material que se utilizó como único producto para la construcción naval durante gran parte de las épocas estudiadas fue la madera. La selección de este material dependía principalmente de la zona geográfica donde el barco iba a ser construido.

Dependiendo de los tipos de árboles que hubiera en las proximidades del lugar de construcción, las maderas utilizadas para la construcción naval variaban. Al mismo tiempo, el tipo concreto de madera era un aspecto que presentaba una gran relevancia. Este hecho se debe a que no todas las maderas presentan las mismas características ni comportamientos, motivo por el que el conocimiento sobre esta materia prima era muy importante. De este modo, se podía determinar el lugar más apropiado del barco para cada tipo de madera.

Al mismo tiempo, desde que el árbol se talaba hasta que se fijaba la madera en el barco, era necesario aplicar distintos tratamientos a este material para que sus propiedades no se vieran afectadas ni causaran defectos en el barco. Los tratamientos aplicados para la protección de la madera dependían de la situación en el casco a la que esta iba destinada.

En el siglo XIX y principios del siglo XX aparecieron nuevos materiales utilizados para este sector. Estos eran el hierro y el acero. A lo largo de este periodo, se construyeron veleros, como es el caso del Cutty Sark, en el que se combinaba la madera con el hierro forjado. Este presenta una estructura interna construida con hierro y el forro exterior y las cubiertas estaban construidos a partir de madera. Al mismo tiempo, la obra viva de este velero está cubierta con metal Muntz (aleación de cobre y zinc). En este periodo también se utilizó el ferrocemento para la construcción naval.

Actualmente, los materiales que se utilizan principalmente para la construcción de los cascos de los veleros son los materiales compuestos. Estos materiales proporcionan numerosos beneficios. Las propiedades mecánicas de estos materiales son óptimas, ofrece la posibilidad de construir veleros con múltiples formas (diseño) y también permite la reducción del peso de la embarcación.

En la siguiente tabla se indican los materiales utilizados para la construcción de los siete veleros estudiados en el trabajo. En relación con los construidos a partir de madera, en sus respectivos capítulos están detallados los tipos de madera empleados para su construcción.

Materiales utilizados para la construcción de los veleros analizados		
Velero	Época	Materiales
Barca solar de Keops	Antiguo Egipto	Madera
Gokstad	Época vikinga	Madera
Barco <i>Baochuan</i>	S. XV	Madera
Nao Santa María	S. XV	Madera
Navío de línea de 60 cañones	S. XVIII	Madera
Cutty Sark	S. XIX	Madera, hierro forjado y metal Muntz
Azzam	S. XXI	Materiales compuestos

Tabla 16. Materiales utilizados para la construcción de los veleros analizados

Fuente. Propia

Otro aspecto que ha presentado variaciones durante las épocas estudiadas son las técnicas y los procesos constructivos utilizados en la construcción naval. Como consecuencia de que estos factores estaban relacionados con el material utilizado para la construcción del barco, dependiendo de los materiales que se disponían en el momento de construcción de los veleros se desarrollaron distintos métodos de construcción aplicados al sector naval.

En el caso de la barca solar de Keops, la técnica utilizada era el cosido de las tracas y el procedimiento seguido para la construcción de esta fue el proceso de construcción sobre forro o forrado primero (*shell-first construction*). Es decir, primero se construía el forro exterior del casco y después se procedía a la construcción de la estructura interna.

Al igual que el velero anterior, el barco vikingo Gokstad fue construido siguiendo el proceso *shell-first construction*. Además del procedimiento utilizado, el casco de este velero fue construido utilizando una técnica distinta a la empleada en los países del Mar Mediterráneo. Esta era la construcción de tingladillo o trincado (*clinker-built* o *lapstrake planking*). Los factores que favorecieron la difusión de esta técnica constructiva creada por los vikingos se debieron principalmente a dos factores. El primero de ellos consiste en que a través de esta técnica se aumentaba la rigidez y flexibilidad del casco. El segundo factor que beneficiaba a este tipo de embarcaciones frente a sus contemporáneas europeas era el espesor de las tracas. En estos barcos las planchas de madera tenían unas dimensiones que les proporcionaba un peso más reducido. Es decir, permitía que los barcos vikingos, especialmente los *longships*, fueran más ligeros.

Posteriormente, los barcos fueron construidos siguiendo el proceso *skeleton-first construction* donde primero se construía la estructura interna del casco y después el forro exterior. Este método requería una cantidad de material más reducida en comparación con un barco de las mismas dimensiones construido con el método contrario. Al mismo tiempo, este tipo de barcos eran construidos utilizando el método de construcción a tope (*carvel-built*). A pesar de las ventajas que ofrecía el comportamiento de estos barcos durante la navegación, estos cascos eran propensos a una pérdida de resistencia y a la posibilidad de que se produjeran vías de entrada de agua cuando las condiciones del mar eran adversas. La mayor parte de los veleros analizados, como la nao Santa María, el navío de línea de 60 cañones o el Cutty Sark, fueron construidos mediante esta técnica y procedimiento constructivo.

En el caso de los barcos construidos en la actualidad, como el Azzam, el proceso y técnica de construcción aplicados en el sector naval se diferencia considerablemente de las anteriores. Esta discrepancia se debe principalmente al material utilizado. A pesar de que la construcción de veleros con madera, madera contrachapado marino o aluminio continúan siendo utilizados en este sector, la aparición de los materiales compuestos hizo que estos vieran reducida su aplicación. Tal y como se ha indicado previamente, la principal característica de estos materiales consiste en que el material y el casco de la embarcación se construyen simultáneamente. De este modo, el proceso de construcción con estos materiales es más reducido que aquellos en los que se aplican las técnicas anteriores. Sin embargo, debido a esta particularidad de los procesos constructivos actuales, esta fase de construcción del velero adquiere una mayor relevancia que la correspondiente a los sistemas mencionados anteriormente. Este hecho se debe a que cualquier error en el proceso de manufactura del material reportará en la construcción de cascos defectuosos en los que se pueden producir daños estructurales que supongan un riesgo para las personas que navegan en él y para la propia embarcación.

Conclusiones

Tras la realización de este trabajo, se pueden extraer numerosas conclusiones relacionadas con la evolución que han experimentado los veleros (formas, dimensiones, aparejo, entre otros), los materiales y las técnicas utilizadas para la construcción de estos a lo largo de la historia. Estas conclusiones se expondrán a continuación.

En primer lugar, podemos determinar que los veleros han evolucionado de manera que sus formas, dimensiones, velamen y número de mástiles se adaptaran a las circunstancias que se daban en el momento de su diseño y construcción. A partir de los veleros analizados, se puede apreciar que estos fueron diseñados adquiriendo aquellas propiedades que mejor se adecuasen a las necesidades requeridas en cada una de las etapas estudiadas en el trabajo.

En el caso del barco de Keops, al tratarse de una barca solar, sus formas, su gran tamaño, superestructura y la estructura interna del casco, la cual le permitía tener una rigidez correcta, cumplían con las exigencias requeridas para la función que debía desempeñar. Es decir, permitieron una correcta navegación por el Nilo durante el rito funerario del faraón Keops. Posteriormente, los barcos vikingos como el Gokstad fueron construidos con aquellas características que les permitieron llevar a cabo la expansión de los vikingos hacia otras tierras, especialmente hacia el continente europeo.

En el siglo XV, la necesidad de descubrir nuevas tierras con las que poder establecer rutas comerciales provocó la aparición de una gran variedad de navíos cuyas propiedades les permitieron realizar esta función. Entre los nuevos barcos diseñados destaca la nao Santa María. En el continente asiático, se construyeron los juncos chinos, los cuales no han desarrollado grandes modificaciones con el paso del tiempo. Estos barcos mantuvieron sus rasgos más característicos: las formas cuadradas de proa y popa, cascos con compartimentos estancos y las velas con sables. Más tarde, a raíz de la necesidad de expansión, consolidación de rutas comerciales internacionales y de la elevada competencia entre las principales potencias que se dio en los siglos XVII y XVIII, los navíos de línea constituyeron un tipo de velero muy importante a lo largo de este periodo.

Con la aparición de los barcos de vapor, el uso de los veleros para fines comerciales empezó a decaer a lo largo del siglo XIX y principios del siglo XX. Este hecho tuvo como consecuencia el fin de la Era de la

navegación a vela. Sin embargo, los clíperes, como es el caso del Cutty Sark, consiguieron mantenerse competitivos frente a los barcos de vapor durante este periodo ya que estos fueron construidos para que pudieran alcanzar velocidades elevadas y realizaran travesías de grandes distancias en un tiempo reducido. Estos fueron los últimos veleros utilizados como buques mercantes.

En la actualidad los veleros se utilizan principalmente para actividades de recreo y también para competiciones deportivas, como es el caso del velero estudiado Azzam.

A su vez, se puede determinar que además de las circunstancias que hubieran en el momento del diseño y construcción del velero, otro factor que definía los principales parámetros y características de estos barcos era la función que debía llevar a cabo. Por lo que el uso del velero es uno de los aspectos importantes que define las formas y el tamaño que estos presentarán. Además de este aspecto, debido a las variaciones relacionadas con los criterios de diseño de los veleros que se dieron durante los periodos estudiados, se puede indicar que estos también influían de manera considerable en el resultado final del velero construido.

En segundo lugar, otro aspecto importante que se puede extraer del trabajo consiste en que la aplicación y difusión de nuevas técnicas y materiales en el sector de la construcción naval se realiza lentamente. Es decir, este sector se caracteriza por ser conservador en cuanto a la incorporación y utilización de nuevas técnicas y materiales debido a los altos riesgos que puede suponer una mala práctica. Estos riesgos pueden afectar directamente a la seguridad de las personas que navegan en él y también al propio barco. Además de estos dos factores, los riesgos económicos que pueden producirse como consecuencia de errores durante el proceso de construcción del barco también son elevados. Por este motivo, tanto los materiales como las técnicas y procedimientos utilizados en la construcción naval se mantuvieron sin grandes modificaciones durante gran parte de los periodos estudiados y no fue hasta la aparición de los materiales compuestos cuando se empezaron a introducir innovaciones importantes en la construcción de los veleros.

Al mismo tiempo, como se ha podido observar a lo largo del trabajo, la complejidad de la construcción de los veleros ha sido siempre elevada. Sin embargo, en los inicios de la construcción de los veleros era una persona la que se encargaba del diseño y de dirigir las tareas que se debían realizar para la construcción de estos. Con el paso del tiempo, como consecuencia del aumento de las dimensiones del velero, hecho que implicaba una mayor complejidad al procedimiento constructivo, el proyecto de construcción de un velero pasó a estar integrado por un conjunto de etapas (p. ej., dimensionado del velero, diseño de las formas, maniobrabilidad, pesos, estabilidad y trimados o estructura) en las que intervienen numerosas personas.

En tercer lugar, se puede determinar que debido al aumento de las dimensiones y complejidad de la construcción de los veleros que ha tenido lugar con el paso de los años, los astilleros han tenido que adaptarse y organizarse en función de las necesidades del momento. De manera que estas instalaciones pasaron de ser espacios cercanos a zonas costeras de reducido tamaño a grandes complejos industriales en los que se construían barcos de dimensiones elevadas.

En cuarto lugar, a través de este trabajo también se puede indicar que la construcción naval también está influenciada en gran medida por diversos factores. Estos son principalmente la situación política y económica. En relación con el primero, dependiendo de los intereses políticos que tuvieran los dirigentes en cada una de las etapas estudiadas, el sector naval podía verse impulsado. Es decir, podía recibir más ayudas para el desarrollo y evolución de los veleros o, por el contrario, se priorizaban otros sectores. En cuanto al segundo, este presentaba una gran relevancia ya que la evolución de la construcción naval dependía de la situación económica del país. Por este motivo, la aplicación de los avances desarrollados en este sector no se ha producido equitativamente alrededor del mundo. De manera que en aquellos lugares donde sus recursos económicos fuesen elevados, se podían construir veleros que se adaptaran a los diseños y técnicas del momento. En el caso contrario, aquellos países donde los recursos eran inferiores, la construcción de los veleros es más precaria y utilizan materiales y técnicas más tradicionales.

Al mismo tiempo, algunos aspectos de los veleros como, por ejemplo, su tamaño o los materiales utilizados, presentan una relevancia elevada desde un punto de vista económico. Este hecho se debe a los elevados costes económicos que presenta la construcción de estos, el mantenimiento del velero, las escalas que han de realizar, etc. Por este motivo, antes de que se inicie la construcción de un velero se tienen en consideración estos aspectos.

Actualmente, la vela, tanto a nivel de ocio como deportiva, ha desarrollado un elevado crecimiento de su popularidad a nivel internacional. Este incremento ha provocado que numerosos sectores económicos importantes estén influenciados en gran medida por la evolución de los veleros. Algunos ejemplos de estos son los siguientes: la construcción de veleros de recreo de diversos tamaños, la construcción de los múltiples tipos de veleros deportivos, la reparación de estos veleros, su mantenimiento, entre otros.

Finalmente, con la realización de este trabajo se puede apreciar la evolución técnica que han experimentado los veleros y también, la que ha experimentado la propia ingeniería naval. Inicialmente, los veleros eran diseñados y construidos teniendo en cuenta la experiencia práctica. Con el paso del tiempo, a medida que aumentaba el conocimiento sobre la hidrodinámica, el comportamiento del barco, entre otros aspectos físicos, los veleros fueron evolucionando. Estos nuevos conocimientos

provocaron que se empezaran a construir barcos más marineros en los que se tenía en consideración estos aspectos técnicos. En la actualidad, los veleros son diseñados y construidos considerando los factores técnicos (por ejemplo, la resistencia al avance, resistencia por formación de olas o los coeficientes de formas), pero sin perder de vista los aspectos más estéticos.

Bibliografía

- [1] Apestequi, C. Arquitectura y construcción navales en la España Atlántica, el siglo XVII y primera mitad del XVIII. Una nueva sistematización. A: Alves, F.J.S. (ed.). *Proceedings, International Symposium on Archaeology of Medieval and Modern Ships of Iberian-Atlantic Tradition: Hull Remains, Manuscripts, and Ethnographic Sources: a Comparative Approach*. Lisboa: Instituto Português de Arqueologia, 2001, p. 163-212. Two Min
- [2] Besednjak Dietrich, A. *Materiales compuestos: Procesos de fabricación de embarcaciones*. 1ª ed. Barcelona: Edicions UPC, 2005. ISBN 84-8301-820-9.
- [3] Church, S.K. Two Ming Dynasty shipyards in Nanjing and their infrastructure. A: Kimura, J. (ed.). *Shipwreck ASIA: Thematic Studies in East Asian Maritime Archaeology*. Adelaide: Maritime Archaeology Program, 2010, p. 32-49. ISBN: 978-0-646-54826-5.
- [4] Church, S.K. Zheng He: An investigation into the plausibility of 450-ft Treasure Ships. *Monumenta Serica: Journal of Oriental Studies*. 2005, Vol. 53, p. 1-43.
- [5] de Aranda y Antón, G. *La carpintería y la industria naval en el siglo XVIII*. Instituto de Historia y Cultura Naval. Nº. 33. Madrid: Gráficas Lormo S.A., 1999. ISSN 84-0212-467-X. NIPO 076-99020-Z.
- [6] Dwinnells, M. Lost Leviathans: The Technology of Zheng He's Voyages. *The Undergraduate Review*, 2008, Vol.4, art. 23, p. 127-131.
- [7] García Espinosa, J. *Apuntes de la asignatura Proyecto del buque y artefactos navales: Tema 2a. Diseño de formas*. Barcelona: FNB. Facultat de Nàutica de Barcelona; UPC. Universitat Politècnica de Catalunya, 2018.
- [8] Gilbert, G.P. *Ancient Egyptian Sea Power and the Origin of Maritime Forces*. Sea Power Centre - Australia. Australia: Commonwealth of Australia, 2008. Foundations of International Thinking on Sea Power Nº. 1. ISBN 978-0-642-29680-1. ISSN 1835-7679.
- [9] Hormaechea, C. *La construcción naval española del siglo XVIII a través de algunos modelos de arsenal del Museo Naval de Madrid*. 2012. Apuntes para los socios de la A.A.M.M.B en visita al Museo Naval de Madrid. Madrid 26 de enero 2012.
- [10] Jenkins, N. *The Boat Beneath the Pyramid: King Cheops' Royal Ship*. 1ª ed. Nueva York: Holt, Rinehart and Winston, 1980. ISBN 0-03-057061-1.
- [11] La Grange, H. *Clipper ships of America and Great Britain, 1833 -1869*. 2ª ed. Nueva York: G.P. Putnam's Sons, 1936.
- [12] Lipke, P. *The Royal Ship of Cheops*. Gran Bretaña: B.A.R. International Series 225, 1984. National Maritime Museum, Greenwich, Archaeological Series Nº. 9. ISBN 0-86054-293-9.
- [13] Lu, X. The Naval Architecture of Ancient Fujian Style Sea Going Sailing Junks: A Manuscript. A: Asia-Pacific Regional Conference on Underwater Cultural Heritage. *Proceedings of the 2014 Asia-Pacific Regional Conference on Underwater Cultural Heritage. Session 9: History and Current Trends of Underwater Archaeology around East Asia*. Honolulu: The Museum of Underwater Archaeology, 2014, p. 1-14.
- [14] Martín Maraver, Mª. A.; Prieto Romero, J.J. Evolución tecnológica del timón de codaste. *Revista general de marina*. 2017, Vol. 273, núm. 1 (Julio), p. 55-68.

- [15] Martínez Megía, A. *Evolución histórica de los materiales y procesos de construcción en embarcaciones de vela*. Proyecto Fin de Carrera, Universidad Politécnica de Cartagena; Escuela Técnica Superior de Ingeniería Naval y Oceánica, 2012.
- [16] Martínez i Díaz, G. *Apuntes de la asignatura Métodos de Producción de Yates: Construcción con materiales compuestos*. Barcelona: FNB. Facultat de Nàutica de Barcelona; UPC. Universitat Politècnica de Catalunya, 2018.
- [17] Martínez i Díaz, G. *Apuntes de la asignatura Métodos de Producción de Yates. Infusión*. Barcelona: FNB. Facultat de Nàutica de Barcelona; UPC. Universitat Politècnica de Catalunya, 2018.
- [18] Martínez i Díaz, G. *Apuntes de la asignatura Métodos de Producción de Yates: Laminación por vía líquida RTM*. Barcelona: FNB. Facultat de Nàutica de Barcelona; UPC. Universitat Politècnica de Catalunya, 2018.
- [19] Martínez i Díaz, G. *Apuntes de la asignatura Métodos de Producción de Yates: Métodos de producción en composites. Laminación por contacto manual*. Barcelona: FNB. Facultat de Nàutica de Barcelona; UPC. Universitat Politècnica de Catalunya, 2018.
- [20] Martínez i Díaz, G. *Apuntes de la asignatura Métodos de Producción de Yates: Métodos de producción en composites. Laminación por contacto proyección simultánea*. Barcelona: FNB. Facultat de Nàutica de Barcelona; UPC. Universitat Politècnica de Catalunya, 2018.
- [21] Martínez i Díaz, G. *Apuntes de la asignatura Métodos de Producción de Yates: Moldeo por vacío*. Barcelona: FNB. Facultat de Nàutica de Barcelona; UPC. Universitat Politècnica de Catalunya, 2018.
- [22] Martínez i Díaz, G. *Apuntes de la asignatura Métodos de Producción de Yates: Presentación*. Barcelona: FNB. Facultat de Nàutica de Barcelona; UPC. Universitat Politècnica de Catalunya, 2018.
- [23] Meide, C. *A Plague of Ships: Spanish Ships and Shipbuilding in the Atlantic Colonies, Sixteenth and Seventeenth Centuries*. Williamsburg, VA: College of William and Mary, 2002.
- [24] Minh-Hà L. Pham, C. *Unit 14: Asian Shipbuilding Technology*. Bangkok: UNESCO Bangkok, 2012. ISBN 978-92-9223-413-3 (versión impresa). ISBN 978-92-9223-414-0 (versión electrónica).
- [25] Nicolaysen, N. *The viking-ship: discovered at Gokstad in Norway*. 1ª ed. Oslo: Cammermeyer, 1882.
- [26] Pérez Correa, J.A. Capítulo 3: Construcción naval. A: Pérez Correa, J.A. *Reconstrucción del diseño, modelado 3D y documentación del proceso de fabricación del remolcador a vapor Matagorda*. Proyecto Fin de Carrera, Universidad de Sevilla; Escuela Técnica Superior de Ingeniería, 2014, p. 26-39.
- [27] Rodríguez, E. *Profitability and Production of 19th Century Composite Ships: The Case Study of the Austrian Vessel, The Slobodna*. Tesis final de licenciatura. University of Pittsburgh, 2012.
- [28] Rubio Serrano, J.L. *Arquitectura de las Naos y Galeones de las Flotas de Indias (1492-1590)*. Tomo I. 1ª ed. Málaga: Seyer, 1991. ISBN 84-86975-12-3.
- [29] Rubio Serrano, J.L. *Arquitectura de las Naos y Galeones de las Flotas de Indias (1590-1690)*. Tomo II. 1ª ed. Málaga: Seyer, 1991. ISBN 84-86975-13-1.
- [30] Shaw, D.W. Secrets of the Viking Ships. *Scandinavian Review*, Autumn 2016, p. 7-21.
- [31] Sleeswyk, A.W. Carvel-planking and carvel ships in the North of Europe. A: Sleeswyk, A.W. [et al.]. *Archaeonautica: Construction navale maritime et fluviale. Approches archéologique, historique et ethnologique*. Francia: CNRS Éditions, 1998, Vol.14, p. 223-228.
- [32] Smith, J.R. Shipbuilding and the English International Timber Trade, 1300-1700: a framework for study using Niche Construction Theory. A: Department of Anthropology. *Nebraska Anthropologist*. Lincoln, NE: The University of Nebraska-Lincoln AnthroGroup, 2009, Vol. 24, p. 89-102.
- [33] Torralbo Gavilán, J. *Apuntes de la asignatura Inspección Técnica de Embarcaciones de Recreo: Nomenclatura náutica de vela*. Barcelona: FNB. Facultat de Nàutica de Barcelona; UPC. Universitat Politècnica de Catalunya, 2016.
- [34] Torralbo Gavilán, J. *Apuntes de la asignatura Inspección Técnica de Embarcaciones de Recreo: Tipos de veleros según aparejo*. Barcelona: FNB. Facultat de Nàutica de Barcelona; UPC. Universitat Politècnica de Catalunya, 2016.

- [35] Torralbo Gavilán, J. *Apuntes de la asignatura Inspección Técnica de Embarcaciones de Recreo: Velas*. Barcelona: FNB. Facultat de Nàutica de Barcelona; UPC. Universitat Politècnica de Catalunya, 2016.
- [36] Volvo Ocean Race, Round the world. *One-design Fact Sheet: One-design v Volvo Open 70*. Volvo Ocean Race, S.L.U., 2013.
- [37] Ward, S. *Chinese Whispers: Zheng He's Treasure Ships in the context of Chinese Maritime Policy in the Ming Dynasty. (1364-1644)*. Tesis. University of Southampton, Maritime Archaeology (MA), 2006.

Webgrafía

- [1] Barcelona world race. *El barco*. A: Barcelona world race. [en línea]. [Consulta: 4 de agosto 2019]. Disponible en <<http://www.barcelonaworldrace.org/todo-sobre-la-regata/el-barco>>.
- [2] Biblioteca Virtual del Ministerio de Defensa (BVD). *Modelo de embarcación vikinga del siglo X (1892)*. A: Biblioteca Virtual del Ministerio de Defensa (BVD). [en línea]. Madrid: Ministerio de Defensa de España. [Consulta: 16 de abril 2019]. Disponible en <<http://bibliotecavirtualdefensa.es/BVMDefensa/i18n/consulta/registro.cmd?id=40739>>.
- [3] Blot, J.Y. The chinese junk: archaeology of a dream (Part I). *RC. Review of Culture* [en línea]. English edition, Nº27/28, p. 201-223. [Consulta: 27 de abril 2019]. Disponible en <<http://www.icm.gov.mo/rc/viewer/20027/1168>>.
- [4] Building Pharaoh's Ship. *Explore a pharaoh's boat*. A: Building Pharaoh's Ship. [en línea]. [Consulta: 21 de marzo 2019]. Disponible en <<https://www.pbs.org/wgbh/nova/pharaoh/expl-nf.html>>.
- [5] Calvert, A. *Pyramid of Khufu*. A: Khan Academy. [en línea]. [Consulta: 8 de abril 2019]. Disponible en <<https://www.khanacademy.org/humanities/ap-art-history/ancient-mediterranean-ap/ancient-egypt-ap/a/old-kingdom-pyramid-of-khufu>>.
- [6] Cátedra de Historia y Patrimonio Naval. *El Cutty Sark: mucho más que un whisky*. A: Cátedra de Historia y Patrimonio Naval. [en línea]. Blog Cátedra de Historia y Patrimonio Naval, 1 de febrero 2012. [Consulta: 18 de marzo 2019]. Disponible en <<https://blogcatedranaval.com/tag/embarcaciones-a-vela/page/1/>>.
- [7] Cátedra de Historia y Patrimonio Naval. *Los barcos de Biblos: naves egipcias en el Mediterráneo*. A: Cátedra de Historia y Patrimonio Naval. [en línea]. Blog Cátedra de Historia y Patrimonio Naval, 12 de marzo 2019. [Consulta: 18 de marzo 2019]. Disponible en <<https://blogcatedranaval.com/tag/embarcaciones-a-vela/>>.
- [8] Cátedra de Historia y Patrimonio Naval. *Los últimos grandes veleros (I)*. A: Cátedra de Historia y Patrimonio Naval. [en línea]. Blog Cátedra de Historia y Patrimonio Naval, 24 de enero 2012. [Consulta: 18 de marzo 2019]. Disponible en <<https://blogcatedranaval.com/tag/embarcaciones-a-vela/page/2/>>.
- [9] *Clipper Ships – Cutty Sark*. [en línea]. [Consulta: 2 de agosto 2019]. Disponible en <http://www.solarnavigator.net/history/clipper_ships.htm>.
- [10] *Clipper Thermopylae*. A: Victoria Harbour History. [en línea]. [Consulta: 20 de septiembre 2019]. Disponible en <<https://www.victoriaharbourhistory.com/transportation/sea-transportation/sailing-vessels/the-clipper-ship-thermopylae/>>.
- [11] *Egyptian Ships and Boats: Comparison Between Egyptian and Viking Ships*. [en línea]. [Consulta: 1 de agosto 2019]. Disponible en <<https://www.aldokkan.com/science/ship.htm>>.
- [12] Cronin, C. *Veleros: casco, quilla, aparejo, usos y más*. A: Boats. [en línea]. España: Boats, 18 enero 2017. [Consulta: 4 de agosto 2019]. Disponible en <<https://es.boats.com/en-el-agua/veleros-casco-quilla-aparejo-usos-y-mas/>>.
- [13] Encyclopaedia Britannica. *Carvel construction: Naval architecture*. A: Encyclopaedia Britannica, Inc. [en línea]. [Consulta: 8 de mayo 2019]. Disponible en <<https://www.britannica.com/technology/carvel-construction>>.
- [14] Encyclopaedia Britannica. *Clinker construction: Naval architecture*. A: Encyclopaedia Britannica, Inc. [en línea]. [Consulta: 8 de mayo 2019]. Disponible en <<https://www.britannica.com/technology/clinker-construction>>.

- [15] Encyclopaedia Britannica. *Great Eastern Ship*. A: Encyclopaedia Britannica, Inc. [en línea]. Encyclopaedia Britannica, 9 de septiembre 2019. [Consulta: 21 de septiembre 2019]. Disponible en <<https://www.britannica.com/topic/Great-Eastern>>.
- [16] Encyclopaedia Britannica. *History of Ships*. A: Encyclopaedia Britannica, Inc. [en línea]. [Consulta: 26 de febrero 2019]. Disponible en <<https://www.britannica.com/technology/ship/History-of-ships>>.
- [17] Encyclopaedia Britannica. *Longship*. A: Encyclopaedia Britannica, Inc. [en línea]. [Consulta: 8 de mayo 2019]. Disponible en <<https://www.britannica.com/technology/longship>>.
- [18] Encyclopedia.com. *Shipbuilding and Navigation. Europe, 1450 to 1789: Encyclopedia of the Early Modern World*. A: Encyclopedia.com. [en línea]. [Consulta: 2 de agosto 2019]. Disponible en <<https://www.encyclopedia.com/history/encyclopedias-almanacs-transcripts-and-maps/shipbuilding-and-navigation>>.
- [19] Escuela Náutica Sotavento. *Los últimos barcos mercantes de vela (1)*. A: Escuela Náutica Sotavento. [en línea]. Escuela Náutica Sotavento, 8 de mayo 2014. [Consulta: 4 de agosto 2019]. Disponible en <<http://www.sotaventonline.com/los-ultimos-barcos-mercantes-de-vela-1/#>>.
- [20] Escuela Náutica Sotavento. *Los últimos barcos mercantes de vela (2)*. A: Escuela Náutica Sotavento. [en línea]. Escuela Náutica Sotavento, 14 de mayo 2014. [Consulta: 4 de agosto 2019]. Disponible en <<http://www.sotaventonline.com/los-ultimos-barcos-mercantes-de-vela-2/>>.
- [21] Farr Yacht Design. *Design Nº 715: Volvo Open 70 "AZZAM"*. A: Farr Yacht Design. Annapolis, MD: Farr Yacht Design, 2018. [Consulta: 27 de septiembre 2019]. Disponible en <<http://www.farrdesign.com/715.html>>.
- [22] Fondear, S.L. *La evolución de los veleros de recreo*. A: Fondear, S.L. [en línea]. [Consulta: 17 de julio 2019]. Disponible en <http://www.fondear.org/infonautic/Barco/Diseno_Construccion/Veleros_Evolucion/Veleros_Evolucion.htm>.
- [23] Fondear, S.L. *La forma de las proas*. A: Fondear, S.L. [en línea]. [Consulta: 28 de septiembre 2019]. Disponible en <http://www.fondear.org/infonautic/Barco/Diseno_Construccion/Proas_Forma/Proas_Forma.htm>.
- [24] Gao, S. *A Brief History Of The Chinese Junk*. A: The Culture Trip Ltd. [en línea]. The Culture Trip Ltd, 16 de octubre 2016. [Consulta: 31 de julio 2019]. Disponible en <<https://theculturetrip.com/asia/china/hong-kong/articles/a-brief-history-of-the-chinese-junk/>>.
- [25] *Gokstad Ship*. [en línea]. [Consulta: 15 de abril 2019]. Disponible en <https://penelope.uchicago.edu/~grout/encyclopaedia_romana/britannia/anglo-saxon/maldon/gokstad.html>.
- [26] González Rodríguez, M. *Las embarcaciones en el Antiguo Egipto: Los barcos en el antiguo Egipto*. A: Historiaie. [en línea]. Historiaie, 9 de octubre 2015. [Consulta: 9 de marzo 2019]. Disponible en <<https://www.historiaeweb.com/2015/10/09/las-embarcaciones-en-el-antiguo-egipto/>>.
- [27] Historia y Arqueología Marítima. *El cosido de las tracas del casco, como método de construcción naval*. A: Historia y Arqueología Marítima. [en línea]. Historia y Arqueología Marítima, 15 de septiembre 2009. [Consulta: 2 de marzo 2019]. Disponible en <<https://historiayarqueologiamaritima.wordpress.com/2009/09/15/el-cosido-de-las-tracas-del-casco-como-metodo-de-construccion-naval/#more-516>>.
- [28] Historia y Arqueología Marítima. *La técnica de construcción marítima en la antigüedad*. A: Historia y Arqueología Marítima. [en línea]. Historia y Arqueología Marítima, 27 de julio 2009. [Consulta: 2 de marzo 2019]. Disponible en <<https://historiayarqueologiamaritima.wordpress.com/tag/arquitectura-naval/>>.
- [29] Historia y Biografías. *Navíos romanos y griegos trirremes, galeras romanas, barcos fenicios: Navíos romanos y griegos: trirremes y galeras*. A: Historia y Biografías. [en línea]. Historia y Biografías, 7 de octubre 2014. [Consulta: 3 de marzo 2019]. Disponible en <<https://historiaybiografias.com/barcos/>>.
- [30] Intangible Cultural Heritage (ICH); United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO). *Watertight-bulkhead technology of Chinese junks*. A: Intangible Cultural Heritage (ICH); United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO). [en línea]. [Consulta: 2 de agosto 2019]. Disponible en <<https://ich.unesco.org/en/USL/watertight-bulkhead-technology-of-chinese-junks-00321>>.

- [31] Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico (IAPH). *El navío de línea*. A: Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico (IAMP). [en línea]. [Consulta: 8 de septiembre 2019]. Disponible en <https://www.iaph.es/export/sites/default/galerias/arqueologia-subacuatica/documentos/xPDF-38x_fichas_barcos_trafalgar.pdf>.
- [32] Juan. *El navío de línea español (guía visual de un navío)*. A: Todo a babor. [en línea]. [Consulta: 10 de abril 2019]. Disponible en <<https://www.todoababor.es/historia/navio-de-linea-espanol-guia-visual-navio/>>.
- [33] Juan. *El Navío, y las tareas a bordo*. A: Todo a babor. [en línea]. [Consulta: 10 de abril 2019]. Disponible en <https://www.todoababor.es/vida_barcos/elnavio.htm>.
- [34] Longair, M. *Rudder of the Cutty Sark*. [en línea]. [Consulta: 20 de septiembre 2019]. Disponible en <<https://www.flickr.com/photos/mhl20/7568577564/>>.
- [35] López Martín, S.J. *Los barcos de vapor en la armada española (I)*. A: Barcos y submarinos de combate. [en línea]. Barcos y submarinos de combate, 9 de enero 2016. [Consulta: 7 de julio 2019]. Disponible en <<https://bitacoradelgrumete.wordpress.com/2016/01/09/los-barcos-de-vapor-en-la-armada-espanola-i/>>.
- [36] Macguire, E. *Historic ship Cutty Sark rises from ashes after \$81 million restoration*. A: CNN World. [en línea]. CNN, 24 de abril 2012. [Consulta: 19 de septiembre 2019]. Disponible en <<https://edition.cnn.com/2012/04/24/world/europe/cutty-sark-reopen/index.html>>.
- [37] Maritime Stepping Stones (MaSS). *Gokstad ship*. A: MaSS. Maritime Stepping Stones, stepping stones of maritime history. [en línea]. Holanda: MaSS. [Consulta: 15 de abril 2019]. Disponible en <<https://mass.maritime-heritage.com/gokstad-ship>>.
- [38] Maseras, J. *Veleros y navegación a vela: una introducción*. A: Boats. [en línea]. España: Boats, 20 de octubre 2016. [Consulta: 4 de agosto 2019]. Disponible en <<https://es.boats.com/consejos/veleros-y-navegacion-a-vela-una-introduccion/>>.
- [39] Mejías, J.C. *Navíos españoles del siglo XVIII (I-VIII)*. A: Blog Cátedra de historia y patrimonio naval. [en línea]. [Consulta: 15 de mayo 2019]. Disponible en <<https://blogcatedranaval.com/tag/historia-naval-2/page/22/>>.
- [40] National Geographic España. *Los barcos de los faraones*. A: National Geographic España. [en línea]. España: National Geographic España, 30 de junio 2014. [Consulta: 6 de marzo 2019]. Disponible en <https://www.nationalgeographic.com.es/historia/grandes-reportajes/los-barcos-de-los-faraones_8270/4>.
- [41] Naval Encyclopedia. *Enlightenment Era Ships*. A: Naval Encyclopedia, the first online warship museum. [en línea]. [Consulta: 20 de julio 2019]. Disponible en <<https://www.naval-encyclopedia.com/enlightenment-era-ships/>>.
- [42] Naval Encyclopedia. *Medieval ships: Transition and influences*. A: Naval Encyclopedia, the first online warship museum. [en línea]. [Consulta: 20 de julio 2019]. Disponible en <<https://www.naval-encyclopedia.com/medieval-ships/>>.
- [43] Naval Encyclopedia. *Renaissance Ships*. A: Naval Encyclopedia, the first online warship museum. [en línea]. [Consulta: 20 de julio 2019]. Disponible en <<https://www.naval-encyclopedia.com/renaissance-ships/>>.
- [44] Patrimonio de la Humanidad. *La técnica de fabricación de compartimentos estancos de los juncos chinos*. A: Patrimonio de la Humanidad. [en línea]. Patrimonio de la Humanidad, 18 de mayo 2017. [Consulta: 1 de agosto 2019]. Disponible en <<https://patrimoniodelahumanidadporanka.blogspot.com/2017/05/la-tecnica-de-fabricacion-de.html>>.
- [45] Raunekk. *Chinese Junk Sail Boat Explained*. A: Bright Hub Engineering. [en línea]. [Consulta: 2 de agosto 2019]. Disponible en <<https://www.brighthubengineering.com/marine-history/57370-what-are-junks/>>.
- [46] Raunekk. *Clipper Sailing Ships*. A: Bright Hub Engineering. [en línea]. [Consulta: 2 de agosto 2019]. Disponible en <<https://www.brighthubengineering.com/marine-history/65188-what-is-a-clipper-ship/>>.
- [47] Raven, D. *Volvo Ocean Race Yacht Designs, by François Chevalier*. A: Donan Raven's sailing trivia. [en línea]. [Consulta: 27 de julio 2019]. Disponible en <<http://sailingtrivia.ravenyachts.fr/2012/04/volvo-ocean-race-yacht-designs-by.html>>.

- [48] Regia Anglorum. *Viking Ship Construction: Making a Viking Ship*. A: Regia Anglorum. [en línea]. [Consulta: 16 de abril 2019]. Disponible en <<https://regia.org/research/ships/Ships1.htm>>.
- [49] Revista Ingeniería Naval. *Diez tipos de embarcaciones a vela*. A: Revista Ingeniería Naval. [en línea]. España: Revista Ingeniería Naval, 22 de enero 2013. [Consulta: 19 de abril 2019]. Disponible en <<https://sectormaritimo.es/diez-tipos-de-embarcaciones-a-vela>>.
- [50] Royal Museums Greenwich. *Cutty Sark Facts*. A: Royal Museums Greenwich. [en línea]. [Consulta: 7 de julio 2019]. Disponible en <<https://www.rmg.co.uk/cutty-sark/history/cutty-sark-construction-facts-figures>>.
- [51] Royal Museums Greenwich. *Shipbuilding: 800-1800*. A: Royal Museums Greenwich. [en línea]. [Consulta: 23 de julio 2019]. Disponible en <<https://www.rmg.co.uk/discover/explore/shipbuilding-800%E2%80%931800>>.
- [52] Royal Museums Greenwich. *Shipbuilding: 1800-Present*. A: Royal Museums Greenwich. [en línea]. [Consulta: 23 de julio 2019]. Disponible en <<https://www.rmg.co.uk/discover/explore/shipbuilding-1800%E2%80%93present>>.
- [53] Royal Museums Greenwich. *The Vikings*. A: Royal Museums Greenwich. [en línea]. [Consulta: 23 de julio 2019]. Disponible en <<https://www.rmg.co.uk/discover/explore/vikings%20>>.
- [54] Sánchez Morata, R. *El hierro y el acero en la construcción naval -apuntes-*. A: Navegar es preciso. [en línea]. México: Navegar es preciso, 25 de junio 2017. [Consulta: 4 de agosto 2019]. Disponible en <<https://www.navegar-es-preciso.com/news/el-hierro-y-el-acero-en-la-construccion-naval-apuntes/>>.
- [55] Sánchez Morata, R. *Barcos de ferrocemento*. A: Navegar es preciso. [en línea]. México: Navegar es preciso, 27 de julio 2012. [Consulta: 21 de septiembre 2019]. Disponible en <<https://www.navegar-es-preciso.com/news/barcos-de-ferrocemento/>>.
- [56] Scott, W. *Sailing Ships for the Vikings*. A: Bright Hub Engineering. [en línea]. [Consulta: 16 de abril 2019]. Disponible en <<https://www.brighthubengineering.com/naval-architecture/71080-medieval-longship-designs/>>.
- [57] Stenvik, E. *The Gokstad ship – stern and rudder*. [en línea]. [Consulta: 16 de abril 2019]. Disponible en <<https://www.flickr.com/photos/estenvik/10422769394>>.
- [58] The Ocean Race. *Aparejos*. A: archive.theoceanrace. [en línea]. [Consulta: 27 de septiembre 2019]. Disponible en <https://archive.theoceanrace.com/es/boat/32_Aparejos.html>.
- [59] The Ocean Race. *El monotipo: el Volvo Ocean 65*. A: archive.theoceanrace. [en línea]. [Consulta: 27 de septiembre 2019]. Disponible en <https://archive.theoceanrace.com/es/boat/18_El-Volvo-Ocean-65.html>.
- [60] The Ocean Race. *Equipo técnico*. A: archive.theoceanrace. [en línea]. [Consulta: 27 de septiembre 2019]. Disponible en <https://archive.theoceanrace.com/es/boat/20_Equipo-tecnico.html>.
- [61] The Ocean Race. *Especificaciones técnicas*. A: archive.theoceanrace. [en línea]. [Consulta: 27 de septiembre 2019]. Disponible en <https://archive.theoceanrace.com/es/boat/21_Especificaciones-tecnicas.html>.
- [62] The Ocean Race. *Innovaciones*. A: archive.theoceanrace. [en línea]. [Consulta: 27 de septiembre 2019]. Disponible en <https://archive.theoceanrace.com/es/boat/19_Innovaciones.html>.
- [63] The Ocean Race. *Las velas*. A: archive.theoceanrace. [en línea]. [Consulta: 27 de septiembre 2019]. Disponible en <https://archive.theoceanrace.com/es/boat/22_Las-velas.html>.
- [64] The Original Tour. *Billetes para Cutty Sark*. A: The Original London Sightseeing Tour Ltd. [en línea]. [Consulta: 19 de septiembre 2019]. Disponible en <<https://www.theoriginaltour.com/es/attractions/cutty-sark>>.
- [65] Todoavante. *Juan Nepomuceno, San*. A: Todoavante. [en línea]. Todoavante, 22 de diciembre 2015. [Consulta: 5 de septiembre 2019]. Disponible en <https://todoavante.es/index.php?title=Juan_Nepomuceno,_San>.
- [66] UiO: Museum of Cultural History. *The Gokstad ship*. A: UiO: Museum of Cultural History. [en línea]. Oslo: UiO: Museum of Cultural History, 7 de julio 2016, 21 de febrero 2019. [Consulta: 14 de abril 2019]. Disponible en <<https://www.khm.uio.no/english/visit-us/viking-ship-museum/exhibitions/gokstad/gokstad-ship.html>>.
- [67] UiO: Museum of Cultural History. *When the Gokstad ship was found*. A: UiO: Museum of Cultural History. [en línea]. Oslo: UiO: Museum of Cultural History, 5 de julio 2016, 21 de febrero 2019. [Consulta: 14 de abril 2019]. Disponible en <<https://www.khm.uio.no/english/visit-us/viking-ship-museum/exhibitions/gokstad/gokstad-found.html>>.

- [68] Vaucher, J.G. *Ships & Travel in the 19th century*. [en línea]. [Consulta: 2 de agosto 2019]. Disponible en <https://www-labs.iro.umontreal.ca/~vaucher/History/Ships_19thC/>.
- [69] Villa Caro, R. *Las "POPAS" de los "BUQUES": Su "EVOLUCIÓN"*. A: Exponav Fundación. [en línea]. Exponav Fundación, 21 de marzo 2018. [Consulta: 28 de junio 2019]. Disponible en <<https://www.exponav.org/las-popas-de-los-buques-su-evolucion/>>.
- [70] Volvo Ocean Race media. *Abu Dhabi Ocean Racing lead VO70s in the Rolex Fastnet Race*. A: Yachts and yachting. [en línea]. Inglaterra: Yachts and yachting, 14 de agosto 2011. [Consulta: 3 de agosto 2019]. Disponible en <<https://www.yachtsandyachting.com/news/158957/Abu-Dhabi-Ocean-Racing-lead-VO70s>>.
- [71] Wikipedia, the free encyclopedia. *Anexo: Sistema de clasificación de buques de la Real Armada Española*. A: Wikipedia, the free encyclopedia. [en línea]. Wikipedia, 1 de agosto 2019. [Consulta: 5 de septiembre 2019]. Disponible en <https://es.wikipedia.org/wiki/Anexo:Sistema_de_clasificaci%C3%B3n_de_buques_de_la_Real_Armada_Espa%C3%B1ola#Por_clases>.
- [72] Wikipedia, the free encyclopedia. *Ancient Egyptian navy*. A: Wikipedia, the free encyclopedia. [en línea]. Wikipedia, 5 de marzo 2019. [Consulta: 10 de marzo 2019]. Disponible en <https://en.wikipedia.org/wiki/Ancient_Egyptian_navy>.
- [73] Wikipedia, the free encyclopedia. *Azzam (2011 yacht)*. A: Wikipedia, the free encyclopedia. [en línea]. Wikipedia, 13 de julio 2018. [Consulta: 27 de septiembre 2019]. Disponible en <[https://en.wikipedia.org/wiki/Azzam_\(2011_yacht\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Azzam_(2011_yacht))>.
- [74] Wikipedia, the free encyclopedia. *Boat building*. A: Wikipedia, the free encyclopedia. [en línea]. Wikipedia, 5 de julio 2019. [Consulta: 2 de agosto 2019]. Disponible en <https://en.wikipedia.org/wiki/Boat_building#Wood>.
- [75] Wikipedia, the free encyclopedia. *Chinese treasure ship*. A: Wikipedia, the free encyclopedia. [en línea]. Wikipedia, 10 de julio 2019. [Consulta: 27 de abril 2019]. Disponible en <https://en.wikipedia.org/wiki/Chinese_treasure_ship>.
- [76] Wikipedia, the free encyclopedia. *Clipper*. A: Wikipedia, the free encyclopedia. [en línea]. Wikipedia, 28 de julio 2019. [Consulta: 2 de agosto 2019]. Disponible en <<https://en.wikipedia.org/wiki/Clipper>>.
- [77] Wikipedia, the free encyclopedia. *Composite ship*. A: Wikipedia, the free encyclopedia. [en línea]. Wikipedia, 12 de mayo 2018. [Consulta: 2 de agosto 2019]. Disponible en <https://en.wikipedia.org/wiki/Composite_ship>.
- [78] Wikipedia, the free encyclopedia. *Construcción naval española del siglo XVIII*. A: Wikipedia, the free encyclopedia. [en línea]. Wikipedia, 31 de mayo 2019. [Consulta: 22 de abril 2019]. Disponible en <https://es.wikipedia.org/wiki/Construcci%C3%B3n_naval_espa%C3%B1ola_del_siglo_XVIII>.
- [79] Wikipedia, the free encyclopedia. *Era de la navegación a vela*. A: Wikipedia, the free encyclopedia. [en línea]. Wikipedia, 3 de septiembre 2018. [Consulta: 22 de abril 2019]. Disponible en <https://es.wikipedia.org/wiki/Era_de_la_navegaci%C3%B3n_a_vela>.
- [80] Wikipedia, the free encyclopedia. *Ferrocemento*. A: Wikipedia, the free encyclopedia. [en línea]. Wikipedia, 24 de abril 2019. [Consulta: 21 de septiembre 2019]. Disponible en <<https://es.wikipedia.org/wiki/Ferrocemento>>.
- [81] Wikipedia, the free encyclopedia. *Flota de Indias*. A: Wikipedia, the free encyclopedia. [en línea]. Wikipedia, 27 de septiembre 2019. [Consulta: 3 de septiembre 2019]. Disponible en <https://es.wikipedia.org/wiki/Flota_de_Indias>.
- [82] Wikipedia, the free encyclopedia. *Iberian ship development, 1400-1600*. A: Wikipedia, the free encyclopedia. [en línea]. Wikipedia, 25 de junio 2019. [Consulta: 22 de julio 2019]. Disponible en <https://en.wikipedia.org/wiki/Iberian_ship_development,_1400%E2%80%931600>.
- [83] Wikipedia, the free encyclopedia. *Iron-hulled sailing ship*. A: Wikipedia, the free encyclopedia. [en línea]. Wikipedia, 29 de julio 2019. [Consulta: 2 de agosto 2019]. Disponible en <https://en.wikipedia.org/wiki/Iron-hulled_sailing_ship>.

- [84] Wikipedia, the free encyclopedia. *Junk (ship)*. A: Wikipedia, the free encyclopedia. [en línea]. Wikipedia, 26 de julio 2019. [Consulta: 27 de abril 2019]. Disponible en <[https://en.wikipedia.org/wiki/Junk_\(ship\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Junk_(ship))>.
- [85] Wikipedia, the free encyclopedia. *Limber hole*. A: Wikipedia, the free encyclopedia. [en línea]. Wikipedia, 10 de abril 2019. [Consulta: 1 de agosto 2019]. Disponible en <https://en.wikipedia.org/wiki/Limber_hole>.
- [86] Wikipedia, the free encyclopedia. *Longship*. A: Wikipedia, the free encyclopedia. [en línea]. Wikipedia, 8 de julio 2019. [Consulta: 16 de abril 2019]. Disponible en <<https://en.wikipedia.org/wiki/Longship>>.
- [87] Wikipedia, the free encyclopedia. *Monotipo (vela)*. A: Wikipedia, the free encyclopedia. [en línea]. Wikipedia, 12 de enero 2019. [Consulta: 4 de agosto 2019]. Disponible en <[https://es.wikipedia.org/wiki/Monotipo_\(vela\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Monotipo_(vela))>.
- [88] Wikipedia, the free encyclopedia. *Nao*. A: Wikipedia, the free encyclopedia. [en línea]. Wikipedia, 16 de junio 2019. [Consulta: 22 de julio 2019]. Disponible en <<https://es.wikipedia.org/wiki/Nao>>.
- [89] Wikipedia, the free encyclopedia. *Navío de línea*. A: Wikipedia, the free encyclopedia. [en línea]. Wikipedia, 26 de febrero 2019. [Consulta: 15 de mayo 2019]. Disponible en <https://es.wikipedia.org/wiki/Nav%C3%ADo_de_l%C3%ADnea>.
- [90] Wikipedia, the free encyclopedia. *One-Design*. A: Wikipedia, the free encyclopedia. [en línea]. Wikipedia, 24 de septiembre 2019. [Consulta: 27 de septiembre 2019]. Disponible en <<https://en.wikipedia.org/wiki/One-Design>>.
- [91] Wikipedia, the free encyclopedia. *Volvo Open 70*. A: Wikipedia, the free encyclopedia. [en línea]. Wikipedia, 20 de julio 2019. [Consulta: 3 de agosto 2019]. Disponible en <https://en.wikipedia.org/wiki/Volvo_Open_70>.
- [92] Wikipedia, the free encyclopedia. *2011-2012 Volvo Ocean Race*. A: Wikipedia, the free encyclopedia. [en línea]. Wikipedia, 29 de septiembre 2019. [Consulta: 29 de septiembre 2019]. Disponible en <https://en.wikipedia.org/wiki/2011%E2%80%932012_Volvo_Ocean_Race>.
- [93] YachtWorld. *Veleros: tipos, velas, cascos y usos*. A: YachtWorld. [en línea]. [Consulta: 29 de septiembre 2019]. Disponible en: <<https://www.yachtworld.es/boat-content/veleros-tipos-velas-cascos-y-usos-2048/>>.
- [94] Yahuaca M., J. *Evolución histórica de la vela*. A: Todo a babor. [en línea]. [Consulta: 25 de febrero 2019]. Disponible en: <<https://www.todoababor.es/articulos/ev-vela.htm>>.

