



UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS Y TECNICAS DE LA
NAVEGACION Y DE LA CONSTRUCCION NAVAL**

AREA: CONSTRUCCIONES NAVALES

TESIS DOCTORAL

**ARQUITECTURA Y TECNOLOGIA EN EL DISEÑO DEL
ESTANDAR MERCANTE BERGANTIN**

Autor:

D. Josu Ruiz Godia

Directores:

Dr. Emilio Eguía López

Dr. Francisco Fernández González

Santander, Septiembre de 2010

COLABORACIONES



Colabora en la obra la Subdirección General de los Archivos Estatales del Ministerio de Cultura.

CRÉDITOS REPRODUCCIONES

Nuestro agradecimiento a las siguientes instituciones:

© Consorci de les Drassanes Reials i Museu Marítim de Barcelona. Autor: Francisco Jaén para el *Plano del bergantín Segundo Romano* y *Plano del bergantín Nueva Casimira*

© España. Ministerio de Cultura. Archivo General de Simancas para los documentos y *planos del bergantín Ardilla* y *bergantín El Cazador, SMA 362* y *MPD, 21, 49*

© Fundación Oceanográfica de Guipúzcoa – Aquarium de Donostia-San Sebastián para el *plano N° 1 Plano por la construcción de uno bergantín goleta del porte de 110 a 130 toneladas*

© Museo Naval. Madrid para el *Plano del bergantín El Gargo*

Capítulo III

Nota de Fuentes

➤ *Figuras: 28 a 52:*

- 28 a 32: España. Ministerio de Cultura. Archivo General de Simancas.MPD, 21,49
- 33 a 41: Museo Naval. Madrid
- 42 a 43: España. Ministerio de Cultura. Archivo General de Simancas.MPD, 21,49
- 45-52: Fundación Oceanográfica de Guipúzcoa – Aquarium de Donostia-San Sebastián

➤ *Figuras: 76-82:*

- 76: http://www.gestenaval.com/carpinteria/carpinteria_ribera.htm
- 77: <http://www.modelismonaval.com/magazine/astillerostradicionales/galeria1.html>
- 78: <http://www.modelismonaval.com/magazine/astillerostradicionales/>
- 79: <http://www.modelismonaval.com/magazine/astillerostradicionales/galeria1.html>
- 80: <http://www.modelismonaval.com/magazine/astillerostradicionales/galeria1.html>
- 81: <http://www.modelismonaval.com/magazine/astillerostradicionales/galeria1.html>
- 82: <http://www.modelismonaval.com/magazine/astillerostradicionales/galeria1.html>

➤ *Figuras 83-89 y 90-96:*

- RUBIO SERRANO, J.L. *Arquitectura de las naos y galeones de las flotas de Indias*, Tomo I, Madrid, 1991
- ROMERO FERNÁNDEZ DE LANDA, J.: *Reglamento de maderas necesarias para la fábrica de los Baxeles del Rey y demás atenciones de sus Arsenales y departamentos*. Por D. Joaquín Ibarra, Impresor de Cámara de S.M. Madrid, 1784.

forma definitiva como se puede ver en este proyecto. El autor si hace una reconstrucción en CAD del modelo de navío.

3.6. La construcción de bergantines por zonas geográficas

A continuación se muestran datos sobre la construcción naval de bergantines mercantes en las zonas más importantes del país. Esto nos dará una idea de la gran utilización por parte de los armadores de este tipo de barco en el entorno nacional, desde el País Vasco hasta Canarias, en el Cantábrico, el Mediterráneo y el Atlántico.

Zonas de España: Norte

País Vasco

Existen datos interesantes de las flotas mercantes en Vizcaya, por ejemplo. En 1801, de un total de 149 naves de diferente tipo y porte, había 47 bergantines, la mayoría de los cuales estaban matriculadas en Bilbao y Plencia⁴².

En el siglo XVII se construyeron 2 bergantines en Guipúzcoa⁴³; durante el siglo XVIII se construyen 7 unidades⁴⁴. En la nómina general de la flota mercante de la Compañía Guipuzcoana de Caracas, entre 1730 y 1785, aparecen varios bergantines: uno de 104 toneladas llamado *La Esperanza*, construido en Pasajes⁴⁵; un paquebote de 150 toneladas llamado *Nuestra Señora de la Concepción*; un bergantín de 110 toneladas llamado *Nuestra Señora del Coro*; un paquebote de 110 toneladas llamado *San José* y otro paquebote de 201

⁴² VV.AA. *Arquitectura naval en el País Vasco. Gobierno Vasco. p. 19.*

⁴³ ODRIOZOLA OYARBIDE, L. *Op. Cit. p 107.*

⁴⁴ ODRIOZOLA OYARBIDE, L. *Op. Cit. p 108.*

⁴⁵ VIVAS PINEDA, G.: *Legiones de madera: la construcción naval al servicio de la Compañía Guipuzcoana de Caracas. Revista de estudios marítimos del País Vasco. Nº 2. Untzi Museoa. p. 284.*

toneladas llamado *San Vicente*. Existen datos concretos de 2 de ellos que, por su interés, se muestran:

Nombre	Tons	Eslora	Quilla	Manga	Puntal	Plan	Entrep.	Eslora/Quilla	Manga/Puntal
La Esperanza	104	32	24	10,67	5,67	5	1,75	1,33	1,89
San Vicente	201	43,8	36,5	12,66	6,33	6		1,2	2

Tabla 1. Bergantines de Guipúzcoa (S. XVIII)

En 1849, la flota de bergantines en Guipúzcoa era de 10, todos ellos matriculados en San Sebastián, de un total de 275 barcos. Los astilleros particulares, en los años que menos trabajaban hacían 1 buque, y en los que más 3, de unas 200 a 700 toneladas. El astillero Arana, entre 1850 y 1873 construyó 18 bergantines de un total de 97 naves. La mayoría de estos bergantines estaba entre las 100 y las 200 toneladas.

En la zona de Orio (Guipúzcoa) existieron construcciones ya desde el siglo XVII y se tiene constancia de un bergantín en 1691 en el astillero de Arrazubía⁴⁶ construido por Nicolás de Hoa.

Cantabria

La construcción naval en Guarnizo proporcionó durante los últimos años del siglo XVI galeones para la Armada Real⁴⁷. Los astilleros de Colindres también fueron parte importante en la región y crearon una industria paralela de la construcción naval con fábricas de artillería en Liérganes y La Cavada. Esto impulsó en la zona el comercio y los buques mercantes. Hasta el siglo XVIII en Santander, si se exceptúa la pesca, no se conocía más industria que la construcción naval, realizada en las riberas desde muy lejanos días y que volvió

⁴⁶ VV.AA. *Los barcos del Oria*. Museo Naval de San Sebastián. 1994. p. 34.

⁴⁷ BARREDA Y FERRER DE LA VEGA, F. *La Marina Cantabria. Desde el siglo XVII al ocaso de la navegación a vela*. Vol. II. Dip. Prov. de Santander. 1968. p. 69.

a resurgir con intenso ritmo en el Real Astillero de Guarnizo durante la segunda mitad del siglo XVIII⁴⁸.

Hay que destacar el comercio de cereales desde el puerto de Santander. En 1757 el bergantín *La María*, del armador santanderino Sayus, transportó 500 fanegas de trigo al Ferrol⁴⁹ por cuyo flete se cobraron 18.000 reales de vellón. Este cargamento iba destinado a las necesidades de las tripulaciones de la Armada. El mismo tipo de flete hizo el bergantín *La Villa de Bilbao*. El comercio de Santander consistía principalmente en lanas y trigos. Se enviaban anualmente hacia Holanda, Francia e Inglaterra alrededor de 10.000 balas de lana corriente y de 2.000 a 3.000 balas de lana fina⁵⁰. El trigo era cargado con destino a otros puertos españoles donde faltaba. Además, como en Bilbao no había Aduana Real, no podían hacerse viajes a América, por lo que el puerto de Santander era utilizado por los negociantes de la zona para enviar sus mercancías a La Habana, Buenos Aires o La Luisiana. Existe constancia de que en 1806 el bergantín llamado *Nuestra Señora del Rosario* recibía un cargamento de trigo con destino a Lisboa⁵¹. En 1829 había fondeado en la bahía de Santander un bergantín ruso, el *San Jacob*⁵², y el bergantín *Otilia Sophia*, de Hamburgo.

En el año 1850 la exportación de harinas procedentes de las fábricas de Santander fue hacia los puertos de Barcelona y La Habana principalmente⁵³, pero también hacia Río de Janeiro, Buenos Aires y otros puertos del Reino. La

⁴⁸ BARREDA Y FERRER DE LA VEGA, F. Op. Cit. p. 90.

⁴⁹ BARREDA Y FERRER DE LA VEGA, F. Op. Cit. p. 74.

⁵⁰ BARREDA Y FERRER DE LA VEGA, F. Op. Cit. p. 97.

⁵¹ BARREDA Y FERRER DE LA VEGA, F. Op. Cit. p. 118.

⁵² BARREDA Y FERRER DE LA VEGA, F. Op. Cit. p. 143.

⁵³ BARREDA Y FERRER DE LA VEGA, F. Op. Cit. p. 144.

importación en 1852 procedía principalmente de América y fue, sobre todo, de azúcar⁵⁴, además de aguardiente de caña, café y cacao.

Asimismo hubo constancia de actividad corsaria en la zona, incluso en tiempos de paz. En 1759 el bergantín *La Sirena*, que había salido desde Londres con un cargamento para Santander, fue apresado por un corsario francés que lo condujo al puerto de Cherburgo⁵⁵. En 1779 el bergantín *San Nicolás* fue abordado por un corsario inglés⁵⁶.

En el siglo XIX los astilleros cántabros llegaron a construir un tercio de la flota mercante santanderina⁵⁷, otro tanto se construyó en el País Vasco, principalmente en Vizcaya, y el resto en Asturias, Galicia y Cataluña, además de una serie de encargos hechos a astilleros franceses, ingleses, alemanes y norteamericanos. Se destaca la creación del Lloyd Cántabro en 1858, así como la creación de la Escuela de Náutica en 1790.

Entre 1788 y 1874 había matriculados en Santander un total de 146 bergantines⁵⁸. Se puede afirmar que el núcleo de la flota mercante de Cantabria fueron los bergantines⁵⁹.

Existen multitud de referencias de bergantines pertenecientes a armadores de la zona entre los años 1758 a 1878. Mostraré a continuación un listado de 50 de ellos: *Acteon, Águila, Amable Gertrudis, Amable Rosa, Ana Margarita, Ángel de la Guarda, Antonio, Aránzazu, Atrevido, Bella Antonia, Buena Dicha, C. de Herry, Cachupín, Caraqueño, Carlos, Cervantes, Charles, Clarita, Corzo, Dionisio, Dos Amigos, El Aquiles, El Atrevido, El Brillante San Miguel, El Cazalla,*

⁵⁴ BARREDA Y FERRER DE LA VEGA, F. Op. Cit. p. 145.

⁵⁵ BARREDA Y FERRER DE LA VEGA, F. Op. Cit. p. 76.

⁵⁶ BARREDA Y FERRER DE LA VEGA, F. Op. Cit. p. 78.

⁵⁷ MARURI GREGORISCH, J. L. Op. Cit. p. 80.

⁵⁸ MARURI GREGORISCH, J. L. Op. Cit. p. 84.

⁵⁹ MARURI GREGORISCH, J. L. Op. Cit. p. 94.

El Cervecerero de Cañadío, El Coronel de Malville, El Dulce Nombre de María, El Fénix, El Guerrero Montañés, El Hércules, El Ligerero, El Pájaro Amarillo, El Pascual, El Príncipe de Asturias, El Rosario, El Triunfo de Santander, Elisabeth, Eusebio, Federico, Fernando VII, Gil Blas, Habanero, Javier Enrique, Jesús, María y José, Joven Alejandro, Joven Miguel, Joven Nicolás, Juliana, La Amable María Rosa.

Asturias

Si hay un lugar en Asturias conocido por su variedad de astilleros, ése es Luanco. Aún en 1962 existían 7 astilleros⁶⁰ que, si bien eran de construcción de barcos de poco porte, nos dan una idea de que en otros tiempos hubo más trabajo con la madera que con el metal. Luanco fue un puerto con gran tradición en la carpintería de ribera. Los astilleros que construyeron más buques fueron los de Viavélez, La Linera, El Espín y Navia. Entre todos construyeron 161 buques mercantes de todo tipo para armadores asturianos, gallegos, cántabros y vizcaínos⁶¹.

El desarrollo de los astilleros asturianos se debió, en gran parte, a la abundancia de madera de sus bosques⁶². Los astilleros Suárez y los astilleros de Viavélez construyeron numerosos barcos entre los que podemos encontrar bergantines. En 1840 el bergantín-goleta *Ntra. Sra. de la Concepción* costó 2.720 pesetas y se construyó en el astillero de Pedro Fernández de la Vega⁶³.

⁶⁰ ARTIME GONZÁLEZ, A.: *La construcción de embarcaciones de madera en los astilleros de Luanco. Museo marítimo de Asturias. 1984. p. 19.*

⁶¹ GARCÍA LOPEZ, J. R.: *Historia de la Marina Mercante Asturiana. Museo marítimo de Asturias. 2003. p. 227.*

⁶² GARCÍA LOPEZ, J.R. *Op. Cit. p. 7.*

⁶³ GARCÍA LOPEZ, J.R. *Op. Cit. p. 35.*

Existen datos de 20 bergantines construidos entre 1840 y 1884 en los astilleros de Viavélez⁶⁴ y 18 construidos desde 1840 a 1900 en los astilleros de La Linera, Castropol; 10 construidos desde 1840 a 1900 en los astilleros de El Espín, Navia y Puerto de Vega. En 1859 se construye 1 bergantín en el puerto de Gijón; 4 en el de Avilés entre 1840 y 1900; 4 en los astilleros de Luarca y 3 en los astilleros de El Puntal. En resumen: 63 bergantines entre 1840 y 1900, de un total de 212 naves de todo tipo construidas en Asturias⁶⁵. El bergantín fue un tipo de nave muy utilizado en Asturias. El mayor que se hizo fue el *Victoria*, de 28 metros de eslora y 262 toneladas de registro bruto y el más pequeño fue el *Antoñito*, con 43 toneladas⁶⁶. Los de mayor tamaño eran frecuentes en la carrera de América y llevaban sobre todo emigrantes y traían azúcar y tabaco. Actualmente ya no queda ni rastro de los astilleros que durante la segunda mitad del siglo XIX construyeron bergantines, entre otros tipos de barcos, salvo una nave del astillero de José Ron que queda en pie en Viavélez. Los Astilleros Suárez, en Luanco, siguen construyendo hoy en día embarcaciones menores de pesca o recreo.

Galicia

En Galicia la construcción naval en madera ha estado ligada a la actividad pesquera y al transporte de mercancías y de personas⁶⁷, cuyo desarrollo histórico ha condicionado la evolución de la tipología de las embarcaciones. Galicia se vio influenciada por las culturas asturiana y portuguesa, así como por

⁶⁴ GARCÍA LOPEZ, J.R. *Op. Cit.* pp. 35- 37.

⁶⁵ GARCÍA LÓPEZ, J. R. *Op. Cit.* p. 76.

⁶⁶ GARCÍA LÓPEZ, J. R. *Op. Cit.* p. 92.

⁶⁷ DE JUAN GARCÍA AGUADO, J. M.: *La carpintería de ribera en Galicia 1940-2000. Universidade da Coruña. 2001. p. 11.*

la creación del astillero en Ferrol de La Graña y del Astillero Real de Esteiro, ligados al Arsenal de Marina⁶⁸.

Las rías gallegas fueron testigo de la existencia de una gran cantidad de astilleros que construyeron embarcaciones tradicionales gallegas a lo largo de muchos siglos hasta la llegada del vapor a mediados del siglo XIX, lo que limitó la construcción en madera a algunos barcos de pesca, lanchas y embarcaciones menores⁶⁹. A principios de los años sesenta se dictó una Ley de protección y renovación de la flota pesquera que relanzó la construcción en madera.

Existieron multitud de astilleros en Galicia donde se construyeron gran cantidad de embarcaciones de madera. Tenemos constancia de algunos de ellos, como el de José Tomé Avilés en Porto do Son, que desde 1887 construyó barcos en la playa⁷⁰ como el *Porto do Son*, bergantín- goleta de 564 TRB.

Zonas de España: Mediterráneo y Canarias

Mediterráneo

La existencia de multitud de astilleros a lo largo de la costa mediterránea es bien conocida. He creído conveniente destacar los más importantes.

- Blanes. Eran los más importantes de Cataluña. Nombres de bergantines contruidos en estos astilleros⁷¹: *San Rafael, Rosita, Aurora, Pepita, Merced, Invencible, Colón, Isabel, Luisa, Huracán, Linda, Viajero, Bella Sofía, Urania, Salvador, San Miguel, India, Soberano, Soberano Tercero, Panchita, Magallanes, Sebastián, Amable Rosa, Laureano, Enrique, Telémaco, San José, Estrella, Joven Modesta, Mercedes, Lola, Elvira, Safro, Prisca, Montjuich,*

⁶⁸ DE JUAN GARCÍA AGUADO, J. M. *Op. Cit.* p. 12.

⁶⁹ DE JUAN GARCÍA AGUADO, J. M. *Op. Cit.* p. 13.

⁷⁰ DE JUAN GARCÍA AGUADO, J. M.: *Op. Cit.* p. 151.

⁷¹ EMERENCIA, R.: *La Marina del Vuit-Cents*. Ed. Noray. p. 22.

General Urquiza, Elena, India, Chile, Joven Ana, Joven Miguel, Cataluña, Julia, Federico, Adela, Ampurdanesa, Antón, Inés, Polar, Clotilde...

- Lloret. En este astillero se construían bergantines de entre 150 y 200 toneladas⁷². En este astillero tenían costumbre de ornamentar las naves y colocarles en el espejo de popa un sello distintivo de dicho astillero. Algunos nombres de bergantines construidos en Lloret: *Virgen del Carmen, Santa Eulalia, El Romano, Cristina, Mónica, Rápido, Napoleón...*

En la ermita de Santa Cristina de Lloret hay una maqueta de bergantín redondo del año 1850 colgada del techo. Esta costumbre también he podido constatarla en varias iglesias costeras del País Vasco.

- Arenys. Después de los de Blanes fueron los más importantes de Cataluña. Fueron dirigidos por Salvador Busquets⁷³. Algunos bergantines: *Florentino, Copérnico, Amnistía, Nueva Rosita, Cisne, Dos Hermanos, Mercedes...*

- Masnou. Se construían bergantines y polacras de entre 150 y 250 toneladas. Bergantines- goleta: *Cecilia, Dorotea, Eulalia, Guadalupe, Tres Anitas...*

- Sant Feliú de Guixols. En comparación con los de Lloret y Blanes no tenían apenas ornamentación. Se construían bergantines goletas de 3 palos como el *Gabriel* o el *María Teresa*, o Bergantines goletas como el *Panxito, Clara, Gesoria, San José, Federico...*

- Barcelona. Se construían naves de todo tipo y porte. Algunos bergantines: *Urbana, Arrogante barcelonés, El buen José, Marte...*

⁷² EMERENCIA, R.: *Op. Cit.* p. 23.

⁷³ EMERENCIA, R.: *Op. Cit.* p. 24.

Canarias

El barco que en mayor medida fue construido por los carpinteros de ribera de Canarias fue el bergantín⁷⁴ dedicado al tráfico de la pesquería. En la segunda mitad del siglo XVIII encontramos datos referentes a bergantines como el *San Francisco de las Llagas* fabricado por Francisco González en 1770; el *Veracruz*, de 1778; *San Nicolás Tolentino*, de 1785 y *Ntra. Sra. del Pino*, de 1795⁷⁵. Hay datos del bergantín *El Gran Poder de Dios y Nuestra Sra. del Rosario*, de 1777, que se encontraba en Tenerife para hacer viaje a Gran Canaria y de aquí ir a Guaira, pero que pronto pondría rumbo a América.

Existen también datos de matrículas de bergantines extranjeros, como el *Buen Intento*, que era inglés y procedía de Sevilla; el *Hermosa Elena*, inglés y proveniente de Corth o *La Carolina*, inglés que venía desde Hamburgo⁷⁶.

La isla que fue referencia en la construcción de bergantines fue La Palma. Existen multitud de referencias y constructores conocidos. He podido constatar 50 bergantines de todo tipo construídos desde el siglo XIX hasta la primera mitad del XX⁷⁷, periodo donde destaca la familia Arozena como la más importante en la construcción naval de la isla.

En el artículo llamado "*América en el corazón*", escrito por Manuel de Paz Sánchez, se muestran los datos de 36 embarcaciones construidas en los astilleros de La Palma de 1828 a 1879⁷⁸. Estas embarcaciones tenían como

⁷⁴ SUÁREZ GRIMON, V. *Op. Cit.* p. 15.

⁷⁵ SUÁREZ GRIMON, V. *Op. Cit.* pp. 83- 84.

⁷⁶ SUÁREZ GRIMON, V. *Op. Cit.* pp. 162- 164.

⁷⁷ YANES CARRILLO, A.: *Cosas Viejas de la mar*. Ed. J. Regulo. Santa Cruz de La Palma. 1953. pp. 98-102.

⁷⁸ DE PAZ SÁNCHEZ, M.: *América en el corazón*, de La Ciudad. Una historia ilustrada de Santa Cruz de La Palma. Universidad de La Laguna. 2003.

destino habitual La Habana y se puede ver que son 18 bergantines y 18 navíos de otros tipos repartidos entre goletas, fragatas y bricbarcas. La familia Arozena construyó 33 de esos barcos.

Resto de Europa y América

"En todas las formas de transporte un incremento en la velocidad es vista y aceptada como un indicativo fundamental de progreso"⁷⁹. Las guerras y revoluciones hicieron crecer la demanda de un incremento en la velocidad para sobrevivir a los piratas y corsarios. Esto, unido al crecimiento del mercado ilegal, hizo posible el nacimiento de barcos más rápidos⁸⁰. Estos barcos eran característicos de los piratas y saqueadores coloniales que utilizaban goletas y bergantines, contruidos para ser rápidos y baratos. A finales del siglo XVII los comerciantes de Nueva Inglaterra construyeron un gran número de bergantines y los dedicaron al comercio transatlántico⁸¹. Este tipo de embarcaciones tenía la ventaja de no necesitar escolta. En las colonias inglesas había un constante intercambio de técnicos navales que aseguraban la continuidad de la construcción naval en la zona.

En Inglaterra existían multitud de tratados navales. Al parecer, la primera fragata inglesa fue una copia de un barco de un corsario de la zona francesa de Dunquerque⁸². Parece evidente que la copia de los diseños y los métodos eran una fuente importante de conocimiento entre los diversos países con flotas. Era muy sencillo observar los barcos extranjeros en el puerto cuando cargaban y descargaban, así como observar los capturados en guerras o por corsarios.

⁷⁹ CHAPELLE, H. I.: *The search for speed under sail 1700- 1855. Bonanza books. New York. 1967. p. 3.*

⁸⁰ CHAPELLE, H. I. *Op. Cit. p. 4.*

⁸¹ CHAPELLE, H. I. *Op. Cit. p. 11.*

⁸² CHAPELLE, H. I. *Op. Cit. p. 32.*

Existen numerosas citas a bergantines dedicados al corso, como el *Badger*⁸³, que fue renombrado como *Defender*, de 1776, construido en Portsmouth y dedicado al corso en América; se sabe que, al menos, capturó 22 barcos en 2 campañas⁸⁴.

Si observamos los planos de este barco podemos ver cierta similitud con una galera.

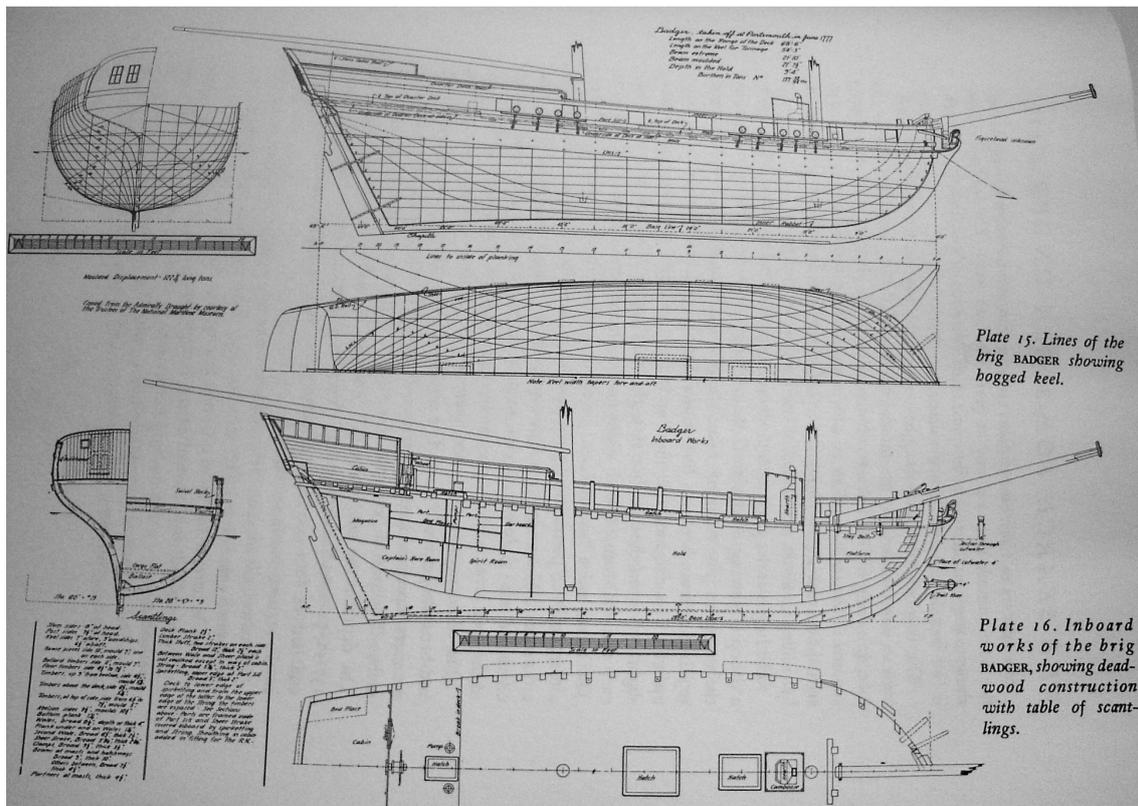


Figura 75 Planos del bergantín *Badger*

El bergantín, como ya es sabido, fue evolucionando desde sus orígenes de galera a una nave con líneas más finas y más veloz. Podemos observar unas líneas más finas en el *H. M. Swift*, que navegó en aguas Americanas desde 1778⁸⁵. Otra similitud, ésta más directa, es la del bergantín con la goleta. Estas

⁸³ CHAPELLE, H. I. Op. Cit. p. 92.

⁸⁴ CHAPELLE, H. I. Op. Cit. p. 93.

⁸⁵ CHAPELLE, H. I. Op. Cit. p. 103.

embarcaciones sólo se diferenciaban en la forma del aparejo mientras que las estructuras de sus cascos eran idénticas. De hecho, muchas de estas naves podían ir aparejadas de bergantín, de goleta o de bergantín-goleta.

Podemos encontrarnos bergantines contruidos en Baltimore, como el *Numa*, de 1808, que fue vendido a un comerciante francés y renombrado como *Le Pierre Cezar*, y que adquirió una patente de corso. Fue capturado por el *H.M.S. La Seine* a finales de 1808 en las costa española y renombrado en Inglaterra como *Tigress*⁸⁶.

A medida que los bergantines evolucionaron, fueron adquiriendo formas más finas y mayor espacio de carga sin perder velocidad, como el *James Munroe*, considerado un mercante rápido en 1812⁸⁷, o el *Baltimore brigantine, de 1828*⁸⁸.

Otra dedicación de los bergantines fue la del comercio ilegal de esclavos. El bergantín *Diligente*, de 1820, fue capturado y su tripulación condenada por el transporte de esclavos⁸⁹. Navegando con bandera portuguesa, llevaba a bordo 436 esclavos, una tripulación de 22 hombres y 13 pasajeros. Resulta difícil imaginar su situación a bordo. El barco fue vendido a un comerciante americano, quien lo revendió a un comerciante de esclavos por 1.000 libras. Éste lo vendió en 1837 en Cádiz a un comerciante español que lo renombró como *Feroz Africano* y lo vendió a un portugués para dedicarse de nuevo al comercio de esclavos, ya que España había firmado un tratado con Inglaterra en 1835 para eliminar este comercio. Fue apresado por el *H.M.S. Pearl* en 1838 con 478 esclavos a bordo.

⁸⁶ CHAPELLE, H. I. *Op. Cit.* p. 180.

⁸⁷ CHAPELLE, H. I. *Op. Cit.* p. 253.

⁸⁸ CHAPELLE, H. I. *Op. Cit.* p. 298.

⁸⁹ CHAPELLE, H. I. *Op. Cit.* p. 309.

Una variante interesante del bergantín fue el llamado Clipper Brig o bergantín clipper. Como su homólogo, era de líneas más finas para desarrollar sobre todo velocidad. Es el caso del *Baltimore Clipper Brig*, de 1845⁹⁰.

3.7. Los astilleros en el siglo XVIII

El siglo XVIII fue clave para la construcción naval en madera. No se ha creído conveniente hacer un repaso de los diferentes responsables de la Armada y de la construcción naval en dicha época, ya que el interés de esta Tesis está fundamentado en la construcción naval de particulares, de los carpinteros de ribera.



Figura 76 Astillero en Galicia

Estos carpinteros de ribera eran responsables de entregar los barcos contratados con los armadores con unas características concretas y eran sus hábiles manos las que trazaban el modelo, cortaban los árboles en los bosques y montaban pieza a pieza la nave, desde la quilla.

⁹⁰ CHAPELLE, H. I. *Op. Cit.* p. 314.

La carpintería de ribera es el lugar donde se cortan y labran las diferentes piezas que conforman la estructura de los barcos de madera⁹¹. La situación de los astilleros ha sido las riberas del mar o de los ríos, de modo que su botadura fuera más sencilla. Normalmente eran lugares en los que se almacenaba el material y se ejercía la actividad hasta que la embarcación contratada era entregada al armador, momento en el que el lugar recuperaba su estado anterior. Frecuentemente el carpintero de ribera vivía en una construcción cercana al astillero, de modo que su vida familiar y laboral se entrelazaban y los hijos aprendían el oficio de los padres⁹².

Este oficio privado tenía como objetivo botar embarcaciones para el comercio, el corso, el transporte fluvial y la pesca⁹³.

Materiales

Durante el siglo XVIII y parte del XIX los montes y bosques costeros fueron administrados por la Marina Real con el fin de abastecer a la industria naval de entonces⁹⁴. Los robles, principalmente, eran señalados con su marca por personal dedicado a este fin, con el objetivo de seleccionar las maderas más adecuadas; de este modo se convertían los árboles de los montes en "árboles del Rey". Se levantaron planos de la riqueza forestal y se diferenciaron las propiedades particulares de otras, se delimitaron geográficamente y se determinaron las especies⁹⁵. En el ámbito de los carpinteros de ribera eran éstos quienes seleccionaban las maderas más adecuadas y supervisaban su

⁹¹ DE JUAN GARCÍA AGUADO, J.: *Op. Cit.* p. 17.

⁹² DE JUAN GARCIA AGUADO, J.M.: *Op. Cit.* p. 18.

⁹³ ODRIOZOLA OYARBIDE, L.: *Op. Cit.* p. 53.

⁹⁴ DE ARANDA Y ANTÓN, G.: *Los bosques flotantes. Historia de un roble del siglo XVIII.* Ed. ICONA. Madrid, 1984. p. 15.

⁹⁵ DE ARANDA Y ANTÓN, G.: *Op. Cit.* p. 49.

corte, tanto en lo referente a la época más adecuada para hacerlo como en cuanto a la piezas para que su forma definitiva fuera muy parecida, ya que la madera tiene su máxima elasticidad y resistencia en la dirección de las fibras⁹⁶.

En este periodo de mediados del siglo XVIII era el Marqués de la Ensenada quien dirigía los despachos de Marina.

El roble era la especie más buscada para la construcción de quillas y cuadernas así como para las partes importantes de la estructura de las naves, ya que sus buenas características (en cuanto a resistencia a la pudrición y a los cambios de humedad, gran resistencia mecánica y densidad [0'719-0'991]) eran las mejores conocidas hasta entonces.



Figura 77 Maderas para la construcción naval

Los árboles, señalados varios años antes, eran cortados con hacha por varios hombres y se buscaban con gran interés aquellos que tuvieran partes curvas que fueran similares a las plantillas usadas para la construcción en el astillero, puesto que aún no era posible curvar las maderas. Según los expertos, la mejor época para la corta es durante los meses de diciembre, enero y febrero y en la

⁹⁶ DE JUAN GARCÍA AGUADO, J.: *Op. Cit.* p. 22.

fase de la luna menguante, ya que la savia se encuentra en las raíces⁹⁷ y el árbol estará dispuesto a enjugarse después de cortado.

No todos los árboles eran transportados al astillero, sino que algunos quedaban almacenados en tinglados en el monte.

Se transportaban en carretas o a través de los ríos mediante "maderadas". El descortezado se efectuaba en primavera para no perjudicar a la madera exterior.

Una vez que la madera llegaba al astillero se almacenaba en tinglados bajo techo o en fosas llenas de agua de mar, o se enterraban en arena durante 16 meses⁹⁸.

El proceso seguido por los carpinteros de ribera era similar.

Además del roble existieron otros materiales no menos importantes. El pino era ampliamente utilizado. En un navío de 70 cañones del año 1795, por ejemplo, el porcentaje de roble era del 55 %, mientras que el pino sumaba un 38 % del total de la madera⁹⁹. El haya y el cedro eran las 2 especies restantes. También eran utilizados alcornoque, olmo, castaño, nogal, fresno, olivo, alerce, abeto...



Figura 78 Aserrado de las piezas

⁹⁷ DE ARANDA Y ANTÓN, G. Op. Cit. p. 52.

⁹⁸ DE ARANDA Y ANTÓN, G. Op. Cit. p. 56

⁹⁹ DE ARANDA Y ANTÓN, G. Op. Cit. p. 100

En cuanto a los materiales que fortalecen las uniones de las piezas se encuentran clavos, pernos y cabillas, principalmente. Los clavos son utilizados, por ejemplo, para unir las tablas del forro a las cuadernas; los pernos o tornillos, para uniones de más importancia como, por ejemplo, la unión de las cuadernas a la quilla; las cabillas son piezas de madera con forma cilíndrica que se introducen en el taladro que atraviesa las piezas a unir, para dar más solidez a dicha unión.

Otros materiales de acabado son los que forman el calafateo de la nave, como la brea y el alquitrán. Esta actividad es muy antigua y ya existen referencias a la misma en el año 634¹⁰⁰, en una carta de Omar I. El calafateo consiste en rellenar las costuras de las embarcaciones con estopa, algodón o fibra vegetal introduciéndola entre las tablas del forro con la herramienta adecuada y cubriendo después con brea, alquitrán o cemento para así garantizar la estanqueidad de la nave. El Marqués de la Victoria mostraba las herramientas de calafateo en sus láminas.

¹⁰⁰ FERNÁNDEZ DURO, C.: *Tratado de Galafatería y carena de las naos*. Ed. Llagut. Barcelona, 1995. p. 1.



Figura 79 Clavazón en el forro

Fuentes de Energía

Fueron la leña y el carbón las fuentes de energía utilizadas en los astilleros para poder calentar la brea del calafateo o para calentar algún instrumento que lo requiriera. De la primera existían abundantes desechos procedentes de la corta de los materiales.

Herramientas

Estas herramientas eran conocidas por los carpinteros de ribera gracias a que sus antepasados se las habían mostrado o a que fueron introducidas por el avance de las técnicas en la época. Las herramientas de los carpinteros de ribera en poco se diferenciaban de las utilizadas por los carpinteros ordinarios ya que, al fin y al cabo, ambas tenían que trabajar la madera. Una de las principales diferencias era que su calibre había de ser grande debido al tamaño de las piezas con que se construían las naves.

Se ha podido comprobar que las herramientas utilizadas en España por los carpinteros de ribera eran muy parecidas a las utilizadas por los carpinteros de

ribera ingleses en el siglo XVIII¹⁰¹, lo que se puede ver claramente si comparamos la lámina 27 del Álbum del Marqués de la Victoria con la lámina que aparece en el Steel's Rigging and Seamanship, de 1795.

Las herramientas utilizadas se pueden dividir en las siguientes clases:

- Herramientas de medida y trazado, como el escantillón o falsa escuadra, la escuadra y reglas, principalmente.
- Herramientas de corte y desbaste.
- Herramientas de percusión.
- Herramientas de perforación.
- Herramientas de vaciado.
- Herramientas de sujeción.
- Herramientas de calafateo.

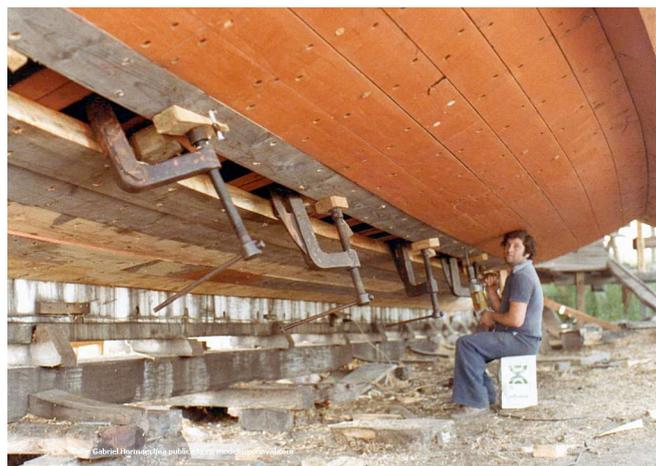


Figura 80 Herramientas diversas

¹⁰¹ DE JUAN GARCÍA AGUADO, J. *Op. Cit.* p. 55.

Uniones

Las diferentes piezas que forman la nave han de unirse para que den la forma definitiva a la misma, y estas uniones han de ser el conjunto más sólido y resistente que pueda lograrse.

Las uniones fijan las piezas en uno o varios sentidos y son reforzadas con clavos y pernos en los sentidos que no sean cubiertos por dicha unión. Cuando estas uniones son empalmes nos encontramos con:

- Unión a tope. Se utiliza para aquellas piezas en las que no existe transmisión de fuerzas de una pieza a otra. Este tipo de unión se utiliza para las piezas del forro y las de cubierta, que se fijan con clavazón a las cuadernas y a los baos.
- Unión a pico de flauta. Utilizada para unir 2 piezas de las mismas dimensiones y para asegurar la continuidad. También se llama *unión a boca de lobo, a flauta o a cuchillo*. Se utiliza en las uniones de la tapa de la regala.
- Unión machihembrada. Utilizada para conseguir una superficie continua, como en los mamparos transversales.
- Unión encoramentada. Se usa para unir 2 piezas de la misma forma con pernos o cabillas. Utilizada para unir las diferentes piezas que forman las cuadernas dobles.
- Unión Rayo de Júpiter o escarpe. Este tipo de unión impide el desplazamiento de las piezas en una dirección. Utilizada para unir las piezas de la quilla, la sobrequilla y la roda. Este tipo de unión es uno de los pocos que pueden verse en planos.

Cuando las uniones son ensambles tenemos:

- Unión endentada. Es un rebaje hecho en la pieza para que encaje en la que va a ser unida. Es muy utilizado para unir las varengas a la quilla y puede verse en los despieces.
- Unión a cola de milano. Impide el movimiento de las piezas en un plano. También se le llama *cola de golondrina* o *cola de pato*. Se utiliza para unir los baos con los durmientes.
- Unión a caja y espiga. Tiene la misma finalidad que la anterior, pero su forma es diferente ya que lleva una cajera. Se suele reforzar con una cabilla. La unión más conocida es la de la quilla con el codaste, aunque los puntales también se unen a la sobrequilla de este modo.
- Alefriz. Esta unión tiene como objetivo que las tablas del forro encajen en la parte superior de la quilla para que dicha unión sea segura. En las partes de proa y popa se efectúa un rebaje en la quilla en ángulo recto y en el resto de la nave a 45°.



Figura 81 Uniones en el codaste



Figura 82 Uniones en la roda

3.8. Estabilidad

La estabilidad ha sido y será el objetivo más importante a conseguir cuando se diseña un barco. Desde el plano hasta la realidad, nada cuenta más que la estabilidad por razones obvias. Se puede suponer que desde los tiempos lejanos en que comenzaron la navegación los humanos se dieron cuenta de la importancia de este asunto y pusieron todos sus esfuerzos en garantizar, aunque fuera de modo empírico, las vidas de las personas que iban a bordo, así como los bienes que llevaran y, por supuesto, la propia nave.

Los principios físicos de la estabilidad hidrostática para cuerpos flotantes fueron por primera vez establecidos por Arquímedes en el año 220 A.C.¹⁰², pero sus ejemplos estaban limitados a formas geométricas simples. Una teoría madura

¹⁰² FERREIRO, L.: *Ships and Science. The birth of naval architecture in the scientific revolution 1600-1800.* The MIT Press. London. 2006. p. 207.

sobre estabilidad en cuerpos tridimensionales, como los barcos, no fue presentada hasta 2.000 años después con la teoría del cálculo infinitesimal.

Por los datos de que se dispone, parece que hasta el siglo XVIII no se tenían suficientes conocimientos para calcular la estabilidad tal y como hoy se sabe. Probablemente los constructores navales, tanto mercantes como militares, utilizaron la experiencia como fundamento para que sus naves surcaran los mares y, por lo que se sabe, lo hacían bastante bien en este sentido. Los constructores portugueses de finales del XVI no sabían mucho de estabilidad, pero sí tenían claro que al situar cargas pesadas en zonas altas de los barcos la estabilidad de los mismos se veía reducida¹⁰³.

Se cree necesario hacer un breve repaso a aquellas personalidades que hicieron posible el estudio de la estabilidad tal y como hoy se conoce.

Simón Stevin fue uno de los pioneros en acercarse al concepto de metacentro. Este ingeniero alemán fue el predecesor de Pascal en las leyes de la presión hidrostática. Demostró que el centro de gravedad y el centro de empuje de un barco están en la misma vertical.

Fue Paul Hoste, en 1697, quien dio los primeros pasos para comprender la estabilidad de los buques.

Euler, en su libro *Meditations Super Problemata Nautico* (Meditaciones en un problema náutico), de 1727, reconoce la necesidad de equilibrar un momento escorante con el apropiado momento adrizante para mantener un ángulo de escora adecuado, pero no pudo llegar a definir dicha fuerza.

¹⁰³ N. FONSECA, T. A. SANTOS, F. CASTRO: *Study of the intact stability of a Portuguese Nau from the early XVII century. Maritime Transportation and Exploitation of Ocean and Coastal Resources. Taylor & Francis Group. London, 2005. p. 846.*

Bouguer, basándose en Arquímedes y en Hoste, demostró que al escorarse un buque el centro de empuje se mueve horizontalmente¹⁰⁴.

Charles Etienne Louis Camus fue, probablemente, más progresista que los dos anteriores en términos de estabilidad hidrostática. Reconoció no poder calcular la estabilidad de un buque concreto, pero sí pudo establecer el criterio de estabilidad para proporcionar reglas en mástiles y velas para diferentes tamaños de buques¹⁰⁵.

Cesar Marie de La Croix presentó entre 1732 y 1734 una teoría en la que se describen conceptos importantes como que el centro de gravedad y el centro de empuje son iguales y opuestos, descubrió el centro de empuje y lo llamó *hipomoclion* y descubrió, sin cuantificar, la altura máxima del centro de gravedad por encima del cual el cuerpo da la vuelta¹⁰⁶. Esto corresponde al metacentro de Bouguer.

Euler, en 1749, publica *Scientia Navales*. En él se pueden encontrar conceptos de Arquímedes, la magnitud de la fuerza de empuje en la que describe que para que exista el equilibrio, el empuje y el peso deben actuar en la misma vertical y ser iguales en magnitud pero opuestas en dirección. Además, trata conceptos en torno a la estabilidad como el momento adrizante, pero no llega a nombrar el metacentro.

Fue Pierre Bouguer, en 1732, quien introdujo el concepto de metacentro¹⁰⁷. Lo muestra en el Libro II de su obra *Traité du Navire*. Bouguer utiliza el metacentro como el criterio inicial de estabilidad y lo hace a través de un argumento geométrico en el que demuestra lo siguiente:

¹⁰⁴ FERREIRO, L.: *Op. Cit.* p. 215.

¹⁰⁵ FERREIRO, L.: *Op. Cit.* p. 215.

¹⁰⁶ FERREIRO, L.: *Op. Cit.* p. 219.

¹⁰⁷ FERREIRO, L.: *Op. Cit.* p. 222.

- El centro de gravedad del buque (g) está siempre en la misma línea vertical que el centro de empuje (Γ) pero esta geometría no es constante debido al movimiento del buque. Si el buque tiene un centro de gravedad muy alto (I) y se mueve tan sólo un poco, el nuevo centro de empuje tenderá a hacerlo más inestable por su mayor distancia y porque está en el lado opuesto, mientras que si el centro de gravedad está más bajo el barco tiende a ser más estable.
- El metacentro es el término que define la altura que debe tener como máximo g .

Bouguer calculó el metacentro para varios tipos de GM, o distancia del centro de gravedad al metacentro, y mostró que cuanto mayor es la manga más estable es la nave. Sus teorías se pusieron en práctica tras la publicación de su obra en 1746 y se pudieron aplicar en la construcción de buques y en el cálculo para validar la estabilidad en buques existentes. Sus conocimientos se aplicaron rápidamente en Francia, Dinamarca, Suecia y España.

Para finalizar con este repaso de los personajes que han influido a lo largo del tiempo se hará un breve repaso de la llegada del metacentro a España.

Parece ser que la teoría de la estabilidad no fue utilizada en España de forma rutinaria hasta 1780¹⁰⁸. El cálculo de la estabilidad fue apareciendo en los planos progresivamente después de una Ordenanza con fecha de 1776.

No es objeto de esta Tesis tratar la estabilidad transversal, pero sí se considera interesante dar algunas "pinceladas" antes de seguir con este capítulo. En cuanto a la estabilidad longitudinal se hace necesario comentar que en los veleros siempre se calculó de modo empírico y depende más de la distribución

¹⁰⁸ FERREIRO, L.: *Op. Cit.* p. 244.

de los mástiles y las velas que de la forma del barco y la distribución de la carga.

La estabilidad transversal se refiere a los balanceos que da el barco por la acción de las olas, del viento o de ambos. Para estudiarla hay que tener conocimientos de física en lo referente, sobre todo, a momentos, pares, fuerzas... Lo que hace que un barco se escore y vuelva a su posición es un brazo de un par de fuerzas positivo, mientras que si este valor es negativo el barco tenderá a volcar o zozobrar. Este valor se conoce como altura metacéntrica o GM.

Los barcos mercantes han tenido y tienen el problema del corrimiento de la carga como el principal aliado del momento negativo, mientras que en los barcos de guerra existía el aliado de la entrada de agua por las portas de la artillería. Este fue un problema importante durante siglos, ya que para evitar la entrada de agua por las portas se situaban los cañones muy por encima de la línea de flotación; esto hacía que el centro de gravedad subiera y se comprometiera la estabilidad, por lo que era necesario lastrar el fondo de la bodega para compensarlo. Para que la estabilidad transversal de una nave sea buena el centro de gravedad debe estar situado, aproximadamente, a la altura de la línea de flotación. Con las portas abiertas la escora máxima ya no depende del valor del metacentro, sino de la altura de las mismas sobre el agua. Las naves de 16 codos de manga tenían dichas portas situadas a 1'15 m por encima del agua¹⁰⁹, lo que suponía que para diferentes mangas había diferentes valores máximos de escora para evitar que entrara agua:

¹⁰⁹ RUBIO SERRANO, J. L.: *Arquitectura de las naos y galeones de las flotas de Indias (1590-1690)*. Tomo II. Ediciones Seyer. p. 61.

- Nave de 12 codos de manga (6´90 m): 20º de escora máxima.
- Nave de 16 codos de manga (9´20 m): 15 º de escora máxima.
- Nave de 22 codos de manga (11´50 m): 11º-12º de escora máxima.

Como ya se ha dicho, si se quería aumentar el puntal había que poner más lastre, lo que haría una nave pesada y lenta de maniobra, nada peor para la guerra. Ya Garrote decía: "(...) y *discurrieron los artífices, el darle más puntal y con estas enmiendas quedará en baxel que necessite un huracán de viento para menearse (...)*". La solución era cerrar las portas bajas, es decir, la artillería gruesa, con viento fuerte de través.

Otra característica importante es la forma del gálibo, ya que determina dónde va a estar el centro de la carena. En naves de forma rectangular, la distancia desde la quilla hasta el centro de la carena es de 0´5¹¹⁰, con forma semicircular es de 0´6 y con forma "fina" es 0´7. Estos valores son aproximados. Las naves de los siglos XVI y XVII se ajustaban a la forma semicircular.

Por último, si el valor del momento de fuerzas es grande la nave tiende a volver muy rápidamente a su estado inicial y se dice que es "rígida"; los balances son muy bruscos y la vida a bordo es incómoda. Si, por el contrario, el valor de ese momento de fuerzas es pequeño, el balanceo es más suave pero el barco podría llegar a volcar con más facilidad que el anterior.

Los veleros necesitan de una mayor altura metacéntrica para compensar la escora que les genera el empuje del viento. Un valor típico del siglo XVIII en veleros de 600 a 1.000 toneladas era de 1´5 a 2 metros.

En el siglo XVII ya había algunas referencias a la estabilidad. En el libro *Arquitectura de las Naos y Galeones de las Flotas de Indias*, cuando trata las

¹¹⁰ RUBIO SERRANO, J. L.: *Op. Cit.* p. 157.

ordenanzas de 1607, dice que se dio orden para que se pusieran marcas de hierro tanto en el branque como en el codaste para que no se excedieran de carga¹¹¹. También Tomé Cano dice en su libro *Arte para fabricar Naos*: "(...) cuenta y medida de las que deven tener las naos para su buena proporción, mejor y mas seguro navegar y aprovechamiento del dueño (...)".

En el siglo XVIII, como ya se ha dicho, Pierre Bouguer estableció las bases de la estabilidad inicial en su obra *Teoría del buque*, publicada en 1746, donde estableció que era la distancia entre el metacentro transversal y el centro de gravedad (es decir, lo que conocemos como altura metacéntrica o GM) el parámetro que la determinaba.

Romero Landa, por su parte, formó parte de los programas de pruebas de mar establecidos para conocer las naves en condiciones reales de navegación, así como para determinar si dichos barcos podrían servir como prototipo para futuras construcciones. Estas pruebas de mar se efectuaban en barcos de la Armada. Las pruebas de mar se realizaban durante la primera navegación del buque y se armaba y equipaba totalmente. Después de dichas pruebas se emitía un informe al Director de Construcciones de la Armada.

Las pruebas que se realizaban eran de velocidad, en diferentes posiciones y con vientos de diferente intensidad, y pruebas de gobierno con viradas por adelante y en redondo; esta última era importante debido a que evaluaba la capacidad de respuesta de la artillería. Había, además, una prueba de carga con el objetivo de alcanzar la línea de flotación que indicaba el plano. Asimismo, se hacían pruebas de comparación entre varias naves. Se ha podido comprobar que los

¹¹¹ RUBIO SERRANO, J. L.: *Op. Cit.* p. 51.

bergantines llamados *Gargo* y *Cazador*, ya tratados en esta Tesis, participaron en una prueba de comparación, en 1788, con otros tipos de embarcaciones.

Chapman utilizó el método del metacentro para el cálculo de la estabilidad en los buques mercantes a finales del siglo XVIII¹¹².

En 2005, N. Fonseca, T. A. Santos y F. Castro publicaron un estudio de la estabilidad sobre un navío portugués del siglo XVII hundido en Portugal, cerca de Lisboa, basándose en técnicas modernas y aplicando criterios de estabilidad actuales¹¹³. Pudieron constatar algunos datos interesantes que se muestran a continuación:

- El peso del casco es el 30% del desplazamiento total.
- Calcularon un centro de gravedad sumando todos los pesos de a bordo.
- Calcularon una altura metacéntrica de 1´4 m.
- El barco cumplía con los criterios de estabilidad modernos.

3.9. Comportamiento estructural

Como ya sabemos, básicamente, una nave consta de una quilla unida a las cuadernas que están fijadas a ésta y se curvan hacia arriba para dar al barco su forma y del forro fijado a las cuadernas que impide la entrada de agua. La quilla está constituida por grandes vigas de madera, unidas por pernos y pasadores. El forro está compuesto de tablas de madera, cuya estanqueidad se consigue calafateando las juntas con algodón o estopa impregnados en compuestos de alquitrán o sebo. El peso de la nave lo resiste todo el casco a través del empuje hidrostático. Es la unión quilla-cuadernas la que proporciona la rigidez al barco. Hasta mediados del siglo XIX la madera fue el único material

¹¹² CHAPELLE, H.: *Op. Cit.* p. 212.

¹¹³ N. FONSECA, T. A. SANTOS, F. CASTRO: *Op. Cit.* p. 848.

empleado en la construcción de cascos y estructura de los buques. Más ligera que el agua y muy resistente en relación con su peso específico, presenta grandes dificultades de ensamblaje, por lo que las dimensiones de los mayores buques de la época tuvieron un límite entre los 60 y los 70 metros de eslora.

No hay constancia de cálculos estructurales en la época del bergantín en estudio. Si que se tiene constancia, como ya se ha dicho, de las pruebas de mar que se efectuaban a los buques de la Armada pero no tienen el mismo objetivo.

A principios del siglo XX, Richard Edler Von Mises, físico austro-húngaro, hizo investigaciones en mecánica de sólidos y sus teorías son hoy en día las más utilizadas en el cálculo de estructuras en ingeniería naval. La tensión de Von Mises es una magnitud física proporcional a la energía de distorsión¹¹⁴. En ingeniería estructural se usa en el contexto de las teorías de fallo¹¹⁵ como indicador de un buen diseño para materiales dúctiles. Puede calcularse mediante la expresión:

$$\sigma_{VM} = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2}}$$

$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ son las tensiones principales.

Como se considera al buque como una viga, la fórmula de Von Mises para este caso sería:

¹¹⁴ La energía de deformación es el aumento de energía interna acumulado en el interior de un sólido deformable como resultado del trabajo realizado por las fuerzas que provocan la deformación.

¹¹⁵ Se utilizan para determinar los esfuerzos permisibles en estructuras o componentes de máquinas. Se utilizan diversas formulaciones, dependiendo del tipo de material que se utiliza.

$$\begin{cases} \sigma_1 = \frac{\sigma_x + \sqrt{\sigma_x^2 + 4(\tau_{xy}^2 + \tau_{xz}^2)}}{2} \\ \sigma_2 = 0 \\ \sigma_3 = \frac{\sigma_x - \sqrt{\sigma_x^2 + 4(\tau_{xy}^2 + \tau_{xz}^2)}}{2} \end{cases}$$

quedando entonces:

$$\sigma_{VM} = \sqrt{\sigma_x^2 + 3(\tau_{xy}^2 + \tau_{xz}^2)} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}$$

Asimismo, se ha considerado que la madera tiene un comportamiento elástico en las 3 direcciones del material por lo que se puede aplicar el criterio de Von Mises. La madera es un material anisótropo y no lineal (ni plástico ni elástico) por lo que ha sido necesario simplificar e ir a unas propiedades mínimas y poderse estudiar de un modo práctico. De hecho, las sociedades de clasificación tratan la madera como un material dúctil.

En la actualidad el diseño de buques se hace efectuando los cálculos estructurales de manera previa de modo que se obtienen las secciones de las piezas de un modo óptimo para las condiciones a las que van a ser sometidas.

En esta Tesis se va a analizar el comportamiento estático y dinámico de la estructura del bergantín con las piezas que lo forman.

Como ya se ha comentado, a efectos estructurales, el buque es considerado como una viga. Para que el cálculo tenga sentido físico es necesario que dicha viga se apoye en 2 puntos (bi-apoyado) para que se considere isostático. El primer punto se podría ubicar en la popa, a la altura de la flotación, y con este punto solamente existiría un movimiento de rotación sobre dicho punto. El

segundo punto, situado en la proa y a la misma altura, ya no permitiría la rotación y en ese momento la viga queda definida y el único movimiento sería el de flexión-tracción, es decir, la viga puede "encogerse" solamente y esto genera tensiones. Podría pensarse que las ligaduras varían en cada caso de carga pero no es así. Se considera que las olas pasan por el barco independientemente de cómo esté el barco cargado. El barco no está en equilibrio y las cargas son mayores que las estáticas. El hecho de no mover los puntos de empotramiento es simplemente porque se somete al barco a mayores exigencias estructurales que si se equilibrasen las fuerzas. El barco tiene cargas verticales y carga de ola, se comprime con la ola. Las cargas son perpendiculares a la forma de barco y es así más próximo a la realidad.

Las tensiones que se generan son las correspondientes a los 3 ejes: proa-popa (eje X), babor-estribor (eje Y) y quilla-cubierta (eje Z). Las tensiones del eje X son las más significativas y son las que más cargan el barco (viga). El análisis estructural pasa por observar las tensiones del eje X, también conocidas como Tensiones S_x . La unidad de medida de estas tensiones son Mpa (10^6 pascales). Si estas tensiones son positivas entonces estaremos hablando de tracción y si son negativas serían compresión.

Una vez analizadas las tensiones es entonces cuando se lleva a cabo el análisis Von Mises que nos dará una idea del fallo elástico de los materiales. El límite elástico de la madera de roble es de 25 Mpa y su comportamiento es lineal. El límite de rotura de la madera de roble es de 60 Mpa. El cálculo se hace sobre el valor del límite elástico ya que la madera no tiene un comportamiento elástico ideal y se sabe que una vez que sobrepasa el límite elástico sufre roturas y no

vuelve a su estado anterior. El uso del criterio de Von Mises es suficiente para los objetivos de la tesis.

Por último, es necesario saber los siguientes datos:

- Debido a que no ha sido objeto de estudio de esta tesis la arboladura no se han incluido las estructuras de la misma por lo que no existirán fuerzas procedentes de dicha estructura.
- El modelo es sólo indicativo, aproximado y es utilizado sabiendo que los resultados no serán reales pero si ofrecen una idea de la distribución de las tensiones. Todo modelo basado en software FEM es tan solo 100% comparable a la realidad en función de que el modelo geométrico, las propiedades mecánicas y la condiciones de contorno (restricciones y cargas) sean las reales. Como esto es imposible, el modelo es indicativo. Los estudios FEM se acercan a valores más aproximados que los cálculos típicos buque-viga que consideran solo la cuaderna maestra y unos momentos flectores en mar plana y luego se introducen coeficientes diversos. El estudio basado en FEM da una idea de que el bergantín tiene la resistencia estructural suficiente.
- No se ha tenido en cuenta el juego relativo que existe entre las piezas ya que éstas se unen en la realidad mediante tornillería, pernos, encajes... y en el modelo se considera que van perfectamente unidas (cosidas). Muchas de esas uniones transmiten las fuerzas entre piezas igual que si estuvieran perfectamente unidas.
- No se ha pretendido modelar ni la anisotropía de la madera ni la flexibilidad de las uniones ni la asimetría de las cargas en la mar.

- Se han tomado decisiones para simplificar el problema y buscar datos sobre el comportamiento estructural del bergantín y aportar a esta tesis un nuevo punto de vista de dicho comportamiento.

3.10. Arqueo

Durante el siglo XVIII hubo muchos cambios de gran importancia para la construcción naval que hicieron que esta industria se desarrollara de un modo más racional, ya que se aprovecharon los conocimientos de mecánica y la construcción en serie de buques¹¹⁶, lo cual conllevó el abaratamiento en los costes de producción. Esto, que ocurrió en la marina de guerra, posiblemente fue, como tantas otras veces, seguido por la marina civil en unos pocos años.

Estos cambios se desarrollaron dentro de un contexto político cambiante y dentro de unas directrices diferentes dependiendo de quién fuera el organizador. Los conocimientos fueron variados ya que sus dirigentes procedían de escuelas diferentes.

A continuación se pueden ver un resumen de dichas etapas:

Etapas de Tinajero y Gaztañeta

En 1713 nace el primer plan de construcción naval para reconstruir la Marina de Guerra¹¹⁷. Dicho plan fue elaborado por Tinajero cuando era Secretario de Marina y no fue llevado a cabo. El autor de los proyectos de este plan fue Gaztañeta, quien fue nombrado en 1702 Superintendente General de los Astilleros de Cantabria. La construcción de buques siguiendo las normas de Gaztañeta se conoce como "construcción a la española".

¹¹⁶ DE JUAN GARCÍA AGUADO, J. M.: *Op. Cit.* p. 16.

¹¹⁷ DE JUAN GARCÍA AGUADO, J. M.: *Op. Cit.* p. 16.

Etapas de El Marqués de la Ensenada y Jorge Juan

En 1743 Zenón de Somodevilla, Marqués de la Ensenada, es nombrado Secretario de Marina, Hacienda, Guerra e Indias. En 1748 manda a Jorge Juan a Inglaterra en una misión de espionaje industrial¹¹⁸ con el objetivo, entre otros, de contratar técnicos competentes y conocer las técnicas inglesas de construcción naval. En 1751 se traza el plan para la Marina en el que se cuantifican los buques a construir y se establecen pruebas de mar. En 1752 Jorge Juan organiza una Junta de Constructores, pero 2 años más tarde cae el Marqués de la Ensenada y Jorge Juan le sigue. La construcción de buques según la Junta de Constructores recibe el nombre de "construcción a la inglesa".

Etapas de Gautier

En 1765 llega a España Gautier procedente de Francia para implantar en los astilleros españoles las técnicas francesas y para unificar las Armadas española y francesa¹¹⁹. En 1769 Gautier fue nombrado Director General de Construcciones y Carenas y un año después se crea el Cuerpo de Ingenieros de Marina.

Etapas de Romero Landa y Retamosa

En 1782 Gautier presenta la dimisión y se nombra a José Romero Fernández de Landa Ingeniero Director. En 1786 se le nombra Ingeniero General de Marina. En 1807 cesa y sus proyectos son modificados por Retamosa.

¹¹⁸ DE JUAN GARCÍA AGUADO, J. M.: *Op. Cit.* p. 19.

¹¹⁹ DE JUAN GARCÍA AGUADO, J. M.: *Op. Cit.* p. 21.

Estas etapas, que son la parte técnica de los avances, fueron complementadas con reglamentos y órdenes ya desde principios del siglo XVII, como las de 1603, 1607, 1613 y 1618. En 1691 Antonio Garrote escribió una recopilación de proporciones con el objetivo de definir un buque para la Carrera de Indias. Garrote clasificó los bajeles en 6 órdenes y estableció, siguiendo la Ordenanza de 1613, la manga como el módulo dimensional básico¹²⁰. En este proyecto el autor unifica los buques de guerra y mercantes, que habían recibido trato diferente hasta entonces en las Ordenanzas. Garrote expresa que dichos conocimientos son accesibles a cualquier carpintero de ribera.

En 1721 se mandó cambiar la normativa de construcción al tratado de Gaztañeta, hasta que se elaboró una nueva en la Junta de Constructores de 1752 con el Marqués de la Ensenada y Jorge Juan. Una novedad importante fue la inclusión de figuras de piezas a escala que quizás tenga un origen francés ya que el Álbum de Colbert de 1677 incluye el despiece de un navío con piezas dibujadas a escala. Otra referencia pudiera ser el manuscrito del Marqués de la Victoria de 1719 a 1756. En 1769, Gautier publica un Reglamento que sigue los esquemas de la Junta de Constructores de 1752.

En 1784 Romero Landa publica el último Reglamento del siglo XVIII, al que se ha hecho referencia en diversos momentos de esta Tesis.

Normas de arqueo vigentes en el siglo XVIII

Unidades de medida

Las unidades de metrología utilizadas en construcción naval en los siglos XVI y XVII fueron:

¹²⁰ DE JUAN GARCÍA AGUADO, J. M.: *Op. Cit.* p. 40.

- Longitud:
 - Vara castellana = 3 pies = 4 palmos = 48 dedos = 0'8359 m.
 - Codo del cantábrico, codo de ribera o codo real = 0'57468 m.
 - Codo ordinario o codo castellano = 0'55726 m.
- Volumen:
 - Tonel macho (Cantábrico) = 1'5183 m³
 - Tonelada de carga (Sevilla) = 1'3844 m³

Las unidades utilizadas en el siglo XVIII fueron:

- Longitud:
 - Pie castellano = 0'2786 m.
- Peso:
 - 1 libra castellana = 16 onzas = 460 gramos.
 - 100 libras = 1 quintal.
 - 20 quintales = 1 tonelada.
- Volumen:
 - El codo cúbico de ribera.
 - Tonelada de arqueo = 8 codos cúbicos = 64 pies cúbicos de ribera.

Estos conocimientos se originaron varios siglos antes, por lo que se ha considerado importante hacer un repaso cronológico. Desde los comienzos de la navegación se han clasificado los barcos de acuerdo con la cantidad de carga que podían transportar. El porte de las naves se expresaba en toneles desde el siglo XIV por lo menos¹²¹. El Rey Pedro IV escribe en 1353: "(...) eran dos naos

¹²¹ RUBIO SERRANO, J. L.: *Arquitectura de las naos y galeones de las flotas de Indias (1492-1590)*. Tomo I. Ediciones Seyer. p. 101.

de Castilla, e la una era de Castro Urdiales, que decian la Rosa de Castro, que era de doscientos toneles (...).”

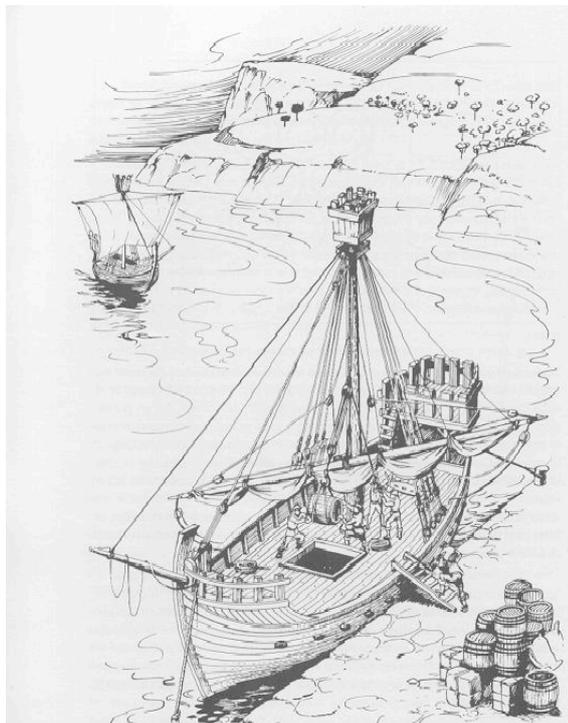


Figura 83 Nave vasco-cántabra del siglo XIII

En un asiento del Consejo de Indias (1493) se tasa una nao de Artieta en 1.000 toneles¹²² con el objetivo de pagar el sueldo. Ya existían diferencias de 200 toneladas entre armador y tasadores.

¹²² RUBIO SERRANO, J. L.: *Op. Cit.* p. 166.

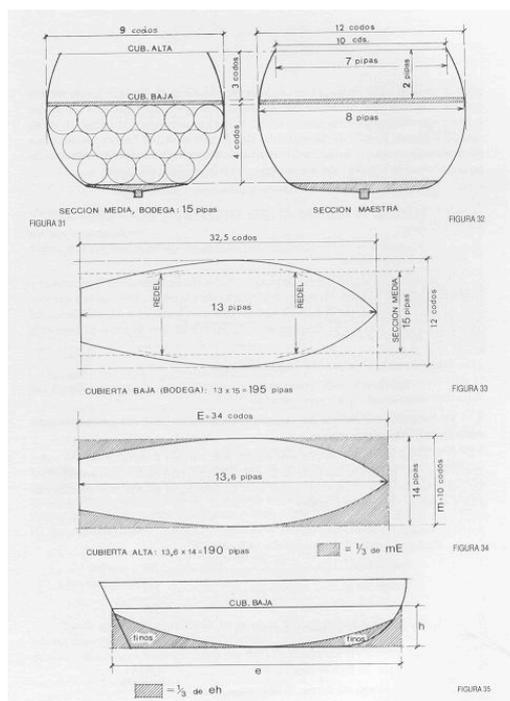


Figura 84 Volumen de las naves calculado con pipas

El libro *Despacho de Armadas* (1496) relata que dos pipas de Castilla hacen el volumen de un tonel. Escalante de Mendoza relata en su *Itinerario de Navegación*, de 1575¹²³, que las naves se clasificaban por la cantidad de carga. Durante los siglos XV y el XVI se calculaba la capacidad por el número de pipas¹²⁴ que cabía en sus bodegas. Existe un documento de 1555 que trata del arqueo de una carabela llamada *Los Tres Reyes Magos* en el que constan dimensiones de las pipas efectuadas por 2 arrumadores¹²⁵ de Sevilla y en el que, siguiendo los razonamientos de J. L. Rubio Serrano, de quien se toman las figuras que siguen, se puede descubrir una diferencia en la capacidad de las pipas. A principios del siglo XVII Tomé Cano utiliza la expresión *tonelada*.

¹²³ RUBIO SERRANO, J. L.: *Op. Cit.* p. 98.

¹²⁴ Las pipas eran barricas o toneles de madera usados como recipientes para transporte de mercancías y se referían, en la mayoría de los casos, a la pipa castellana. Fabricadas en Sevilla, con una capacidad de unos 436 litros.

¹²⁵ Estibadores.

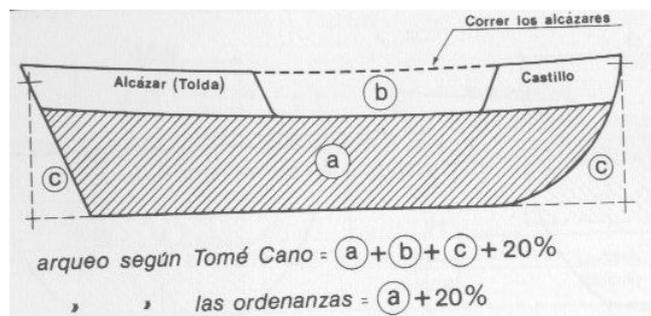


Figura 85 Arqueo de Tomé Cano y las Ordenanzas

La fórmula de Tomé Cano para el arqueo era sencilla:

$$\text{Arqueo} = \frac{M * H}{2} \text{ M: Manga; H: Puntal.}$$

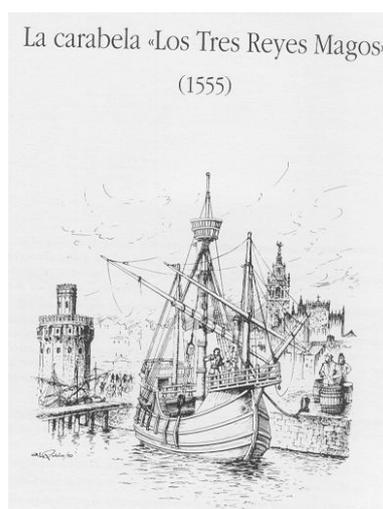


Figura 86 Carabela Los Tres Reyes Magos

En 1575 se utilizó el “Trazado por el quinto”, que puede considerarse el precursor del actual sistema métrico decimal¹²⁶ y fue utilizado por Escalante de Mendoza. Juan de Veas introduce en 1590 las “Proporciones de base dieciséis” y éstas son adoptadas en las Ordenanzas de 1607, 1613 y 1618.

Fue ya en la segunda mitad del siglo XVI cuando se utilizaron las dimensiones del buque para hacer un cálculo del volumen del mismo¹²⁷. Un método muy sencillo estaba basado en aplicar la siguiente fórmula para el cálculo del volumen:

¹²⁶ RUBIO SERRANO, J. L.: *Op. Cit.* p. 157.

¹²⁷ RUBIO SERRANO, J. L.: *Op. Cit.* p. 169.

$$Volumen = \frac{MH(Q + E)}{4}$$

M: Manga máxima.

H: Puntal en la cubierta más alta.

Q: Quilla.

E: Eslora.

Debido a que las dimensiones de las naves se medían en *codos*, el resultado de esta fórmula será en *codos cúbicos*, por lo que para obtener el resultado en toneladas es necesario dividir por 8, con lo que la fórmula queda:

$$Volumen = \frac{MH(Q + E)}{32}$$

Se muestra a continuación un ejemplo. En una nave del siglo XV, cuyas proporciones son las de "As-Dos-Tres" y se conoce la eslora y el puntal:

- Eslora, 60 *codos* y puntal, 16 *codos*. Medir la quilla es complicado, ya que está sumergida, por lo que se utiliza el método siguiente: puesto que la nave está construida siguiendo el método As-Dos-Tres, una nave de 60 *codos* tendrá 20 de manga y 40 de quilla, es decir, la quilla es 2/3 de la eslora. Si ahora se aplica la fórmula anterior para calcular el arqueado, resulta:

$$Volumen = \frac{20 * 16(60 + 40)}{32} = 1000 \text{ toneles.}$$

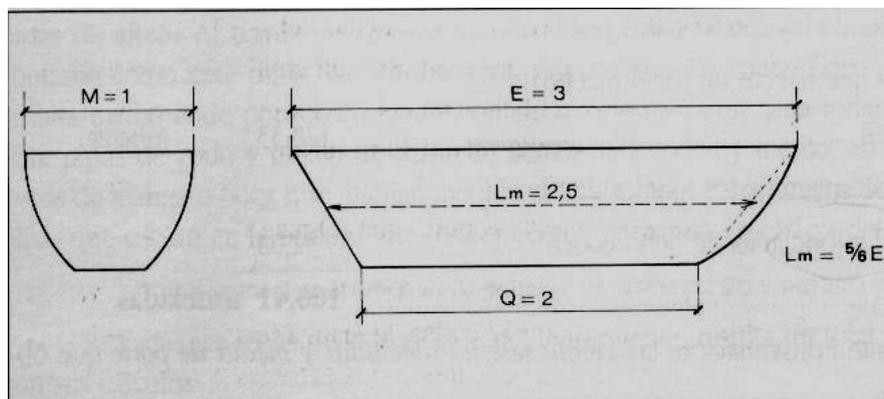


FIGURA 37

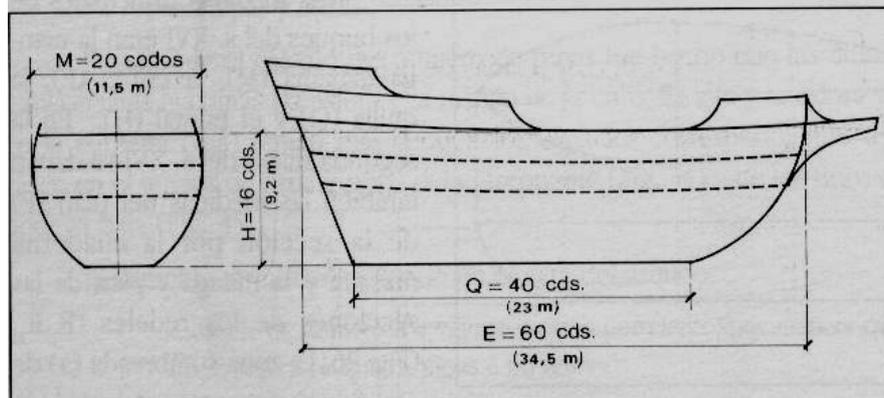


Figura 87 As-Dos-Tres

Sobre una nave conocida, la carabela *Los Tres Reyes Magos*, vista anteriormente y en la figura 4, se calcula su arqueo por este método:

M: Manga = 12 codos.

H: Puntal = 7'5 codos.

Q: Quilla = 23 codos.

E: Eslora = 34 codos.

$$\text{Volumen} = \frac{12 * 7,5(34 + 23)}{32} = 160'3 \text{ toneles.}$$

Cristóbal de Barros (1570) hizo un estudio de los diferentes modos de arqueo utilizados en España¹²⁸. El autor propuso la fórmula siguiente:

$$\text{Volumen} = \frac{1/2 M \left(\frac{1/2 M + Hnm}{2} \right) * E}{8} * 1.14$$

¹²⁸ RUBIO SERRANO, J. L.: *Op. Cit.* p. 171.

M: Manga máxima.

Hnm: puntal desde el soler hasta el nivel de la manga máxima.

E: eslora.

Valores de la tonelada a lo largo de los siglos:

- Desde 1496 hasta 1550:
 - Tonel macho castellano = 1 '385 m³
 - Tonel macho grande = 1 '730 m³
 - Toneladas: no eran medida de volumen en esta época, sino que se referían a toneladas de sueldo.
- Desde 1550 hasta 1590:
 - Tonelada = 1 '385 m³
 - Tonelada de Vizcaya = 1 '650 m³
- Desde 1590 hasta 1618:
 - Toneles machos y toneladas = 1 '518 m³
- Desde 1618 en adelante:
 - Toneladas = 1 '518 m³

Antes del siglo XVIII las naves de la Armada se clasificaban por su volumen de casco, pero en este siglo se comienzan a clasificar contabilizando el número de cañones y se establecieron como: 100 o más cañones, *de primer orden*; 90 cañones, *de segundo orden*; 74 cañones, *de tercer orden*; etc¹²⁹.

El arqueo de los buques durante el siglo XVII y buena parte del XVIII se regía por las Ordenanzas de 1613 y 1618¹³⁰. El método utilizado hasta entonces daba

¹²⁹ RUBIO SERRANO, J. L.: *Op. Cit.* p. 98.

¹³⁰ DE JUAN GARCÍA AGUADO, J. M.: *Op. Cit.* p. 57.

como resultado un arqueo mayor y perjudicaba a la Hacienda a la hora de pagar los sueldos y fletes de los buques del Rey.

Para calcular el arqueo es necesario conocer los valores de la manga, puntal, eslora, quilla y plan. El arqueo es calculado por uno de los 3 métodos establecidos en las Ordenanzas y cuyo resultado es el mismo valor.

Como se ha visto, las dimensiones de los buques pertenecientes a la Armada y de los buques mercantes difieren.

En la siguiente figura podemos ver dichas diferencias en un galeón del siglo XVII.

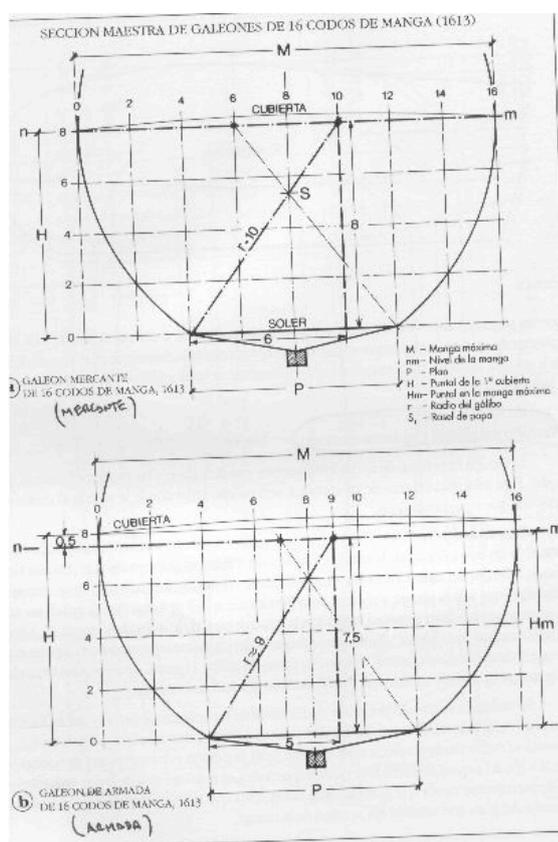


Figura 88 Sección de la cuaderna maestra en buques de la Armada y mercantes

En las Ordenanzas de 1613 el arqueo de todas las naves corrige la forma anterior de arquear y se impone un cálculo en el que se introducen la semisuma de quilla y eslora.

Se establecen 3 métodos para arquear:

Método 1. Naves con el plan igual a la mitad de la manga

Se resta el 5% por descuentos internos del casco y se añade el 20% para compensar el volumen entre cubiertas en naves con más de una cubierta, o el alcázar y castillo para naves de una cubierta.

Para naves de una sola cubierta, como los pataches, la fórmula es:

$$Volumen = 0.95 \frac{MH(Q + E)}{32}$$

Para naves con más de una cubierta, o una cubierta con alcázar y castillo:

$$Volumen = 1.14 \frac{MH(Q + E)}{32}$$

Método 2. Naves con el plan menor que la mitad de la manga

Para naves de una sola cubierta, como los pataches, la fórmula es:

$$Volumen = 0.95 \frac{H(Q + E)(M - \frac{1/2M - P}{2})}{32}$$

Para naves con más de una cubierta, o una cubierta con alcázar y castillo:

$$Volumen = 1.14 \frac{H(Q + E)(M - \frac{1/2M - P}{2})}{32}$$

Método 3. Naves con el plan mayor que la mitad de la manga

Poco frecuentes (urcas, por ejemplo). Además de estos modos existía un modo "general" en el que se incluyen todo tipo de naves:

Para naves de una sola cubierta, como los pataches, la fórmula es:

$$Volumen = 0.95 \frac{H(Q + E)(3/4M + 1/2P)}{32}$$

Para naves con más de una cubierta, o una cubierta con alcázar y castillo:

$$Volumen = 1.14 \frac{H(Q + E)(3/4M + 1/2P)}{32}$$

Ejemplos teniendo en cuenta que las naves, en su gran mayoría, tenían el plan igual a la mitad de la manga (Método 1):

Para un patache con: Manga= 8, Puntal = 3´75, Quilla= 28 y Eslora = 33´75:

$$Volumen = 0.95 \frac{8 * 3.75 * 61.75}{32} = 55 \text{ toneles.}$$

Para un galeón de dimensiones: Manga = 17, Puntal = 8´5, Quilla = 46 y Eslora= 58´75:

$$Volumen = 1.14 \frac{17 * 8.5 * 104.75}{32} = 539´23 \text{ toneladas.}$$

La Norma 18 dice que el arqueado del galeón de la Armada de 17 codos de manga es un 3% mayor que el de un mercante.

$$\text{Arqueo galeón Armada} = 539´23 * 1´03 = 555´40 \text{ toneladas.}$$

Además, puede consultarse este dato del arqueado en tablas sin tener que calcularlo. Según las tablas de las Ordenanzas de 1613, da 555 toneladas.

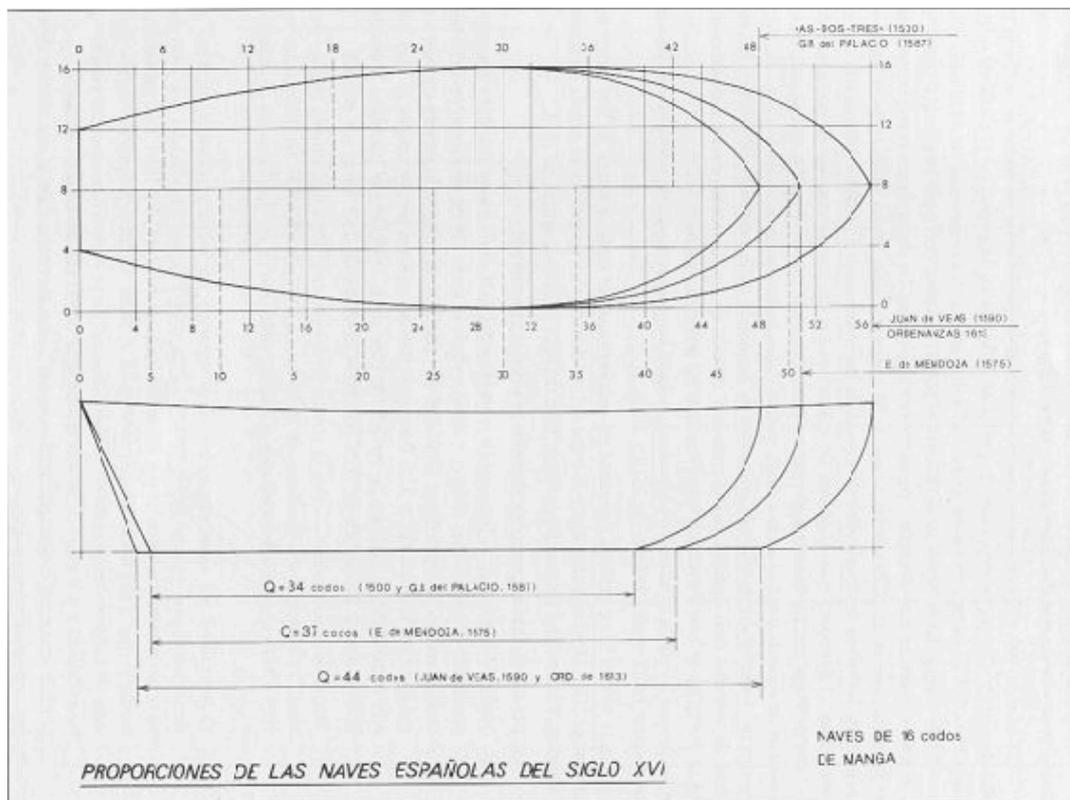


Figura 89 Proporciones en el siglo XVI

Las Ordenanzas de 1618 sustituyeron a las de 1613 y no diferenciaban entre las navíos mercantes y las de la Armada en lo referente al trazado del gálibo. En esta época se habla ya de *navíos* y no de *galeones*. Los navíos siguen teniendo el plan igual a la mitad de la manga, por lo que el cálculo del arqueado se hace por el Método 1 y se les añade el 3% a los navíos de 9 y 10 codos de manga.

$$Volumen = \frac{MH(Q + E)}{32}$$

Para el resto de navíos:

$$Volumen = 1.14 \frac{MH(Q + E)}{32}$$

