

TECNICAS APLICADAS A LAS MADERAS PARA SU USO NAVAL: DESARROLLO HISTÓRICO EN ESPAÑA.

AUTOR: G. DE ARANDA

DIRECCIÓN: Ministerio de Medio Ambiente.

RESUMEN

La arquitectura naval en madera tuvo su máximo esplendor en el siglo XVIII. Los ingenios construidos alcanzaron en el navío de línea las máximas prestaciones marineras, además, de ser instrumentos de importancia estratégica para las naciones como protectores del comercio y desarrollo de la economía. La industria y la tecnología que gira alrededor de la construcción naval tiene una componente forestal de la mayor importancia, arrancando desde los métodos selvícolas de aprovechamiento de carácter dendromórfico en la selección de los árboles, a los procedimientos de corta y extracción en el monte, pasando por la tarificación de la madera según despieces y destinos. Otro aspecto es el que se deriva de los tratamientos físico químicos a las maderas para su conservación en el medio marino, y su puesta en obra mediante ligazones y ensamblados. Las Ordenanzas y los Reglamentos abarcan aspectos que van desde la ordenación de los montes de la Marina, a la organización del proceso de producción en el astillero. En la física de las maderas para uso en la arquitectura naval se estudian y analizan desde una visión técnica actual, su comportamiento estructural (porosidad, peso específico, resistencia al rozamiento, etc.). En cuanto al destino de las maderas en el diseño naval, se adjudican diferentes procedencias tanto en frondosas como en coníferas de Europa, América y Filipinas.

Los aspectos de protección y de tratamiento de las maderas contra los agentes xilófagos, son estudiados en el trabajo con los conocimientos y medios de la época. Por último, el comportamiento hidrodinámico de las maderas en la geometría de navío contempla los ratios hidrodinámicos de: Coeficiente de bloque, de maestra y cilíndrico, así como las diferentes fases de construcción en el astillero. Como prototipo de buque, se considera el de 70 cañones según los distintos modelos de construcción de Gaztañeta, Jorge Juan, Gautier y Romero de Landa utilizados durante el siglo XVIII.

Arquitectura naval, astillero, dendromorfismo forestal, maderas.

SUMMARY

The naval architecture in wood had their maximum brilliance in the century XVIII. The built wits reached in the line ship the maximum presentations mariner, furthermore, of be instruments of strategic importance for the nations as protective of the trade and development of the economy. Industry and the technology that turns about the naval construction has a forest component of the greater importance, starting from the methods forestry of utilisation of character "dendromórfico" in the selection of the trees, to the cut and extraction procedures in the mountain, going through the tariffaction of the wood according to forms and destinations Other aspect is the one which is derived from the chemical physical treatments to the woods for their conservation in the marine means, and their put in work through bonding-forms and assemblies. The Ordinances and the Bylaws encompass aspects that go from the ranking of the mountains of the Navy, to the organisation of the production process in the ship yard. In the physics of the woods for use in the naval architecture a restudied and analysed from a current technical vision, their structural behaviour (porosity, specific weight, resistance to the rubbing, etc.). With respect to destination of the woods in the naval design, are awarded different origins in leafy as well as in coniferous of Europe, America and Philippines. The protection aspects and of treatment of the woods against the agents xilophagies, they are studied in the work with the knowledge and means of the era. Finally, the behaviour hydrodynamic of the woods in the ship geometry envisages the ratios hydrodynamic of: block coefficient, of maestro and cylindrical, as well as the different construction phases in the ship yard. As ship prototype, is considered that of 70 cannons according to the different construction models of Gaztañeta, Jorge Juan, Gautier and Romero de Landa used during the century XVIII.

Naval architecture, ship yard, dendromorfismo forest, woods.

INTRODUCCIÓN

Durante el siglo XVIII la industria naval militar tuvo un especial desarrollo en España, con

Patiño y el Marqués de la Ensenada como principales valedores, continuando en el reinado de Carlos III. Al ser la madera la materia prima utilizada en la arquitectura naval, el proceso industrial y tecnológico utilizado para la construcción de un navío, presenta una componente forestal como la selvicultura, la dendrometría, la ordenación, la tecnología de la madera, etc. La Marina apeaba los árboles para su consumo en aquellas fechas en que la madera podía secarse bien, sin miedo a pudriciones que generalmente coincidían en los menguantes de luna de diciembre, enero y febrero: *“que es cuando la savia está sin mover y dicen los carpinteros que retrocede hasta las raíces a causa de la frialdad de la atmósfera. Entonces el árbol está más sano y dispuesto a enjugarse después de cortado. En primavera se descascarillaban lo que no perjudicaba a la albura”*. (ARANDA, 1991).

En un principio la corta se hacía con hacha, más tarde en las Ordenanzas de la Marina de 1803 es indicaba él usó la sierra de doble mano. El derribo y sobre todo la guía en la caída del árbol se realizaba mediante cuñas y cadenas tal como se sigue haciendo en muchos lugares hoy en día.

El desembosque era mediante arrastre por sangre, e incluso a veces a hombro de hombres como se hizo en alguna saca en la Sierra de Segura. En otras, si se disponía de trochas o caminos hasta el lugar de la corta, el transporte de los troncos se realizaba mediante carros o carretas, utilizando para la elevación de los mismos cabrestantes rudimentarios. Cuando el tiempo lo permitía, los troncos descortezados y en general desramados se apilaban en tinglados en el monte a la espera que el tiempo de verano llegara para transportarlos al astillero. (ARANDA, 1999). Cuando existía una vía fluvial el transporte se hacía por flotación mediante “maderadas” o “pinadas”, desde las Sierras del Irati o los montes de Cuenca y Sierra de Segura, a través de los ríos Ebro, Turia, Guadalquivir y Segura. Desde la desembocadura de los ríos hasta los astilleros, las maderas se transportaban en urcas. Este complejo transporte produjo elevadas pérdidas en maderas. (ARANDA, 1992).

En el proceso de la construcción naval consideramos las siguientes fases y operaciones:

Nº	Fase	Operaciones	Carácter
1	Formación de la madera	Siembra o plantación	Forestal
2	Trabajos culturales a la madera	Conducción y podas	Forestal
3	Extracción de la madera	Corta, saca y desembosque	Forestal
4	Tratamientos de la madera	Secado y protección	Tecnología forestal
5	Formación de piezas	Aserrado, tarifado y labra.	Industria primaria forestal
6	Diseños y formas	Arquitectura Naval	Tecnología naval
7	Construcción, ensamblaje y montaje	Astillero	Industria naval.
8	Acabado y botadura	Astillero	Ingeniería naval

En cuanto al método de selección según usos y destinos, establecemos la siguiente asignación:

Destino	Método de selección	Especies forestales	Usos
Piezas del navío	Dendromórfico	Fronosas: robles, olmos. Coníferas: pinos, abetos.	Piezas de arquitectura naval
Artillería y ferrerías.	Monte bajo a matarrasa	Fronosas: robles	Leñas, carbón vegetal
breas y adobos.	Monte alto a hecho	Coníferas: pinos	Resinas, breas alquitranes
Lonas y de cordelería	Cultivo agrícola	Lino y cáñamo	Velamen, sogas y maromas

METODOLOGÍA

Se aplican los procedimientos contrastados de investigación historiográficas para la ciencia y la tecnología en las ramas de la selvicultura, la dendrometría, la gestión del monte y la tecnología de las maderas para su aplicación en la arquitectura naval.

La fecha de partida es el año 1717 con las Ordenanzas de Arsenales promovida por José Patiño por entonces intendente General del rey Felipe V. Se continua con las Ordenanzas de los Montes de la Jurisdicción de la Marina de 31 de diciembre de 1748 en el reinado de Fernando VI e impulsadas por D. Zenón de Somodevilla, marqués de la Ensenada y la ampliación de la misma de 1752 por la cual se extiende dicha jurisdicción además de los limitados a las 25 leguas de la costa y ríos navegables a montes y sierras del interior peninsular como los de Cuenca, Alcaraz y Segura. Más tarde las Ordenanzas de Marina se hacen extensivas por distintas disposiciones a los montes de Ultramar (ARANDA, 1995). El periodo se cierra con las Ordenanzas de 1803 con Carlos IV, aunque la vigencia de la jurisdicción de la Marina sobre los montes se prolonga hasta mediados del siglo XIX.

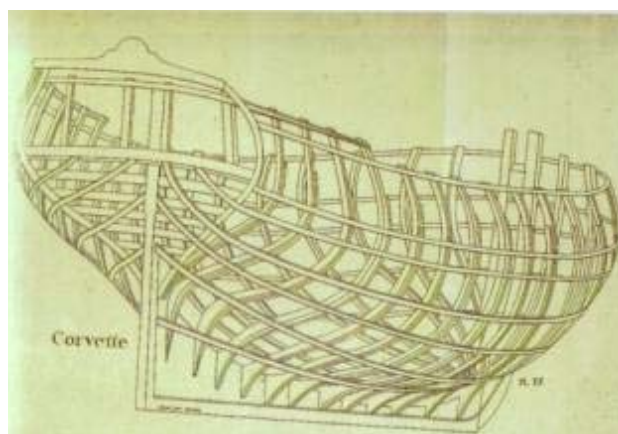
La base documental proviene del Archivo de Marina del Viso del Marqués (Ciudad Real) en los Legajos de Marina, Montes y Arsenales en los periodos comprendidos entre 1770 y 1798. Del Archivo General de Simancas los legajos de Marina, Montes, Hacienda y Arsenales en los periodos comprendidos entre 1730 a 1760.

Y por último del Museo Naval de Madrid en lo referente al Estado de las maderas entradas en astilleros, en las Relaciones de botaduras del Almirante Vigodet, Manuscrito del Marqués de la Victoria y diseños de piezas para el uso naval de Gaztañeta, Jorge Juan, Romero Fernández de Landa, Gautier y Retamosa y los trabajos de Cesáreo Fernández Duro y Artiñano.

Para sistematizar el proceso de investigación y uniformizar las conclusiones se centra el trabajo en el navío de 70 cañones muy similar en cuanto a diseño no solo en modelos españoles de arquitectura naval, sino en aquellos del extranjero, principalmente de Francia y de Inglaterra.

RESULTADOS.

Selección, corta y saca de las maderas.



A partir del árbol en pie, mediante un señalamiento de carácter dendromórfico (ARANDA, 1992) buscando la mejor forma y ligazón, mediante un método de entresaca en masas de monte irregular. Para el señalamiento, se provén de plantillas con la forma de las piezas necesarias. (HALLE, 1813).

Visita a los montes.

Para conocer la masa forestal en los montes de la Marina, se efectuaron las correspondientes “visitas”, mediante las cuales se llevaron a cabo levantamientos corológicos de los mismos y se realizaron inventarios en que se clasificaron los árboles en nuevos, crecidos y viejos para su uso en piezas navales.

Consumo medio.

Considerando la madera para piezas estructurales como quillas, cuadernas, codaste, varengas, tajamares y rodas, un navío de 70 cañones, requeriría una cantidad de madera de roble de segunda labra de al menos 3000 m³, correspondientes a unos 2000 árboles de más de 120 años que ocuparían una superficie de 36 ha a marco de 12m*15m en caso de una teórica corta a “hecho”.

La física de las maderas

Sin quitar la ineludible influencia que el peso específico tiene en la resistencia de las maderas, hay que tener en cuenta otros factores como la desviación y dirección de las fibras, la nudosidad y especialmente el grado de humedad, por lo que el peso específico tiene un valor de carácter probabilístico, debiéndose hacer las comparaciones entre maderas en circunstancias de isohumedad. Los sistemas de determinación del peso específico aparente de la madera se efectúan en ensayos de volumen por medición de sus dimensiones o por el método de desplazamiento de fluidos.

El valor del peso específico aparente de la madera depende de la relación entre el volumen total exterior y el ocupado exclusivamente por la materia que forma la pared celular.

Volumen de Poros

$$V_p = V_o - 0,677y_o; y_o = \text{peso específico aparente}$$

Relación entre peso anhidro y el seco volumétrico

$$R = \gamma \cdot \frac{100}{100 + \alpha_v} ; \alpha_v = \text{porcentaje de hinchazón}$$

Tabla de pesos específicos

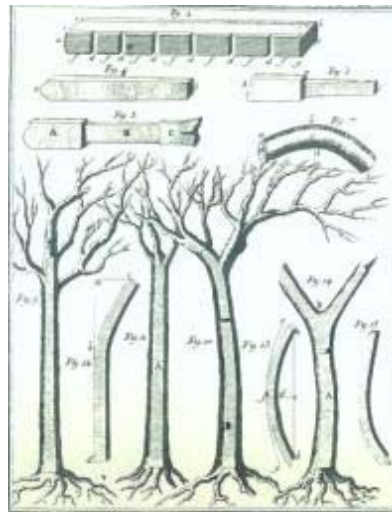
Especies	Pesos kg./m ³ en rollo En verde	Pesos kg./m ³ en rollo Con humedad de monte
Pinabete (A. alba) sin corteza Ø>40 cm	800	600-800
Pino Silvestre (P. sylvestris) sin corteza Ø>40 cm	750	600-800
Haya (F. sylvatica) sin corteza Ø>30 cm	1.000	800-1.000
Roble (Q. robur) sin corteza	1.000	800-1.000

Según R. Trendelenburg Kollmann.

Tabla de coeficientes de rozamiento de madera estructural de un navío

Madera	Coeficiente de rozamiento					
	u (por deslizamiento)/S			u ₀ (en reposo)/S		
	Secas	Lubricadas	Mojadas con agua	Secas	Lubricadas	Mojadas con agua
Roble y Roble(II)	0,48	0,16	–	0,62	0,44	–
Roble y Roble (⊥)	0,34	–	0,25	0,54	–	0,71
Roble de través sobre Roble al hilo	0,19	–	–	0,43	–	–

Según Landolt-Börstein
Müller-Pouillet



EL navío al ser una estructura compuesta por un entramado de maderas mediante clavazón y yuxtaposición presenta desde el punto de vista físico de su comportamiento unas exigencias para el rozamiento adhesivo y de deslizamiento en el plano de las superficies de contacto. Además, las superficies pese a una buena “labra” no siempre son lisas sino que presentan depresiones y elevaciones más o menos pequeñas, acentuadas en el movimiento normal del buque dando origen a sollicitaciones por levantamiento, deformación o corte, influyendo en la adherencia, capilaridad, etc.

Todo esto motiva una gran dificultad para medir la fuerza de rozamiento. (CHEVANDIER & WERTHEIM, 1848).

En general:

$$T = \mu \cdot N = \text{tg } p \cdot N$$

μ = coeficiente de rozamiento al deslizamiento

p = ángulo de rozamiento

El pino de Riga (P. sylvestris), el abeto (A. alba) y a veces el pino salgareño (P. nigra) se utilizan para perchas, masteleros y arboladuras. La caoba (Sw. mahogani), la teca (T. teca), el molabe (V. glandiflora) y el guijo (Q. guiso) entre otros se emplearon para la confección de toda clase de

piezas, tanto en los astilleros peninsulares como en los ultramarinos (ARANDA, 1995). Pero la madera por excelencia para la construcción en la arquitectura naval fue el roble pedunculado (Q. robur) y en menor proporción el roble sentado (Q. petrae).

Conservación y protección de las maderas.

En la elección de las maderas se rechazaban aquellas que presentaban focos de pudrición. (PLÁ Y RAVÉ, 1880), y en la llegada al astillero, se tarifaban según las especificaciones de recepción (ROMERO FERNANDEZ DE LANDA, 1784), sumergiéndose en tosas y balsas para que perdieran la savia mediante un proceso de ósmosis. A continuación se procedía a los “adobos” o protección con alquitranes, pirolignitos, carbones y desinfectantes basados en sebo y azufre. A finales del siglo XVIII para proteger el casco de los buques del ataque de los xilófagos como los teredos y cheluras y de la agresividad del medio marino se utilizaron forros con planchas de cobre y plomo (KOLLMANN, 1959).

Comportamiento hidrodinámico.

Ya en el siglo XVIII se usaron planos para la construcción de buques así como modelos de tamaño reducido.

En el año 1649, el Almirantazgo británico publicó una Orden en la que se exigía a los constructores que antes de presentar el proyecto de un navío de guerra, enviaran una maqueta del mismo.

Surge dentro de la geometría del buque el llamado plano de formas en que se define el casco a través de tres proyecciones obtenidas al cortar la estructura por un sistema de planos paralelos a la línea longitudinal de quilla, a la caja de cuadernas y a las líneas de agua.

Dibujado el barco y el plano de formas es costumbre dar los valores de las semimangas de las líneas de agua y de las cubiertas en lo que se denominan “castillos de trazado”.

Las formas del navío quedan definidas a partir del uso de medidas como la eslora (la flotación, entre perpendiculares tanto de proa como de popa y la total), la manga (de trazado y máxima), el puntal (de trazado, a una cubierta y máxima) y el calado (de trazado y máximo).

A partir de esos valores se generan unos ratios hidrodinámicos como: eslora/manga, manga/calado, y eslora/calado. También se utilizan coeficientes como:

Coefficiente de bloque

$$\sigma = \frac{\nabla}{L_{ft} \times B \times T}$$

∇ = Volumen del trazado desplazado por el buque

L_A = Eslora de flotación

B = Manga de trazado

T = Calado de trazado; con un intervalo de $0,38 < \delta < 0,98$

Coefficiente de la maestra

$$\beta = \frac{\nabla}{B \times T}$$

∇ = Área sumergida de la cuaderna maestra

B = Manga de trazado

T = Calado de trazado; con un intervalo de $0,75 < \delta < 0,98$

Coefficiente cilíndrico

$$\varphi = \frac{\nabla}{\nabla \times L} = \frac{\delta}{\beta}$$

con un intervalo de $0,55 < \delta < 0,80$

El destino de las maderas.

El conocimiento empírico de las maderas para su mejor uso en la carpintería naval, constituye en el navío de línea la culminación tecnológica del siglo XVIII.

La variedad de piezas y ensambles que constituyen el buque queda de manifiesto en la mera enumeración de las piezas que componen el casco.

Sección según el plano vertical que pasa por la quilla de popa a proa: La quilla, la falsa quilla, la sobrequilla, la roda, la curva de peralto, el espolón, el pié de roda, el codaste, la curva coral, las cuerdas de bajo cubierta, los puntales, la madre del timón y el tajamar.

Sección según el plano perpendicular a la quilla: Las cuadernas, las bularcamas, los palmajares, las varengas, las varengas levantadas, los genoles, las ligazones, los baos, los durmientes, los francalines, la carlinga, las aletas y las astas.

Sección horizontal: Las tablas de fondo y cintas, las cosederas, los yugos, la madre de dos vueltas, la curva de banda, las busardas y los espaldones.

Es en la selección de la madera, en especie, salud y forma, en donde se asienta el arte del

carpintero naval y de cuyo acierto se obtienen los buenos resultados marineros y duración del ingenio. Las maderas de roble son las más convenientes para maderas estructurales, las de pino y otras coníferas para forros, tablas y cubiertas, y las de olmo, plátano y haya para piezas de vuelta.

La construcción en el astillero.

En esas complejas instalaciones industriales, se aúna la técnica de la arquitectura naval del diseño, con el buen hacer de “la labra” de la madera y su tratamiento tecnológico con artilugios y artificios para el montaje y ensamblaje de las grandes piezas “curvas” y de “vuelta”, y en donde se coordinan esfuerzos de calafates, carpinteros, loneros, cordeleros, ebanistas, y otros oficios, muchos de los cuales han desaparecido en el tiempo, incluso el nombre de los mismos.

Para conocer la escuadría de la madera después de su labra fina, basta multiplicar el diámetro del tronco descontando el grosor de la albura por el coeficiente práctico 0,82.



Este cálculo se aplica al medio y extremo menor del tronco. Si quiere madera de duramen, tan solo se multiplica el diámetro medio, descontando el grosor de la albura por el coeficiente 0,706. Sobre la base de ello se conoce la escuadría de la pieza y de la tarifa se obtiene la longitud y la flecha.

CONCLUSIONES.

Industria de carácter estratégico, que taló bosques de la jurisdicción de la Marina tanto peninsulares como ultramarinos, además de dictarse ordenanzas para su fomento, explotación y cuidado.

Aprovechamientos forestales de carácter tecnológico y selección dendromórfico.

Arquitectura naval eminentemente experimental, basándose en diseños y prototipos.

Rudimentarios procedimientos para la protección y conservación de las maderas en servicio.

Inevitables daños en los montes de la jurisdicción de la Marina, unas veces por inadecuados señalamientos y cortas incorrectas y otras por avatares de la política que paralizó en determinadas épocas la construcción naval, con pérdidas en maderas en tinglados en el monte y en almacenes de astilleros.

BIBLIOGRAFÍA.

- ARANDA, G de; (1991). La influencia de la luna en la corta de los árboles. Revista de Vida Silvestre. Segundo semestre nº 70. Madrid
- ARANDA, G. de; (1992). Los bosques flotantes. Historia de un roble del siglo XVIII. Colección Técnica. ICONA. Madrid (231 páginas).
- ARANDA, G de; (1995). La administración forestal y los montes de ultramar durante el

siglo XIX. Colección Clásicos. ICONA. Madrid (127 páginas).

- ARANDA, G de; (1999). La carpintería y la industria naval en el siglo XVIII. Cuadernos monográficos del Instituto de Historia y Cultura Naval nº 33. Madrid (123 páginas).
- CHEVANDIER & WERTHEIM; (1848). Mémoire sur propriétés mécaniques du bois. París.
- HALLE, H de; (1813). Des propes au service des arsenaux de la Marine de la guerre. París.
- KOLLMANN, F; (1959). Tecnología de la madera y sus aplicaciones. IFIE. Madrid.
- PLA Y RAVÉ, E; (1880). Tratado de las maderas de construcción civil y naval. Madrid
- ROMERO FERNANDEZ DE LANDA, J; (1784). Reglamento de maderas necesarias para la fábrica de los baxeles del Rey y demás atenciones de sus arsenales y departamentos.