

PROYECTO FINAL DE CARRERA

PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DE LA CARABELA LA NIÑA

DIRECTOR: D. FEDERICO LÓPEZ-CERÓN DE LARA

ALBERTO JOSÉ NAVARRO TORMO



ÍNDICE:

1. INTRODUCCIÓN:
 - 1.1. Objetivo del proyecto.
 - 1.2. Justificación del proyecto.
2. INVESTIGACIÓN HISTÓRICA:
 - 2.1. Contexto histórico.
 - 2.2. El primer viaje a América.
 - 2.2.1. Síntesis cronológica.
 - 2.3. Las expediciones posteriores.
 - 2.4. Definición de los buques en el siglo XV.
 - 2.5. Las carabelas.
 - 2.5.1. Ornamento de las naves colombinas.
 - 2.6. La Niña.
 - 2.7. Definición de La Niña.
 - 2.8. Las unidades de medida españolas en los siglo XV.
3. CARACTERÍSTICAS DEL BUQUE:
 - 3.1. Datos de la embarcación.
 - 3.2. Plano de formas.
 - 3.2.1. Fundamentos de la representación del plano de formas.
 - 3.2.2. Caja de cuadernas.
 - 3.2.3. Líneas de agua.
 - 3.2.4. Longitudinales.
 - 3.3. Cartilla de trazado.
 - 3.3.1. Semimangas de la intersección de las líneas de agua con las secciones.
 - 3.3.2. Semimangas de la intersección de las cubiertas con las cuadernas.
4. CÁLCULOS JUSTIFICADOS DE ARQUEO Y ESTABILIDAD:

- 4.1. Arqueo.
 - 4.1.1. Determinación del arqueo.
 - 4.1.1.1. Método geométrico.
 - 4.1.1.2. Fórmula de Cristóbal de Barros.
- 4.2. Estimación del desplazamiento en rosca.
- 4.3. Curvas hidrostáticas.
- 4.4. Estabilidad, condiciones de carga:
 - 4.4.1. En rosca.
 - 4.4.2. Salida de puerto.
 - 4.4.3. Llegada a puerto.

5. CONSTRUCCIÓN EN MADERA:

- 5.1. La madera.
 - 5.1.1. Componentes de la madera.
 - 5.1.2. Secado de las maderas.
 - 5.1.3. Método de corte.
- 5.2. Técnicas de trabajo.
 - 5.2.1. Estopa y brea.
 - 5.2.2. Clavazón y pernería.
 - 5.2.3. Pintura.
- 5.3. El proceso constructivo
 - 5.3.1. Mástiles.
 - 5.3.2. Forro y cubierta.

6. VALORACIÓN ECONÓMICA:

- 6.1. Materiales.
- 6.2. Jornales.
- 6.3. Pertrechos.
- 6.4. Presupuesto final.

7. BIBLIOGRAFÍA.

8. PLANOS

1.- INTRODUCCIÓN:

1.1.- Objetivo del Proyecto:

Esta iniciativa pretende Recuperar el patrimonio naval español. Este proyecto se enmarca dentro de la conservación del Patrimonio Histórico Español en su vertiente marítima tecnología, las artes de construcción, de navegación. El proyecto que se propone consiste realizar el proyecto íntegro de una de las tres naves, dos carabelas y una nao, que realizaron la travesía que supuso el descubrimiento de América, concretamente la carabela de la denominada “La Niña”.

Objetivo general impulso cultural del patrimonio marítimo español.

Impulsar patrimonio español.

Simbiosis de las nuevas tecnologías con el arte antiguo de diseño naval.

Recuperar una pieza emblemática de la navegación española del siglo XVI.

Reconstruida en Cartagena.

1.2.- Justificación:

Con motivo del V Centenario del Descubrimiento de América el gobierno español creó una Comisión con el objetivo de conmemorar tal acontecimiento y entre otras líneas de actuación construyó tres replicas de las dos carabelas y la nao que realizaron la travesía que hoy se denomina la Ruta del Descubrimiento. Todas se construyeron en astilleros españoles. La carabela elegida como proyecto se construyó en el Arsenal Militar bajo la dirección del Ingeniero Naval D. Jose Luis López Martínez.

La Niña fue construida en los antiguos astilleros del puerto de la Ribera de Moguer. En su botadura sobre el Rio Tinto, la nave recibió el nombre de *Santa Clara* en honor al monasterio del mismo nombre existente en la localidad, aunque pasaría a la posteridad con el nombre de uno de sus propietarios, Juan el Niño.

La Niña capitaneada por Vicente Yáñez Pinzón de unas 50 toneladas y 22 metros de eslora le sirvió a Colón para su viaje de regreso a Palos de la Frontera, a donde llegó el 15 de marzo de 1493.

Son varias los motivos de elección como primera de las embarcaciones. Resalta la primera por su gran capacidad marinera. Fue la única de las tres que realizó repetidas expediciones a la ruta de América, resistió varios duros temporales y sobrevivió a diversas escaramuzas a lo largo de su singladura. Esta capacidad de mantenerse a flote hizo que sirviera de modelo para el primer barco construido en América concretamente la carabela *Santa Cruz*, conocida como *La India*.

La segunda consideración está relacionada que la réplica de que se construyó para la conmemoración del V Centenario se hizo en Cartagena, en el Arsenal Militar.

2.-INVESTIGACIÓN HISTÓRICA:

2.1.- Contexto histórico:

Cristóbal Colón nació en Génova en 1451 (mismo año en el que nació Isabel la católica). Lo que verdaderamente le atraía era el puerto, los relatos de marineros, las naves que llegaban de tierras lejanas. Génova era un importante centro del comercio marítimo y no le costaba mucho al joven Colón enrolarse en barcos de las grandes compañías navieras de la ciudad que ya desde la adolescencia como grumete navegó por el Mediterráneo, realizando diversos itinerarios mercantiles por el Mediterráneo y fuera de las columnas de Hércules, realizaban viajes de cabotaje, al sur hasta Guinea y las islas de Cabo Verde, y al norte, hasta Islandia. Incluso participó de un naufragio, que lo obligó a llegar a ando hasta la costa de Portugal. Agudo observador hablaba con los pilotos de vientos y corrientes, leía las cartas marinas y ensayaba el uso de los instrumentos náuticos, en 15 años de tripulante de todo tipo de navíos, aprendió a navegar a brújula (en la que sólo él creía), a conocer las virtudes y defectos navieros, y captó muy bien los vientos y las corrientes marinas, del Atlántico. Así aprendió, en la práctica sobre cubierta, el oficio del mar.

Retrato de Cristóbal Colón.



Respecto a la importancia de su hazaña cabe señalar que fue sorprendente en lo geográfico y oportuna en lo político, partiendo de suposiciones. Colón, suponía que la Tierra era una esfera, basándose sobre todo en los argumentos del prestigioso humanista florentino Paolo del Pozzo Toscanelli (1397 - 1482) sabía que teóricamente se podía llegar a las antípodas navegando hacia el oeste, conocía la existencia de islas y tierras septentrionales exploradas por vikingos y daneses, y suponía que quien intentara arribar a las Indias por el poniente podía tropezar en su camino con alguna “*terra incógnita*”.

Desde la Edad Media existían especulaciones y leyendas sobre los límites del Mar Tenebroso. El irlandés “*San Barandrán*” habló ya de un gran continente y de “una inmensa isla con siete ciudades”, historias parecidas se registran en las tradiciones gaélicas, celtas e islandesas, mientras que los árabes peninsulares mencionan la expedición de los magrurinos que zarparon de Lisboa y “*después de navegar once días en dirección al oeste y veinticuatro días hacia el sur*” llegaron a unas tierras donde pastaban ovejas de carne amarga. Ya en siglo XIV, el veneciano Niccolò Zeno dibujó un mapa en el que se definían claramente Groenlandia y las costas de Terranova y Nueva Escocia. Y unos años antes el cardenal Pierre d'Ailly, en su obra “*Imago Mundi*”, desarrolló con toda amplitud la idea de llegar a los dominios del Gran Kan (descritos por Marco Polo) tras una travesía relativamente breve hacia el oeste. El propio Colón estaba absolutamente convencido de que hallaría tierra firme “*unas setecientas leguas más allá de las Canarias*”. El proyecto no era nuevo, sino incluso popular, entre

cartógrafos y navegantes como posible alternativa a la larga ruta de las especias; tanto, que uno de los mayores temores de Colón era que otro se le adelantara en cruzar el Atlántico. Pero lo que ni él ni los sabios o los marinos de ese tiempo podían imaginar era la inmensa extensión de la “*terra incógnita*” ni la inesperada vastedad del Pacífico.

Como medio de vida, en Portugal, colaboró con su hermano Bartolomé (cartógrafo de profesión), en la confección de mapas, lo que lo familiarizó en el cálculo de distancias geográficas. Así pudo dar sustento matemático a su proyecto de navegación hacia el Oeste, hasta la lejana Catay (China), seductor objetivo según Marco Polo. A partir de ese momento, Cristóbal comenzó a soñar y diseñar el ambicioso y desmesurado proyecto que habría de obsesionarlo toda su vida: descubrir una ruta más corta y segura a las Indias, navegando hacia occidente.

Colón asumió la idea, la transformó en proyecto expedicionario y la elevó al rey Juan II. Éste, tras el dictamen negativo de una junta de sabios, lo rechazó por incierto. Hay quien dice que el monarca recelaba de aquel extranjero sin títulos ni estudios, y envió en secreto otra expedición que terminó en fracaso. Resentido por este engaño, o más probablemente a causa de sus apuros económicos y la ilusión de encontrar otro protector, Cristóbal abandonó Lisboa junto a su hijo y su hermano Bartolomé. Borearon la península, con intención de dejar al pequeño Diego a cargo de su tía materna Violante Moniz, que vivía en Huelva. En el camino se detuvieron en el cercano convento franciscano de La Rábida, donde se alojaron como albergados. El padre guardián, fray Juan Pérez, que había sido confesor de la reina, se entusiasmó con el proyecto del extranjero que se hacía llamar Xrobal Colón (XR era en la época el anagrama de Cristo), e interesó en él a su erudito cofrade fray Antonio de Marchena, experto en astronomía y cosmografía. Ambos frailes le dieron recomendaciones para el duque de Medinaceli, quien se apasionó por la idea y retuvo a Colón durante más de un año, con el propósito de preparar la expedición. Pero los Reyes Católicos desautorizaron tal proyecto, y todo lo que pudo hacer el duque fue enviarle al navegante a su corte de Córdoba. Una vez más, en 1485, un consejo de sabios reunido en Salamanca desaconsejó la empresa, quizá porque ya poseían indicios de lo extenso y arduo de la travesía. Pero Isabel, pese a estar enzarzada en la guerra de Granada, no descartó del todo la idea de llevar a las Indias el pabellón de Castilla. Otorgó una pensión al navegante y le rogó que permaneciera en Córdoba.

Cristóbal se instaló en un mesón, donde entabló relación con la joven Beatriz Enríquez, veinte años menor que él. De esa unión nació en 1488 un hijo, Hernando, que sería el primer biógrafo del Almirante y principal responsable de los ocultamientos y ambigüedades que durante siglos envolverían a su figura.



Retrato de Isabel II.

Cuando Isabel entró triunfante en Granada, el 2 de Enero de 1492, dando fin a la "guerra de reconquista", Colón pensó que Isabel ya liberada de esa gigantesca preocupación, atendería a sus nuevos argumentos. Los reyes recibieron con mejor talante a Colón. Pero las pretensiones del extranjero resultaban desmesuradas:

- El almirantazgo de la Mar Oceana.
- El virreinato hereditario de las tierras que encontrara.
- Derecho de terna en los nombramientos de los regidores.
- Diezmo de las mercancías que se negociasen en las indias
- Derecho de exclusividad en los pleitos que surgieran por las mercancías procedentes de la india.

Fernando le hizo notar su exceso, aunque Isabel le despidió con vagas promesas. Colón, harto de su deambular ibérico, resolvió llevar su proyecto ante el rey de Francia. Los frailes de La Rábida consiguieron disuadirlo y, con la colaboración de los cortesanos Luis de Santángel y Juan de Coloma, convencieron a los monarcas católicos de avenirse al llamado Protocolo de Santa Fe, que en 1492 concedió al Almirante los títulos y prebendas que exigía, aunque sólo el diez por ciento de los eventuales beneficios. Pero los exhaustos tesoros reales no aportaron un solo maravedí para financiar la expedición (pese a lo que diga la leyenda, las joyas de la reina ya habían sido pignoradas a los usureros valencianos). Con ellos tuvo relación Santángel, a quien se debió la brillante idea de hipotecar el arrendamiento de los derechos genoveses al puerto de Valencia, baza que tomó, por mediación del propio Colón. Resuelto el problema financiero, sólo faltaba hallar los barcos y las tripulaciones.

Colón conocía muy bien todos los tipos de buques que navegaban en ese entonces, por el Mediterráneo y por el Atlántico. Los habituales del Mediterráneo los tenía descartados, pues no tenían porte para enfrentar las olas de mar abierto y de los que transitaban por el Atlántico, para su viaje, necesitaba que:

- Tuvieran muy buena estabilidad para capear fuertes vientos y enfrentar altos y violentos oleajes para el cruce de "la mar océano"
- Fueran de bajo calado, "*aptos para el oficio de descubrir*"; pues en las costas de Catay, deberían explorar y desembarcar.

Justamente, el príncipe portugués don Enrique "el navegante" (1394-1460), entusiasta promotor de las exploraciones portuguesas de las costas occidentales de África, había tenido las mismas inquietudes 60 años antes. Y en su Escuela de Navegación, situada en Sagres (sur de Portugal), habían diseñado la nave ideal: la carabela, la que para navegar con vista a la costa, estaba dotada de varios adelantos técnicos:

- Relación perfecta eslora-manga-calado.
- Quilla.
- Timón vertical, con caña.
- Velas cuadradas, mayor, cebadera, de trinquete, de gavia.
- Vela latina: sólo de mesana.

Tres carabelas pidió Colón a la reina Isabel y sugirió zarpar del importante puerto atlántico de Cádiz, ideal para contratar tripulantes y equipar las naves, pero no pudo ser, estaba atestado de judíos que preferían exiliarse en lugar de convertirse al Cristianismo, alternativas que había decretado Isabel exigida por los fanáticos inquisidores. El único puerto factible sobre el Atlántico, era el humilde de Palos, sobre el río Tinto, próximo a Huelva. Y a Isabel le vino bien, pues el puerto de Palos debía a

la corona una multa por "*saquear barcos portugueses en tiempos de paz*" así que le dio a Colón una cédula para que la comuna de Palos le facilitara por 2 años, 2 carabelas totalmente aparejadas, tripuladas y abastecidas. Para contratar la 3ª embarcación, pagar salarios y comprar vituallas, le dieron a Colón los 1.140.000 maravedíes que prestó Santángel.

En Palos, Colón conoció a los hermanos Pinzón, experimentados navegantes (sobre todo Martín), a quienes les pareció viable el proyecto de llegar a Catay rumbo Oeste. Y ellos se comprometieron a conseguir y equipar las dos carabelas ordenadas por Isabel.

El prestigio de los Pinzón hizo que los recelosos marinos onubenses aceptaron enrolarse en la extraña empresa, y que los armadores Pinto y Niño aceptaron desprenderse de sendas carabelas que serían bautizadas con sus nombres. Martín Alonso y su hermano Vicente Yáñez pilotarían esas naves, mientras que el Almirante escogió una nao cantábrica anclada en el puerto de Palos, llamada "Marigalante". Su armador, el cartógrafo Juan de la Cosa, ofreció incorporarse a la expedición como maestre y la nave capitana fue rebautizada Santa María. Restaba aún comprar aparejos y provisiones. Los hermanos Pinzón y sus amistades reunieron el dinero faltante, y todo quedó listo para hacerse a la mar.

Las características de las embarcaciones son:

La *Santa María* no era una carabela, en contra de lo que la apelación colectiva tradicional de las "Tres Carabelas" afirma. Se trataba de una carraca o nao en el lenguaje náutico español de la época. Con sus tres palos era una carraca menor construida, al parecer, en Galicia, razón por la cual fue llamada originalmente *La Gallega* y era propiedad de Juan de la Cosa. De acuerdo con las normas de estiba de entonces, la *Santa María* podía llevar una carga de 106 toneladas de la época (51 toneladas actuales).

En el palo mayor aparejaba dos velas cuadradas: la mayor con una cruz roja en el centro y una vela de gavia. El trinquete portaba una sola vela cuadrada y el palo de mesana aparejaba una vela triangular latina. Del bauprés colgaba una vela de cebadera. La *Santa María* se perdió en aguas del Caribe durante el primer viaje.

La *Pinta* había sido construida en los astilleros de Palos pocos años antes del primer viaje. Fue elegida por Martín Alonso Pinzón por sus cualidades náuticas, ya que él mismo la había alquilado anteriormente. La costeó el concejo de Palos. Su nombre hizo pensar a algunos historiadores que pertenecía a la familia Pinto, pero en realidad fue alquilada a los armadores Gómez Rascón y Alonso Quintero, que fueron en ella a América como marinos. Probablemente su verdadero nombre fuera *La Pintá*. Era una carabela nórdica de velas cuadradas con un velamen muy sencillo. Los palos de mesana y mayor iban aparejados con una vela cuadrada de grandes dimensiones, en tanto que el trinquete portaba una vela latina. La principal característica de esta carabela era su velocidad, hasta el punto que Colón, en su diario de a bordo, hacía referencia a que en una noche había navegado a 15 millas por hora (una milla de la época equivale a 0,8 millas náuticas actuales, por lo que su velocidad sería de unos 11 nudos, la misma que un carguero medio de la actualidad).

Y finalmente, *La Niña* era una carabela de velas latinas que pertenecía a los hermanos Niño de Moguer, de ahí su nombre. Antes de formar parte de la expedición su denominación era la *Santa Clara*. Esta embarcación se construyó en los antiguos astilleros del puerto de la Ribera de Moguer entre 1487 y 1490. Fue elegida por los Pinzón por tener gran capacidad de maniobra.

Las velas de la *Niña* carecían de rizos, por lo que no tenían sistema de cabos que permitiera reducir la superficie en caso de fuerte viento. Las jarcias que sostenían los palos estaban enganchadas en los costados del buque. La carabela carecía de castillo de proa, mientras que el alcázar era bastante pequeño. Al llegar a las Islas Canarias le fue cambiado el velamen y se le pusieron velas "redondas" en lugar de las tradicionales "latinas" que portaba. Es posible que, durante el primer viaje, la *Niña* fuera convertida en carabela de velas cuadradas durante la escala en Canarias. Posiblemente formó parte también del segundo y tercer viaje de Colón, recorriendo en el transcurso de sus viajes más de 25.000 millas náuticas en total.

NAVES	SANTA MARÍA	LA PINTA	LA NIÑA
Tipo de buque	Carraca de tres palos o nao	Carabela de velas cuadradas	Carabela de velas latinas
Fecha de Construcción	1480	Sin fechar	entre 1487 y 1490
Desplazamiento máximo (t)	223,88	115,5	100,3
Eslora (m)	29,6	22,75	21,4
Manga (m)	7,96	6,6	6,28
Calado (m)	2,1	1,85	1,78
Tripulación (nº hombres)	39	25	30
Armamento	4 bombardas de 90 mm; trabucos de 50 mm; ballestas y espingardas sin determinar	Sin determinar	Sin determinar



Fotografía de las réplicas de las tres carabelas. (La Niña, La Santa María y La Pinta). Atracadas.

2.2.- El primer viaje a América:

Colón siempre había expuesto como "plan de viaje", zarpar de un puerto español sobre el Atlántico, y poner "rumbo recto al Oeste". No quería mostrar su juego. En la madrugada del viernes 3 de Agosto de 1492, no había viento alguno, pero eso no le preocupó, pues zarpó con el comienzo del refluo de la marea, que deslizó la flota río Tinto abajo suavemente. A una milla y media, por babor, pasaron frente al convento de La Rábida; Colón se descubrió respetuoso y agradecido por todo el apoyo que le habían dado sus frailes.

Fotografía de las réplicas de las tres carabelas. (La Niña, La Santa María y La Pinta). Navegando.



A las 8:00 h de la mañana cruzaron la barra y recibieron una "fuerte brisa marina". Colón fijó entonces el rumbo, "*Sur cuarta al suroeste*" Y aclaró a la plana mayor de la nao, que lo acompañaban en el castillo de popa, "*vamos a Las Canarias*". Con banderas de señales transmitieron la misma orden a las dos carabelas que los seguían.

Colón había programado lanzarse al cruce con los fuertes vientos del Este (Alisios), pero éstos a la latitud de Huelva (cuyo puerto era el de Palos) no alcanzaban su intensidad máxima, en cambio sí lo hacían a la latitud de Las Canarias, además por Las Canarias, pasa la muy estable corriente marina del NE actualmente llamada corriente de las canarias.

Colón deseaba convertir sus buques en naves redondas (con velas cuadradas y sus bonetas), para lograr el máximo empuje de los vientos del Este. Quedaba pendiente el cambio total en La Niña, y completarlo en La Pinta, lo que podría hacer en las Canarias, libre de la oposición de los marinos de Palos. Por ello las tres naves, requerían ser arboladas:

- En proa: palo bauprés, y colgada de él una vela de cebadera, cuadra.
- Al tercio de la eslora: palo de trinquete con una vela de trinquete, cuadra, y una boneta.
- Al centro: palo mayor, vela mayor (papahígo), cuadra, y dos bonetas.
- La nao Santa María, tenía un palo mayor de más altura, por lo que se le pudo montar una vela de gavia, cuadra.
- En popa: palo de mesana, y colgada de él una vela latina cuyo propósito era el de ayudar al timonel en las maniobras.

Las islas Canarias eran indiscutidas posesiones de Isabel, reina de Castilla, desde 1479; por lo que la navegación desde las costas sur de Castilla hasta Las Canarias, era frecuente y bien conocida, incluso por Colón.

La Santa María y La Niña llegaron al archipiélago el 9/8/1492. La Pinta, al mando de Martín, que en una tormenta había sufrido la rotura de "las hembras del gobernalle", navegó casi al gárete dos semanas y finalmente llegó el 24/8. Este percance le confirmó a Colón, que pese a la experiencia marinera de Martín Alonso Pinzón, en Palos (y quizás en toda la península ibérica) nadie sabía nada de navegar en mar abierto.

En la isla de La Gomera, donde fue muy bien recibido por doña Beatriz de Bobadilla, bella viuda que gobernaba la isla, fue donde Colón realizó las modificaciones pertinentes para la gran aventura en mar abierto.

- Reparó La Pinta.
- Cambió velas en La Niña y completó las de La Pinta.
- Agregó cebaderas a las 3 naves, y bonetas a todas las velas cuadradas.
- Completó provisiones de boca para un año.
- Y esperó pacientemente que los vientos del Este alcanzaran la intensidad adecuada (la corriente marina ya la tenía).

Finalmente, las embarcaciones quedaron dispuestas de tal forma para tan cuidada y ambicioso viaje.

El 6/9/1492, ya impaciente, intentó zarpar de San Sebastián de La Gomera, pero el viento se calmó. En la madrugada del domingo 9/9/1492, finalmente los vientos mostraron sostenida intensidad, y la *flotilla inmortal* zarpó. La travesía de "la mar océano" se realizó entre los paralelos 24° y 28° N, con inusitada suerte durante todo el viaje, ningún día sin por lo menos una brisa, ninguna tormenta, siempre a velocidades entre 4 y 7 nudos.

Partieron del meridiano 17° O y desembarcaron en el meridiano 74° O. En 33 días, recorrieron 5.720 km. No hubieron dificultades, pero sí sorpresas, como el "*Mar de los Sargazos*", ante el cual La Niña y La Pinta, que por más ágiles iban algo adelantadas, amainaron velas y esperaron, pero Colón intrépidamente les ordenó a los

tres navíos avanzar, y allí descubrieron que eran algas formando un "manto de no más de 5 pulgadas que se abría fácilmente ante las proas".

En ese primer viaje, Colón se percató que el N indicado por "*su brújula*" difería en algunos grados del N geográfico (o sideral) señalado por la estrella *Polaris*, lo tomó en cuenta, consignó en su Diario, y siguió impertérrito adelante. Había descubierto la "*declinación del campo geomagnético*" referido al polo norte.

En la madrugada del 12 de Octubre de 1492, avistaron tierra, anunciada por Rodrigo de Triana, que pasará a la historia por tal hecho. Y fue donde desembarcaron para empezar la colonización de América.



Llegaron a una isla que los nativos llamaban *Guanahani* que Colón agradecido bautizó *San Salvador*. Pero *San Salvador* era una isla, por lo que Catay debía estar más al Oeste; siguieron explorando y bautizando islas: Fernandina, Isabela, Juana, La Española. Circunnavegaron La Española (actual Rep. Dominicana), cerca de medianoche del 25 de diciembre (1492) al timonel de la Santa María "*le pareció que todo estaba en calma*", puso un grumete en la caña del timón y se fue a dormir. El grumete estimó mal la distancia a la costa, y sucedió lo que Colón había previsto y tanto temía, la nao por su excesivo calado para el "*oficio de descubrir*", encalló. Colón con el espíritu estrujado por perder su nave capitana, ordenó vaciarla y desguazarla.

Colón decidió aprovechar los restos de la nave para construir un precario fuerte, que bautizó Natividad por ser 25 de diciembre. Quedaron allí unos pocos voluntarios y el resto de la expedición emprendió el regreso el 4 de enero de 1493. El Almirante capitaneaba La Niña y ordenó gobernar al norte, rumbo aparentemente erróneo. Pero una vez más acertó, pues la corriente del golfo lo enfiló sin dificultad hacia la península, mientras La Pinta de Martín Alonso era desviada por un temporal. Arribaron el uno a Lisboa y el otro a Bayona (Galicia). Antes de zarpar de nuevo, ya la noticia de su regreso recorría todo Portugal y toda Castilla.

Los Reyes Católicos recibieron a Colón en Barcelona con gran pompa y ceremonia, sin dejarse convencer por las intrigas que ya se tejían contra él. Le confirmaron sus títulos y privilegios y por real cédula acrecentaron un castillo y un león más en su escudo de armas.

2.2.1.- Síntesis cronológica:



- 1492, 3 agosto Salida de Palos.
- 12 agosto Llegada a la Gomera
- 6 septiembre Salida de la Gomera
- 8 septiembre Se deja la isla de Hierro. Comienza la travesía del Atlántico.
- 11 octubre Colón divisa una luz en la lejanía que anuncia el Nuevo Mundo.
- 12 octubre Tras 33 días de navegación desembarca Colón en la costa occidental de Guanahaní.
- 15 octubre Se descubre la isla Fernandina.
- 19 octubre Se descubre la isla Isabela.
- 27 octubre Se descubre Cuba.
- 6 diciembre Se llega al extremo occidental de la Española.
- 24-25 diciembre Naufraga la Santa María; con los restos de la nave hace Colón edificar el fuerte de Navidad, primer asentamiento en el Nuevo Mundo.
- 1493, 16 enero La Pinta y La Niña emprendían el viaje de regreso. Quedan en el Fuerte de la Navidad 39 españoles
- 14 febrero Martín de Alonso, a causa de una gran tempestad, se separa del convoy.
- 15 febrero Desde la carabela escribe Colón las primeras cartas anunciando el descubrimiento.
- 4 marzo La Niña llega al estuario del Tajo. Visita Colón al Rey de Portugal en el monasterio das Virtudes.
- 14 marzo Llegada de Martín Alonso a Bayona (Galicia).
- 15 marzo Llegada de Colón a Palos.
- Finales abril Colón es recibido por los reyes en Barcelona.

2.3.- Las expediciones posteriores:

Colón solo pensaba en regresar a sus nuevas tierras y para la segunda expedición todo fueron facilidades, y se reunieron nada menos que diecisiete buques y mil quinientos hombres en la bahía de Cádiz, para zarpar el 25 de septiembre de 1493. Estas son las embarcaciones que emprendieron el segundo viaje:

- Nao *Santa María* o *Marigalante*, homónima de la pérdida en el primer viaje
- Nao *Gallega*
- Carabela *Fraila*
- Carabela *Niña*
- Carabela *Pinta*
- Carabela *San Juan* de 40 t
- Carabela *Cardera*
- Carabela *Gallarda*
- Carabela *Gutierre*
- Carabela *Bonial*
- Carabela *Rodrigo*
- Carabela *Triana*
- Carabela *Vieja*
- Carabela *Prieta*
- Carabela *Colina*
- Carabela *Gorda*
- Carabela *Quintera*

La fecha no era muy buena. Se habían embarcado diversos útiles y utensilios, animales, plantas y otras mil cosas preparadas para la empresa civilizadora. En este viaje hubo mil penalidades; muchos barcos eran viejos y hacían agua, y por fin se desembarcaba el 3 de noviembre en la Dominica. El tiempo debió de ser bastante desfavorable, y seguramente ya los temporales de otoño penetraron en la ruta de este segundo viaje. En este viaje se descubrirían las Islas de Guadalupe, Dominica, Antigua, Boriquén, que luego sería Puerto Rico, y otras. En La Española se vio con dolor el fuerte de Navidad destruido y se fundó la Isabela. Tras fundar la ciudad de La Isabela el 6 de enero de 1494, dispuso el retorno a España de 12 buques de su flota, quedándose sólo con las carabelas Niña ahora llamada Santa Clara (su primitivo nombre), San Juan, Cardera y algunas otras. En junio de 1496 Colón regresó de su segundo viaje a bordo de la Niña, acompañado sólo de la India, el primer buque construido en las Nuevas Tierras.

El 30 de mayo de 1498, se inicia el Tercer Viaje de Cristóbal Colón a América. Partió del puerto de Sanlúcar de Barrameda, Cádiz capitaneando ocho barcos:

- Santa Cruz, (La India).
- Santa Clara (La Niña).
- La Castilla.
- La Gorda.
- La Rábida.
- Santa María de Guía.
- La Gaza.
- la Vaqueña.

Con una tripulación de 226 personas y llevando consigo a Bartolomé de Las Casas, quien después proporcionaría parte de las transcripciones de los Diarios de Colón. Cristóbal Colón en su tercer viaje llevó su flota a la isla portuguesa de Porto Santo, tierra natal de su esposa. Después navegaron hacia Madeira antes de navegar a las Islas Canarias y Cabo Verde. Colón desembarcó en la costa sur de la isla de Trinidad

el 31 de julio. El 4 al 12 de agosto exploraron el Golfo de Paria, que separa Trinidad de Venezuela. Que explorado el territorio continental de Sudamérica, incluyendo el río Orinoco. También navegaron por las islas de Chacachare y Margarita y renombró Tobago ("Bella Forma") y Granada ("Concepción"). Inicialmente, describió las tierras como pertenecientes a un continente desconocido para los europeos.

De regreso a Santo Domingo, Colón tuvo que tratar con los colonos descontentos después de haber sido engañados supuestamente por Colón acerca de las riquezas que supuestamente abundaban en el Nuevo Mundo. Los indígenas se encontraban diezmados por las enfermedades y el trabajo forzado, por eso se rebelaron en contra de lo españoles por los maltratos y su afán de esclavizarlos. Los Reyes Católicos, asesorado por los veteranos de los disturbios en la isla envió a Francisco de Bobadilla en 1500 con una flota de tres naves y el título de gobernador para poner orden en La Española, donde sus habitantes estaban descontentos con la familia Colón. Los disturbios provocaron que arrestaran a Colón y a sus hermanos embarcándolos de vuelta a España. A su llegada Cristóbal Colón es liberado por Isabel la Católica, pero tuvo que abandonar sus títulos incluido el título de virrey de las tierras descubiertas, siendo su prestigio menguado. En setiembre de 1501, ocho meses después, en lugar de enviar a Colón a La Española con sus fueros restituidos, ordenan la destitución de Bobadilla, nombrando en su lugar con el título de Gobernador a Don Nicolás Ovando.

El 3 de abril de 1502 se inició el cuarto viaje de Cristobal Colon desde el puerto de Sevilla, pero con una serie de prohibiciones, como la de tocar tierra en La Española con dos carabelas:

- Santa María.
- Santiago.

Dos naves con 139 hombres abordo sin ninguna mujer. De estos, 39 no volvieron nunca a la península, 35 murieron en combates, y 4 desertaron por las islas. Llegaron el 29 de junio a Santo Domingo, donde el nuevo gobernador Nicolás de Ovando les prohibió desembarcar, siguiendo las órdenes de los Reyes Católicos supuestamente. El objetivo de este viaje fue encontrar un estrecho (el Estrecho de Malaca) que le permitiera llegar a las Indias, al oeste de las Antillas, ya que se veía que éstas no lo eran aunque no podían quedar muy lejos de las tierras por él descubiertas.

El 30 de julio comenzó a explorar las costas de la actual Honduras, llegando a la isla Guanaja, el 16 de octubre desembarca en el continente, y los indígenas del lago Chiriqui le informan que está en un istmo, y que sólo a nueve días de marcha está el Océano Pacífico, pero Colón no hace caso omiso y persigue obsesivamente las perlas y metales preciosos con que contentaría a la Corona. El 18 de octubre de 1502 llega a las costas de Veragua. El 6 de enero intenta fundar la ciudad de Belén en Veragua (el primer asentamiento en el continente). El 16 de abril marchan de Belén con tres carabelas carcomidas. Las Islas Caimán fueron divisadas por Cristóbal Colón durante su cuarto viaje al Nuevo Mundo. El 10 de Mayo de 1503 arribó a las actuales Pequeño Caimán y Caimán Brac, a las que bautizó como las Islas Tortugas debido a la gran cantidad de estos animales que moraban en sus aguas. Colón tuvo una corta estancia en estas islas pero fue suficiente para que su fama trascendiera debido al abastecimiento de carne que ofrecían estos reptiles, siendo incluidas en las rutas de navegación entre Europa y América.

El 25 de junio de 1503 llega a Jamaica donde son destruidos, por diversas causas, los dos barcos que le quedan. El 7 de Julio de 1503, envía una carta a los reyes con Diego Mendoza. Diego Mendez y Bartolomeo Fieschi, con una canoa india, van de Jamaica a La Española a buscar ayuda. El 2 de enero Colón tiene otro motín debido a la falta de alimentos, y Colón saca partido de las tablas astronómicas de Abraham Zacuto para predecir un eclipse de luna el 29 de febrero, y conseguir comida de los indígenas. El 29 de junio de 1504 son rescatados de Jamaica en un barco enviado por Diego Mendez, y llevados a La Española donde llegan el 13 de agosto.

El 11 de septiembre de 1504 sale de Santo Domingo y arriba a Sanlúcar de Barrameda el 7 de noviembre.

Colón regresó cansado y enfermo para afincarse en Valladolid, donde disfrutó de muy buenas rentas hasta que le sorprendió la muerte el 20 de mayo de 1506. Enterrado inicialmente en Sevilla, su hijo Diego trasladó sus restos años después a La Española (Santo Domingo), de la que era gobernador.

Colón acababa de cambiar la mentalidad de Europa, y cortar definitivamente con la Edad Media, y su rigidez dogmática. En adelante, los navegantes tomaron confianza en la brújula y pusieron más atención en el estudio de los instrumentos; la navegación se convirtió en una ciencia.

El Atlántico se transformó de "mar tenebroso" en el "mare nostrum de la Civilización Occidental", a los castellanos siguieron españoles de todas las regiones, portugueses, ingleses, holandeses, franceses, y muchos capitanes italianos al servicio de los países anteriores.

Por 400 años, los buques siguieron habitualmente una sola ruta en su trayecto entre Europa y América: el rumbo que fijó Colón al cruzar por primera vez la "mar océano"; aprovechando los vientos Alisios y las corrientes marinas tropicales.

2.4.- Definición de los buques en el siglo XV:

Intentar definir los tipos de naves anteriores al siglo XVI es tarea dificultosa que sólo nos puede llevar a conclusiones aproximadas, debido a la total inexistencia de planos de construcción de buques, para lo que se guiaban por reglas empíricas transmitidas por los herreros de ribera, a ello se une la confusión que suponía la diversidad de nombres que adoptaba un tipo concreto, tal es el de la nao llamado así en España, a lo que en Italia se le llamaba carraca o en América urca.

Son escasas las diferencias entre los cascos de época colombina o pinturas contemporáneos, muchos efectuados por artistas sin el conocimiento técnico necesario para darnos una representación exacta de las naves. Precisamente por el carácter poco expresivo de algunas imágenes, ha surgido la errónea idea de que la flotilla colombina la formaban embarcaciones desprovistas de cubierta o al menos pequeñas y estrafalarias, con insuficientes medios de propulsión y gobierno. Sin embargo, sería la

flota más adecuada tanto por su construcción como por la propia tripulación y equipamiento, de tal manera que el mismo Almirante anotaría en el prólogo de su Diario que se trataba de buques *muy aptos para semejante fecho... y partí del dicho puerto muy abastecido de muchos abastecimientos.*

Los documentos gráficos, aún siendo algunos desproporcionados, nos dan una imagen completa de la obra muerta, especialmente de la nao y menos concretamente de la carabela, tomando de unos la forma de los castillos a proa y a popa de otros bulárcamas, cintones y cintas, cofas, etc. De entre sus manifestaciones sólo conocemos un modelo tridimensional del Medioevo: la nao de Mataró, de hacia 1450, teniendo en cuenta que se trata de un ex voto marineró que no aporta unas relaciones reales de sus dimensiones principales básicas.

Imprescindible para el establecimiento de las líneas del casco de las naos son los primeros tratados de construcción españoles, que aún siendo del último tercio del s. XVI, proporcionan los primeros precedentes técnicos importantes: se trata del Itinerario de navegación, de Escalante de Mendoza (1575) y la Instrucción Náutica, de García de Palacio (1587). También, aunque ya de principios de siglo XVII, el Arte para fabricar, fortificar y aparejar naos, de Thomé Cano (1611).

España sería el primer país en que la fabricación de buques tomaría suficiente importancia para intentar sistematizarla en tratados. Respecto al casco de las carabelas, el arqueólogo nava Augusto Jal tradujo un manuscrito anónimo veneciano del s. XV, sobre construcción de naves latinas, mientras que el comisionado Enrique López Mendoza, miembro del cuarto centenario del Descubrimiento en Portugal, publicó un manuscrito anónimo portugués de finales del siglo XVI o principios del XVII, : *Libro Náutico de Meio practico de contrucao dos navios e gales antigas.* Ambos servirán de base para la reconstrucción de las carabelas.

2.5.- Las carabelas:

Antes de centrarnos en la embarcación “la Niña”, vamos a definir que es una carabela y algo de su evolución. Su nombre propio lo vemos por primera vez en un documento de villa Nova de Gaia de 1255 (Portugal), donde se aludía a embarcaciones de escaso porte dedicadas al pequeño cabotaje y las más a la pesca por aguas costeras.

Más adelante aquellas embarcaciones ligeras, de aparejo latino, se convirtieron, agrandadas y transformadas, en las más apropiadas para las expediciones portuguesas a las costas africanas en el primer cuarto de siglo XV, presamente por la ligereza de su casco, largo y estrecho de 50 a 100 toneladas de arqueo y por la gran capacidad para ceñir vientos que le proporcionaba el aparejo latino. En España se nombra por primera vez a la carabela en una relación de la segunda Partida de Alfonso el Sabio, sin embargo, hasta entrado el siglo XV no sabemos de su utilización.

Las referencias documentales de las carabelas aunque mencionan unas condiciones claras de celeridad en la marcha y rapidez en sus evoluciones, no indican un tipo definido de nave sujeto a gálibos o formas determinadas por una fórmula permanente. Hasta tal punto es confuso el nombre de carabela que durante el siglo XVI,

cuando se inicia la construcción naval en el Pacífico, los buques que allí recibían el nombre de naos, bergantines, etc. solían llamarse carabelas cuando se citaban en España.

Podemos deducir, dentro de esta imprecisión, en cuanto al casco, que se trataba de buques de alto bordo, propio de las embarcaciones mancas (sin remos y que no usaban remos como propulsión principal), aunque sí en tiempos de calma o circunstancias de pasos difíciles; también, la finura de sus líneas y en consecuencia especial aptitud para barloventear; y, por último la falta de castillo de proa, adoptando en ocasiones la tilla, pequeña cubierta a modo de castillo, nada engallada y sin borda alta, para cobijo de los combatientes. El aparejo de aquellas embarcaciones ligeras, que lo constituían de uno a cuatro palos, aparecerá bien definido en Portugal como latino.

Más adelante será cambiado, en las costas andaluzas, por redondo e incluso mixto: con aparejo latino y redondo. Mientras en el Mediterráneo prevaleció el aparejo latino primitivo, como mucho se cruzaba el trinquete, en el Océano serán más usados los de aparejo redondo con cebadera y mesana latina (aparejo de nao) o los dos aparejos izando el más conveniente a los vientos de la travesía. Normalmente carecían de vela de gavia aunque se podía poner en los palos ocasionalmente los cestos de gavia.



2.5.1.- Ornamento de las naves colombinas:

La austeridad en la construcción naval de la época es manifiesta en los casos de los buques en que sólo se atendía a su fortaleza y navegabilidad y no a las bellezas de formas ni a los elementos decorativos.

Las velas cuadradas del aparejo estaban posiblemente pintadas con cruces de Santiago. Arbolaban distintas banderas: la bandera real de Castilla y León en el palo mayor y el estandarte real con las letras Y y F (Isabel y Fernando) a popa, según consta en el Diario.

- **Artillería:** La expedición colombina sin duda no fue de conquista sino geográfica y consecuentemente su armamento no pudo ser de defensa sino de precaución meramente. En este sentido dirá el Almirante que iba provisto de mucha artillería, como sobrada o suficiente. Montaban las naves algunas piezas de artillería: lombardas de hierro, en cureñas sobre cubierta, que arrojaban pelotas de piedra y pequeños falconetes en las bordas que se cargaban con trozos inservibles de hierro. Entre las armas portátiles llevaban ballestas y espingardas.
- **Instrumentos náuticos:** Respecto a los instrumentos de navegación que llevaba Colón, aparecen citados en el su Diario la aguja magnética, cartas náuticas, cuadrantes y sondaleza; es posible que llevara también el astrolabio y la ballestilla, aunque no los nombra. Es muy probable que se acompañara de una copia del mapamundi de Toscanelli. También trazaría Colón sus propias cartas de navegación por *estima*, es decir rumbo y distancia: estimaba el rumbo

tomando de la brújula y la velocidad de la Santa María, en millas por hora, calculada a ojo por la observación de la intensidad de los vientos, el paso de los sargazos flotantes en el mar y la estela del agua.

2.6.- La Niña:

No se conoce ninguna imagen de las naves que utilizara Colón en el primer viaje al Descubrimiento, ninguna representación ni descripción escrita nos ha llegado de ellas. Sólo contamos con algunas referencias, principalmente reflejadas en el Diario de a bordo del Almirante, extractado por Fray Bartolomé de Las Casas, que nos proporcionan algunos datos de las mismas.



Réplica en miniatura de La Niña.

La embarcación que tratamos fue la más pequeña de la armada, construida como la Pinta en Palos, resultó ser la carabela preferida del Almirante.

De nombre “Santa Clara” se llamó siempre La Niña por su propietario, Juan Niño, vecino de Moguer. La mandó Vicente Yáñez Pinzón, hermano del capitán de la Pinta.

Por las declaraciones de varios testigos de los Pleitos Colombinos, sabemos que fue construida es esta Villa: *“Francisco Beltrán declara saber que la Niña estaba construida en Moguer... por lo que este testigo se acuerda cuando hizo dicha Nao e la vido parecer en la ribera de Moguer”*. Alonso Sánchez Camacho al contar una pregunta de los jueces dice: *“Y este testigo ayudó a botar la dicha nao estando en la Ribera de Moguer”*.

Al igual que la Pinta, sus condiciones de maniobrabilidad y estabilidad debían ser excelentes, pues ambas aguantaron muy duros embates de la mar: *“Allende los votos, generales o comunes cada uno en especial su voto, porque ninguno pensaba escapar, teniéndose todos por pedidos, según terrible tormenta que padecían”*. Sin embargo la Pinta, sufría problemas del timón, debido al mal calafateado* del casco y de la mala calidad del palo de mesana. Hasta tal punto se desengañó el Almirante que incluso pensó en la posibilidad de dejarla en Gran Canaria, pero al no encontrar en esta isla una que la sustituyera, decidió continuar con ella, no sin antes hacer reparaciones a fondo en el timón, que no vuelve a fallar en toda la travesía, y de calafatear la obra viva.

- Calafateado. En la construcción naval se denomina calafatear a la acción de introducir entre dos tablas del casco de madera una combinación de estopa

de cáñamo embebida en brea a fin de evitar la entrada de agua. En la actualidad, también se utilizan productos sintéticos para realizar la operación. Esta tarea debe realizarse periódicamente en las embarcaciones a fin de garantizar la estanqueidad de la misma.

La preferida de Colón, era la Niña, de la cual dice con admiración: *“Aquí comenzó a tener grande mar y tormenta, y, si no fuera la carabela diz que muy buena y bien aderecada temiera perderse”*. Según dice el Diario, era la más rápida: *“La carabela Niña que va delante por ser velera y endovan quien más podía”*.

En las Palmas se cambió su aparejo latino por redondo, igual al de la Pinta, según dice el hijo de Colón, Fernando. El nuevo aparejo de la Niña debió ofrecer un aspecto similar al de la carabela Pinta, excepto que carecía de cofa en su palo mayor, no tenía mastelero ni gavia y le faltaba cebadera.

Una vez en el nuevo continente, la Santa María fue perdida, el día de navidad, debido a un descuido del grumete que llevaba el timón, encalló en una playa y acabó perdiéndose. Algunos autores sitúan el lugar del naufragio en la bahía del Caracol de la isla de Haití. Y aquí, con sus restos se levantó el primer asentamiento español en el continente americano: el Fuerte Navidad.

Debido a esto, Colón elige a la Niña como capitana al embarcar en ella, a pesar de ser más pequeña que la Pinta, lo que confirma la bondad de esta embarcación. Bajo su mando, pone rumbo a la Península Ibérica el día 16 de enero, iniciando así el tornaviaje, con 16 hombres a bordo y dejando 36 tripulantes en el nuevo asentamiento. Recaló en la isla de Santa María, del archipiélago de las Azores, el 18 de febrero, y entrar en Lisboa el 4 marzo. Sale de la capital lusa el 13 del mismo mes y por fin, dos días más tarde, fondea a la sombra del monasterio de la Rábida (Palos de la frontera – Huelva).

Es la única embarcación de la que tenemos constancia de su porte, de alrededor de 60 toneladas según Michel Cúneo, que así lo dice refiriéndose a la Niña del segundo viaje, buque almirante de la exploración de Cuba en que fue Cuneo y que parece tratarse del mismo buque del primer viaje.

2.7.- Definición de La Niña:

La construcción de las réplicas de las Naves del Descubrimiento, con motivo del Quinto Centenario del Descubrimiento de América, y como objetivo eran dos fundamentales: el primero de ellos repetir el viaje de Colón y los hermanos Pinzón, reproduciendo fielmente la ruta seguida por los marinos españoles en los meses de agosto septiembre y octubre de 1492. Y como segundo objetivo, potenciar la investigación sobre las tres naves descubridoras, así como avanzar en los conocimientos de la construcción naval, la navegación y la vida cotidiana de los hombres de la mar en los siglos XV. Las características de la réplica de la Niña construida en la base militar de Cartagena y botada el 4 de octubre de 1990, son las siguientes:

- **ESLORA:**

Máxima casco (m)	21,4
Quilla (m)	15,55

- **MANGA:**

Manga máxima (m)	6,28
------------------	------

- **PUNTAL:**

Puntal (m)	2
------------	---

- **DESPLAZAMIENTO:**

Desplazamiento en rosca (t)	48,66
Desplazamiento máximo (t)	100,3

- **ALTURA:**

Palo mayor sobre cubierta (m)	16
Palo trinquete sobre tillo (m)	9,8
Palo mesana sobre tolda (m)	8,15

- **SUPERFICIE:**

Vela mayor (m ²)	115,7
Vela Trinquete (m ²)	40,6
Vela Mesana (m ²)	22,55
Vela Gavia* (m ²)	-
Vela Cebadera* (m ²)	-

*Solo la Santa María llevaba en su aparejo vela Gavia y Cebadera.

Todos los materiales utilizados en dichas construcciones, han sido los mismos que utilizaron los carpinteros que armaron las tres naves que realizaron el descubrimiento a finales del siglo XV. Estos materiales son los siguientes.

- Estructura: Roble.
- Forros: Pino.
- Timón: Roble.
- Jarcias: Cáñamo.
- Velas: Lino.
- Anclas: Hierro.
- Clavazón: Hierro.
- Calafateado: Estopa de cáñamo.

Más adelante estos materiales se utilizarán para el cálculo del escantillonado y se darán las razones de su uso.

En cuanto a la estabilidad, los buques han pasado las pruebas de estabilidad oficiales obteniendo los pares límites de adrizamiento siguiente:

- Santa María y Pinta: 73° de balance medio.
- Niña: 83° de balance medio.

La navegación a vela, después de haber navegado 10.000 millas y con toda clase de mar y viento conocemos el comportamiento de las carabelas en las distintas circunstancias que se pueden encontrar a lo largo de sus largas travesías.

Como característica general, las carabelas pueden navegar a vela hasta 70° al viento, ángulo de ceñida muy satisfactorio, dada las características de estas naves, y sobre todo de su aparejo, no olvidemos que dos de sus velas son cuadradas. Con vientos portantes de aleta y buena mar, para las carabelas se obtiene el siguiente cuadro de avances medios:

Velocidad viento (kn)	10	15	20	25	30
Velocidad nave (kn)	2,5 a 3	4	5	6	7

Tripulación:

Es muy complicado saber con exactitud los nombres de los tripulantes de La Niña, pero una lista bastante fiable y contrastada sería la siguiente:

- Vicente Yáñez Pinzón (Capitán)
- Juan Niño (Maestre y propietario)
- Francisco Niño
- Bartolomé Roldán (aprendiz de Piloto)
- Abnso Morales (carpintero)
- Andrés de Huelva.
- Bartolomé García (contramaestre)
- Diego Lorenzo (alguacil)
- Fernando de Triana (grumete)
- García Alonso
- Juan Arias (grumete)
- Juan Arraez (marinero)
- Juan Romero.

2.8.- Unidades de medida en el siglo XV:

Una de las dificultades que encontramos al estudiar y tratar de reproducir las naves españolas del Renacimiento es que las unidades que se usaban en los siglos XV, XVI y XVII eran diferentes a las que se establecieron con la implantación del sistema métrico decimal. Saber las equivalencias en el actual sistema métrico decimal de las medidas antiguas es fundamental para reproducir el trazado y dimensiones de las naves de aquella época.

Puesto que los datos documentales de que disponemos vienen dados en esas unidades antiguas será necesario familiarizarse con ellas para comprender la dimensión en sí, los métodos constructivos y demás detalles de aquellas naves. La descripción y cálculos se expondrán en los sucesivos capítulos.

Otra dificultad radica en que al no existir aún el actual sistema métrico las medidas fraccionarias se expresaban en forma de quebrado, con las consiguientes complicaciones al realizar los cálculos.

Medidas de longitud: Las equivalencias con el sistema métrico de las medidas de longitud españolas antiguas se conocen con bastante exactitud. Casi todas las medidas de longitud derivan de la Vara castellana, y las que nos atañen en el ámbito naval son; el palmo, el dedo, el pie castellano o pie de burgos, el codo, la pulgada y la línea.

- Vara castellana: Su equivalencia se estableció en 0,8359 metros.
- Palmo: Es la cuarta parte de una vara y su valor es de 0,209 metros aproximadamente
- Dedo: Doceava parte de un palmo y su valor es de 0,0174 metros.
- Pie de Burgos: Es la tercera parte de una vara y equivale a unos 0,2786 metros.
- Codo: Dos tercios de vara y su equivalencia en el sistema métrico es de 0,8359 metros de lo que medía una vara, aproximadamente queda unos 0,5573 metros.

Sin embargo en 1613 se establece el codo de ribera como: “dos tercios de vara, medida castellana, y una treinta y dos avos de las dos terzias” y había de implantarse en lo sucesivo a la construcción naval en todas las naves españolas.

Medidas de superficie: No aparecen muchas medidas de superficie en las dimensiones de las naves salvo para las superficies de las velas que aún éstas, se medían por la longitud en codos. En alguna región de Cataluña se usaba medidas como el palmo cuadrado.

Medidas de capacidad y volumen: Desde los comienzos de la navegación se han clasificado los buques según la carga que podían transportar. Incluso las naves de armada se clasificaban por la capacidad o volumen del buque hasta que los de guerra en el siglo XVIII, época en que comienzan a clasificarse por el número de cañones que portaban (primer orden >100, segundo orden 90 cañones y tercer orden 74 cañones). En esta época se utilizaban los toneles y las toneladas de la época. Era frecuente en la

época, calcular el número de pipas que cabía en la bodega, estas pipas eran barricas o toneles de madera usados para el transporte de mercancías, las pipas según la región geográfica tenía una cabida diferente; Aragón y Cataluña 483 litros, Cádiz 516 litros, Málaga 583 litros pero las que más se mencionan en la época son las pipas castellanas cuya capacidad era de 27 arrobas y media equivalente a unos 436 litros.

Las dimensiones de las pipas eran, en posición horizontal, de dos codos y medio (1,393 metros), diámetro mayor de 1,5 codos (0.836 metros) y el diámetro menor de 1 codo (0.557 metros). Conociendo esto, ya podemos calcular las dimensiones de una nave.

Otra unidad que aparece son las toneladas allá en 1550-1560, siendo dos pipas igual a una tonelada y por tanto una tonelada sería el volumen de 8 codos cúbicos equivalente a 1,385 m³.

Finalmente cabe hablar de los pipotes, según las ordenanzas de 1618 deben de llevar un barril grande llamado pipote enterrados en el lastre del fondo del buque. Estos pipotes eran para llevar agua potable en los viajes, sirviendo también de lastre o para guardar velas en las internadas la capacidad era de seis pipas y las tablas del fondo de dos pulgadas de grueso y reforzados con 5 aros de acero, Los pipotes resultan ser unas grandes barricas con una altura y un diámetro mayor de tres codos (1,724 m) y un diámetro menor de dos codos y medio (1,437 m).

Medidas de peso: La medida más usual en Castilla era la arroba. Por lo que se ha dicho una arroba equivale a 15,85 litros (una pipa equivale 27 arrobas y media), pero como medida de peso la arroba equivalía a 11,5 kilogramos. Y el quintal se define como el peso de cuatro arrobas (46 kilos) y la libra castellana equivale a (460 gramos). Cien libras, un quintal.

3.- CARACTERÍSTICAS DEL BUQUE:

3.1.- Datos de la embarcación:

Se trata de una carabela de velamen latino, constituido por tres palos. Las características principales de esta embarcación son las siguientes:

- Desplazamiento (Δ): 75 toneladas.
- Eslora (L):
 - Eslora máxima del casco..... 21,40 metros.
 - Eslora en cubierta..... 19,35 metros.
 - Eslora entre perpendiculares..... 8,00 metros.
 - Eslora en la flotación de máxima carga..... 9,30 metros.
- Manga máxima fuera de forros (B): 6,28 metros.
- Puntal (H): 2,8 metros.

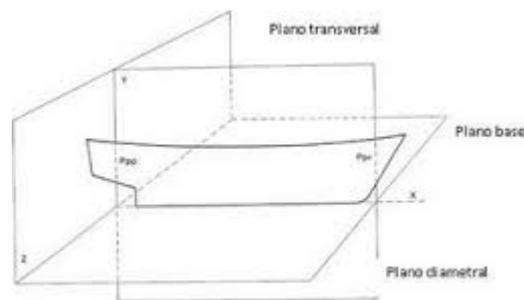
Características secundarias:

- Separación entre cuadernas..... 1.500 metros.
- Separación entre longitudinales..... 1.05 metros.
- Altura de las líneas de agua..... 0.5 metros.

3.2.- Plano de formas:

3.2.1.- Fundamentos de la representación del plano de formas:

A modo de breve repaso. La base fundamental para poder estudiar las características geométricas que definen el casco de un buque es tener la representación de sus formas trazadas a escala. Dicho trazado es lo que se denomina plano de formas. Constituye también el punto de partida para la fabricación del casco, lo cual requiere que esté alisado, es decir que sus formas sean suaves y no presenten discontinuidades que no formen parte del casco. Para su representación es necesario considerar un sistema de referencia tridimensional ortogonal asociado al barco, es decir, el triedro de tres ejes perpendiculares entre sí.



El plano diametral o plano de crujía en su intersección con los otros dos planos que forman el triedro de referencia da lugar a los ejes principales, denominándose Línea de Crujía a la intersección del casco con dicho plano, así como a su traza en las tres proyecciones. Se llama plano base al plano paralelo a la flotación de trazado que pasa por el canto superior de la quilla en la sección media. A la intersección del plano base con el de crujía se le llama línea base.

Consideramos el sistema de referencia situado en la intersección de la línea base con la sección nº 0, siendo el eje X en la dirección longitudinal del buque en el sentido del avance, el eje "Z" en la dirección vertical, quedando el eje "Y" para las semimangas en dirección perpendicular al sentido de avance del buque, siendo positivo en el sentido hacia estribor y negativo a babor. Es decir:

Se consideran como ejes:

- Eje OX: el de dirección Proa-Popa ó sentido longitudinal.
- Eje OY: el de dirección Estribor-Babor ó sentido transversal.
- Eje OZ: el de dirección Quilla-Cubierta ó sentido vertical.

Respecto al eje OX longitudinal existen dos criterios fundamentales:

- Criterio europeo: sentido positivo de Popa a Proa.
- Criterio americano: sentido positivo de Proa a Popa.

Respecto al eje OY transversal:

- Criterio europeo: sentido positivo Estribor a Babor.
- Criterio americano: sentido positivo de Babor a Estribor.

Respecto al eje OZ vertical el sentido positivo es de Quilla a Cubierta.

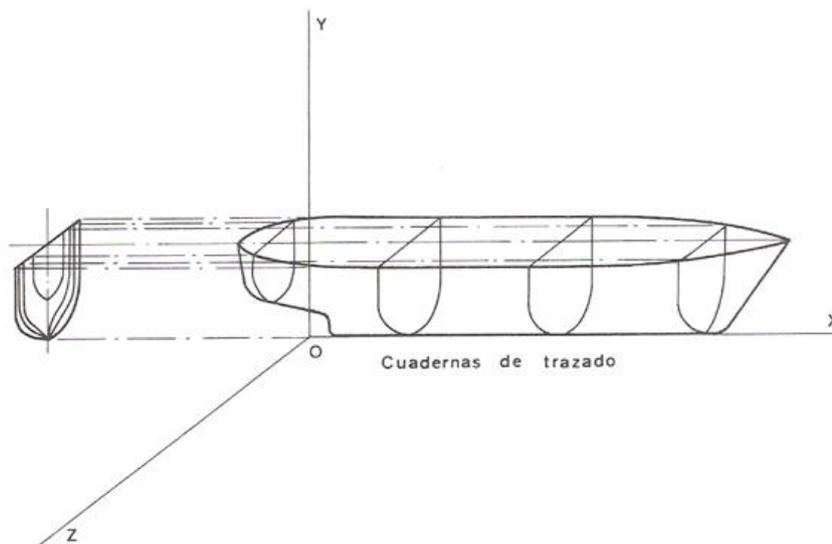
Origen O: su ubicación transversal es siempre el plano de crujía o plano de simetría del barco y su ubicación vertical varía al variar la línea base. Respecto a la ubicación longitudinal existen dos criterios, que son:

- Criterio europeo: está situado en la perpendicular de popa siendo la ubicación más utilizada desde el punto de vista de diseño y construcción.
- Criterio americano: está situado en la perpendicular de proa.

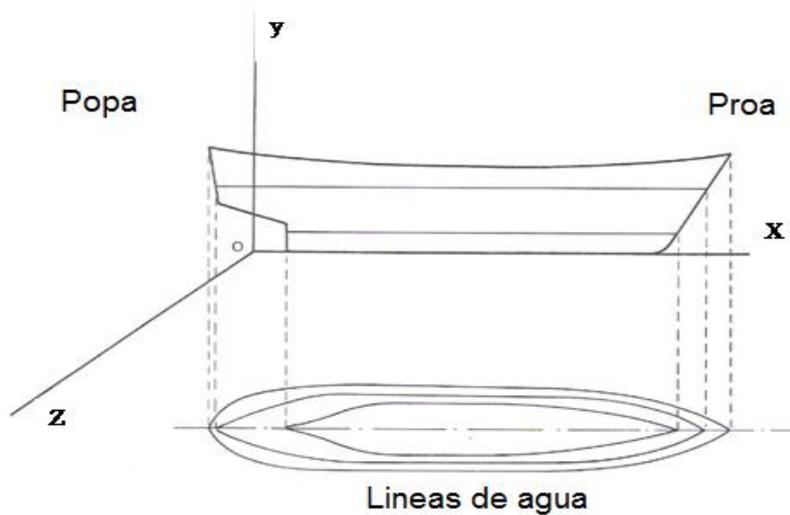
El objetivo final de cualquier diseño es su construcción, y para poderla llevar a cabo es necesario trasladar las formas y dimensiones del objeto en cuestión al proceso constructivo. La forma de representación del casco de un barco es mediante su Plano de Formas. Un plano de formas consta de un conjunto de líneas representadas en tres proyecciones ortogonales, obtenidas al cortar el buque por un sistema de planos paralelos a los tres planos del triedro trirrectángulo. Los nombres que reciben estas líneas en las tres proyecciones son:

- Proyección en un plano transversal, conteniendo a los ejes OY y OZ.

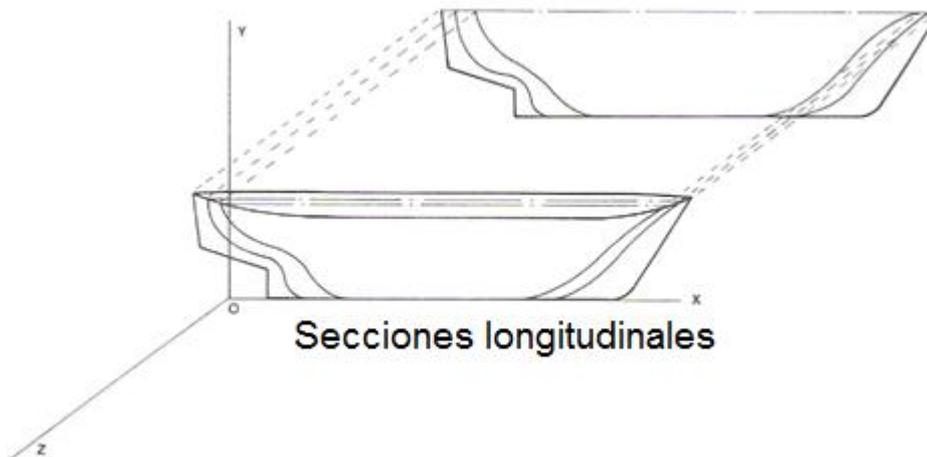
Los cortes del casco con planos transversales, se denominan cuadernas de trazado o secciones de trazado, y el conjunto de todas ellas se dispone en una vista del plano que se denomina caja de cuadernas.



Los cortes del casco con planos paralelos horizontales, paralelos a la flotación, se denominan Líneas de Agua. Sólo se representan en la mitad del barco por ser simétrico.



Los cortes del casco con planos longitudinales paralelos al plano de crujía, y por tanto perpendiculares a los dos anteriores, se denominan Líneas Longitudinales o Longitudinales.



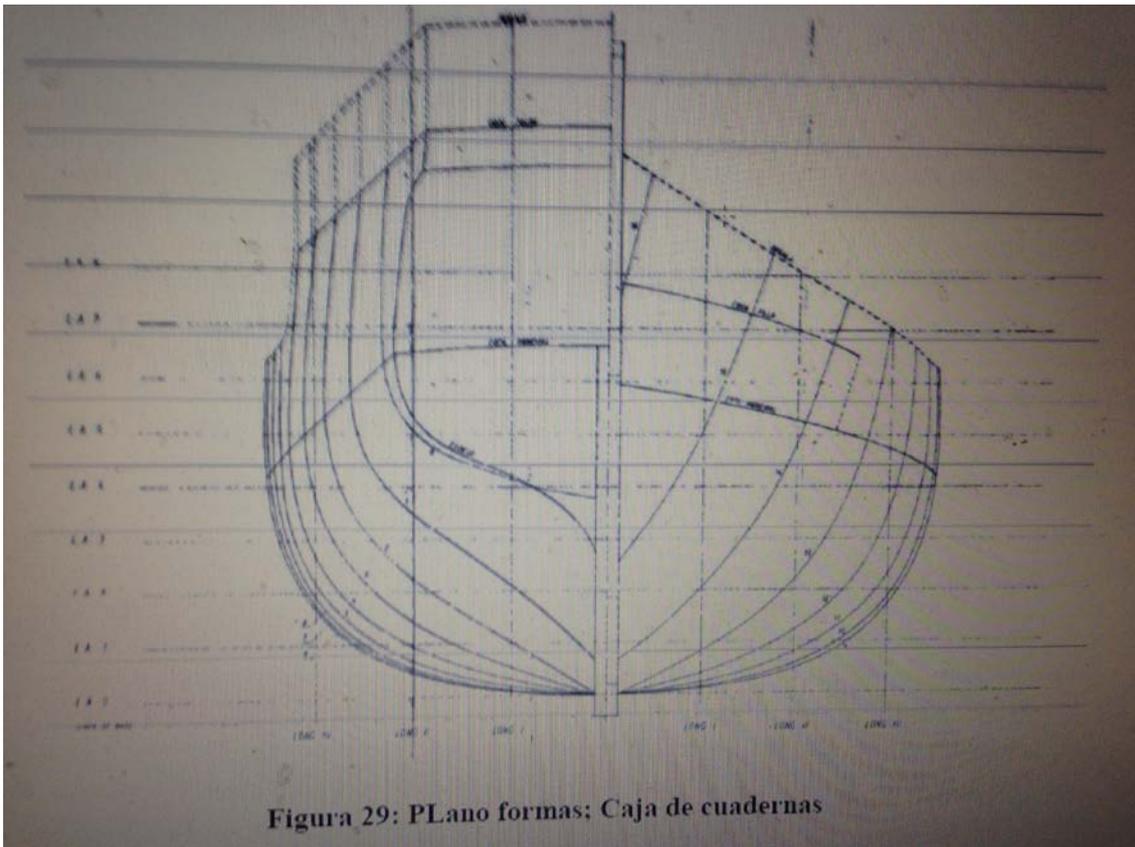
Una particularidad a tener muy en cuenta es que, en el caso de cascos metálicos, la superficie de trazado viene determinada por el canto exterior de las cuadernas, denominándose trazado fuera de miembros, por lo que el forro exterior se considera apéndice. La importancia desde el punto de vista de trazado en plano y a escala, es relativa, dado que espesores de diez milímetros de plancha a escala 1/100 representaría una décima de milímetro en papel, lo que llevaría a errores muy pequeños y prácticamente despreciables, no siendo así, en cambio, en buques de materiales compuestos ni de madera dado que el espesor del forro no puede en ningún caso despreciarse, máxime al ser las escalas de trazado menores por los propios tamaños de este tipo de embarcaciones, pudiendo dar lugar a errores importantes. En el caso de

materiales no metálicos el trazado se realiza fuera de forros, es decir las líneas de trazado tienen en cuenta el espesor del forro exterior.

Hay que tener presente que en las proyecciones longitudinal y horizontal el barco se dibuja con la proa a la derecha. En la proyección horizontal, que se sitúa en debajo de la proyección longitudinal, sólo se dibujan las líneas de agua de babor, al ser el barco simétrico. En la caja de cuadernas, se sitúan las secciones de proa a la derecha de la traza de la línea de crujía, y las de popa a la izquierda de la misma.

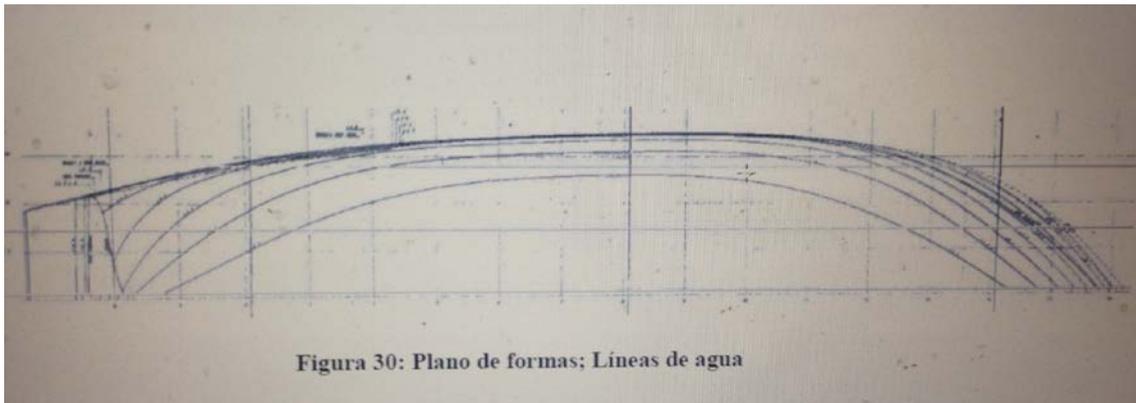
La línea de agua cero será la correspondiente al plano base y la línea de agua cuatro (4) es la flotación de trazado, quedando el buque con un calado de dos metros, dividiendo se obtiene una separación de 0,5 metros, añadiendo cuatro líneas de agua más, hasta un total de ocho, además de dos adicionales con una separación de 0,30 metros para una total definición de todo el puntal.

3.2.2.- Caja de cuadernas:



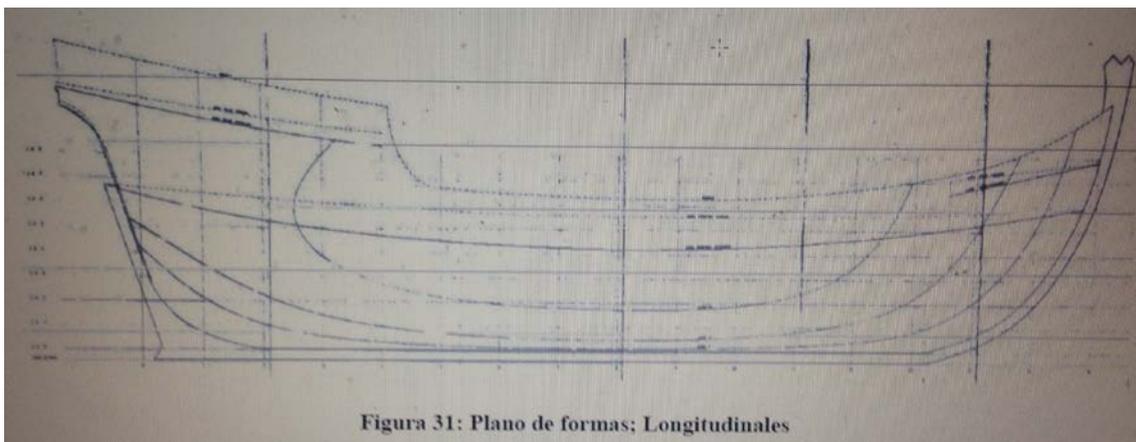
- Caja de cuadernas: proyección en un plano transversal, contenido en los ejes OY y OZ.

3.2.3.- Líneas de agua:



- Líneas de agua: proyección en un plano horizontal, conteniendo los ejes 0X y 0Y.

3.2.4.- Longitudinales:



- Longitudinales: proyección en un plano horizontal, conteniendo los ejes 0X y 0Z.

3.3.- Cartilla de trazado:

Las formas de un barco quedan definidas mediante la cartilla de trazado, consistente en una serie de cifras que representan puntos en el espacio, consistentes en las semimangas que corresponden a la **intersección de las líneas de agua con las secciones**. Además, se dispone en la cartilla de trazado de los pies de cuadernas y de las **intersecciones de la/s cubierta/s con las cuadernas**, para tener definidos el principio y fin de las mismas. Es importante señalar que para una total definición de las formas es necesario disponer de **croquis con los perfiles de proa y popa**, para tener definida la parte superior de la roda, el codaste y la popa (espejo, crucero).

La cartilla de trazado de nuestro buque se ha obtenido mediante el Maxsurf, a partir nuestra superficie alisada en Prosurf. La cartilla es la siguiente:

3.3.1.- Semimangas de la intersección de las líneas de agua con las secciones:

Flotaciones	Sec. 0	Sec. 1/2	Sec. 1	Sec. 2	Sec. 3	Sec. 4	Sec. 5	Sec. 6	Sec. 7	Sec. 8	Sec. 9	Sec. 9 1/2	Sec. 10
Flot.1/2	0	0,120	0,120	0,120	0,120	0,120	0,120	0,120	0,120	0,120	0	-	-
Flot. 1	0	0,120	0,201	0,872	1,555	2,068	2,322	2,253	1,754	0,778	0	-	-
Flot. 2	0	0,12	0,711	1,740	2,383	2,665	2,756	2,751	2,362	1,457	0	-	-
Flot. 3	0	0,38	1,367	2,385	2,766	2,920	3,002	2,987	2,705	1,910	0,454	0	-
Flot. 4	0	1,18	2,041	2,663	2,920	3,051	3,102	3,081	2,895	2,222	0,762	0	-
Flot. 5	0	1,87	2,333	2,733	2,955	3,071	3,140	3,121	2,963	2,410	1,034	0,120	0
Flot. 6	0	2,14	2,401	2,751	2,954	3,063	3,123	3,111	3,004	2,533	1,252	0,222	0
Flot. 7	0	2,15	2,368	2,710	0	-	-	-	0	2,634	1,453	0,447	0
Flot. 8	0	2,17	2,372	2,683	0	-	-	-	-	0	1,611	0,604	0

3.3.1.- Semimangas de la intersección de las cubiertas con las cuadernas:

Sección/Cubierta	Principal		Toldilla		Castillo	
	Y	Z	Y	Z	Y	Z
Espejo	1,97	3,81	1,68	5,29	-	-
0	2,16	3,76	2,09	4,89	-	-
3	2,51	3,73	2,39	4,62	-	-
6	2,75	3,74	2,64	4,37	-	-
9	2,92	3,76	2,81	4,19	-	-
12	3,02	3,76	-	-	-	-
15	3,09	3,77	-	-	-	-
18	3,13	3,78	-	-	-	-
21	3,14	3,79	-	-	-	-
24	3,11	3,8	-	-	-	-
27	2,97	3,75	-	-	-	-
30	2,6	3,56	-	-	-	-
33	1,89	3,24	-	-	2,16	3,38
36	0,78	2,97	-	-	1,11	3,72

4.- CÁLCULOS JUSTIFICADOS DE ARQUEO Y ESTABILIDAD:

4.1.- ARQUEO:

El arqueo es un indicador del tamaño del buque y/o de su volumen de carga: se define arqueo bruto al volumen total del buque y arqueo neto a la capacidad utilizable del buque.

El arqueo mide la capacidad del buque y determina:

- Las titulaciones y tripulaciones mínimas.
- El equipo de salvamento.
- El equipo y material de conrtraincendios.
- El equipo de navegación.
- La normativa que se le ha de aplicar.
- La capacidad de pesca.
- Las ayudas y subvenciones.

4.1.1.-Determinación del arqueo:

Desde los comienzos de la navegación se han clasificado las naves por el volumen de carga que pueden transportar. El cálculo de la capacidad de carga se hace midiendo el volumen del casco.

Para calcular el arqueo de esta carabela se utilizaran dos métodos distintos, en los cuales las unidades de medida que se usaban en los siglos XV, XVI y XVII eran anteriores a la implantación del sistema métrico decimal (que ya se han desarrollado anteriormente):

1. El primero, de acuerdo a las nociones geométricas que se utilizaban a mediados del siglo XVI.
2. El segundo método se basará en la fórmula de Cristóbal de Barros (1570).

4.1.1.1.- Método geométrico:

Con los métodos de arqueo de la segunda mitad del siglo XVI los cálculos del volumen del buque se hacían por procedimientos geométricos. Uno de los procedimientos más sencillos consistía en multiplicar el área de la sección media del casco por su longitud media. Como sección transversal media tomaban la mitad del producto de la manga máxima (M) por el puntal de la bodega (H). Como longitud media tomaba la eslora de la primera cubierta, o bien la semisuma de la quilla (Q) y la eslora (E) de la segunda cubierta. De esta forma obtenían el volumen del buque según la siguiente fórmula:

$$V= M \times H \times (Q+E) / 4 \text{ (codos}^3\text{)}$$

Hay que tener en cuenta que las dimensiones de las naves se obtenían en codos, y el resultado anterior se obtiene en codos cúbicos. Para convertir los codos cúbicos en toneladas de ocho codos cúbicos, simplemente hay que dividir por ocho:

$$V = M \times H \times (Q+E) / 32 \text{ (toneladas de ocho codos}^3\text{)}$$

Una vez conocida esta expresión, lo primero que se realiza es el cálculo de las medidas para la embarcación, que serán las siguientes:

Eslora: $21,4\text{m} = 38,3994258 \text{ (codos}^3\text{)}$

Quilla: $15,55 = 27,9023865 \text{ (codos}^3\text{)}$

Manga: $6,28 = 11,2686165 \text{ (codos}^3\text{)}$

Puntal: $2,8 = 5,02422394 \text{ (codos}^3\text{)}$

Resultando un volumen de 117,304591 toneladas de ocho codos, que es lo mismo que 162,467 toneladas.

4.1.1.2.- Fórmula de arqueo de Cristóbal de Barros:

Cristóbal Barros realizó un análisis de los distintos métodos de arqueo que por aquel entonces se usaban en España. A continuación se explica el que se utilizaba en la costa cantábrica.

En primer lugar hay que medir la manga máxima del buque (M), y en esa misma sección tomar el valor del puntal hasta la altura de máxima manga (Hm). Siendo la eslora (E) a esta altura, la longitud que existe entre proa y popa, sin hacer ninguna reducción. Con estos datos podremos hallar el arqueo (en codos cúbicos), mediante la fórmula de Cristóbal Barros:

$$V = \left(\frac{M}{2} \right) \times \left(\frac{Hm}{2} \right) \times E \text{ (codos}^3\text{)}$$

Tras el cálculo se procedía a su corrección, deduciendo el 5% por los elementos internos del casco (así como los mastiles y las bombas de achique); y añadiendo el 20% para compensar el espacio que ocupaban los cañones situados por encima de la manga máxima. Lo que resultaba igual a multiplicar la anterior relación por 1,14.

Así pues, una vez consideradas dichas correcciones y la conversión de codos cúbicos a toneladas, la fórmula de Cristóbal Barros queda de la siguiente forma:

$$V \text{ (codos}^3\text{)} \times 1,14 = V \text{ (toneladas de ocho codos}^3\text{)}$$

Una vez desarrollado dicho método se hallará el arqueo de la embarcación La Niña:

Eslora: $18,3\text{m} = 32,8368922 \text{ codos}$

Manga: $6,28\text{m} = 11,2686165 \text{ codos}$

Puntal: 1,8m= 3,22985825 codos

Resultando un volumen de 116,849 toneladas de ocho codos cúbicos.

La tendencia a finales del siglo XVI era minimizar el porte de registro que se le asignaba a cada nave, y por tanto, las cantidades que se pagaban a los armadores, por este motivo se fueron imponiendo los métodos de cálculo con más restricciones para obtener unos valores menores.

4.2.- Estimación del desplazamiento en rosca.

Para una estimación del peso en rosca del buque se resta el arqueo al volumen de carena, obtenido de las curvas hidrostáticas. Este valor obtenido, multiplicado por la densidad del agua en el Atlántico en condiciones normales (1.025 t/m³), es igual al desplazamiento en rosca estimado.

Estimación del peso en rosca: ((Volumen de carena-Arqueo)x densidad)	
V carena	255,76
V arqueo	167,34
V rosca	88,43
Peso Rosca	90,64

4.3.- Curvas hidrostáticas.

Las curvas hidrostáticas o diagramas representan determinados parámetros del buque en función del calado (T), con la peculiaridad de que el calado se coloca en el eje de ordenadas. Normalmente son las siguientes:

- Volumen de carena (V): es el volumen sumergido de toda la obra viva correspondiente a una determinada flotación.
- Desplazamiento del buque (Δ): se trata del peso del buque para una condición de carga determinada. Es igual al volumen sumergido por la densidad del agua.
- Área de la flotación (Af): es la curva básica para obtener todas las demás. Para un calado dado, el área de la flotación se obtiene integrando las distintas mangas, o semimangas, pues lo normal es que la flotación sea simétrica, a lo largo de la eslora correspondiente a dicho calado. Se mide en m².
- Área de la superficie mojada (Sm): es el área de la superficie exterior de la carena que está en contacto con el agua para una flotación determinada. Se mide en m².
- Abscisa del centro de gravedad de la flotación (XF): es la posición longitudinal del centro de flotación respecto a la cuaderna maestra. El centro de gravedad del

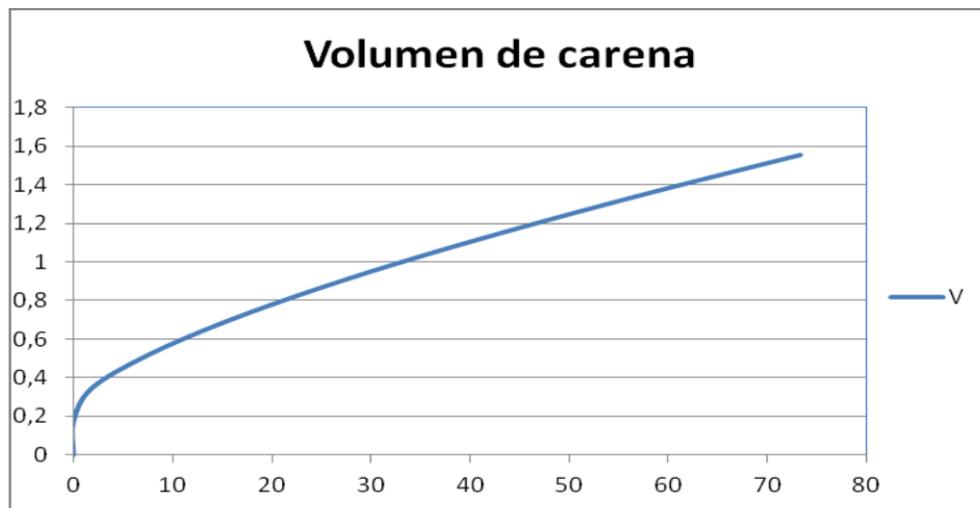
área de distintas flotaciones se obtiene dividiendo el momento estático de dicha área, respecto el origen que estamos considerando, entre el área. Se mide en m.

- Abscisa del centro de carena (XB): es la posición longitudinal del centro de carena respecto a la cuaderna maestra. Se mide en m.
- Ordenada o altura del centro de carena (KB): es la altura del centro de carena sobre la quilla. La propiedad característica de esta curva es que siempre es creciente. Se mide en m.
- Radio metacéntrico transversal (BMt): es el radio de curvatura de la curva que describe el centro de carena cuando el buque adquiere una pequeña escora en el plano transversal, manteniendo constante el volumen sumergido. A partir del radio metacéntrico transversal se puede calcular la altura metacéntrica transversal: $KMt = KB + BMt$. Se mide en m.
- Radio metacéntrico longitudinal (BML): es el radio de curvatura de la curva que describe el centro de carena cuando el buque adquiere una pequeñas escora en el plano longitudinal. A partir del radio metacéntrico longitudinal se puede calcular la altura metacéntrica longitudinal: $KMI = KB + BML$. Se mide en m.
- Toneladas por centímetro de inmersión (TCI): esta curva, en realidad, no es más que una adaptación de la curva de áreas de las flotaciones. Nos indica el número aproximado de toneladas a cargar o descargar de cualquier punto del buque para que el calado medio aumente o disminuya un centímetro (t/cm).
- Momento unitario para variar el trimado un centímetro (MTC): es el momento necesario para modificar el trimado del buque (diferencia de calados en las perpendiculares) un centímetro para cada flotación (t·m/cm).
- Coeficientes de forma:
 - Coeficiente de bloque (Cb): es la relación adimensional entre el volumen sumergido del buque y el volumen de un prisma de dimensiones su eslora, manga y calado.
 - Coeficiente de flotación (Cf): en ocasiones llamado coeficiente de afinamiento de las líneas de agua, y se le define como la relación adimensional entre el área correspondiente a una flotación dada y la del rectángulo de dimensiones la eslora y la manga.
 - Coeficiente de la maestra (Cm): es la relación adimensional entre el área sumergida de la sección media y el área del rectángulo de dimensiones la manga y el calado.
 - Coeficiente prismático (Cp): es la relación adimensional entre el volumen sumergido del buque para un calado dado, y el volumen de un prisma de sección el área sumergida de la cuaderna maestra y de longitud la eslora.

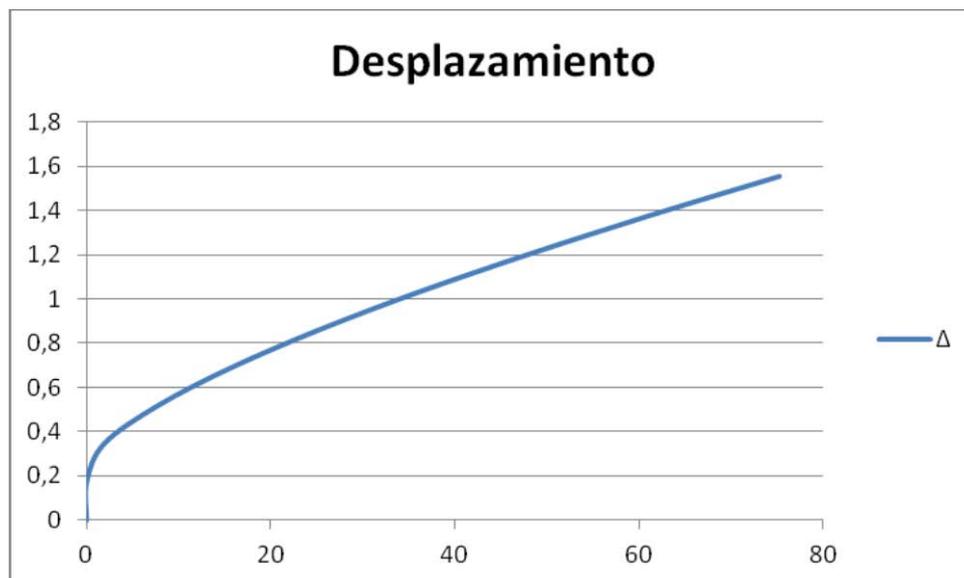
Para nuestro buque, las curvas hidrostáticas obtenidas, son las siguientes:

T	0	0,173	0,346	0,518	0,691	0,864	1,037	1,209	1,382	1,555
V	0	0	1,843	7,505	15,320	24,747	35,448	47,203	59,844	73,294
Δ	0	0	1,891	7,700	15,720	25,390	36,370	48,430	61,400	75,200
Af	0	0	24,640	39,720	50,290	58,517	65,236	70,802	75,588	79,824
Sm	0	6,919	31,840	47,970	59,890	69,912	78,867	86,963	94,787	102,490
OF	9,105	-9,105	0,191	0,096	0,046	0,007	-0,024	-0,062	-0,095	-0,128
OB	9,105	-24,630	0,263	0,169	0,119	0,083	0,057	0,032	0,009	-0,013
KB	0,225	0,207	0,300	0,404	0,508	0,612	0,714	0,816	0,918	1,019
KG	0,450	0,414	0,600	0,808	1,017	1,423	1,628	1,832	2,086	2,338
BMt	0	0	5,741	4,451	3,874	3,443	3,094	2,799	2,550	2,337
BMI	0	0	127,600	63,920	44,930	35,420	29,620	25,590	22,680	22,680
GMt	0,225	0,207	6,041	4,855	4,383	4,254	4,008	3,815	3,718	3,656
GMI	0,225	0,207	127,900	64,320	45,430	36,030	30,330	26,400	23,600	21,560
KM	0,225	0,207	6,041	4,855	4,383	4,254	4,008	3,815	3,718	3,656
KMI	0,225	0,207	128,000	64,330	45,430	36,028	30,326	26,400	23,596	21,560
TCI	0	0	0,253	0,407	0,516	0,600	0,669	0,726	0,775	0,818
MTC	0	0	0,132	0,271	0,391	0,500	0,603	0,699	0,793	0,887
Cb	0	0	0,118	0,232	0,298	0,346	0,382	0,410	0,435	0,449
Cf	0	0	0,543	0,634	0,676	0,706	0,728	0,744	0,758	0,759
Cm	0	0	0,254	0,425	0,509	0,564	0,604	0,635	0,660	0,681
Cp	0	0	0,468	0,549	0,589	0,616	0,635	0,648	0,661	0,660

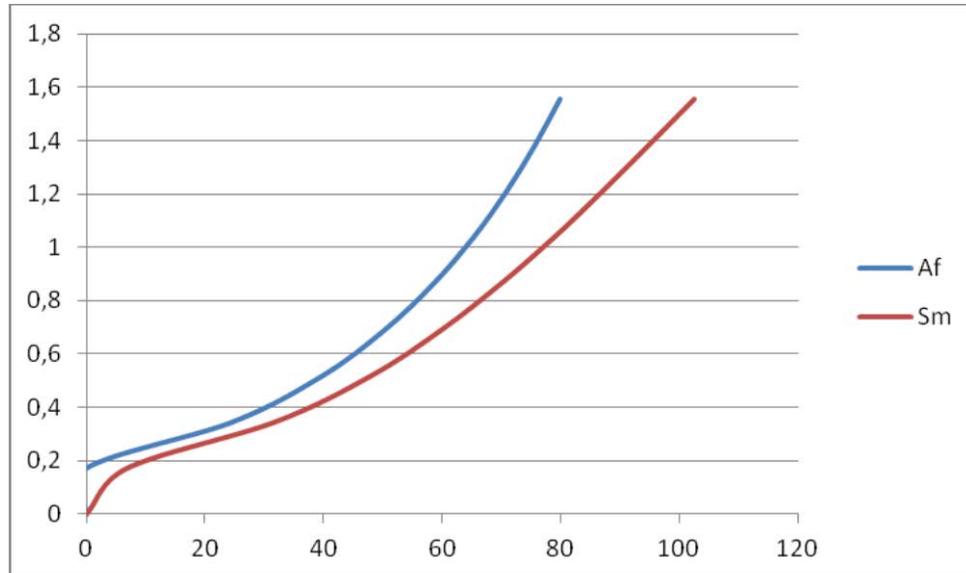
VOLUMEN DE CARENA:



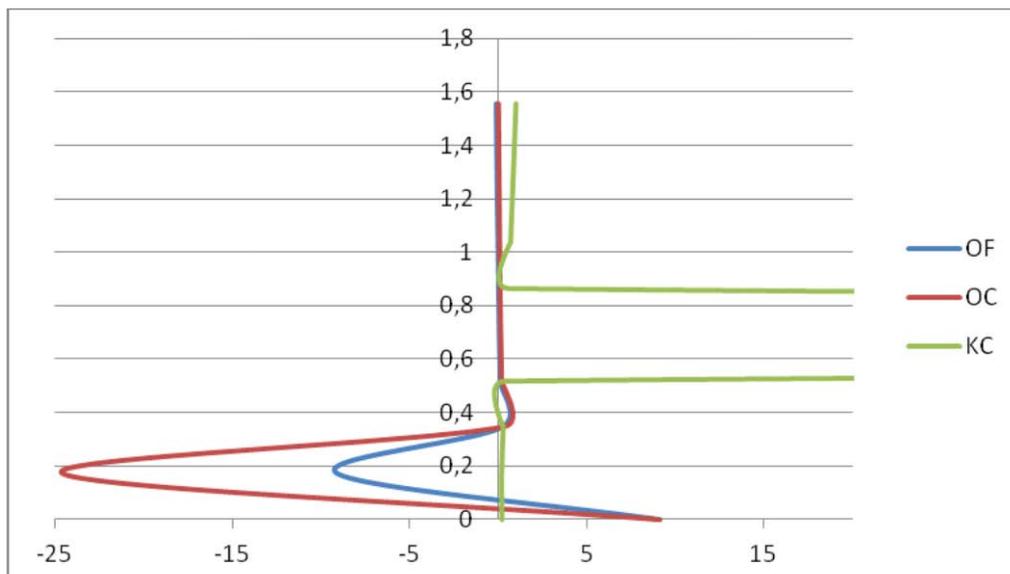
DESPLAZAMIENTO:



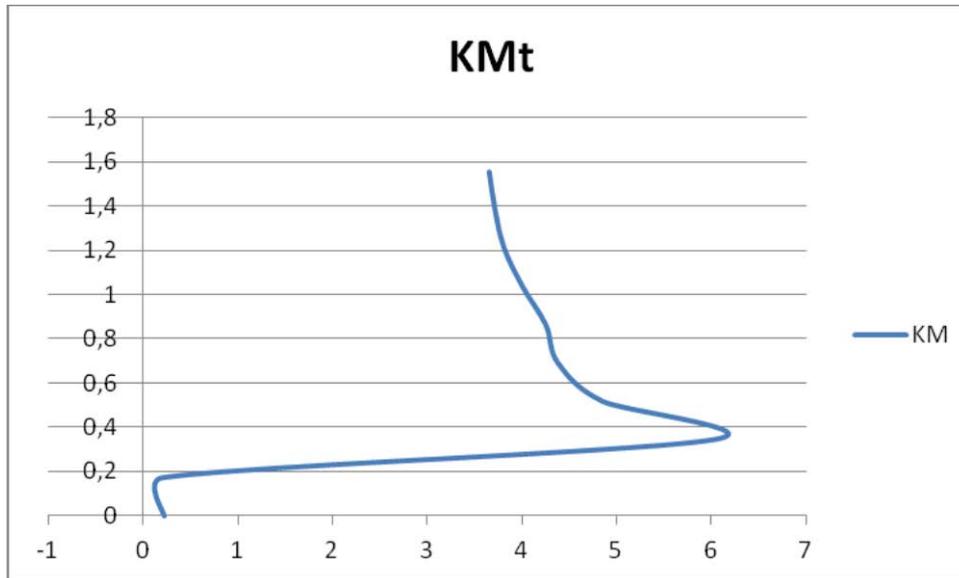
ÁREA DE LA FLOTACIÓN Y SUPERFICIE MOJADA:



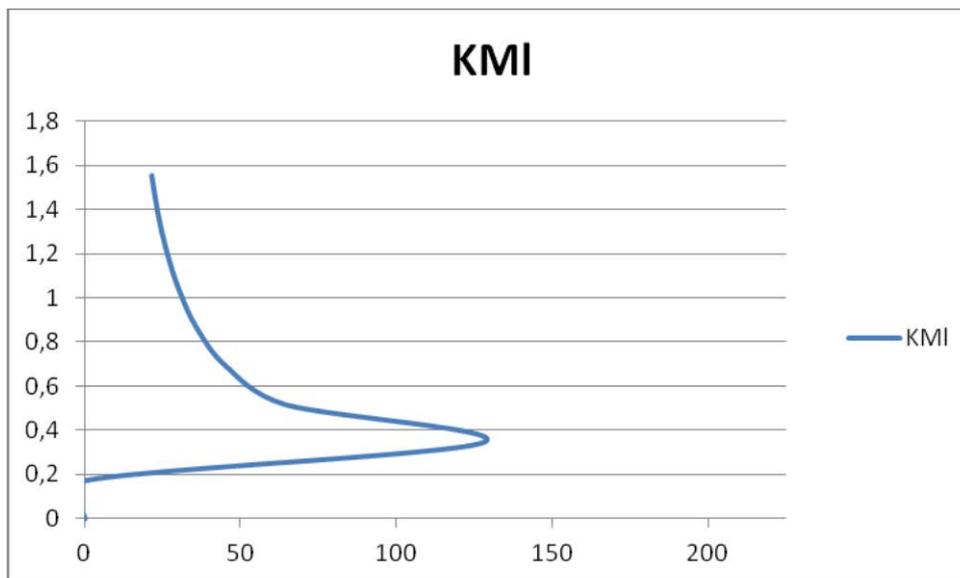
ABSCISA DEL CENTRO DE FLOTACIÓN, ABSCISA DEL CENTRO DE CARENA Y ORDENADA DEL CENTRO DE CARENA:



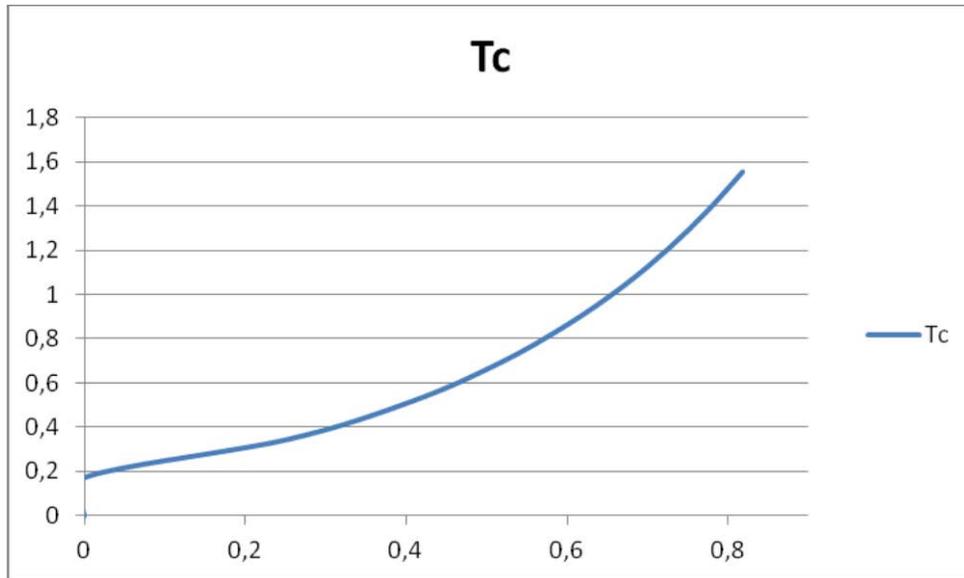
ALTURA DEL METACENTRO TRANSVERSAL SOBRE LA QUILLA:



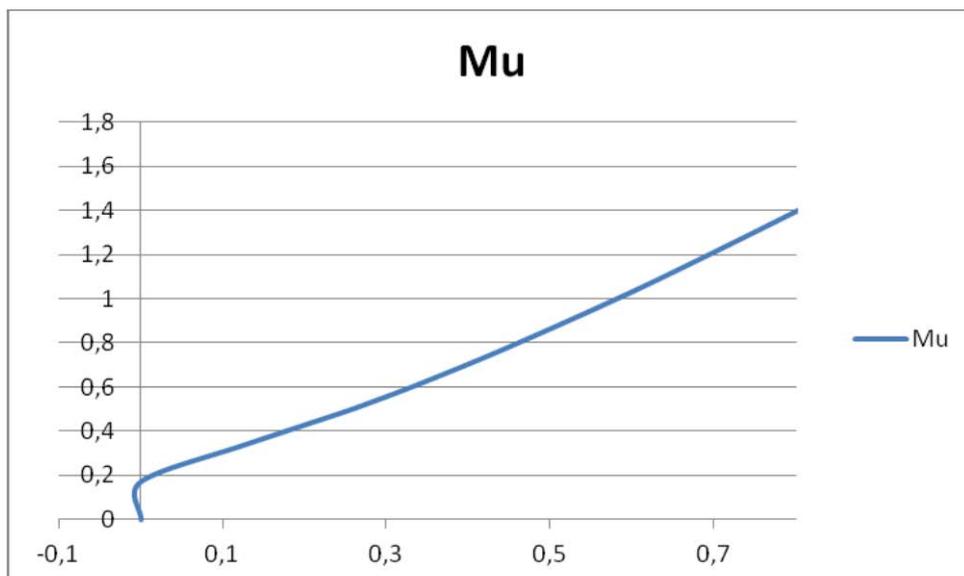
ALTURA DEL METACENTRO LONGITUDINAL SOBRE LA QUILLA:



TONELADAS POR CENTÍMETRO DE INMERSIÓN:

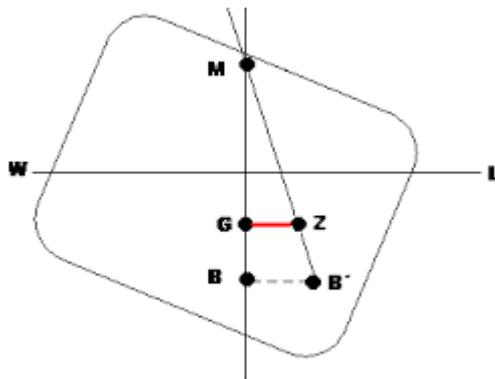


MOMENTO UNITARIO PARA VARIAR EL TRIMADO UN CENTÍMETRO (MTC):



4.4.- Estabilidad, cuatro condiciones de carga:

Se dispone de la experiencia de estabilidad realizada en Cartagena el 13 de junio de 1990 a la réplica construida con motivo del V centenario del descubrimiento, esta la siguiente:



Experiencia de estabilidad:

Datos de la experiencia:

Calados sobre la base en las marcas:

Proa	1,250 m
Popa	2,035 m

Pesos a bordo ajenos al desplazamiento en "Rosca" (Lista A)

total de pesos	2,13 t
ordenada sobre la base	3,07 m
abscisa a Ppp	8,18 m

Pesos que faltan al desplazamiento en "Rosca" (lista B)

total de pesos	0,37 t
ordenada sobre la base	0,81 m
abscisa a Ppp	9,03 m

Pesos utilizados en la experiencia

Peso	2x900 kg
ordenada sobre la base	2,92 m
abscisa a Ppp	8,10 m

Distancia de traslación de los pesos

5,29 m

Péndulo

longitud	3,97 m
distancia a Ppp	8,90 m

Desviación del péndulo por momento total	
a estribor	0,149 m
a babor	0,145 m
Periodo de balance	4,3 s

Entrando con el calado medio en las curvas hidrostáticas calculadas anteriormente e interpolando linealmente obtenemos los siguientes resultados:

Cálculos:

Momento escorante (Me) = 5,29 x 0,900	4,761 t.m
Oscilación media del péndulo	0,147 m
Calados sobre la base en las perpendiculares	
proa	1,250 m
popa	2,000 m
calado medio	1,625 m
Asiento en la experiencia	0,750 m
Tangente del ángulo de asiento($tg\alpha$)	0,04167
Coseno del ángulo de asiento($cos\alpha$)	0,99913

Datos obtenidos de las curvas hidrostáticas:

Desplazamiento	85,050 t
KB	1,076 m
OB	8,694 m
TCI	0,876 t
MTC	0,701 t.m
BMt	2,553 m
Bml	15,182 m
OF	8,455 m
Desviación horizontal del centro de gravedad	0,054 m
Altura metacéntrica(GMt)	1,447 m
Corrección por superficies libres	0,000
Altura metacéntrica corregida	1,447 m
Ordenada centro carena (KB)	1,076 m
Abscisa centro carena (OB)	8,694 m
Radio metacéntrico transversal(BMt)	2,553 m
Ordenada metacentro transversal sobre la base	3,629 m
Ordenada del centro de gravedad($KG=KB+(BMt-GMt)cos\alpha$)	2,181 m
Abscisa centro de gravedad ($OG=OB+(KG-KB)tg\alpha$)	8,740 m

4.4.1.- Buque en la condición de rosca:

Concepto	Pesos	Abscisa del C de G	Mto.a Ppp	Ordenada del C de G	Mto. A base
	t	m	t.m	m	t.m
Buque en la experiencia	85,050	8,021	682,186	2,182	185,579
Pesos ajenos al desplazamiento	-2,130	8,180	-17,423	3,070	-6,539
Pesos que faltan al desplazamiento	0,370	9,030	3,341	0,810	0,299
Resultados	83,290	8,021	668,104	2,153	179,340
Desplazamiento			83,290		
Abscisa del centro de gravedad a Ppp			8,021		
Ordenada del centro de gravedad a base			2,153		

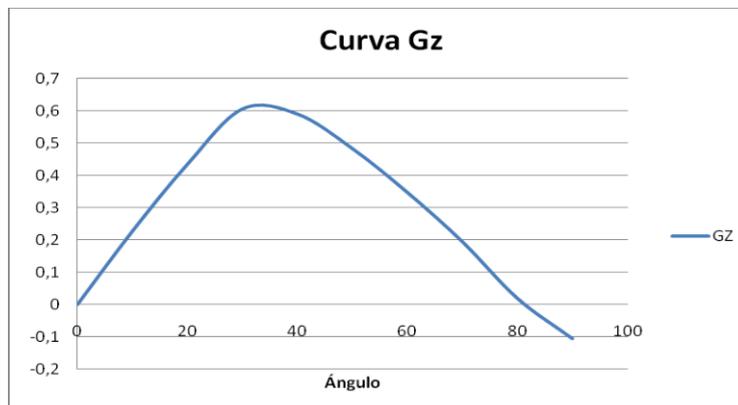
Para tener totalmente definida la estabilidad del buque se dan las siguientes condiciones de carga, una a la salida de puerto con 100 % de consumos a bordo, y a la llegada, estimando un 10% de consumos, tendremos en cuenta los depósitos de combustible que se le añadieron a las réplicas y los arcones frigoríficos. Obviamente cuando se realizó el viaje hacia el nuevo mundo no llevaban tales depósitos, pudiendo ser sustituidos por los elementos de defensa mencionados anteriormente.

4.4.2.- Salida de puerto.

1ª SITUACIÓN DE CARGA: SALIDA DE PUERTO CON 100% DE CONSUMOS:

CONCEPTO	PESO	ABSC c.d.g.	Mt	ORD c.d.g.	Mt
Buque en rosca	72,98	9,05	660,59	1,99	145,23
Pertrechos	0,5	8,9	4,95	1,5	0,75
6 Hombres en tolda	0,45	2	0,9	6	2,7
10 Hombres en cubierta	0,75	8,3	6,23	4,1	3,08
Efectos personales	0,3	8,9	2,67	1,5	0,45
Viveres	0,1	8,9	0,89	1,5	0,15
Agua en cartones	0,1	8,9	0,89	1,1	0,11
Combustible	0,31	1,1	0,34	2,07	0,64
Resultados	75,49	56,05	677,46	19,76	153,11

BRAZOS DEL PAR DE ESTABILIDAD ESTÁTICA Y DINÁMICA							
?	sen?	KG (m)	KG-sen? (m)	KN (m)	GZ (m)	Corrección por asiento 0,02m	m·rad
0	0	0	0	0	0		0
10	0,174	2,03	0,353	0,58	0,227		0,02
20	0,342	2,03	0,694	1,129	0,435		0,078
30	0,5	2,03	1,015	1,621	0,606		0,17
40	0,643	2,03	1,305	1,895	0,59		0,279
50	0,766	2,03	1,555	2,038	0,483		0,373
60	0,866	2,03	1,758	2,105	0,347		0,446

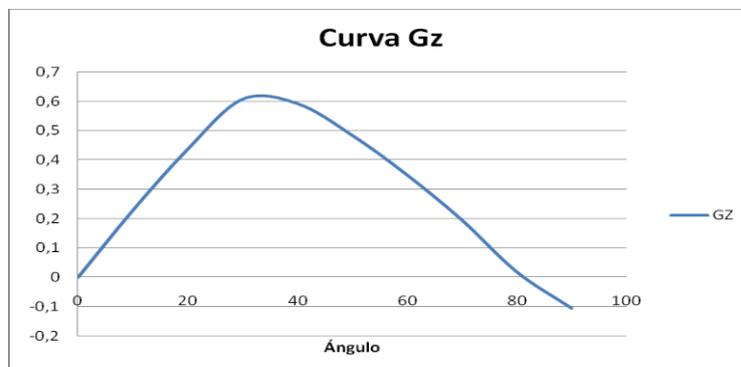


4.4.3.- Llegada a puerto.

2ª SITUACIÓN DE CARGA: LLEGADA A PUERTO CON 10% DE CONSUMOS

CONCEPTO	PESO	ABSC c.d.g.	Mt	ORD c.d.g.	Mt
Buque en rosca	72,98	9,05	660,59	1,99	145,23
Pertrechos	0,5	8,9	4,95	1,5	0,75
6 Hombres en tolda	0,45	2	0,9	6	2,7
10 Hombres en cubierta	0,75	8,3	6,23	4,1	3,08
Efectos personales	0,3	8,9	2,67	1,5	0,45
Viveres	0,01	8,9	0,09	1,5	0,02
Agua en cartones	0,01	8,9	0,09	1,1	0,01
Combustible	0,03	1,1	0,03	2,07	0,06
Resultados	75,03	9	675,55	2,03	152,3

BRAZOS DEL PAR DE ESTABILIDAD ESTÁTICA Y DINÁMICA							
?	sen?	KG (m)	KG-sen? (m)	KN (m)	GZ (m)	Corrección por asiento 0,02m	m-rad
0	0	0	0	0	0		0
10	0,174	2,03	0,353	0,581	0,228		0,02
20	0,342	2,03	0,694	1,131	0,437		0,079
30	0,5	2,03	1,015	1,622	0,607		0,17
40	0,643	2,03	1,305	1,897	0,592		0,28
50	0,766	2,03	1,555	2,039	0,484		0,374
60	0,866	2,03	1,758	2,107	0,349		0,447



4.4.4.- Navegando a toda vela con 100% de consumos:

3ª SITUACIÓN DE CARGA: TRAVESÍA CON 100% DE CONSUMOS:

BRAZOS DEL PAR DE ESTABILIDAD ESTÁTICA Y DINÁMICA							
β	sen β	KG (m)	KG·senβ (m)	KN (m)	GZ (m)	Corrección por asiento 0,02m	m·rad
0	0	0	0	0	0		0
1	0,17						
0	4	2,03	0,353	0,58	0,227		0,02
2	0,34						
0	2	2,03	0,694	1,129	0,435		0,078
3	0,5						
0	0	2,03	1,015	1,621	0,606		0,17
4	0,64						
0	3	2,03	1,305	1,895	0,59		0,279
5	0,76						
0	6	2,03	1,555	2,038	0,483		0,373
6	0,86						
0	6	2,03	1,758	2,105	0,347		0,446

PRESION A LAS DIFERENTES VELOCIDADES								
ρ=1,25kg/m ³ d=11,48m								
Velocidad (nudos)	2	3	4	5	6	7	8	9
Presión (Kg/m ²)	0,66	1,49	2,65	4,13	5,95	8,1	10,58	13,4
Área vélica (m ²)	170,21	170,21	170,21	170,21	170,21	170,21	170,21	170,21
Fuerza (N)	112,59	253,34	450,37	703,71	1013,34	1379,27	1801,5	2280,02
M. Escorante (N*m)	1292,58	2908,3	5170,3	8078,6	11633,19	15834,06	20681,22	26174,67

BRAZO ESCORANTE										
		β								
		0	10	20	30	40	50	60	70	80
V. Viento (nudos)	2	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01
	3	0,07	0,07	0,06	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01
	4	0,11	0,11	0,1	0,09	0,08	0,07	0,05	0,04	0,02
	5	0,15	0,15	0,14	0,13	0,12	0,1	0,08	0,05	0,03
	6	0,21	0,21	0,2	0,18	0,16	0,13	0,1	0,07	0,04
	7	0,27	0,27	0,26	0,24	0,21	0	0,14	0,09	0,05
	8	0,35	0,34	0,33	0,3	0,27	0	0,17	0,12	0,06

ESCORA PERMANENTE										
		0	10	20	30	40	50	60	Escora permanente	Francobordo (m)
2	GZ	0	0,227	0,435	0,606	0,59	0,483	0,347	☐	
	B. escorante	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	1,7	0,57
3	GZ	0	0,227	0,435	0,606	0,59	0,483	0,347	☐	
	B. escorante	0,07	0,07	0,06	0,06	0,05	0,04	0,03	3	0,5
4	GZ	0	0,227	0,435	0,606	0,59	0,483	0,347	☐	
	B. escorante	0,11	0,11	0,1	0,09	0,08	0,07	0,05	4,8	0,41
5	GZ	0	0,227	0,435	0,606	0,59	0,483	0,347	☐	
	B. escorante	0,15	0,15	0,14	0,13	0,12	0,1	0,08	6,5	0,33
6	GZ	0	0,227	0,435	0,606	0,59	0,483	0,347	☐	
	B. escorante	0,21	0,21	0,2	0,18	0,16	0,13	0,1	9,1	0,2
7	GZ	0	0,227	0,435	0,606	0,59	0,483	0,347	☐	
	B. escorante	0,27	0,27	0,26	0,24	0,21	0	0,14	11,8	0,06
8	GZ	0	0,227	0,435	0,606	0,59	0,483	0,347	☐	
	B. escorante	0,35	0,34	0,33	0,3	0,27	0	0,17	15,3	-0,12

Gráfico para V=2 nudos

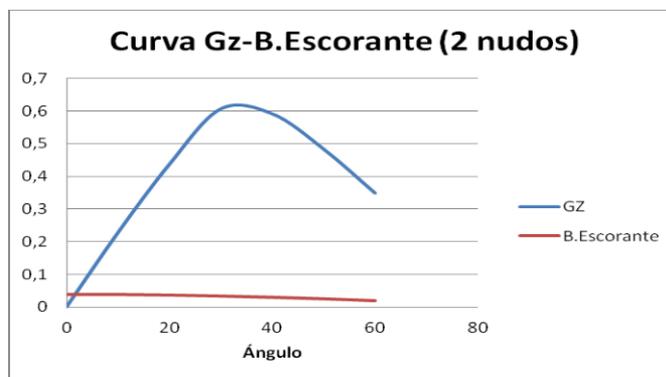


Gráfico para V=3 nudos

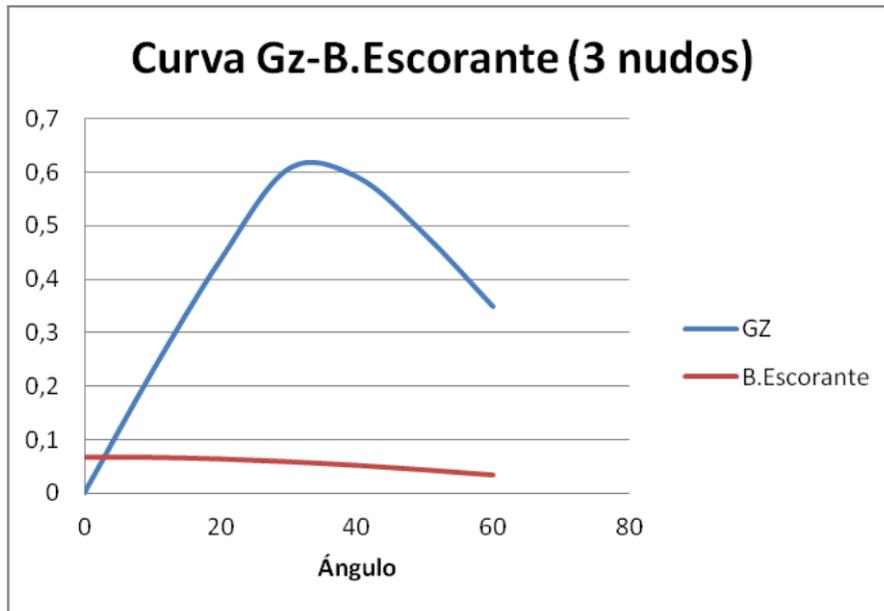


Gráfico para V=4 nudos

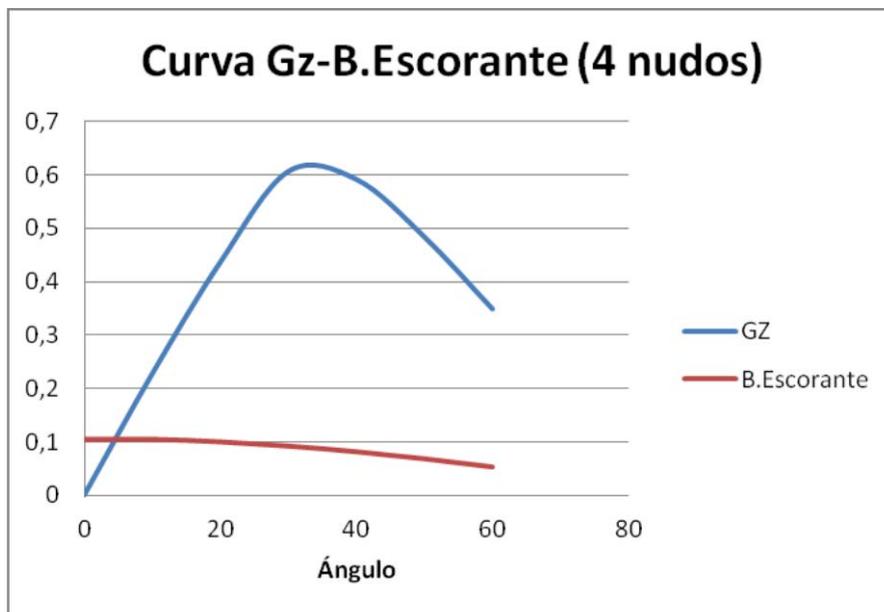


Gráfico para V=5 nudos

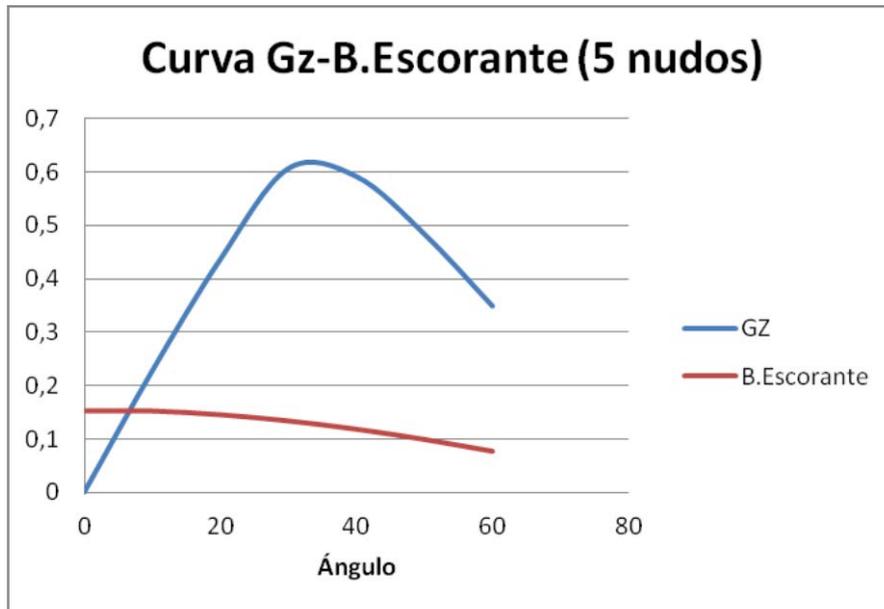


Gráfico para V=6 nudos

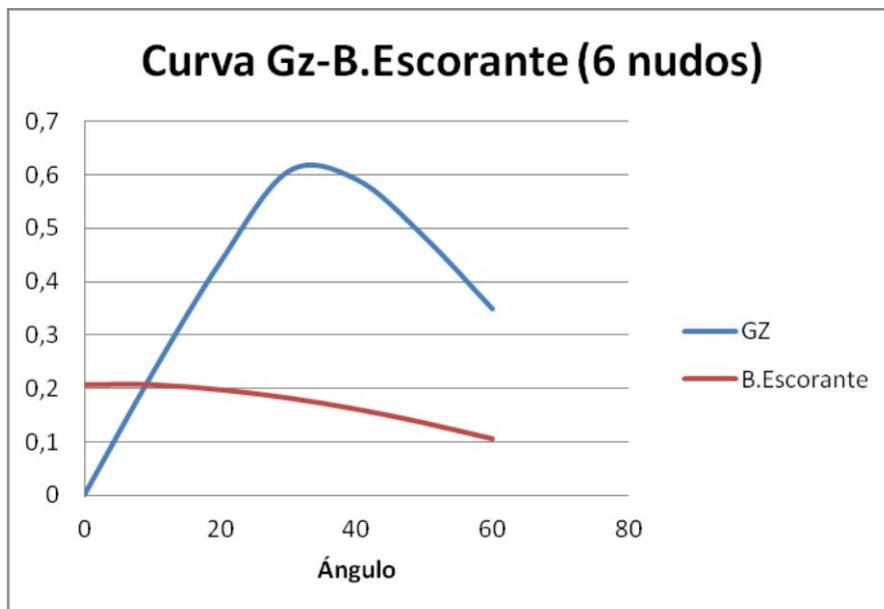


Gráfico para V=7 nudos

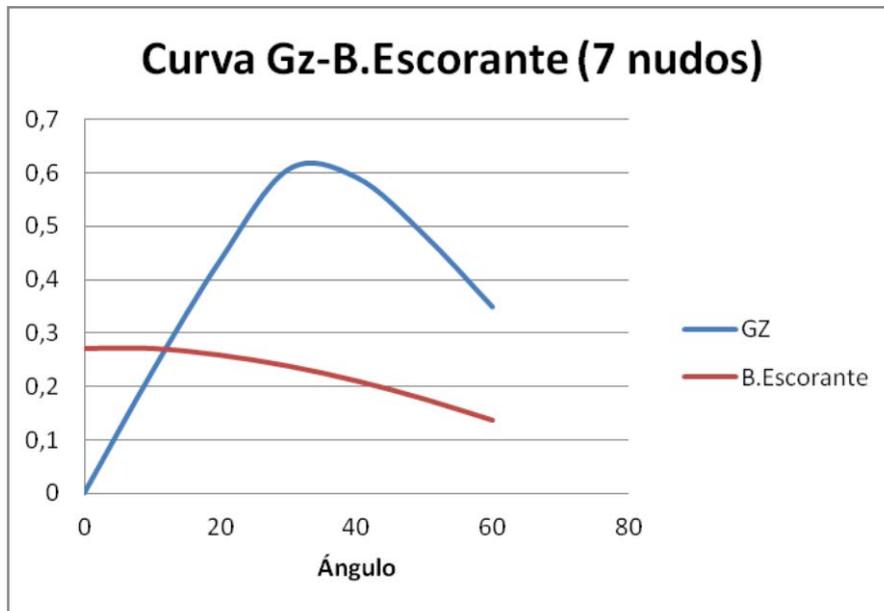
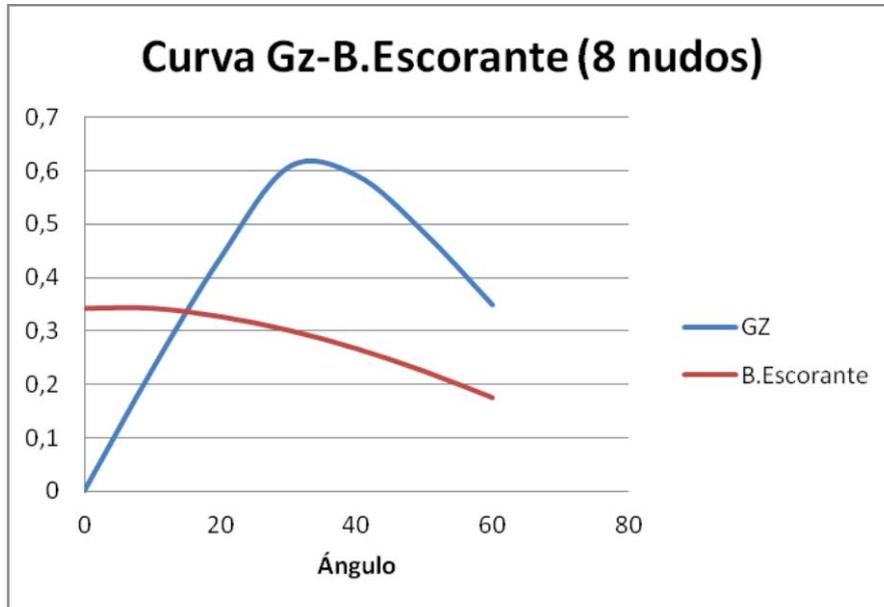


Gráfico para V=8 nudos



4.4.5.- Navegando a toda vela con 10% de consumos:

3ª SITUACIÓN DE CARGA: TRAVESÍA CON 10% DE CONSUMOS:

BRAZOS DEL PAR DE ESTABILIDAD ESTÁTICA Y DINÁMICA							
°	sen °	KG (m)	KG-sen° (m)	KN (m)	GZ (m)	Corrección por asiento 0,02m	m-rad
0	0	0	0	0	0		0
1	0,17						
0	4	2,03	0,353	0,58	0,228		0,02
2	0,34						
0	2	2,03	0,694	1,131	0,437		0,079
3	0,5						
0	0	2,03	1,015	1,622	0,607		0,17
4	0,64						
0	3	2,03	1,305	1,897	0,592		0,28
5	0,76						
0	6	2,03	1,555	2,039	0,484		0,374
6	0,86						
0	6	2,03	1,758	2,107	0,349		0,447

PRESION A LAS DIFERENTES VELOCIDADES								
$\rho=1,25\text{kg/m}^3$ $d=11,48\text{m}$								
Velocidad (nudos)	2	3	4	5	6	7	8	9
Presión (Kg/m ²)	0,66	1,49	2,65	4,13	5,95	8,1	10,58	13,4
Área vélica (m ²)	170,21	170,21	170,21	170,21	170,21	170,21	170,21	170,21
Fuerza (N)	112,59	253,34	450,37	703,71	1013,34	1379,27	1801,5	2280,02
M.Escorante (N*m)	1292,58	2908,3	5170,3	8078,6	11633,19	15834,06	20681,22	26174,67

BRAZO ESCORANTE									
		°							
		10	20	30	40	50	60	70	80
V. Viento (nudos)	2	0,04	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01
	3	0,07	0,06	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01
	4	0,11	0,1	0,09	0,08	0,07	0,05	0,04	0,02
	5	0,15	0,14	0,13	0,12	0,1	0,08	0,05	0,03
	6	0,21	0,2	0,18	0,16	0,14	0,1	0,07	0,04
	7	0,27	0,26	0,24	0,21	0,18	0,14	0,09	0,05
	8	0,34	0,33	0,3	0,27	0,22	0,17	0,12	0,06

ESCORA PERMANENTE										
		0	10	20	30	40	50	60	Escora permanente	
2	GZ	0	0,228	0,437	0,607	0,592	0,484	0,349	?	
	B. escorante	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	1,7	0,58
3	GZ	0	0,228	0,437	0,607	0,592	0,484	0,349	?	
	B. escorante	0,07	0,07	0,06	0,06	0,05	0,04	0,03	3	0,51
4	GZ	0	0,228	0,437	0,607	0,592	0,484	0,349	?	
	B. escorante	0,11	0,11	0,1	0,09	0,08	0,07	0,05	4,8	0,42
5	GZ	0	0,228	0,437	0,607	0,592	0,484	0,349	?	
	B. escorante	0,15	0,15	0,15	0,13	0,12	0,1	0,08	6,5	0,34
6	GZ	0	0,228	0,437	0,607	0,592	0,484	0,349	?	
	B. escorante	0,21	0,21	0,2	0,18	0,16	0,14	0,1	9,1	0,21
7	GZ	0	0,228	0,437	0,607	0,592	0,484	0,349	?	
	B. escorante	0,27	0,27	0,26	0,24	0,21	0,18	0,14	11,8	0,08
8	GZ	0	0,228	0,437	0,607	0,592	0,484	0,349	?	
	B. escorante	0,34	0,34	0,33	0,3	0,27	0,22	0,17	15,3	-0,11

Gráfico para v=2 nudos

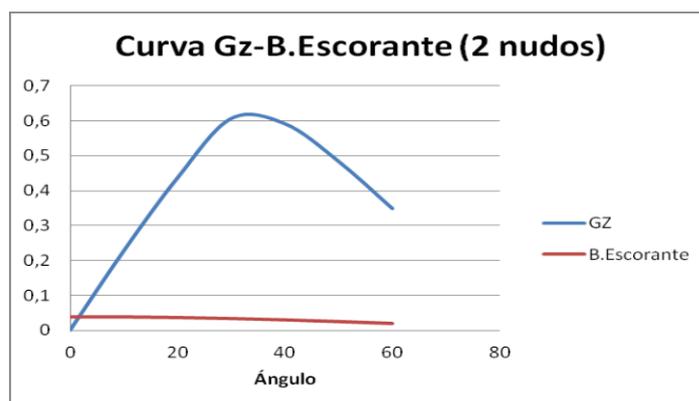


Gráfico para v=3 nudos

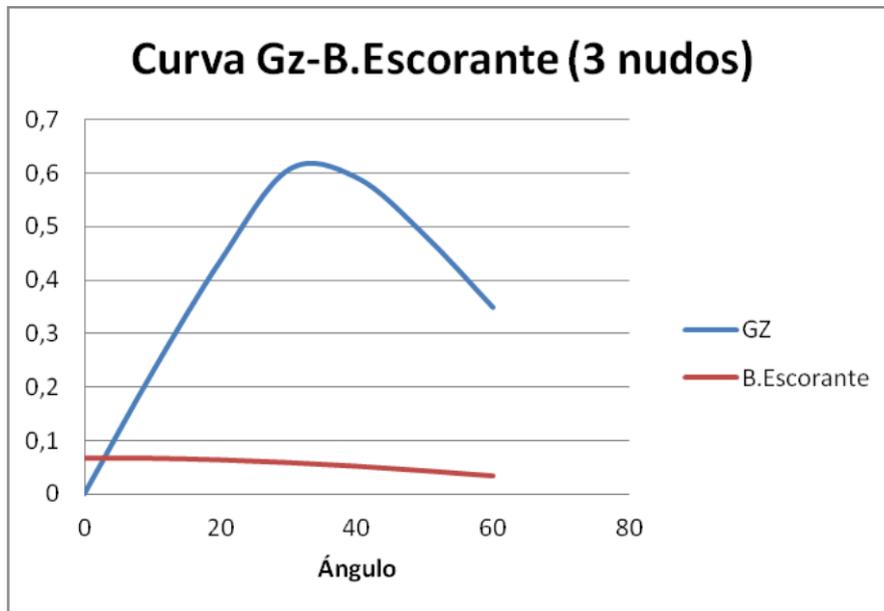


Gráfico para v=4 nudos

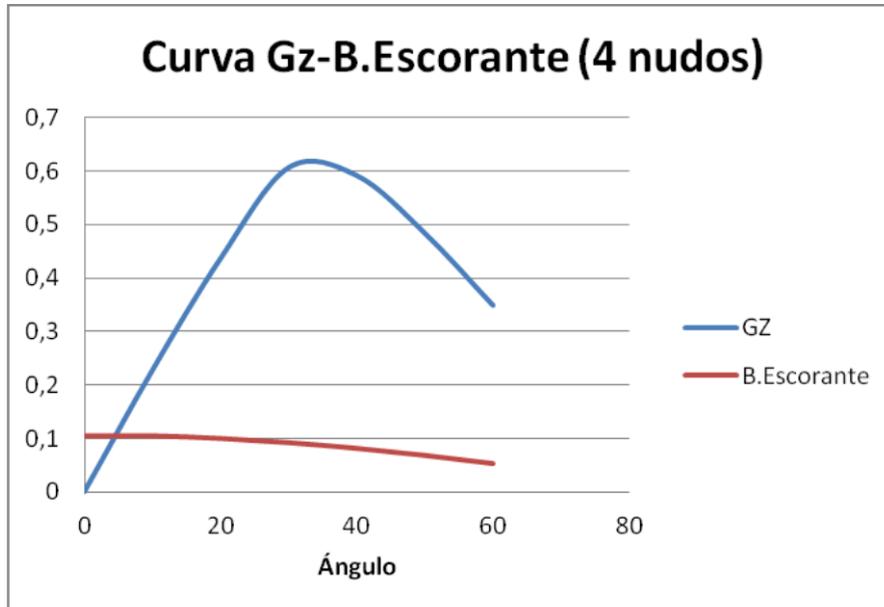


Gráfico para v=5 nudos

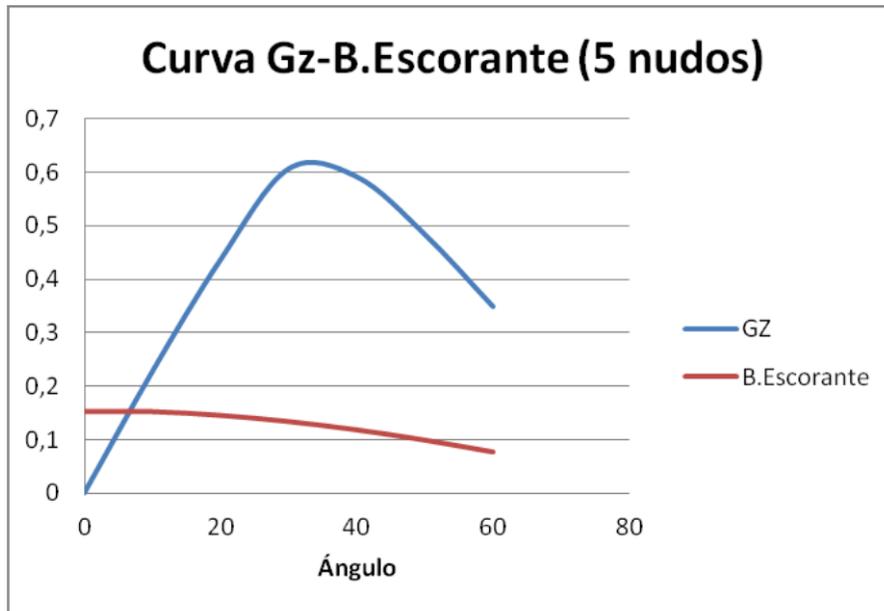


Gráfico para v=6 nudos

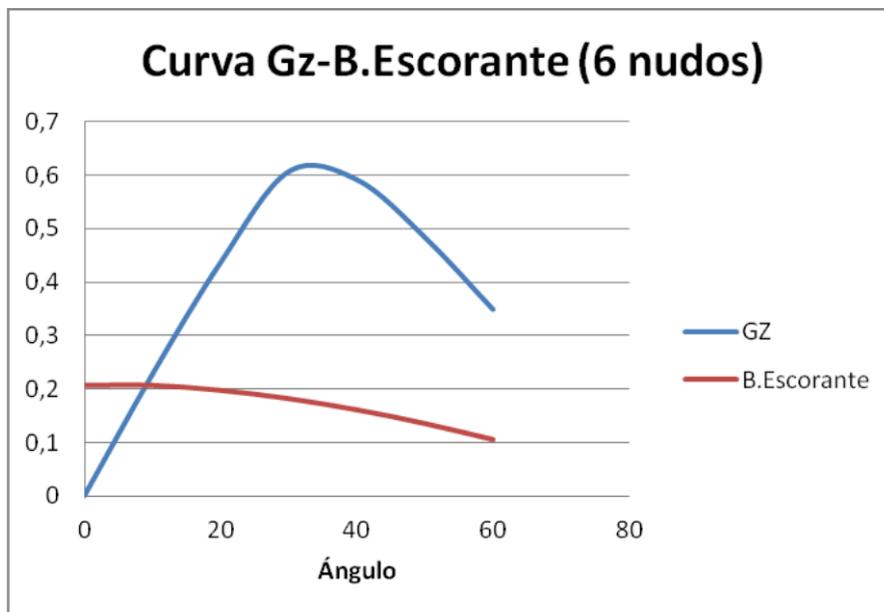


Gráfico para v=7 nudos

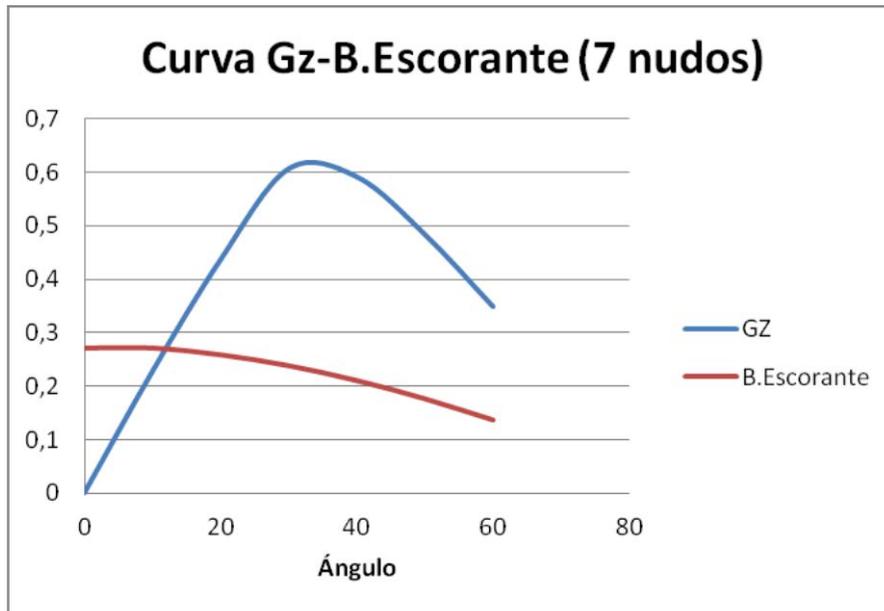
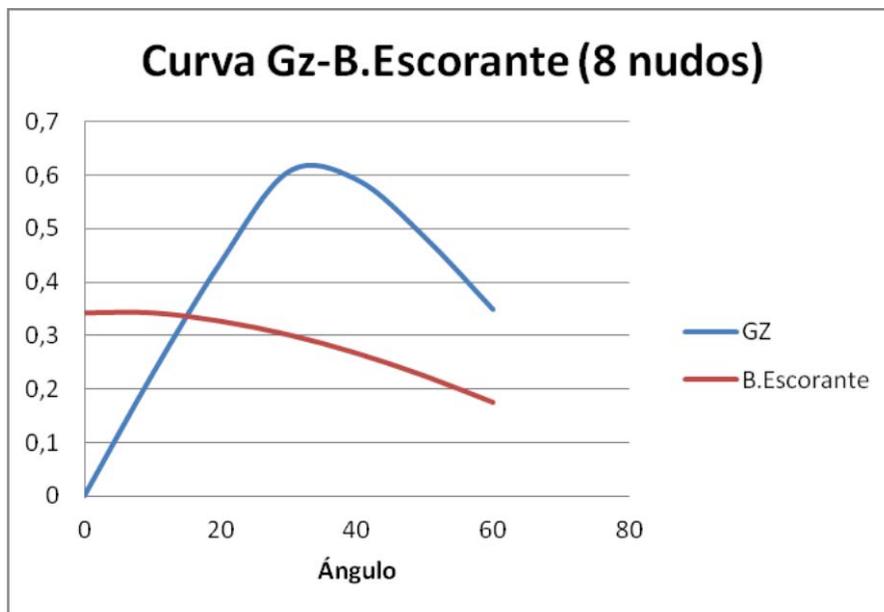


Gráfico para v=8 nudos



5.- CONSTRUCCIÓN NAVAL EN MADERA:

5.1.- La madera.

La madera es un material con el que resulta relativamente sencillo construir una embarcación. No todas las maderas son adecuadas para la construcción naval, y en muchos casos la elección depende de las maderas adecuadas de las que se disponga en la zona de construcción. Entre las maderas de construcción naval se pueden citar: roble, caoba, teca, iroko, talí (elondo), pino, abeto y cedro, cuyas características mecánicas se pueden ver en libros especializados.

Para la construcción de los elementos estructurales de mayor responsabilidad, quilla, sobrequilla, roda, codaste, cuadernas, baos, durmientes, palmejares y otras se ha empleado tradicionalmente, el roble, por ser una madera dura y con buena resistencia mecánica, de buen comportamiento frente a la humedad y la acción del agua de mar, completando estas propiedades con una buena resistencia al ataque de hongos, insectos y moluscos.

Las maderas más usadas en la construcción naval son las siguientes:

1. **Roble:** se trata de la madera que mas se ha utilizado en Europa y América del norte, para construcción naval. Tiene una buena durabilidad en agua de mar, del orden de 12 años y es una de las maderas mas resistentes (después de la Teca). Posee un elevado peso específico, por ello no se suele utilizar para forros. Necesita de un periodo de estacionamiento elevado para evitar la posible aparición de alabeos o grietas. El tanino que encierran sus fibras acelera la oxidación de los pernos y clavos fabricados con aleaciones de hierro, problema que se ha resuelto históricamente con la renovación periódica de estos elementos o utilizando materiales metálicos no férricos como el cobre o sus aleaciones.
2. **Teca:** es una madera muy compacta, dura y pesada, sin nudos, resistente, de gran duración y fácil trabajo, pero con el inconveniente de su precio. Está impregnada de una sustancia resinosa que previene la oxidación del hierro. Por todo ello es muy utilizada en los forros de cubierta.
3. **Eucalipto:** La escasez de maderas de roble de la adecuada longitud obligo a la utilización de otras especies en algunas piezas concretas, como es el caso de la quilla y sobrequilla, donde comenzó a emplearse el eucalipto que es una madera pesada y fuerte de color pardo pálido con fibras entrecruzadas.
4. **Pino:** Para el forrado del casco y de la cubierta se ha mantenido la utilización del pino por tratarse de una madera de regular dureza, muy resinosa, color blanco amarillo con vetas rojizas que despide olor a trementina. Se trata de una variedad cuyo rápido desarrollo provoca que sea una de las maderas mas baratas. Sin embargo, son pocas las utilidades en la construcción naval. El pino "colorado" se utiliza en forros, cascos y cubiertas, cuadernas y baos. Su principal característica es la durabilidad en aguas frías. El pino "clear" es una variedad baja del pino "spruce", también conocido como pino blanco. Usada principalmente para mástiles y botavaras de encolado hueco. El pino "Sitka" es una variedad de "spruce" o abeto, y debido a su estabilidad y falta de

nudos, la convierten en la más idónea para la construcción de mástiles huecos. Para la elaboración de piezas menores se han utilizado especies como el castaño, haya, fresno, nogal, alerce y otras de aplicación marginal.

5. Fresno: El Fresno es una especie con un vetado realmente característico y muy atractivo. Este tipo de madera presenta al menos sesenta variedades, particulares de cada clima y región. Es una madera durable en seco, pero de poca duración si se moja y se seca de manera alterna, proceso al que esta sometida toda embarcación. Por eso, se solía utilizar barnizada y con fines decorativos. Posee una extraordinaria flexibilidad, lo que lo hace ideal para embarcaciones ligeras.

Cuando se empleaban maderas procedentes de los bosques situados en el entorno de la zona de ubicación del astillero, el carpintero de ribera acudía a los montes para seleccionar la madera más adecuada en cada caso para las diferentes piezas y supervisaba que el corte se realizara en las épocas más propicias con el fin de garantizar las mejores propiedades de la madera.

Debido a que la madera tiene su máxima resistencia y elasticidad en la dirección de las fibras, vasos leñosos o vetas, la selección de la madera que va a utilizarse en elementos estructurales de directriz curva, se realiza buscando aquellos troncos o ramas que posean una curvatura similar a la que tendrá la pieza. De esta forma se consigue que la dirección principal de la pieza coincida con la de las fibras de la madera. Esta forma de elegir los troncos o ramas recibe el nombre de selección dendromórfica.

Estos troncos o ramas dotados de curvatura natural, útiles para piezas con forma como son las cuadernas, rodas, etc., recibe la denominación de madera de vuelta o de figura. Los troncos o ramas rectas, sin curvatura, llamada madera derecha se utiliza en piezas como quilla, codaste, sobrequilla, etc.

Para la elección de la madera seguiremos los tipos comentados, apoyándonos en las seleccionadas por el ingeniero naval José Luis López Martínez para la construcción de a replica con motivo del V centenario del descubrimiento. Estas maderas son las siguientes:

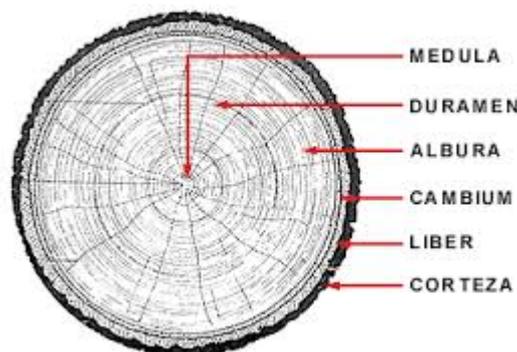
- Estructura: Roble
- Forros: Pino
- Palos: Roble
- Timón: Roble
- Jarcias: Cáñamo
- Velas: Cáñamo
- Anclas: Hierro
- Clavazón: Hierro
- Calafateado: Estopa de cáñamo

5.1.1.- Componentes de la madera.

La presencia de la savia en la madera recién cortada significa la existencia de nutrientes. Lo cual, la hacen atractiva para el ataque de los hongos y xilófagos que encuentran así un medio ideal para alimentarse y reproducirse. Por otra parte la savia da lugar a un proceso de fermentación que facilita el fenómeno de pudrición de la madera. Por este motivo en las maderas utilizadas en construcción naval era necesario reducir la cantidad de savia y para ello se elegía cuidadosamente el momento más adecuado para el corte. En algunas maderas como el roble, con una savia particularmente agresiva, se procedía a un proceso de curado posterior al corte.



La presencia de la savia en la madera recién cortada significa la existencia de nutrientes. Lo cual, la hacen atractiva para el ataque de los hongos y xilófagos que encuentran así un medio ideal para alimentarse y reproducirse. Por otra parte la savia da lugar a un proceso de fermentación que facilita el fenómeno de pudrición de la madera. Por este motivo en las maderas utilizadas en construcción naval era necesario reducir la cantidad de savia y para ello se elegía cuidadosamente el momento más adecuado para el corte. En algunas maderas como el roble, con una savia particularmente agresiva, se procedía a un proceso de curado posterior al corte.



Los meses más adecuados para el corte son aquellos en que se reduce la actividad vegetativa de los árboles debido a la disminución de la incidencia solar, que corresponde con los últimos meses del otoño y los meses invernales, concretamente de noviembre a febrero. En estos meses se minimiza la actividad de la savia en los vasos. Dentro de este periodo los serradores esperaban a los días correspondientes a la luna en cuarto menguante para tener en cuenta la influencia de la gravitación de la luna, a través

del periodo lunar, sobre la circulación vertical de la savia en el tronco del árbol, y por último elegían para el corte las horas correspondientes a la caída de la tarde en las que se reduce la actividad de la savia.

Se buscaba por tanto la coincidencia de los tres ciclos, solar, lunar y diario con el objeto de reducir la presencia de la savia en los vasos leñosos.

Estos eran criterios antiguos, presentes con algunas variantes a veces contradictorias, en todas las culturas ribereñas con tradición de construcción de embarcaciones.

Una vez cortado el árbol, se realizan dos operaciones para garantizar una adecuada conservación de la madera:

- Descortezado de los troncos, para eliminar los insectos alojados en esta zona, que atacarían al resto de la madera en el caso de no ser eliminada.
- Eliminación de la savia todavía presente en los vasos.

En la sección transversal de un árbol maduro, se distinguen una zona exterior denominada corteza o córtex y una parte interior llamada leño. La parte central, compacta, del leño constituye el cerne o duramen y es la zona preferida para la madera utilizada en construcción naval. La zona exterior del leño se llama sáмого y está formada por los tejidos más jóvenes; es menos resistente que el cerne y muy sensible al ataque de los insectos y a la pudrición.

La eliminación de la savia residual puede realizarse bien mediante disolución de la savia o mediante secado.

El primer procedimiento se utilizaba en las maderas de roble que se sometían a un proceso de curado sumergiéndolas durante un largo periodo de tiempo, que podía llegar a ser de un año o más, en agua de mar con el fin de que la madera se desprendiera, por disolución en agua de mar, de la savia restante. Por este motivo los astilleros disponían una zona en la ribera donde se almacenaban los troncos de roble para garantizar la acción disolvente del agua salada, como se puede ver en la figura siguiente.

Era importante que durante el proceso de curado la madera se encontrara en la zona intermareal, de manera que al quedar parte del tiempo en contacto con el aire se evitaba el ataque de la broma, que es un molusco que penetra en la madera alimentándose de los tejidos leñosos y produciendo un efecto de barrena, que no sobrevive fuera del agua de mar.

El carpintero de ribera rechaza las piezas de madera con sáмого, con rajaduras o con desprendimiento de los anillos de crecimiento y en general las que presenten cualquier defecto en la superficie. Asimismo descarta las tablas con nudos, pues en ellos se produce una discontinuidad de las propiedades de la madera.

5.1.2.- Secado de las maderas.

El secado de las maderas se realizaba de distintas formas:

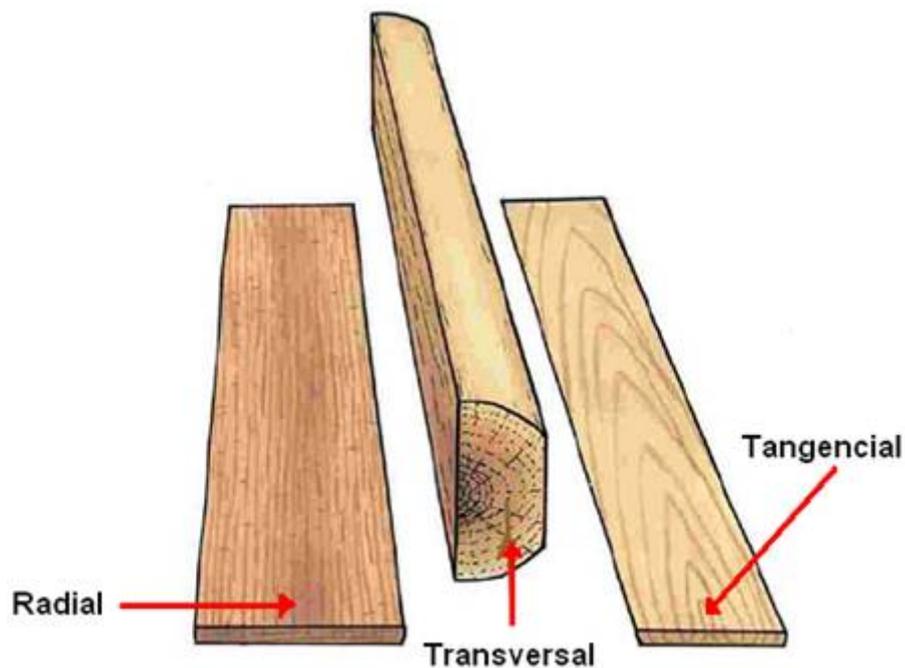
1. **Secado natural:** Es el más utilizado en los astilleros. En este tipo de trabajo son necesarias algunas precauciones básicas para obtener un buen resultado en el proceso, ya que existen ciertos peligros, como son la contracción o los ataques de los mosquitos. El trabajo se suele realizar colocando pilas de madera de la misma clase en lugares protegidos del sol y de la lluvia, aislados del suelo para evitar la transmisión de la humedad y favorecer la circulación natural del aire. En el caso de pilas en cobertizo, se debe asegurar una ventilación apropiada. La desventaja de este proceso es que es muy lento. Para obtener resultados adecuados es preciso esperar alrededor de un año por cada centímetro de espesor de placas de hasta 10 cm. Cuando la transformación se realiza al aire libre, las maderas secadas conservan un porcentaje de humedad del 20 al 25% mientras que en cobertizo puede reducirse hasta el 15%.
2. **Secado por estufa:** Se trata de un proceso de resultado discutible ya que va a depender mucho de las condiciones en que se realiza. Consiste en exponer la madera a una atmósfera saturada de vapor durante 15 a 20 horas por centímetro de espesor y a una temperatura de 60 a 80 grados. Esta operación se practica en un vaso cerrado estanco y sin ventilación, con el fin de que se produzca la evacuación de la savia. Su mayor desventaja es que nos encontramos con un proceso costoso que además modifica el tinte de algunas esencias confiriéndoles un equilibrio higrométrico menos elevado.
3. **El Secado artificial:** Dentro de sus variedades el procedimiento más empleado es el secado por aire acondicionado, donde se debe tener en cuenta que para cada grado de humedad de las maderas, corresponde una temperatura y un grado higrométrico óptimo del aire secador. De esta manera, se obtienen maderas cuyo grado higrómetro es del 15% como media y 8% como mínimo. Una vez almacenados, aumenta la humedad hasta el 20- 25% pero ha perdido parte de su dilatación y contracción, lo que es una gran ventaja. Este es el método que se ha aceptado en los astilleros navales a tenor de las instalaciones de las que disponen.

5.1.3.- Método de corte.

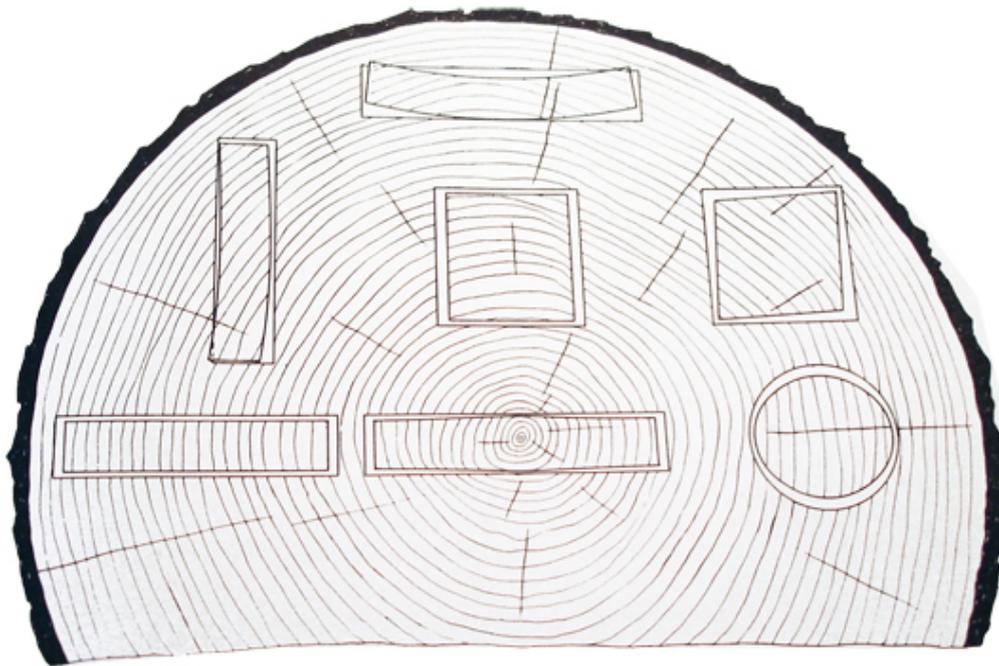
Debido a la estructura de los troncos del árbol en forma de anillos anuales concéntricos en una sección transversal, las tablas cortadas tienen diferentes características mecánicas según el modo de corte. Las fibras que se ven en la madera cortada están formadas por pequeños tubos de celulosa unidos o ligados por una sustancia aglomerante llamada lignina. Estas fibras se forman longitudinalmente según los anillos anuales. Si colocamos un tronco en una sierra y lo cortamos longitudinalmente desde principio a fin en eslabones sucesivos, rebanadas, la mayoría de ellos tendrán las fibras dispuestas de forma no regular.



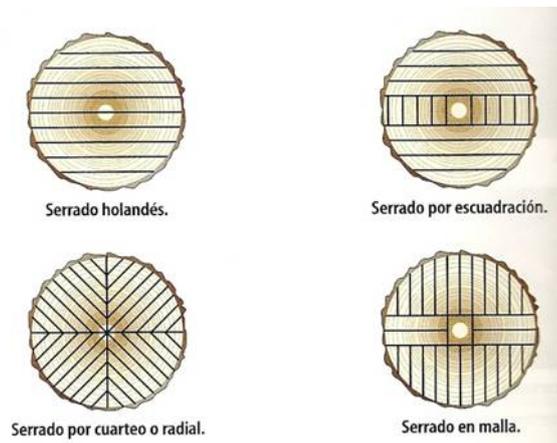
La tabla central se corta según el plano de simetría del tronco, es la única que tendrá fibras continuas y con forma regular, esta tabla central es la que mejores propiedades mecánicas tendrá debido a esta regularidad en la estructura interna. El resto de tablas son de una calidad inferior y tienen una tendencia a deformarse con los cambios de humedad interior. Esta madera corriente se intenta utilizar lo mínimo posible en la construcción naval.



Para obtener tablas que tienen las fibras limpias y regulares en sentido longitudinal se debe girar el tronco en la sierra y tratar que las tablas resulten según los radios de circunferencia que representa la sección del tronco. Estas tablas cortadas en dirección radial se llaman cortadas a cuartos, que son las tablas que se deben utilizar, a pesar de ser más caras, ya que el desperdicio que se produce en el corte es mayor además de necesitar más trabajo. En estas tablas, la dilatación y contracción por los cambios de humedad se produce en dirección perpendicular a las caras de la tabla, por lo que no tienen deformación aparente y no tienden a deformarse.



Se debe tener en cuenta que la madera cortada a cuartos, las tablas se hincharán y contraerán más en la dirección tangencial que la radial, es decir, la contracción es mayor en la dirección paralela a los anillos de crecimiento y menor en la dirección perpendicular a los mismos. En la mayoría de los tipos de madera el cambio es aproximadamente el doble de la dirección tangencial que en la radial.



5.2.- Técnicas de trabajo.

5.2.1.- Estopa y brea.

El calafateado de la zona del casco sumergida, denominada obra viva, y de la cubierta sometida al embarque de agua es el proceso por el que se hacen estancas las uniones a tope de las piezas que forman el forro y la cubierta, mediante la introducción de un material de relleno en la junta y posterior cubrimiento con una sustancia impermeabilizante.

Tradicionalmente el calafateado se realizaba con cordones de estopa y brea de calafatear llamada también “pez rubia”.

La estopa está formada por hilos de cáñamo, Cannabis Sativa, que antes de introducir en la junta hay que hilar según el diámetro adecuado al tipo de junta. El cordón de estopa se elabora con hilos de cáñamo impregnados en alquitrán, la estopa así tratada se denomina en algunos lugares estopa «con alma».

La brea utilizada en el proceso de calafateado es una resina obtenida como producto secundario en el proceso de destilación de la trementina para la obtención de la esencia o aceite de trementina conocida también como aguarrás. La trementina se obtiene de las coníferas realizando una incisión en su corteza.

Para extender la brea sobre las juntas es necesario someterla a un proceso de calentamiento mezclándola con alquitrán vegetal, en la medida necesaria para que quede suficientemente fluida y poder proceder a su aplicación. El alquitrán vegetal se obtiene mediante un proceso de combustión incompleta de la madera de pino, es de color negro y bastante fluido.

La mezcla que se utilizaba estaba compuesta por brea rubia, alquitrán vegetal y sebo a partes iguales, esta mezcla, que recibía el nombre de brea gorda, se realizaba en un caldero a través de un proceso de calentamiento. La misión del sebo era dotar a la mezcla de una cierta elasticidad.

También se ha empleado directamente la mezcla de brea con sebo. Para comprobar la mezcla se mojaba el extremo de un hilo en la mezcla y con los dientes se comprobaba la elasticidad. Si el barco iba a navegar por aguas frías se añadía más cantidad de sebo porque existía el riesgo de que la brea estallase.

El proceso de calafatear un barco comienza por abrir las juntas que se van a calafatear con ayuda de los hierros de abrir, se introduce el cordón de estopa y se hace penetrar en la junta con el hierro de retacar.



Operario calafateando las juntas de un buque de madera.

Para introducir el cordón se le golpea con un mazo de madera dura, llamado mallo, que debe tener cierta elasticidad en el golpe para que la estopa penetre suavemente, y un mazo más pequeño llamado maceta.

Antes de introducir el cordón, el calafate hilaba la estopa arrollando las hebras sobre una rodilla, con la palma de la mano, en un gesto característico.

Dependiendo del espesor de la tabla se utilizan uno o varios cordones de estopa, que en expresión de los calafates correspondía a calafatear a uno o varios cáñamos. Después de introducir el último cordón, denominado colla, se procede a embrear las costuras.



Operario calafateando el costado de un buque de madera.

No todas las uniones de las tablas del forro y de la cubierta se calafatean, y cada carpintero tiene su propia práctica. En los barcos de gran tamaño, en general, se calafatean todas las uniones de cubierta y casco, y en los demás solamente las cabezas en los costados y todas las uniones en la cubierta. Las cabezas de las tablas del forro se calafatean debido a que en contacto con el agua la madera aumenta en anchura pero apenas en longitud.

Para el calafateado de las juntas se ha empleado también el yute, y el kenaf, variedad del yute.

Además de la brea se ha utilizado la masilla, que es una mezcla de aceite y albayalde, polvos de tiza o carbonato cálcico que son denominaciones equivalentes y alternativamente polvos Nevín, que era una marca comercial, conocidos también como blanco de España. Se empleaban aceites de diferente procedencia, como el aceite de sardina o saín, aceite de linaza y otros aceites vegetales.

Otras alternativas son calafatear todas las costuras del forro con estopa más masilla y, la cubierta con estopa y brea. En embarcaciones pequeñas también se utiliza algodón impregnado en minio y masilla.

El cáñamo fino se utilizaba para fabricación de lonas y velas y el cáñamo basto en cordelería. Para calafatear se empleaba la estopa de calafate, formado por las fibras cortas, de 20 o 30 centímetros que quedan en las púas al rastrillar el cáñamo.

En España se cultivaba el cáñamo en la ribera baja del Segura en Alicante, con Callosa del Segura como centro donde existe un Museo del Cáñamo, produciéndose en

este lugar el mayor porcentaje de la producción española. También se cultivaba en Albacete, Sevilla, Calatayud y otros lugares.

5.2.2.- Clavazón y pernería.

La conexión de las diferentes piezas de la estructura de un barco de madera se realiza mediante uniones estructurales trabadas y la utilización de clavazón, pernería y cabillas de madera.

La clavazón utilizada en carpintería de ribera está formada por las puntas o puntillas, los clavos y los tornillos o pernos. Todos ellos se galvanizan en caliente para asegurar una eficaz protección frente a la corrosión.

Las puntas se utilizan para uniones de poca responsabilidad, los clavos para la unión de las tablas del forro a las cuadernas y los tornillos para la unión de las grandes piezas estructurales.

Es regla general, en relación con la elección del clavo más adecuado para la fijación del forro a las cuadernas, que un tercio de su longitud debe quedar en la madera del forro y dos tercios penetrar en la cuaderna. Es este un criterio antiguo ya citado en el siglo XVII.

Para evitar que la punta o el clavo agrieten la madera es buena práctica perforar previamente un taladro de diámetro ligeramente inferior al correspondiente de la punta o del clavo. Si no se realiza el orificio taladrado, es posible que la madera se agriete.

El tornillo o perno roscado de cabeza redonda y cuello cuadrado se fabrica en diámetros de 6 a 25 milímetros y en longitudes de 200 a 400 milímetros y esporádicamente hasta un metro. El cuerpo es cilíndrico con la cabeza semiesférica y el primer tramo de sección cuadrada, con las esquinas sobresaliendo del diámetro para que al penetrar en la madera quede trabado y no gire. Se le denominaba también tornillo tipo carruaje.

El clavo empleado en carpintería de ribera se fabricaba tradicionalmente de forma artesanal partiendo de un tocho cuadrado, dando forma a la cabeza mediante forja y calentando a continuación el otro extremo para hacer la punta golpeando a mano. A continuación se decapaba y galvanizaba sumergiendo las puntas en un recipiente alimentado por leña.

Más tarde se introdujeron procesos de fabricación mecanizados, pero los carpinteros de ribera preferían los clavos fabricados a mano aunque fuesen más caros. También preferían que el galvanizado fuera irregular porque así el clavo agarraba mejor en la madera.

La cabeza del clavo se hace penetrar o embutir uno o dos centímetros en la madera del forro con el botador y se tapa con una pieza de madera llamada tapín, también llamada bitoque o clavicote. Otra práctica seguida en años más recientes ha sido utilizar masilla para cubrir la cabeza de los clavos.

El proceso de galvanizado de la clavazón en la carpintería de ribera data al menos de la mitad del siglo XIX.



Clavos galvanizados.

Las cabillas son piezas cilíndricas de madera que se introducen en el taladro que atraviesa las dos piezas a unir con un cierto aprieto. En los barcos en que se encabillaba el forro, las cabillas de las primeras tablas eran ciegas al ser el espesor muy grande. Para aumentar el ajuste de la cabilla en el extremo interior se disponía de una cuña del mismo ancho que al llegar al fondo abría la cabilla contra el barreno.

Los constructores ingleses que llegaron a España a mitad del siglo XVIII, trajeron la práctica de utilizar de manera generalizada cabillas de madera, en lugar de la clavazón y pernería habituales hasta entonces en la construcción tradicional española.

5.2.3.- Pintura.

El principal problema de la madera como material de construcción naval es su vulnerabilidad frente al ataque de organismos vegetales y animales.

Los organismos vegetales que actúan sobre la madera pertenecen a los tipos de las bacterias, mohos y hongos cromógenos y de pudrición. Estos últimos se alimentan de celulosa o lignina según los tipos, se propagan con facilidad en ambiente húmedo, caso de la madera con más de un 20% de humedad, además se ven favorecidos por el aire viciado y la oscuridad de los espacios interiores de los barcos de madera.

Los organismos animales más dañinos son los insectos xilófagos como las larvas de polilla, carcoma y termitas, los crustáceos y los moluscos xilófagos como la broma (*Teredo navalis*) que horada y destruye la madera.

Históricamente se han utilizado en España diferentes procedimientos de protección de la madera del casco frente a la broma:

1. Forrado de la obra viva con láminas de plomo, práctica que se empleaba ya en el siglo XVI.
2. Utilización de un doble forro de madera en la obra viva, el más exterior destinado a sufrir los ataques de la broma por lo que era reemplazado periódicamente. Esta solución se empleaba cuando los barcos hacían el viaje a América donde el ataque de la broma era mayor.

3. Forrado de la obra viva con láminas de cobre, práctica que comenzó a utilizarse en España hacia el último tercio del siglo XVIII.

Para proteger la madera de los efectos del mar y la intemperie, se han utilizado diferentes tipos de aceites y alquitranes:

4. Aceites de pescado, como el obtenido de la sardina o saín empleado en Galicia y Portugal, y el obtenido del hígado del abadejo.
5. Aceite de linaza cocido hasta el punto de ebullición, utilizado también con minio muy diluido u otras sustancias similares. El minio facilita un mejor agarre de la pintura de terminación que se aplica a continuación en la madera.
6. Alquitrán vegetal. También se utiliza añadiéndole aceite de linaza o gasoil al 50. El gasoil actúa como secante, aunque tiene el problema de que la pintura que se aplica encima se desprende.
7. Alquitrán mineral, empleado para proteger los fondos de las chalanas y de las nasas.

Cuando los alquitranes eran muy gordos, se calentaban para poder extenderlos con brocha, aunque actualmente se comercializan más ligeros.

El saín actúa de manera que al aplicarse sobre la madera se oxida y forma una especie de barniz que protege la madera impermeabilizándola. El saín se obtenía como un subproducto en las fábricas de salazón, durante el proceso de prensado de la sardina, y se utilizaba también como combustible para alumbrado y en el proceso de refinado del cuero.

La primera capa de protección se realizaba aplicando a todo el barco saín mezclado con polvo de minio. A continuación se daba una capa de patente bajo la flotación, y una capa de saín con blanco Nevín, que era una marca comercial, para la zona situada sobre la flotación.

Sobre este tratamiento se aplicaba una pintura de terminación o acabado en la obra muerta cuya misión era cubrir completamente la madera e impedir que la humedad penetrara en la misma y se produjeran los fenómenos de ataque biológico que dañan la madera.

Estas pinturas se fabricaban con aceite de linaza añadiéndole unos polvos colorantes, en lugar de aceite de linaza se empleaba también aceite de pescado, saín.

El crecimiento de organismos animales y vegetales en la cara exterior del forro de la obra viva tiene un efecto negativo sobre las características marineras de la embarcación, porque aumenta de manera significativa la resistencia al avance de la carena.

Para impedir el crecimiento de las incrustaciones en los cascos de madera se han utilizado diferentes sistemas, como la aplicación de una mezcla de brea, grasa y azufre empleada en la construcción de las naos.

A finales del siglo XIX se generalizó el recubrimiento de la obra viva con pinturas antiincrustantes, conocidas popularmente como «patente» por tratarse de

pinturas de composición patentada, que contenían en sus primeras formulaciones, compuestos de cobre que resultaban tóxicos para los organismos que se adherían al casco.

5.3.- El proceso constructivo.

La estructura de los barcos de madera está formada por un número muy elevado de piezas conectadas mediante uniones estructurales, fijadas por clavos y tornillos o pernos roscados.

La estructura básica es del tipo transversal formada por armazones, denominados cuadernas, unidos por su parte inferior a una pieza prismática longitudinal, la quilla, que se prolonga a proa y a popa con dos piezas que forman los cierres del barco, denominados roda y codaste.

Sobre el fondo de las cuadernas se dispone la sobrequilla que es otra pieza longitudinal que corre de proa a popa y que refuerza junto con la quilla la unión de las cuadernas.

Además de estas piezas, las cuadernas están ligadas entre sí longitudinalmente por los durmientes, en los que apoyan los baos que soportan la cubierta, las tapas trancañiles y los palmejares.

Para dotar de estanqueidad al casco la estructura se forra en los costados y la cubierta con piezas longitudinales de madera.

Hay que decir que antiguamente los carpinteros de ribera pocas veces realizaban algún tipo de cálculo que les permitieran conocer los espesores de las piezas, sino que más bien se han basado en su experiencia y la tradición oral.

Siempre hay que disponer las fibras de la madera empleada a lo largo de la geometría de la pieza a construir de manera que esta tenga resistencia a las cargas a las que será sometida, tanto de pesos embarcados, como hidrodinámicas y aerodinámicas.

La quilla va empernada a tres o cuatro picaderos encastrados en el suelo del taller, el conjunto debe ir bien nivelado respecto del suelo que hará de línea de base a la cual las cuadernas serán perpendiculares. Niveles y plomadas en esta fase de la construcción son indispensables. La quilla es la pieza más resistente de la estructura y si es posible se debe hacer de una pieza, para lo que necesitaremos madera muy resistente de las debidas dimensiones.

Como es un elemento de la estructura de gran dimensión, a partir de esloras no muy grandes es muy difícil conseguir que sea de una sola pieza, por lo que se procede a la unión mediante ensamblaje de al menos dos piezas. Las piezas a unir se preparan por medio de entalladuras y cortes combinados, llamados escarpes, de manera que permitan juntar y enlazar los distintos elementos, asegurando su perfecto encaje y la indeformabilidad de la unión. En la siguiente figura se muestra un escarpe típico de quilla con corta aguas o matadero para evitar que el agua penetre a través de la unión.

Encima de la quilla y a lo largo de la misma se coloca la sobrequilla, empernadas entre sí manteniendo entre ambas a las cuadernas.

Una vez colocada la quilla se ensamblan a la misma la roda y codaste, fijándolas verticalmente con la ayuda de una plomada. Mediante junta a escarpe se ensamblan roda y quilla a proa, reforzando interiormente la unión mediante la contra roda, que va empernada a ambas.

Asimismo, dependiendo de la forma en que se configure el vano del codaste, se dispondrá también una o varias piezas de refuerzo del codaste.

Una vez ensambladas las tres piezas fundamentales de la estructura y erigidas verticalmente sobre los calzos se puede comenzar la tarea de montar sobre ellas las cuadernas. Las cuadernas son elementos estructurales transversales de formas variadas que pueden estar constituidas por una sola pieza o por varias, ya que en general, no se pueden obtener de maderas ya curvadas de manera natural con tales formas. En caso de ser de una pieza, serán conformadas con la ayuda de vapor de agua para ablandar la madera y hacerles tomar su forma según las plantillas necesarias. Si son de gran tamaño habrá que hacerlas de varias piezas y en este caso pueden ser sencillas, o dobles.

Por tanto, existen básicamente tres tipos de construcción de cuadernas: curvadas de una pieza, cuadernas sencillas formadas por varias piezas, y cuadernas dobles.

En embarcaciones pequeñas se puede conseguir curvar la madera con las formas de las semicadernas, pero hay que tener en cuenta la dirección de los anillos para poder clavar o atornillar el forro correctamente a la cuaderna. El clavo o el tornillo deben entrar perpendicularmente a los anillos de la madera de la cuaderna.

En embarcaciones medianas se utilizan cuadernas sencillas, donde cada cuaderna consta de varias piezas cortadas con la forma adecuada a cada banda y unidas mediante consolas y clavos. Las cuadernas de una pieza y las sencillas se utilizan en barcos de menor tamaño.

En los barcos más grandes se puede optar por construir las cuadernas dobles con un número de piezas elevado, 7, 9 u 11 según manga y puntal del barco, unidas a tope de manera que las juntas de cada pieza se alternen en cada una de las cuadernas sencillas de que constan. Como ocurre en este caso “La Niña” está construida con cuadernas dobles.

Las cuadernas dobles son las más pesadas y están constituidas por los ligazones, que se van llamando por orden, primer ligazón, segundo ligazón, etc. desde la quilla hasta cubierta superior y de forma alterna de una cuaderna y de la yuxtapuesta. Sobre las cuadernas y en la zona de crujía, es decir, en la zona de varengas, se coloca la sobrequilla nombrada anteriormente que las mantiene unidas a la quilla.

Una vez se han construido las cuadernas, se van uniendo a la quilla en su posición y una vez empernadas se unen sus dos extremos superiores con un listón provisional para evitar que se abran. Siempre se comprueba el nivelado y aplomado de las cuadernas para evitar una distorsión en las formas del casco.

Una vez colocadas todas las cuadernas hay que comprobar el alisado de las formas del casco, lo que se lleva a cabo por medio de listones clavados a las cuadernas en lugares determinados por la intersección de planos paralelos a la quilla e inclinados determinados ángulos con la vertical. Estos listones son unos elementos auxiliares provisionales llamados vagras planas y se clavan en cada costado. Tras clavar los listones se comprueba que su curva sobre las cuadernas es suave y toca a todas. Si no fuera así hay que corregir su posición en la parte afectada.

La clara o separación longitudinal entre cuadernas es mayor, proporcionalmente a la eslora. Este valor de la clara es un factor a considerar en función de la robustez del casco y de los mares en que se va a navegar.

Para embarcaciones pequeñas donde ya se pretendía optimizar el peso pensando en la regata en vez de utilizar sobrequilla, la unión entre cuadernas y quilla se realizaba por medio de las varengas. Siendo de mayor escantillón las varengas situadas bajo el mástil y la orza. Las varengas van empernadas a la quilla y a las cuadernas manteniendo las piezas un contacto perfecto.

Debido a la curvatura del casco desde la sección media hacia proa y popa, las varengas se colocan en el lado de proa de las cuadernas a proa de la sección media, y en el lado de popa en las cuadernas a popa de la citada sección. Los bordes de ambos costados se biselan para que el forro apoye adecuadamente sobre las varengas, al igual que se hace con las cuadernas.

Los palmejares se utilizan para reforzar costado y pantoque, recorren longitudinalmente el barco de proa a popa perfectamente fijados por el interior a todas las cuadernas mediante tornillos de cabeza plana, o pernos en barcos grandes. Si no hay material para hacerlos de una pieza, se pueden hacer de varias piezas unidas mediante escarpe. En el pantoque se sitúa un palmejar a cada banda compuesto de uno o dos tablones en anchura unidos firmemente.

Los tablones de cubierta se colocan apoyados sobre los baos que van de banda a banda apoyados en los durmientes. El durmiente es la pieza estructural localizada por el interior de las cuadernas en la parte superior de las mismas, que sirve de apoyo a los baos, este puede ir clavado o empernado a las cuadernas. Si va empernado tiene mayor resistencia y hay que colocar los pernos antes de forrar el casco. El durmiente va apoyado en el sotadurmiente que va clavado a cada cuaderna.

A los baos se les da brusca y se apoyan también en esloras que recorren longitudinalmente el barco, bien totalmente o entre mamparos, dependiendo de la distancia a crujía a la que se encuentren. Para disminuir las luces de estos refuerzos de cubierta y dependiendo de las dimensiones del barco, se colocan puntales de apoyo repartidos a lo largo de la eslora y manga.

Cuando se ha terminado de instalar todos los elementos estructurales y el conjunto descansa verticalmente sobre los calzos, se puede comenzar la colocación del forro exterior con sus tracas formadas por listones o tablones. El forrado del casco requiere un estudio detallado de su disposición, pues el tamaño de los listones debe ser proporcionado y las líneas de las costuras deben ser "agradables a la vista".

Los listones no deben ser muy anchos, para conseguir una buena colocación sobre el casco y poder juntarlos entre sí por la zona interior, quedando algo abiertos por la zona exterior, lo que permite la introducción de la estopa y brea de calafateado. En la quilla y roda, los listones encajan en una ranura llamada alefriz.

En las zonas de contacto entre cuadernas y tracas de forro, las primeras deben ser biseladas para que el contacto sea perfecto formando una superficie plana. El ángulo con que se debe tallar la cuaderna varía según la disposición de la misma en el casco. Las del centro tendrán ángulo de bisel nulo ya que el forro será paralelo al plano longitudinal o de crujía, los biseles tendrán mayor ángulo progresivamente a medida que las cuadernas estén más cerca de la proa o la popa del barco. Los listones se fijan a las cuadernas mediante clavos.

Salvo en barcos pequeños, los listones de las tracas no suelen ser lo suficientemente largos para llegar desde popa a proa, por lo que una traca se compondrá de dos o más tablones o listones unidos por las juntas a tope. Desde el punto de vista de la resistencia, la situación de los topes es importante y se debería saber antes de comenzar a forrar donde va a ir cada uno. La figura número 76 muestra las características de separación que deben tener los topes. Así, no deben caer dos topes en la misma posición longitudinal sin que haya al menos tres tracas de separación, y las tracas adyacentes no deben tener topes sin que exista una separación de tres claras de cuaderna entre ellos.

Los topes se suelen realizar coincidiendo con las cuadernas, aunque también se pueden realizar entre cuadernas. En este caso se dispone una tabla del mismo grosor que el forro en la zona posterior de la unión, más ancha que el listón, y de largo la distancia entre cuadernas.

El forrado de un barco de pantoque redondo, sin codillos (como es el caso que se está tratando, ya que los veleros que se fabricaban tenían formas redondas) se realiza comenzando por la traca de cinta, a continuación con la traca de aparadura, las dos tracas adyacentes a la de aparadura, y las tracas de fondo hasta el pantoque.

Después, alternativamente una traca bajo la cinta y otra continuando en el pantoque, hasta colocar la última, que será la traca de cierre, aproximadamente a una distancia a la mitad entre las tracas del fondo y de cinta.

Debido a la dificultad que plantea la traca de cierre debe ser una traca lo más recta posible, sin reviros o giros que impliquen que tenga que curvarse con vapor o calor.

Teniendo en cuenta que en algunas partes del casco, como ocurre en la proa y la popa, las tablas del forro adquieren una gran curvatura no es posible emplear listón recto por lo que se utiliza un listón con la curvatura aproximada a la de la tabla una vez trazada.

Las tracas pueden tener una anchura de entre 10 cm y 15 cm, siendo más anchas en el fondo y menos en el costado. Estas anchuras son en la zona central del barco, pues hacia los extremos se produce un estrechamiento en el espacio disponible para colocar todas las tracas, teniendo que disminuir el ancho de las tracas y en ocasiones realizar

atunes, ya que alguna traca tiene que acabar antes de llegar a los extremos. El estrechamiento de las tracas se debe realizar de manera uniforme y similar en las tracas afectadas. Para realizar los estrechamientos se utiliza un junquillo, que permite decidir la forma final que se va a dar a la traca.

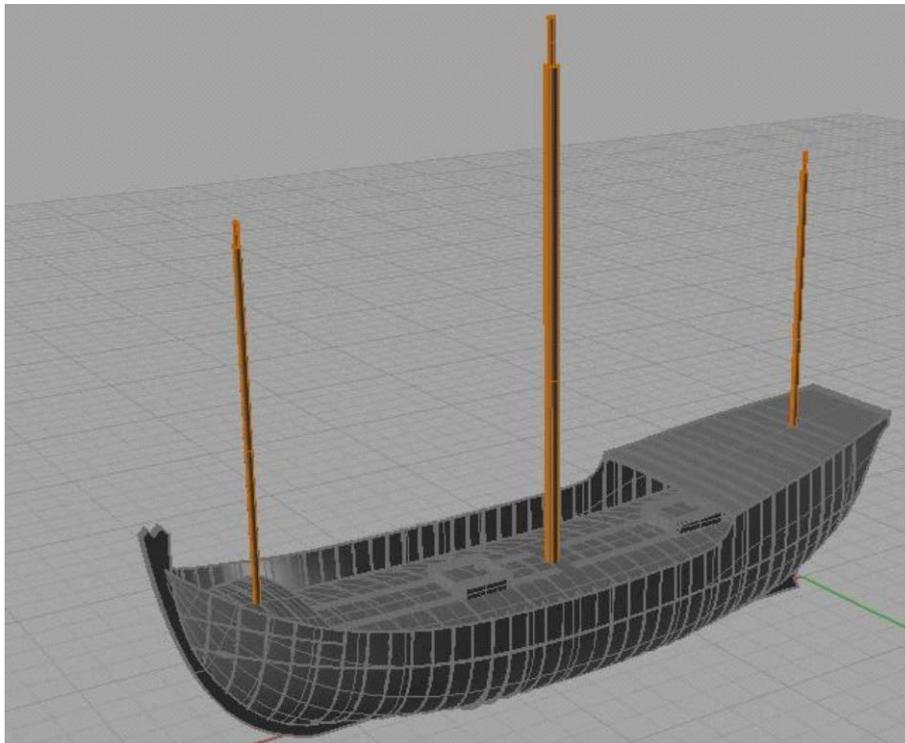
Una vez forrado el casco se procede al calafateado del mismo para hacerlo estanco. El calafateado es una técnica que consiste en introducir entre cada dos tablas estopa y brea, de manera que se evite la entrada de agua por las pequeñas separaciones que quedan entre los tablones.

La cantidad de estopa a introducir depende de la anchura de la abertura de la unión.

5.3.1.- Mástiles.

“La Nina” es una embarcación propulsada a vela, que tenía tres mástiles, el de mesana, el palo mayor y el trinquete, nombrados de popa a proa.

En los primeros mástiles de madera no se realizaba ningún mecanizado laborioso. Comenzaron a construirse pequeños mástiles a partir de árboles individuales. Los dos tipos de madera más utilizados en los primeros mástiles fueron el roble y el pino.



Más adelante se hacía un mecanizado muy sencillo a la madera para darle una forma de octógono con una azuela. Continúo la evolución cuando se decidió realizar con

mástiles de 16 caras, cepillando las esquinas y lijando el mástil completo conseguían una forma redonda.

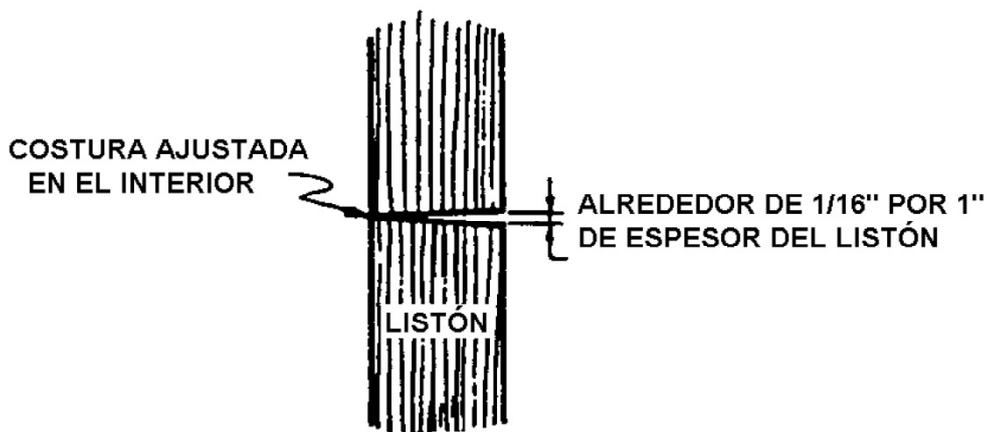
Al construir un mástil se debe tener presente dos cosas: la altura del palo sobre el puente y su evidente inclinación. La altura de los palos está perfectamente establecida al igual que la inclinación o lanzamiento de los palos que seguía reglas depuradas.

Los mástiles deben quedar perfectamente alineados y verticales, sin aceptar tolerancias, para conseguir esto se solían construir los agujeros del puente algo mayor de lo que correspondían.

5.3.2.- Forro y cubierta.

Forro y cubierta

Cuando se ha terminado de instalar todos los elementos estructurales y el conjunto descansa verticalmente sobre los calzos, se puede comenzar la colocación del forro exterior con sus tracas formadas por listones o tablones. El forrado del casco requiere un estudio detallado de su disposición, pues el tamaño de los listones debe ser proporcionado y las líneas de las costuras deber ser “agradables a la vista”. Los listones no deben ser muy anchos, para conseguir una buena colocación sobre el casco y poder juntarlos entre si por la zona interior, quedando algo abiertos por la zona exterior, lo que permite la introducción de la estopa y brea de calafateado. En la quilla y roda los listones encajan en una ranura llamada alefriz.

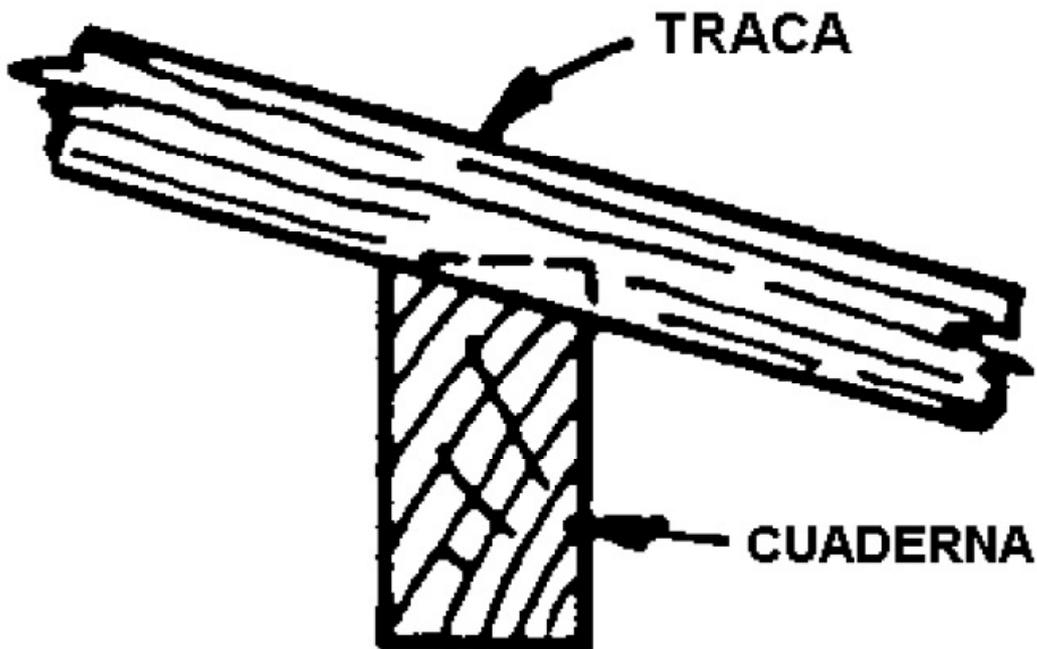


Costura a calafatear



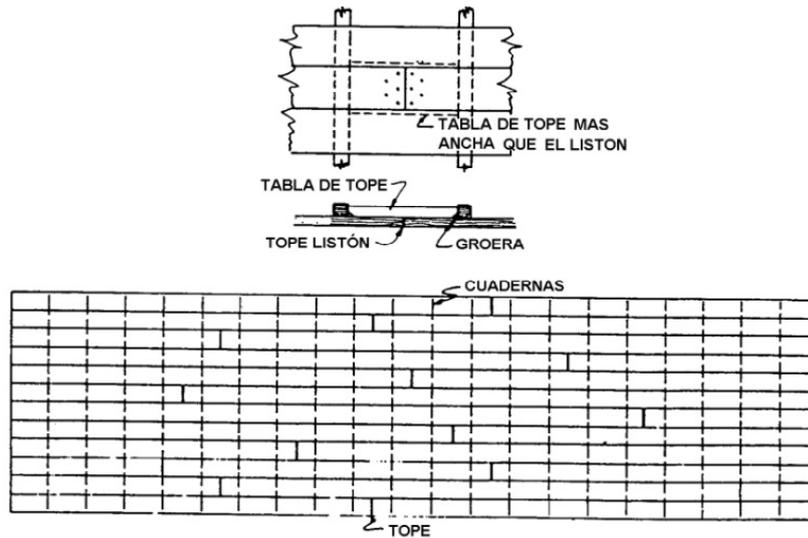
Alefriz

En las zonas de contacto entre cuadernas y tracas de forro, las primeras deben ser biseladas para que el contacto sea perfecto formando una superficie plana. El ángulo con que se debe tallar la cuaderna varía según la disposición de la misma en el casco. Las del centro tendrán ángulo de bisel nulo ya que el forro será paralelo al plano longitudinal o de crujía. Los biseles tendrán mayor ángulo progresivamente a medida que las cuadernas estén mas cerca de la proa o la popa del barco. Los listones se fijan a las cuadernas mediante clavos.



Zona de contacto entre cuaderna y forro

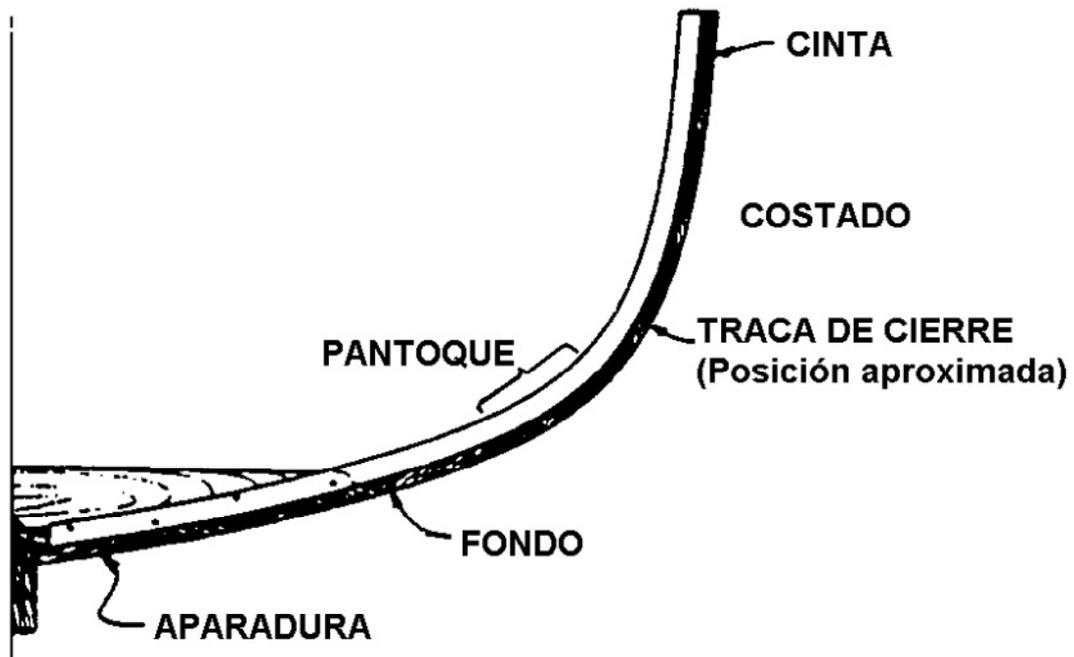
Salvo en barcos pequeños, los listones de las tracas no suelen ser lo suficientemente largos para llegar desde popa a proa, por lo que una traca se compondrá de dos o mas tablones o listones unidos por las juntas a tope. Desde el punto de vista de la resistencia, la situación de los topes es importante y se debería saber antes de comenzar a forrar donde va a ir cada uno. No deben caer dos topes en la misma posición longitudinal sin que haya al menos tres tracas de separación, y las tracas adyacentes no deben tener topes sin que exista una separación de tres claras de cuaderna entre ellos.



Listones y claras de separación entre topes

Los topes se suelen realizar coincidiendo con las cuadernas, aunque también se pueden realizar entre cuadernas. En este caso se dispone una tabla del mismo grosor que el forro en la zona posterior a la unión, mas ancha que el liston, y de largo la distancia entre cuadernas.

El forrado de un barco de pantoque redondo, es decir, sin codillos, se realiza comenzando por la traca de cinta, a continuación con la traca de aparadura, las dos tracas adyacentes a la de aparadura, y las tracas de fondo hasta el pantoque. Despues, alternativamente una traca bajo la cinta y otra continuando en el pantoque, hasta colocar la ultima, que será la traca de cierre, aproximadamente a una distancia a la mitad entre las tracas del fondo y de cinta. Debido a la dificultad que plantea la traca de cierre debe ser una traca lo mas recta posible, sin reviros o giros que impliquen que tenga que curvarse con vapor o calor.



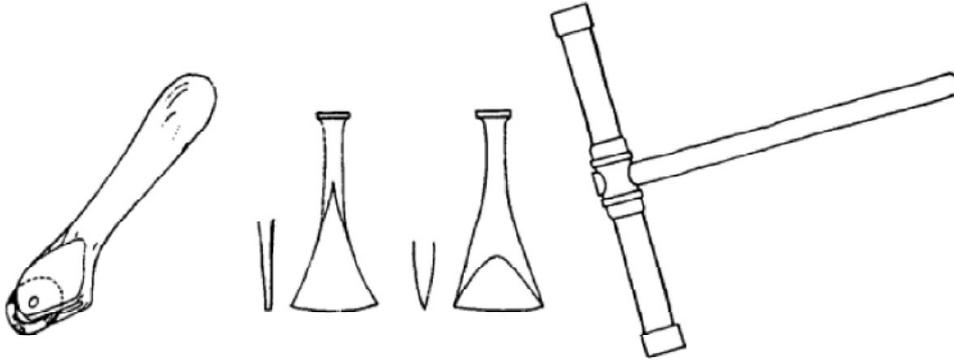
Nomenclatura de tracas de forrado del casco

Las tracas pueden tener una anchura de entre 10 cm y 15 cm, siendo más anchas en el fondo y menos en el costado. Estas anchuras son en la zona central del barco, pues hacia los extremos se produce un estrechamiento en el espacio disponible para colocar todas las tracas, teniendo que disminuir el ancho de las tracas y en ocasiones realizar atunes, ya que alguna traca tiene que acabar antes de llegar a los extremos. El estrechamiento de las tracas se debe realizar de manera uniforme y similar en las tracas afectadas. Para realizar los estrechamientos se utiliza un junquillo, que permite decidir la forma final que se va a dar a la traca.



Terminación de tracas de proa. Atún

Una vez forrado el casco se procede el calafateado del mismo para hacerlo estanco. El calafateado se realiza introduciendo en costuras y topes unas hebras de estopa con la ayuda de herramientas especiales.



Herramientas de calafateado

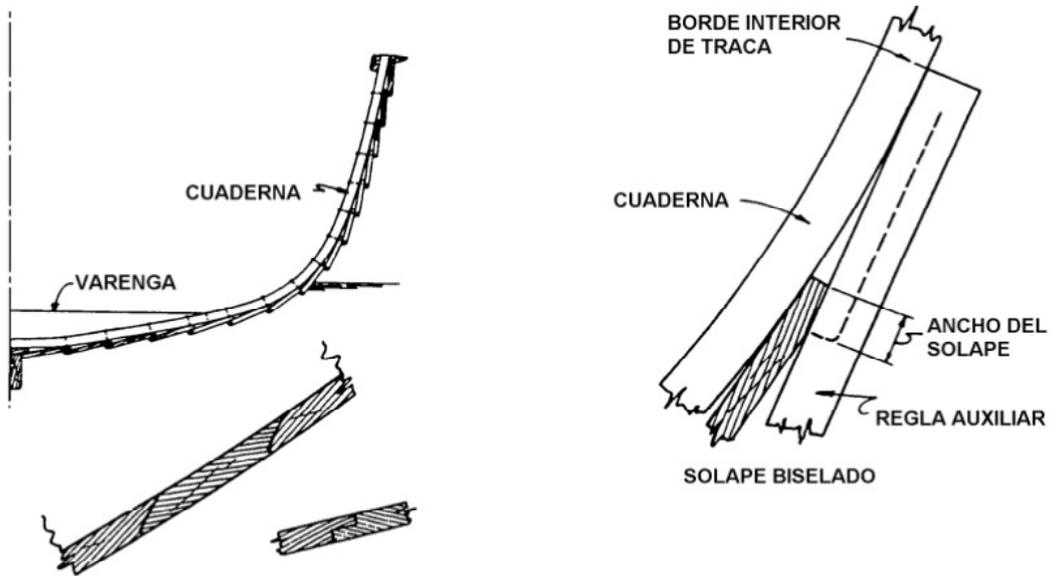
La cantidad de estopa a introducir depende de la anchura de la abertura de la unión, y no hay que rellenar hasta el exterior de la costura, sino que debe quedarse aproximadamente a la mitad del espesor de las tracas. Una vez introducida la estopa se pinta con brea, y una vez seca se procede al relleno con masilla de los huecos que queden en clavos, costuras y topes, procediéndose al lijado del casco y su posterior pintado.



Calafateado del casco

El forrado a tingladillo se emplea principalmente en embarcaciones pequeñas donde interesa poco peso. Es un sistema de forrado muy rígido debido a la unión de los bordes

solapados, permitiendo utilizar tracas de menor grosor que disminuyen por tanto el peso. El forrado comienza desde la traca de aparadura hasta la de cinta, colapando las tracas alrededor de 22 mm para un espesor de listones de 9 mm, aumentando ligeramente cuando aumenta este grosor. En los extremos del barco las tracas deben quedar a paño para entrar en el alefriz de la roda y en el espejo.

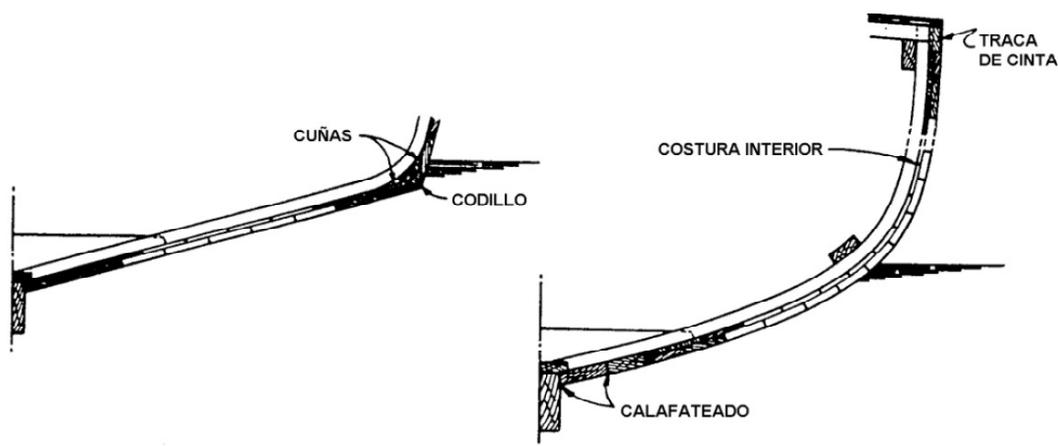


TIPOS DE SOLAPE EN LAS ZONAS DE RODA Y ESPEJO



Forrado en tingladillo

Otro procedimiento de forrado es el forrado doble. Este forrado asegura la estanquidad sin calafateado, al colocar las costuras del forro interior en medio de una traca del forro exterior. Es un sistema mas pesado pues el forrado hay que hacerlo dos veces y hay que utilizar elementos metálicos de fijación para ambos forrados, aunque el grosor de las tracas de ambos forrados es menor que en el caso de forrado simple. Para ahorrar algo de peso se puede utilizar una madera ligera para el forro interior. La traca de apuradura se suele realizar simple para facilitar su reemplazo si es necesario.

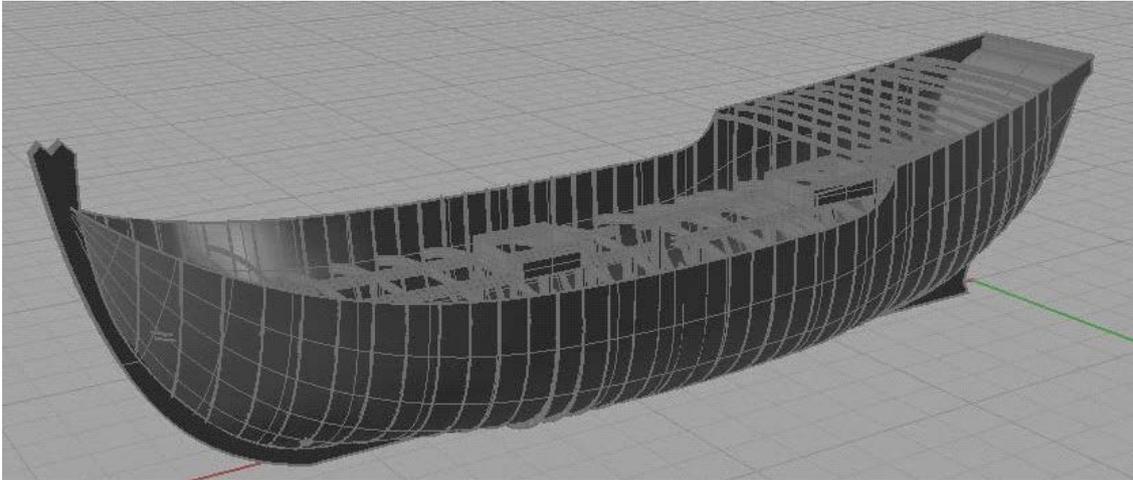


Forrado doble

El sistema de fijación a las cuadernas de las tracas interiores se realiza mediante tornillos, y antes de colocar las tracas exteriores se cubre con un compuesto especial para que peguen ambos forros. Entre cuadernas e interiormente, ambos forros se unen

con tornillos con arandela a lo largo de los bordes de las tracas interiores, y también a lo largo de cada lado de la mitad de las tracas interiores para unir los bordes de las tracas exteriores. Naturalmente, las tracas exteriores deben ser suficientemente gruesas para poder atornillar desde el interior.

Un procedimiento de forrado que se puede utilizar en embarcaciones con cascos de formas desarrollables es con contrachapado marino, pues permite ahorrar tiempo en el



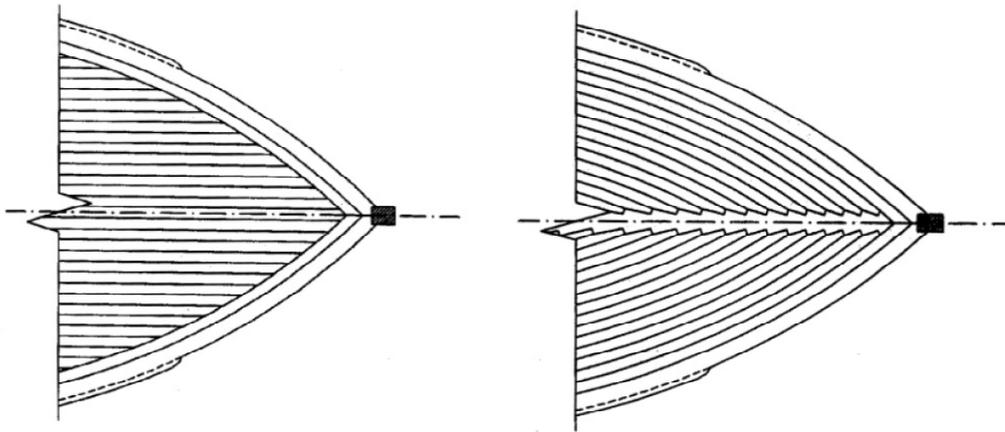
fornado al poder utilizar pocos paneles para completar el casco. El contrachapado hay que encolarlo a las cuadernas, al alefriz y a todas las piezas sobre las que va apoyado, y hay que fijarlo mediante tornillos cuya cabeza debe quedar ligeramente bajo la superficie del panel, sellada con masilla adecuada.

Por último se procede al forrado de la cubierta. A lo largo de todo el trancañil se coloca la tabla llave, de mayor espesor que el resto de los tablones de cubierta, y se fija a la parte superior de las cuadernas. Se procede a forrar la cubierta desde crujía hacia las bandas.



Tabla llave en el contorno de la cubierta

Las tracas de cubierta se pueden disponer paralelas a crujía o siguiendo curvas paralelas a la tabla llave.



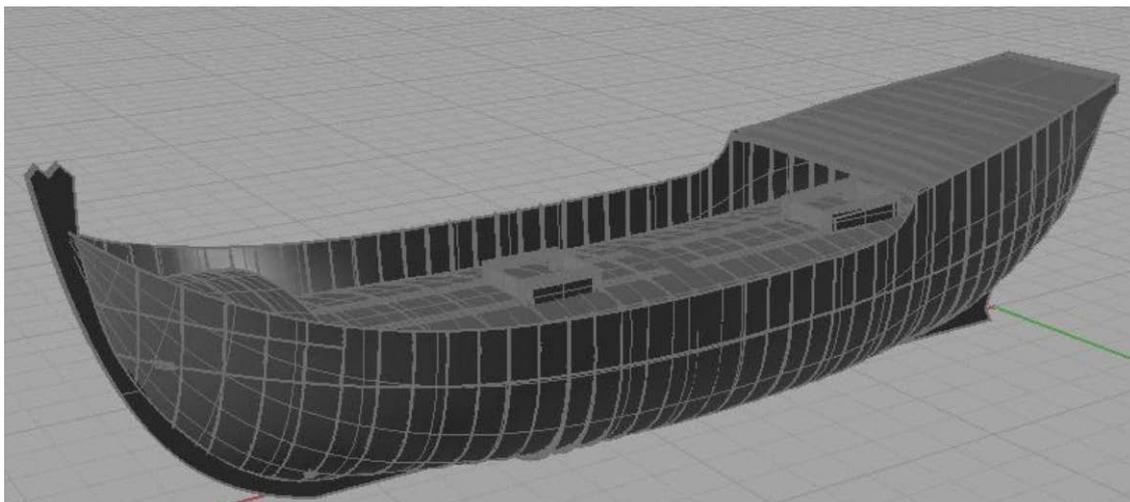
Formas de forrar la cubierta

Sobre la tabla llave se realizan unos orificios que permiten el paso de los barraganetes que se fijaran por la parte inferior de las cuadernas, permitiendo forrar la amurada y colocar la tapa de regala. El barraganete tiene un resalte de mayor anchura por encima de la cubierta, de manera que apoye en ella.



Barraganetes y amurada

La cubierta realizada con listones se calafatea de forma análoga al casco para evitar la entrada de agua. De esta forma se completa la estructura de un barco de madera.



6.- VALORACIÓN ECONÓMICA:

6.1.- Materiales.

Madera de pino silvestre	4.479,78 €
Madera de roble albero	6.983,46 €
Madera de roble albar	7.753,06 €
Cabillas de cobre	3.125,26 €
Cabillas de hierro galvanizado	3.808,91 €
Clavos de hierro galvanizado	1.504,93 €
Estopa	567,96 €
Brea	343,78 €
Tejido de canamo para velas	2.004,38 €
Jarcia de canamo	3.576,02 €
Pintura	781,32 €
Anclas	2.073,49 €
Cables y estachas de cáñamo	8.403,65 €
Lastre	9.495,99 €
Motoneria	4.507,59 €
TOTAL	59.409,58 €

6.2.- Jornales.

Trazado de Galibos	7.572,75 €
Carpintero de Ribera	81.136,63 €
Movimiento	8.113,66 €
Calafate	12.981,86 €
Aserradores	4.597,74 €
Veleros	11.359,13 €
Pintores	6.490,93 €
TOTAL	132252,714€

6.3.- Pertrechos.

Ya mencionados con anterioridad. → Total: 63106,271€

6.4.- Presupuesto final.

MATERIALES + JORNALES	191.662,29 €
6% Beneficio industrial	11.632,32 €
20% Gastos Generales	38.774,42 €
5% ITE 294685,562€	294.685,56 €
TOTAL	577738,8€+ Pertrechos

7.- BIBLIOGRAFÍA:

- Sitio web: www.monografias.com
- Sitio web: www.rae.es
- Sitio web: www.wikipedia.es
- Casson, Lionel, Ships and Seafaring in Ancient Times, British Museum Press, 1994, London.
- Flecker, Michael, A ninth-century AD Arab or Indian shipwreck in Indonesia: first evidence for direct trade with China. World Archaeology, Volume 32(3): 335-354 Shipwrecks, Taylor & Francis Ltd, 2001.
- Griffith, T., Marco Polo: The Travels, Wordsworth, London, 1997. Hourani, G. F., Arab Seafaring in the Indian Ocean in Ancient and Early Medieval Times, Princeton University Press, Princeton, 1995.
- Manguim, P. Y., Southeast Asian shipping in the Indian Ocean during the first millennium A.D. In Tradition and Archaeology, (eds H. P. Ray and J.F. Salles), State Publishers, New Delhi, 1996, pp 181-198.
- Ingeniería Naval Marzo 2001. Diseño estructural del palo de un velero. Requerimientos y selección de materiales.
- Francisco Fernández González. Ingeniería Naval 2001. Documentos históricos de la construcción naval. Un tratado naval pionero en español. Los “quatre partitu cosmographia practica i por otro nombre llamado espejo de navegantes” de Alonso de Chaves (Sevilla,1537).
- Oliveira F. Academia de Marinha. Lisboa 1991. Livro da Fabrica das Naos. Ingeniería Naval abril 2006. Marineros-científicos y artesanos en la construcción naval militar española del Dieciocho.
- Bureau Veritas. Reglamento para la construcción y clasificación de Buques de Pesca de madera.
- Paris' Essai sur la construction, 1930.
- Paris' Souvenirs de Marine, 1882.
- Ray, H. P. and Salles J. F., Tradition and Archaeology: Early Maritime Contacts in the Indian Ocean, State Publishers, New Delhi, 1996.
- Tibbetts, G. R., Arab Navigation in the Indian Ocean before the Coming of the Portuguese, London: Royal Asiatic Society of Great Britain and Ireland, 1981.

- Vosmer, T., 1997, Indigenous fishing craft of Oman, International Journal of Nautical Archaeology, 26(3): 217-235.
- Archivo General de Indias, Signatura: PATRONATO,12,N.2,R.3 (fls. 33v-34r.).

8.- PLANOS: