

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

TITULACIÓN: Ingeniero Técnico Naval

PROYECTO FIN DE CARRERA

Proceso de construcción de la Carabela “Niña”



Alumno: Manuel Clemente Carrillo

Profesor Tutor: D. Federico López-Cerón de Lara

UPCT
Proyecto fin de carrera: Carabela “Niña”
Manuel Clemente Carrillo



INDICE

1. Introducción	pág. 2
2. Generalidades	pág. 5
3. Puntos de partida	pág. 8
4. Características del buque y proceso de construcción	pág. 9
5. Cálculo del arqueo	pág. 30
6. Estabilidad	pág. 31
7. Caso práctico	pág. 36
8. Bibliografía	pág. 39
9. Agradecimientos	pág. 40
10. Planos	

UPCT
Proyecto fin de carrera: Carabela “Niña”
Manuel Clemente Carrillo



1. INTRODUCCION

La mayor parte de los navegantes contemporáneos al descubrimiento de América sostenía su convencimiento de que la Tierra tenía forma esférica; en esa suposición basó Cristóbal Colón su intención de llegar a Catay y Cipango (actuales China y Japón, respectivamente), influenciado a su vez, probablemente, por las noticias que de Italia le habían ido llegando sobre los viajes de Marco Polo.

Diversos factores alentaron en Colón la idea de buscar el Oriente por el Occidente, siguiendo el que él estimó como el camino más corto, mientras los portugueses lo hacían bordeando las costas de África.

Hay constancia de algún viaje de Colón a Inglaterra; visitó el oeste de Irlanda, donde, según dijo, conoció a un par de personas que habían llegado de Catay por el Oeste, cruzando el Atlántico. Quizás llegó también a Islandia, lo que ha hecho plantearse si pudo saber acerca de los viajes de los Vikingos a través del Atlántico Norte.

De lo que no puede haber duda es de que Colón conocía la existencia de los vientos Alisios, del sentido NE-SO de estos en el Hemisferio Norte y su constancia en el periodo estival y relativa calma en Invierno, como prueba la fecha elegida para la partida de su expedición, 3 de Agosto de 1492.

Así, Colón habría supuesto que las citadas condiciones meteorológicas pudieran haber facilitado la navegación a los Vikingos para alcanzar Norte América (se sabe que descubrieron Islandia, Groenlandia y Nueva Inglaterra por las rutas del NO).

Y puestos a imaginar, también es posible que tuviera conocimiento, aún a grandes rasgos, del tipo de embarcación que estos usaban, de sus formas, líneas, tipo de velamen...y se valiera de la información que pudo obtener en su estancia en el norte de Europa sobre las características generales de los “**Drackars**” normandos a la hora de elegir el tipo de barcos que le habrían de llevar al Nuevo Mundo; si así fue, podríamos decir que acertó de pleno, como a finales del siglo XIX se demostró con la nave de **Gokstad**:

Hallada en Noruega en 1880 y datada en el 900 d.C. aproximadamente, sirvió como modelo para la construcción de una réplica que, en 1893 y con motivo de la Exposición Universal de Chicago, atravesó el Océano Atlántico desde el país escandinavo hasta dicha ciudad. Sorprendió su **óptimo comportamiento en la mar** y el corto espacio de tiempo (unos 25 días) que duró el tránsito, llegando a alcanzar 11 nudos a vela.

UPCT
Proyecto fin de carrera: Carabela “Niña”
Manuel Clemente Carrillo



Si bien soy consciente de que parte de lo expuesto anteriormente no dejan de ser meras hipótesis, el motivo que me ha llevado a encabezar este trabajo con esta breve introducción no es otro que intentar, si se me disculpa el atrevimiento, ponerme en la piel del Almirante Colón y justificar el porqué se embarcó (nunca mejor dicho) en tamaña empresa y, en consecuencia, eligió para ella el tipo de naves como la protagonista de este proyecto.

Como marino, conozco perfectamente la sensación, tan extraña como incomprendible la mayoría de las veces, de echar de menos volver a hacerse a la mar después de periodos medianamente largos de estancia en tierra firme; es algo innato en los que hemos hecho de este tipo de vida nuestra profesión, por lo que, si a la inquietud de Colón por explorar “Plus Ultra” le unimos el hecho de que antes otros pueblos lo lograron y él tuvo conocimiento de ello, es lógico que quisiera imitarlos.

Y, con la carabela Niña, el buque que da lugar a este trabajo, lo logró...no en una, sino hasta en tres ocasiones, ahí es nada.



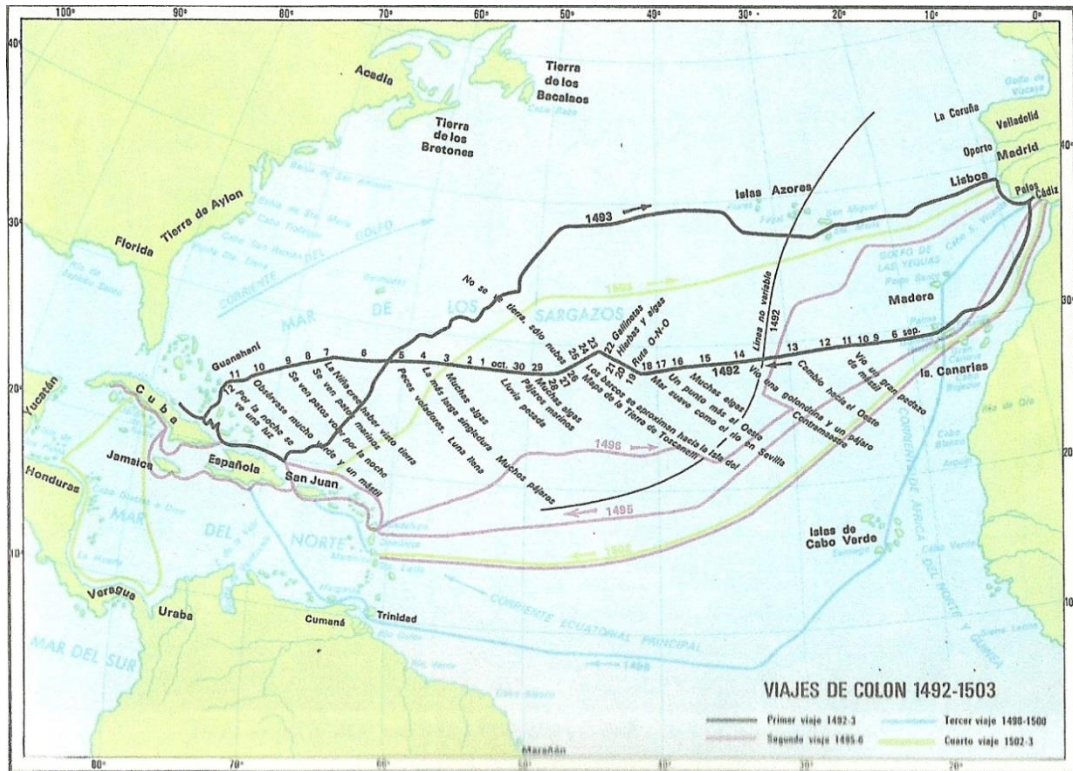
*“...Que es mi barco mi tesoro,
que es mi Dios la libertad;
mi ley, la fuerza y el viento,
mi única patria, la mar”.*

José de Espronceda-Canción del Pirata

UPCT

Proyecto fin de carrera: Carabela "Niña"

Manuel Clemente Carrillo



Drakkar vikingo

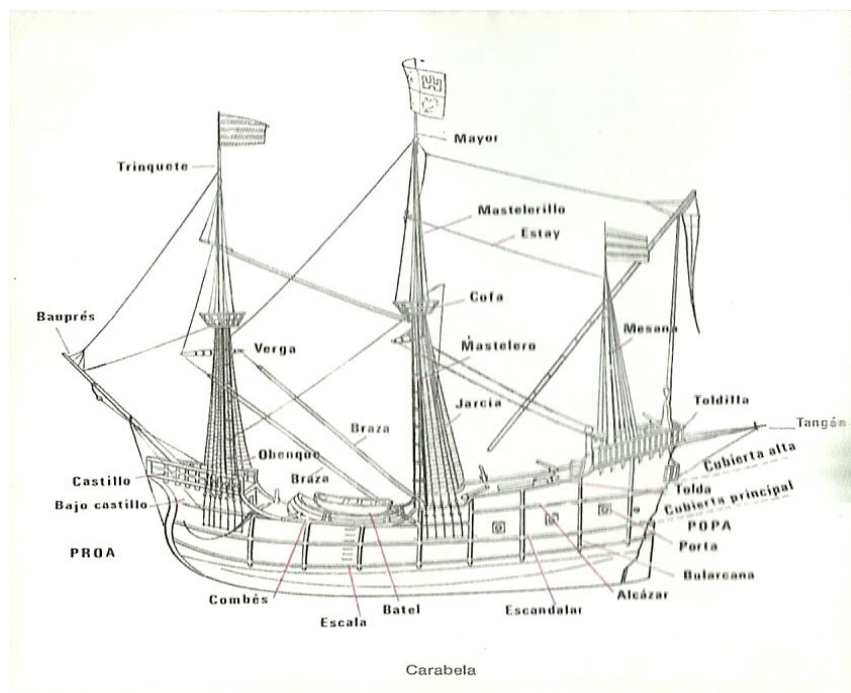
UPCT
Proyecto fin de carrera: Carabela “Niña”
Manuel Clemente Carrillo



2. GENERALIDADES

Se define **CARABELA** como una embarcación de poco porte, aparejo latino y finas líneas de agua, difundida a partir del siglo XIII en las costas del norte de África y Península Ibérica. Al tener lugar el descubrimiento de América era ya un tipo de nave de alto bordo que usaba velas como único medio de propulsión, si bien estaba provista de entre cuatro y seis remos para maniobras eventuales.

Otras fuentes admiran la ligereza de su casco, alargado y estrecho, su arqueado de entre 50 y 100 toneladas y su gran capacidad para ceñir gracias a su aparejo latino. Con arboladura de dos a tres mástiles, poseía una única cubierta y un elevado castillo o alcázar a popa, diseñado expresamente para viajes de exploración, aunque bastante pequeño. La Niña, concretamente, tenía una eslora de entre 18 y 24 metros y un desplazamiento inferior a 100 toneladas.



Una reseña histórica reza: *“Su primitivo velamen latino fue transformado a velas cuadras en la escala que la flotilla descubridora realizó en las Islas Canarias, y ya en La Española se le instaló, junto a sus palos de trinquete, mayor y contramesana, un nuevo palo de mesana. Las velas de la Niña carecían de rizos, por lo que no tenían un 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”*.

Para el proceso de construcción de las naves, se cuidaban aspectos como la orientación de las gradas del astillero en la dirección norte-sur, de forma que desde el orto hasta el



ocaso la madera de uno de los costados estuviera expuesta a los rayos solares el mismo número de horas que la del otro, evitando así que una banda se secase más que la otra y pudieran haber posteriores problemas de peso y descompensación.

Asimismo, marineros experimentados y con conocimientos sobre el centro de deriva, centro vélico, trimado, etc, se encargaban de efectuar las pruebas de mar a cada nave para poder corregir los posibles defectos de construcción de ésta y subsanarlos antes de su entrada en servicio.

Un texto extraído del **“Itinerario de navegación de los mares y tierras occidentales”** de Juan Escalante de Mendoza, conservado en la biblioteca del Museo Naval de Madrid, explica lo siguiente:

“La quilla, que es el principio y primer palo para cualquier nao, sobre que ella se arma y funda, debe ser de roble, muy derecha, y si pudiese ser de una sola pieza, será mejor. y toda la demás madera que se cortase de cualquier árbol, no solamente para nao, mas también para cualquier otro edificio que se haga de madera, conviene que sea cortada cuando se acaba de caer la hoja y fruta del mismo árbol que se quiere cortar, en el principio de los días del segundo cuarto de la menguante de la luna, porque entonces están los árboles con menos humedad y mejor sazón y disposición. Las cuales maderas han de ser cortadas con la sazón que he dicho, y duradas al sol, y pasar por ellas al menos un año antes de que se pongan en el edificio y fábrica de la nao que se pretende hacer. Y para las obras altas de las naos, a que los marineros llamamos muertas, es muy buena madera el pino de la villa de Utrera, lugar de la ciudad de Sevilla, u otro que sea de su especie.

Y la mejor estopa con que las naos se puedan calafatear es el cerro del cáñamo. y la brea de Vizcaya es muy buena echándole en abundancia de sayn de ballena. Los clavos deben ser de hierro que no sea muy agro, aunque si no fuese a más costa, serían mejores de bronce, porque es muy durable y no lo gasta ni consume el orín tan presto como el hierro. Y no se deben clavar con cabillas de palo las naves que han de navegar a los puertos meridionales, como les suelen clavar fuera de España, en Flandes, Francia e Inglaterra y otras partes.

Los mástiles y entenas serán muy buenos de pinos del traído de Flandes, que está experimentado, que no hay madera más competente para ello, especialmente del pino que los flamencos llaman Prusa. Las gavias deben ser las más livianas que se pudieren, porque no den a la nao peso ni demasiado pendan, que es lo que siempre se debe mirar y pretender, y así se deben hacer de madera más liviana. La mejor jarcia es la que se hace de cáñamo de Calatayud, y más siendo alquitranada en hilo antes que colchada y torcida. Las velas serán mejores cuanto más delgadas, recias y topidas, y el mejor lienzo que para ellas se halla es el de las olondas de Pondavid, y después las de Villa de Conde do Portugal, como se tiene visto por exacta evidencia en estas nuestras navegaciones.”

UPCT
Proyecto fin de carrera: Carabela “Niña”
Manuel Clemente Carrillo



Detalle de la quilla, sobrequilla y cuadernas de la nao Santa María durante la fase de construcción de la enramada para el V Centenario.

(Foto: “Jarcias, palos y velas”, Camil Busquets i Vilanova)

Sin embargo, la práctica era también transmitir los conocimientos en las carpinterías de ribera de maestros a aprendices, lo que ha traído consigo una total ausencia de planos de construcción de las naves de la época colombina.

Así, la mayoría de los datos que podemos llegar a conocer sobre la formas y características de la embarcación que nos interesa hay que obtenerlos, con pocas alternativas, a través de las ilustraciones de la época y siempre tomando las precauciones adecuadas, ya que estos artistas no disponían del saber náutico necesario para hacer una representación realista en lo que a escalas y elementos se refiere.

Pese a todo, los documentos recopilados en los que aparecen los barcos colombinos han dado una imagen bastante completa sobre todo de la Nao Santa María y con menos detalle de la Pinta y la Niña.

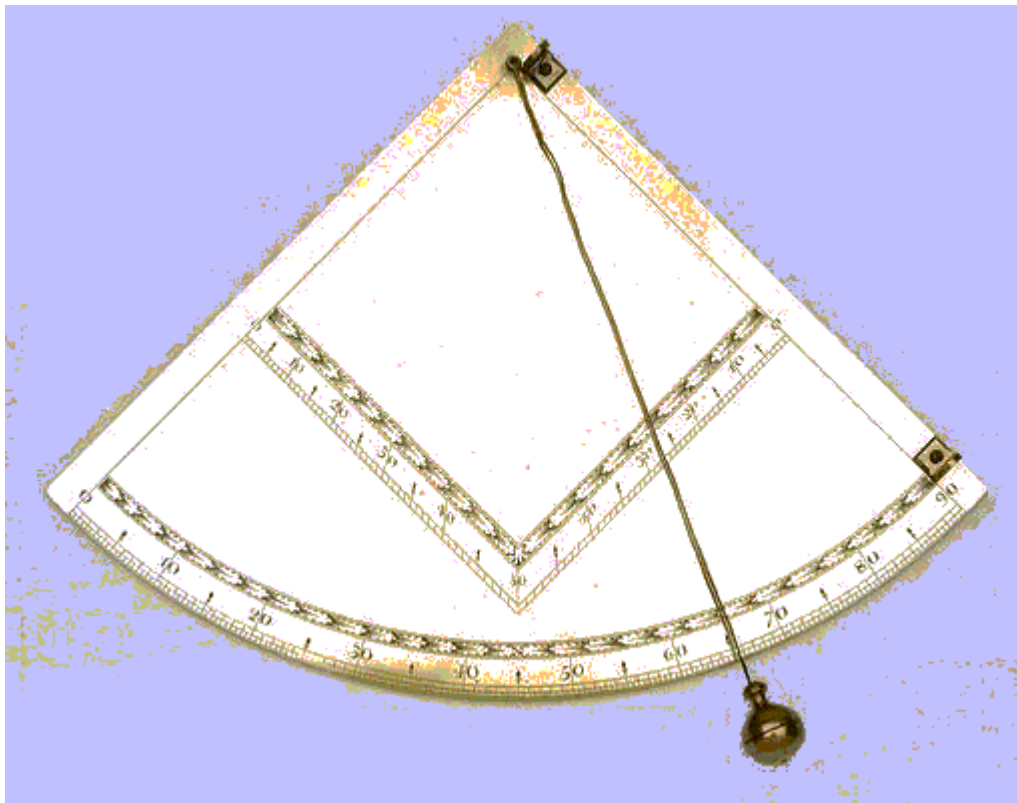
Con todo ello, el objetivo de este trabajo es recrear, con los datos disponibles, el proceso de construcción de la carabela en base a sus características y hacer un estudio o simulación de cómo hubo de ser su comportamiento en la mar.



3.PUNTOS DE PARTIDA

Se estima que la Niña pudo ser construida entre 1487 y 1490, en los antiguos astilleros del Puerto de la Ribera en Moguer, y su botadura tuvo lugar en el río Tinto.

Es sabido que de los distintos instrumentos náuticos de los que ya se disponía en la época, Colón dominaba el manejo del **cuadrante** y el **astrolabio**; el primero consistía en una placa metálica en forma de cuarto de círculo (de ahí su nombre) con el arco graduado y dos mirillas, una a cada lado, orientables hacia el astro elegido. Una plomada que pendía del vértice indicaba la vertical; la posición de la cuerda de ésta sobre el arco daba la lectura buscada.



También aplicado a la Astronomía, en navegación se utilizaba principalmente para determinar la latitud a la que los navíos se encontraban midiendo la altura sobre el horizonte de la Estrella Polar o del Sol al mediodía, así como para determinar la hora midiendo la altura del Sol.

El segundo, el astrolabio, resultaba inútil de utilizar en esa época debido a la falta de instrumental cartográfico y los precarios conocimientos matemáticos con que por entonces contaban los marinos.

Consistente en un círculo o sección de un círculo y dividido en grados, contaba con un brazo móvil montado en el centro de dicho círculo; orientando el punto cero del círculo hacia el horizonte, bastaba observar el brazo para medir la altura de cualquier objeto celeste.



Colón fue adquiriendo una sabiduría empírica basada en la observación que se habría de convertir en una fuente constante de adquisición de conocimientos para él.

4. CARACTERISTICAS DEL BUQUE Y PROCESO DE CONSTRUCCION

DATOS GENERALES	
Desplazamiento	75 t
Eslora	21,4 m.
Manga	6,28 m.
Puntal	2,8 m.
Nº palos	3
Velamen	Velas latinas.

PLANTILLAS

De un modelo sólido del casco tallado previamente, se obtienen secciones transversales de unos 2 cm; a partir de estas piezas, se dibujan a escala natural las cuadernas de proa y popa en una pared encalada, tomando a escala los puntos.

Para unir los puntos que se han ido tomando se emplea un junquillo de madera flexible que dará la curvatura a cada cuaderna. **Este iba a constituir el único plano del barco**, dibujado sobre una superficie en el taller, y por consiguiente, muy efímero.

Así trabajaban los carpinteros de ribera, lo que explica la no existencia de planos de construcción mencionada en el punto 2.

UPCT
Proyecto fin de carrera: Carabela “Niña”
Manuel Clemente Carrillo

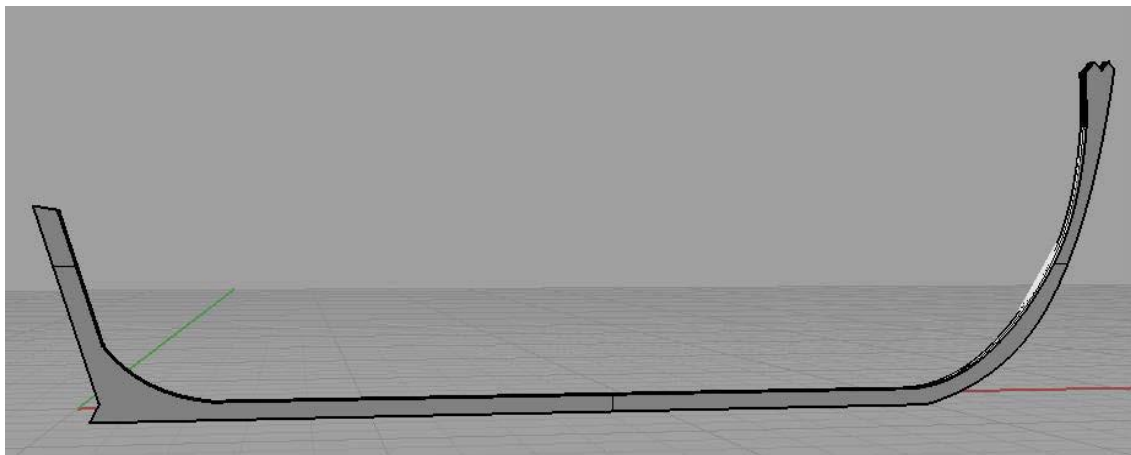


PUESTA DE LA QUILLA

Con una longitud de 14,5 metros y unas dimensiones de 40 cm de altura por 22 cm de anchura, se coloca sobre unos soportes de madera nivelados y horizontales a los que se les llama “gradas”, las cuales han sido firmemente clavadas al suelo con anterioridad.

Las dimensiones de la **quilla** fijaban el precio del barco, pues había estipulado una cantidad fija para cada medida; el momento de la colocación de la quilla constituía uno de los pasos más importantes del proceso de construcción, y con él se procedía al pago de una parte del contrato.

La colocación de la quilla implicaba también la de la **roda** y el **codaste**, apoyados en unos puntales fijados mediante clavos de hierro.



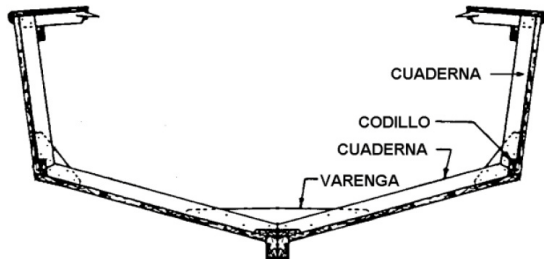
Unión de la quilla, la roda y el codaste

CUADERNAS

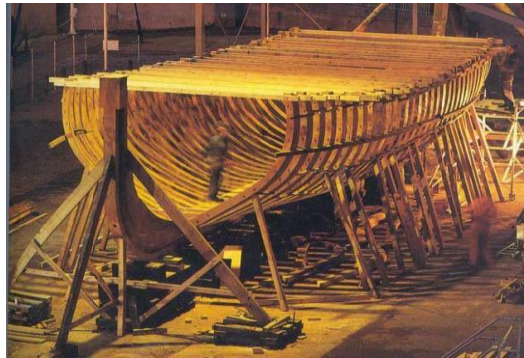
Una vez colocada la quilla y las piezas de proa y popa, se procede a ir poniendo las **cuadernas** en su lugar, hasta un total de 37, apuntalándolas en principio para sostener lo que va a formar la parte esencial de la “ligazón”. Ya colocadas en su posición, se equilibran o “pesan”, para que ambos costados guarden una perfecta simetría. Una clavija une a cada cuaderna a la quilla, pero no evita el posible desplazamiento lateral de aquellas.

Esto lo hace la **sobrequilla**, pieza recia que aprisiona a las cuadernas y que va firmemente unida a la quilla por pernos de hierro. Sus dimensiones son de 40x40 cm (ancho x alto).

La separación entre cuadernas (lo que constituye un **dato esencial**) es de aproximadamente un codo (unos 40 cm), y las dimensiones de cada cuaderna son 18 cm de ancho, 16 cm de grosor en su parte baja y 12 cm en la alta.



Cuadernas sencillas de embarcación
en V formada por varias piezas



Cuadernas colocadas con listones
superiores

Posteriormente se colocan los **durmientes**, que van de proa a popa por ambos costados interiores, un ancho de 20 cm y un grosor de 8. Por el exterior, a la misma altura, van las **cintas**.

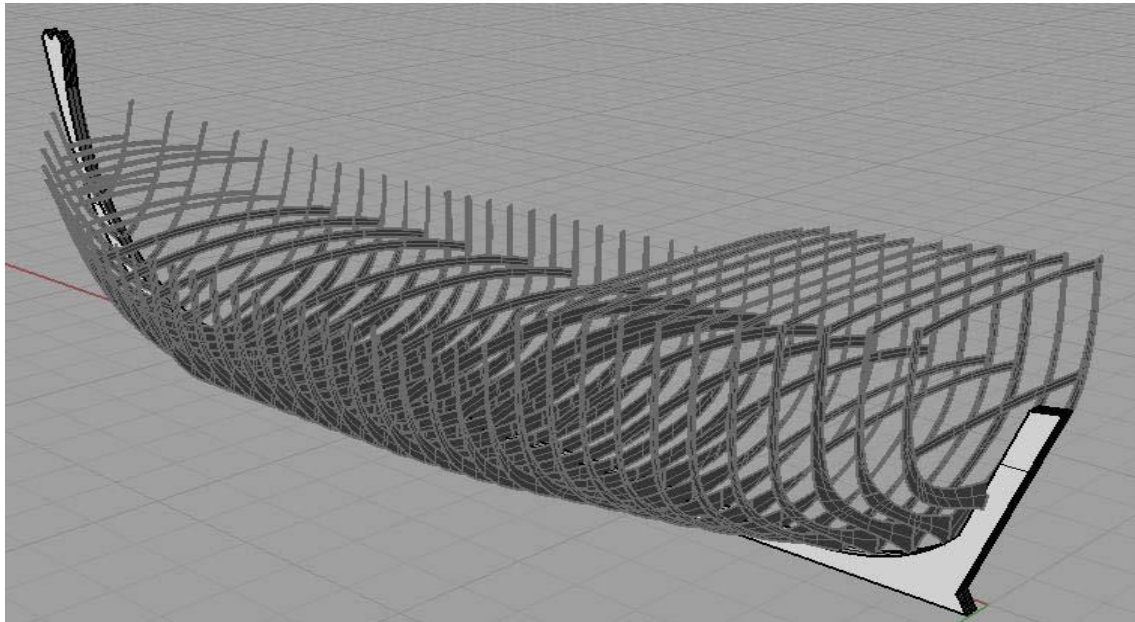
Sobre esta línea de tablonos se apoyan 32 **baos**, con una separación entre ellos prácticamente igual a la de las cuadernas, aunque no necesariamente tengan que coincidir con ellas. Los baos son de 15 cm de ancho por 7 de alto. Los trozos de las cuadernas que sobresalen por encima de los baos se cortan a ras de estas.



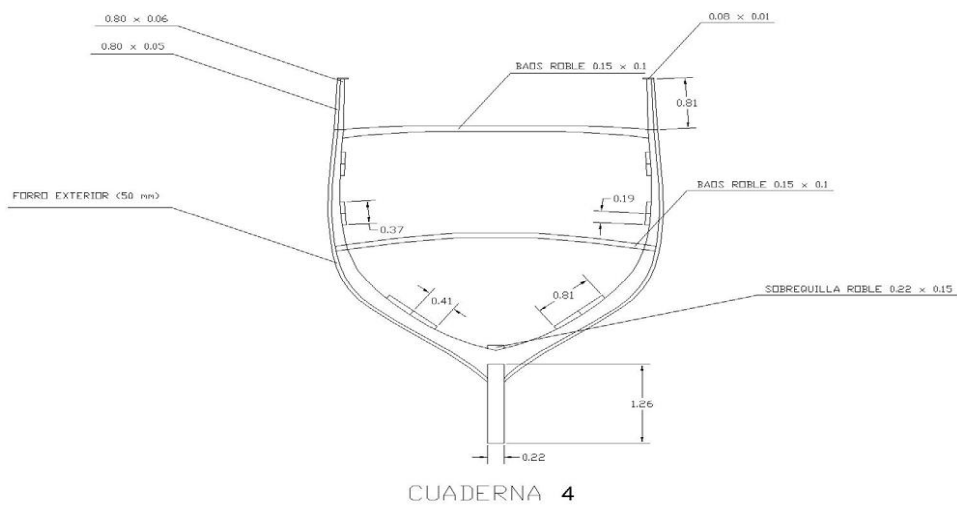
Disposición de baos sobre durmientes y sotadurmientes

Por último, otra pieza gruesa de madera de 30 cm de ancho por 9 de alto se coloca encima, cubriendo la cabeza de las cuadernas y la unión del bao con el durmiente, para que no puedan salirse de su sitio. A esta pieza se le llama **trancanil**, y cumple una importante función en la ligazón.

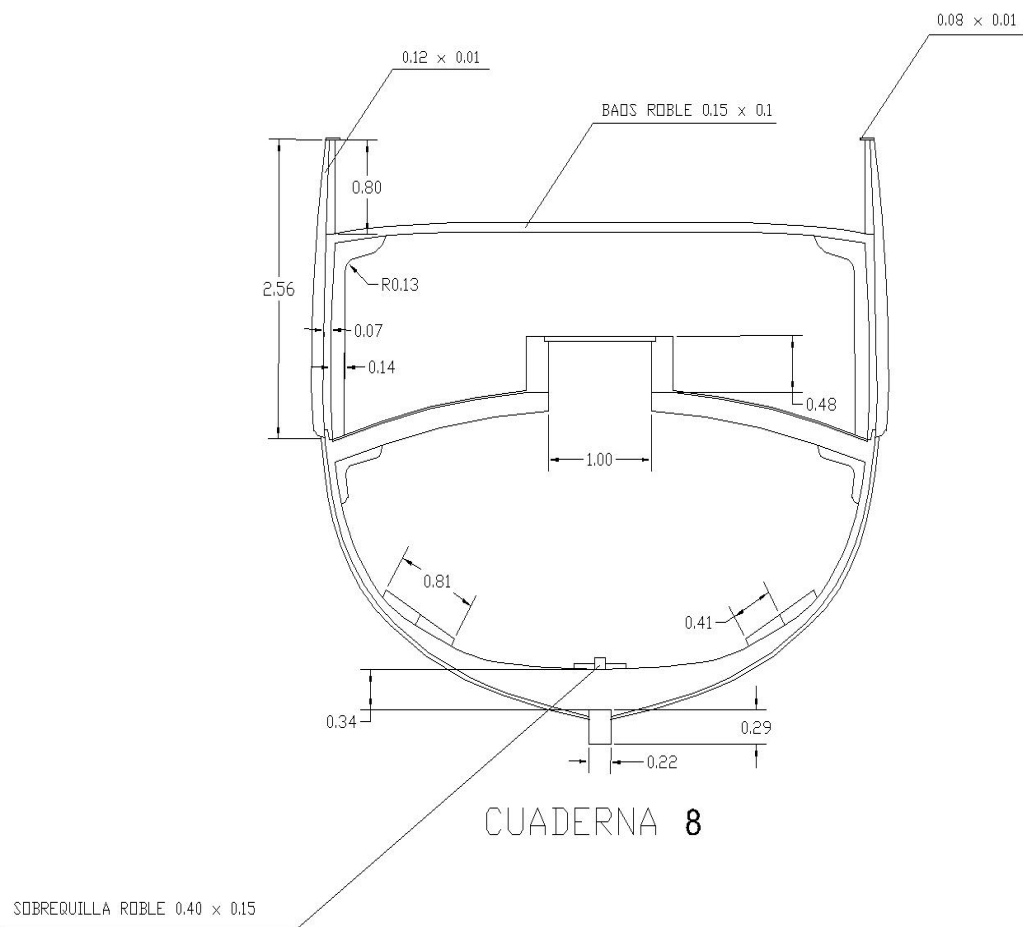
UPCT
Proyecto fin de carrera: Carabela "Niña"
Manuel Clemente Carrillo



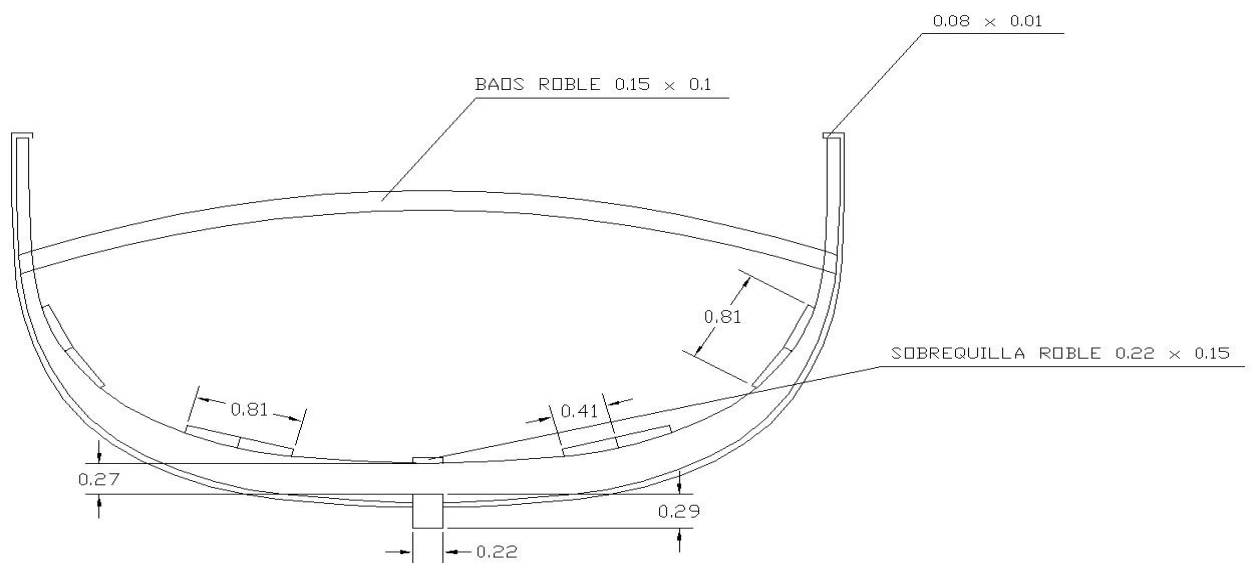
Unión de las cuadernas con la quilla.



UPCT
Proyecto fin de carrera: Carabela "Niña"
Manuel Clemente Carrillo

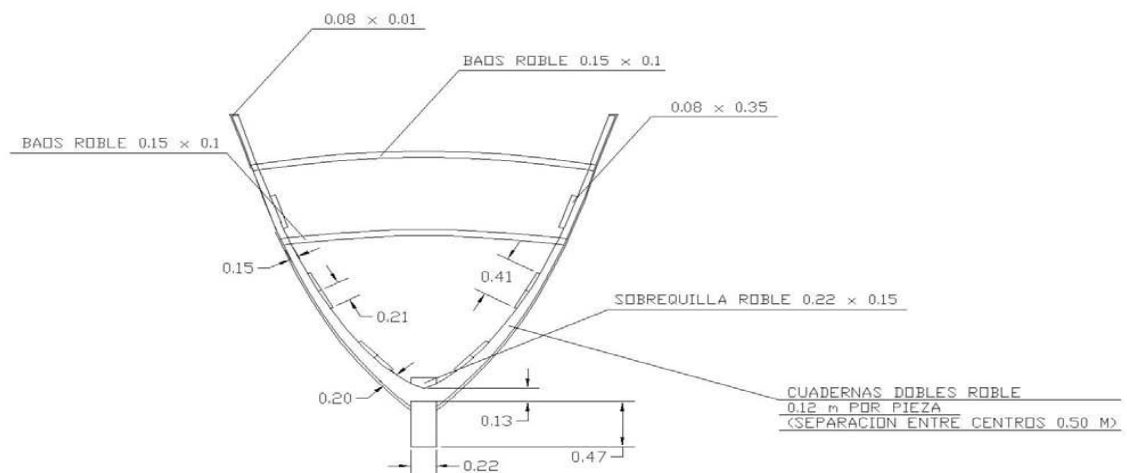


UPCT
Proyecto fin de carrera: Carabela "Niña"
Manuel Clemente Carrillo



CUADERNA 15

UPCT
Proyecto fin de carrera: Carabela "Niña"
Manuel Clemente Carrillo



CUADERNA 36

ESCOTILLAS

Sobre la estructura formada por los baos se fijan las **brazolas** que han de limitar las **escotillas**, con las dimensiones apropiadas según el tipo de carga que el barco ha de transportar o el uso que vaya a darse a este. Puesto que las escotillas son un punto débil en la estructura de la cubierta, se buscan siempre las menores medidas posibles dentro del tipo de mercancía que se va a llevar.

A la Niña se le colocan una escotilla a proa y otra a popa, para acceso a la bodega de tripulación y equipos, más otra de carga en el centro. Las dos primeras miden aproximadamente un metro, mientras que la central, condicionada por las dimensiones de los toneles (**tonelaje**)*, 1,75x1,50 m., aproximadamente.

Con las brazolas que delimitan las escotillas colocadas, da comienzo el **forrado** de la cubierta con 30 piezas iguales de **tablazón**, de unos 17 cm de ancho por 4 de alto, clavadas a los baos. Este forro de cubierta tropieza lateralmente con el trancanil y va cerrándose hacia el centro, donde se coloca la última línea de tablonés que cierra la cubierta.

Tonelaje*: Medida del tamaño o capacidad de carga de un barco; el término deriva del impuesto pagado en cubas o toneles de vino, siendo posteriormente utilizado para referirse al peso de la carga de un barco.

UPCT
Proyecto fin de carrera: Carabela “Niña”
Manuel Clemente Carrillo



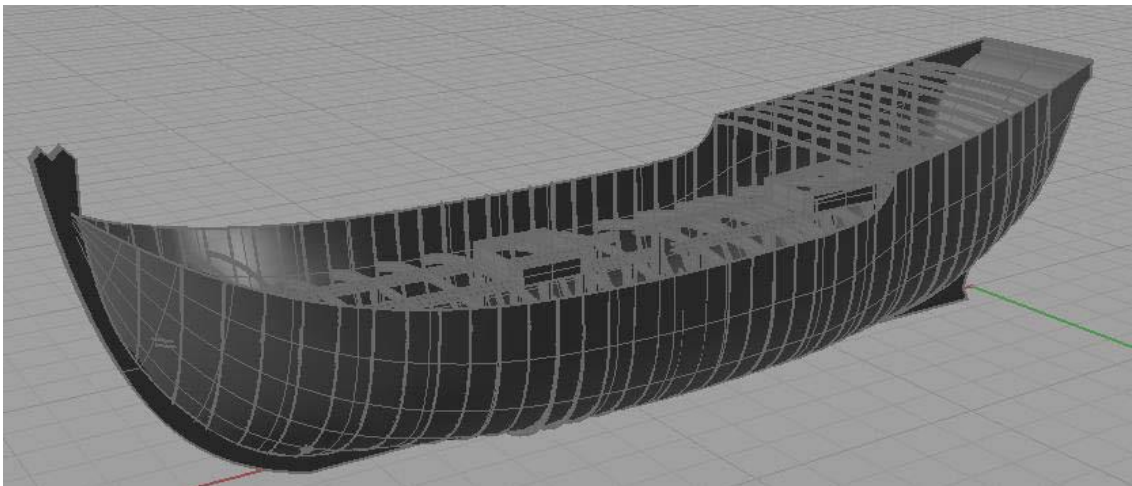
BARRAGANETES

A continuación se hacen unas perforaciones cuadradas en el trancanil, a lo largo de todo el perímetro del barco, para colocar 74 piezas verticales de madera denominadas **barraganetes** y cuya separación es aproximadamente la misma que la de las piezas de ligazón.

La misión de los barraganetes es la de soportar la **borda**, por lo que se fijan mediante pernos de hierro transversales entre los durmientes y el forro exterior del casco.

FORRO

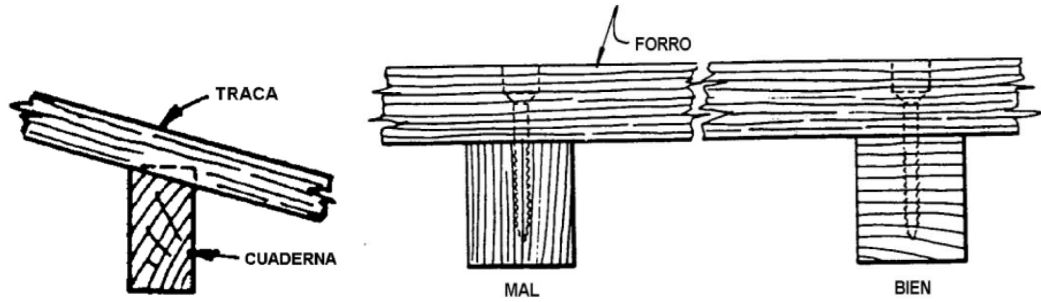
Hasta aquí se ha terminado básicamente la estructura o ligazón del barco y su cubierta, lo que va a ser a la postre el plano de trabajo de la parte superior. Se comienza entonces a forrar exteriormente el casco, aparando (**aparar**)* las cuadernas y colocando después la tablazón de madera, de 4,5 cm de grosor y 17 cm de ancho, desde el trancanil hacia abajo, empezando por las dos cintas, con un grosor de 8 cm, y desde la quilla hacia arriba, empezando por la aparadura, para cerrar finalmente hacia lo que va a ser la línea de flotación.



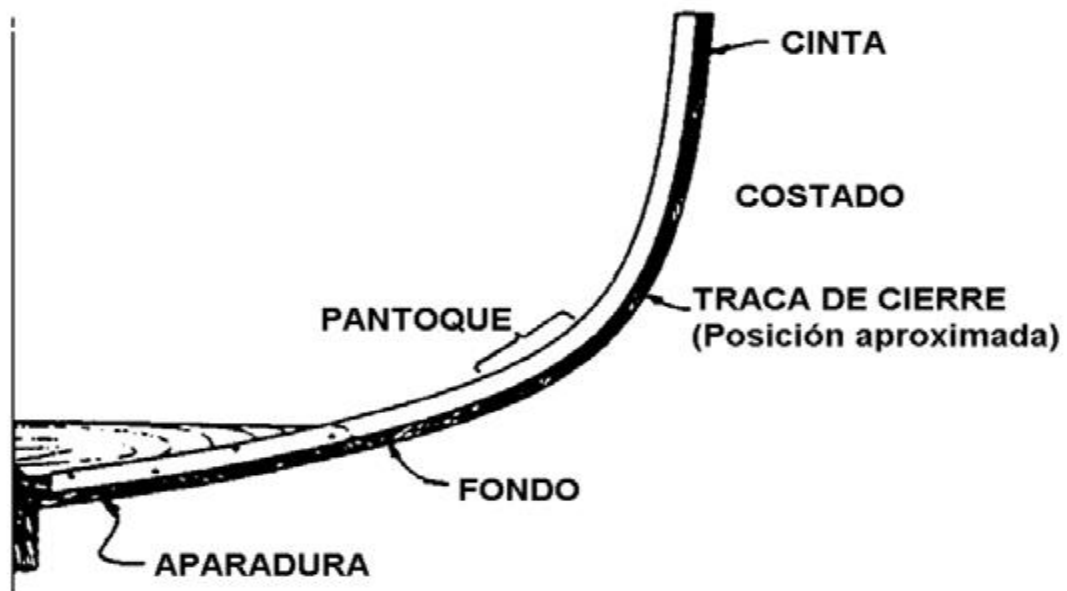
Forado del casco

Para proporcionar la curvatura necesaria a los tablones de la amura y de la aleta se usa el **horno**, donde por medio de vapor de agua y tras permanecer dentro dos o tres horas, se adapta a cualquier forma mediante el uso de cuñas y clavos.

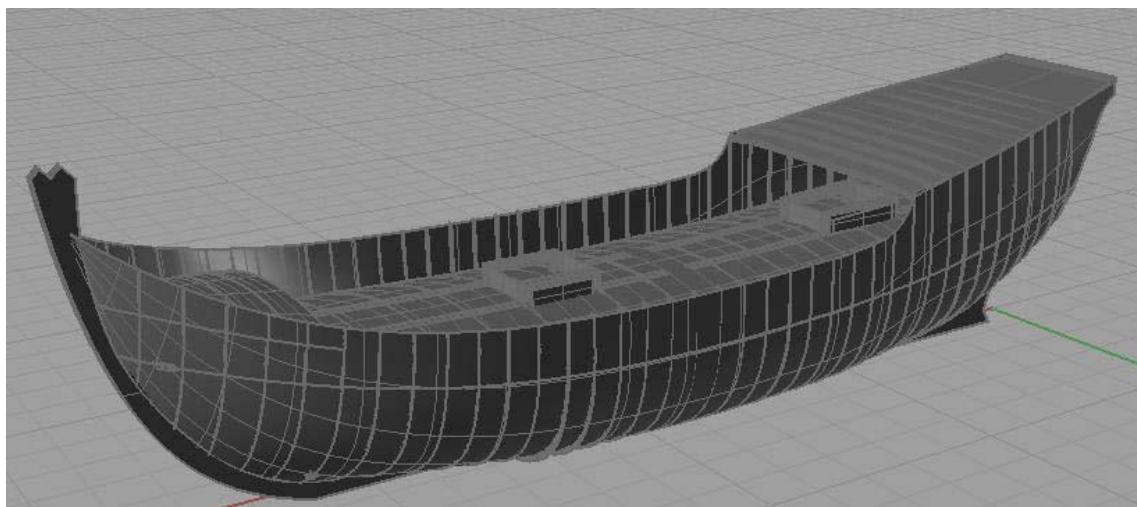
Aparar*: En carpintería, igualar con la azuela los tablones enlazados.



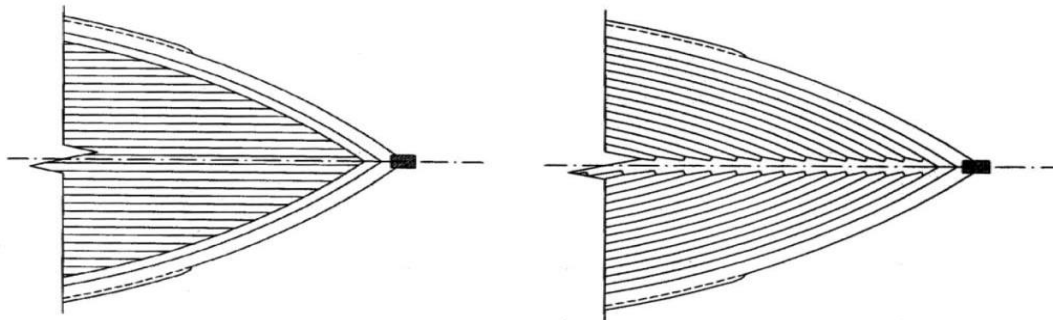
Zona de contacto cuaderna/forro



Nomenclatura de tracas de forrado del casco



Forrado de la cubierta



Formas de farrar la cubierta

LASTRE Y PLAN DE LA BODEGA

El paso siguiente es la preparación del plan de la bodega. Se empieza elaborando las **carlingas**, o asientos de la **coz**, que es el extremo inferior de los mástiles. Después se colocan las piezas de soporte de los tablonos o barrotos, de 5 cm de ancho por 5 de alto, a la altura de la sobrequilla y cruzando de banda a banda con una separación de aproximadamente 1,50 m.

Una vez dispuestos los barrotos se procede a colocar el **lastre fijo**, que para la Niña pudo ser de unas cinco toneladas de una mezcla o mortero de cal y piedra, repartidas en los espacios entre cuadernas y quedando su nivel a media altura de la sobrequilla. Al colocar este mortero se ha de tener la precaución de dejar un hueco de sentina, o espacio entre cuadernas a la altura de la quilla y hacia el tercio de popa, para el achique del agua que penetra en el interior.

Tras el lastre se coloca el **plan de la bodega**, con tablonos de 15 cm de ancho y 4 de grueso; en dichos tablonos se labran tapas o **cuarteles** para facilitar el acceso a los huecos, en los que se dejan algunos espacios para la colocación del lastre semipermanente, que se hace con cantos rodados.

BORDA

En una operación que puede hacerse simultáneamente, se termina el costado exterior por encima de la cubierta (**borda**) con una altura desde la misma de 70 cm en proa y 1,30 m en popa. Para ello se coloca la tablazón exterior clavándola sobre los barraganetes y fijando encima la **regala**, o pieza de cierre de la borda, de 22 cm de ancho y 5 de alto.

A ésta última se la protege con otra pieza más estrecha, de 15 cm de ancho por 5 de alto, llamada **tapa de regala**, que evita el desgaste de la regala con el roce de los cabos.

UPCT
Proyecto fin de carrera: Carabela “Niña”
Manuel Clemente Carrillo



ESPEJO

En este momento se monta también el **espejo** de popa, que previamente se ha trazado en plantilla empleando los junquillos, para prolongar la línea del casco a la altura del **pantoque**.

En la Niña, el espejo de popa está fijado a la cubierta mediante ocho grandes **“curvatonos”**.

El espejo de popa sirve para conocer las dimensiones y situación del rasel de popa o plano antideriva.

CURVATONES

Como refuerzo interior de la borda, se fijan 17 piezas de madera en forma de L de 10 cm de ancho por 14 de alto denominadas **curvatonos**, fabricada de madera más dura para poder sujetar los barraganetes a la cubierta.

Tanto la tapa de regala como los curvatonos se fabrican de madera de encina o quejigo; estas piezas, además de las que se han ido colocando con anterioridad, están sujetas con clavos de hierro, que se van remachando. **Esto explica la necesidad de herreros en la construcción de la carabela.**

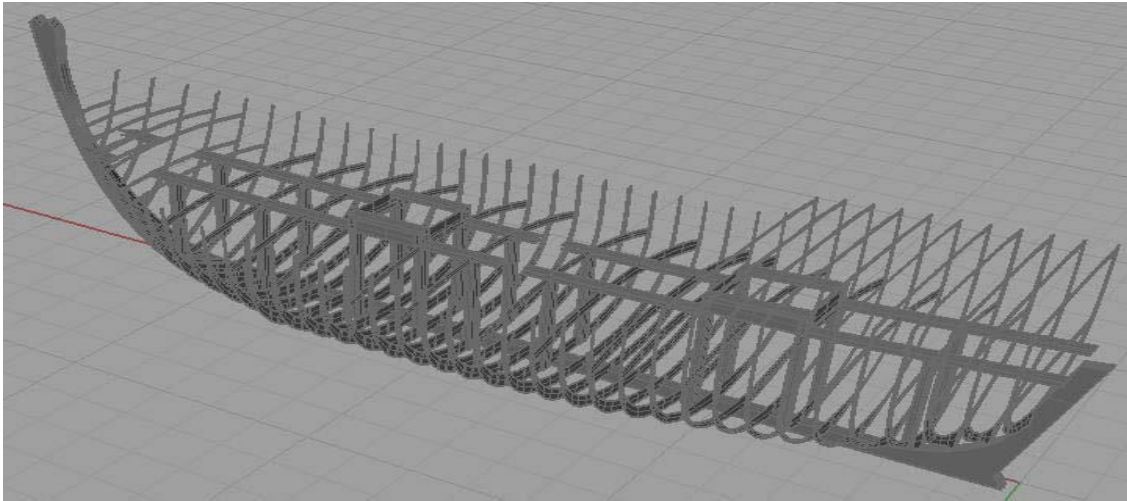
ESLORAS

Posteriormente se colocan unas piezas para reforzar la estructura del barco longitudinalmente a diferentes alturas, tanto en su interior como en el exterior; con 16 cm de ancho por 6 de alto, discurren de proa a popa clavadas a la parte inferior de los baos y reciben el nombre de **esloras**.

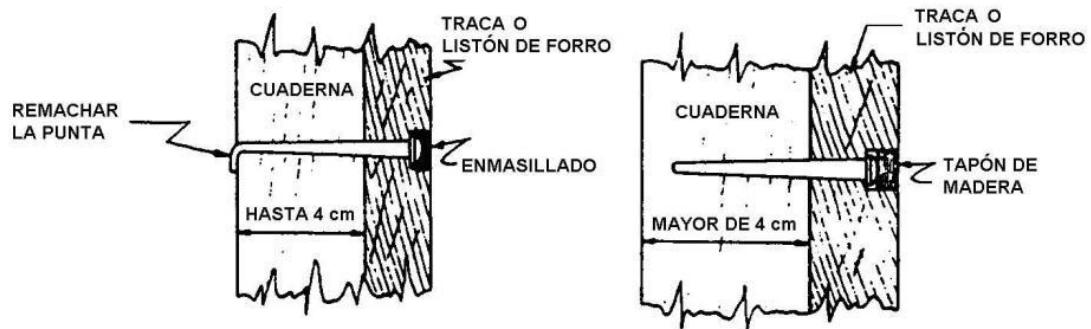
Forman dos líneas continuas a ambos lados de las escotillas por el interior de la bodega; con ello se refuerza la cubierta, que ha quedado debilitada por la apertura de las escotillas.

PALMEJARES

También se colocan en el interior de la bodega unas piezas longitudinales de madera de 11 cm de ancho por 7 de grueso fijadas a media altura de las cuernas, de proa a popa, y que reciben el nombre de **palmejares**. La fijación de estos se efectúa mediante clavos de hierro remachados, ya que se utilizan para sujetar la carga en el interior de la bodega, además de dar una mayor resistencia longitudinal al casco.



Varengas y palmejares



Sistema de clavazón



Clavo de hierro galvanizado



Palmejares de pantoque

UPCT
Proyecto fin de carrera: Carabela “Niña”
Manuel Clemente Carrillo



CINTONES

Es una pieza longitudinal de 12 cm de ancho por 10 de alto, sobrepuesta al forro del casco, un poco por encima de la línea de flotación. Es el refuerzo principal exterior y tiene por misión servir de defensa en caso de colisión contra otros barcos u objetos sólidos flotantes, a la altura más vulnerable.

Otro refuerzo longitudinal por debajo del pantoque lo tenemos en los **carenotes**, que son otras piezas longitudinales de 10 cm de ancho por 10 de alto, al igual que los **cintones** sobrepuestas al forro, y que protegen el barco cuando queda varado y apoyado sobre uno de sus costados.

POSTAREOS

Son cuatro piezas verticales de 10 cm de anchura por 10 de grosor y 1,30 m de longitud, afirmadas en la parte central de ambos costados, desde el cintón hasta la regala. Forman dos zonas reforzadas, de 60 cm de anchura, con una separación de 2,5 m entre sí.

Su función es proteger el costado en las operaciones de carga y descarga tanto de los toneles como del bote auxiliar.

TIMON

Esta pieza se labra por separado, una vez concluida la popa. Tiene 5,4 m de longitud y una pala de 1 m de anchura por 12 cm de grosor. Para ello se traza una plantilla con la forma y dimensiones reales, y a partir de ésta se cortan las piezas que lo van a formar.

Para su fijación se emplean tres herrajes con las hembras en la pieza móvil o timón y los machos en el codaste. En la cabeza del timón, fija con un perno, se encaja la caña con la que se gobierna el barco. Si éste ha sido bien equilibrado de velas y de casco, la caña debe poder ser movida con suavidad, aun a pesar de que por sus dimensiones y robustez de la impresión de lo contrario.

ARBOLADURA

Terminado el casco y sus refuerzos, tanto interiores como exteriores, se comienza la **arboladura** o colocación de mástiles; para ello hay que abrir unos espacios en la cubierta que se refuerzan en sus bordes para poder resistir los empujes de cada palo. Estos espacios, por los que entran los mástiles, reciben el nombre de **fognaduras**.

A su vez los palos van apoyados en la sobrequilla en un hueco que se abre a tal efecto, y que recibe el nombre de **carlinga**. Con el fin de reforzar esta carlinga, se colocan unas

UPCT
Proyecto fin de carrera: Carabela “Niña”
Manuel Clemente Carrillo



piezas laterales de madera, clavadas a las cuernas y a la sobrequilla, que son los **galápagos**.

Para los palos el primer paso importante es la selección del árbol adecuado. Se suelen escoger pinos lo más rectos posible y con el menor número de nudos. Aun así, los golpes de viento ocasionan frecuentemente la rotura de mástiles y antenas si no se reducen velas en el momento oportuno. La rotura del mástil evita el vuelco, por lo que resulta ser un mal menor.

Una vez cortado el árbol se procede al **labrado**, o eliminación de la corteza y preparación y alisamiento de la superficie mediante **azuelas** y **cepillos**. Tras el alisado se prepara la parte baja, que corresponde a la más gruesa, encuadrándolo para que pase por el hueco de la fogonadura y encaje en la carlinga. A esta parte del palo se la denomina **coz**. Por el otro extremo se hace el **calcés**, o pieza en la que se aloja la polea que permite el paso de la **ostaga**, o cabo con el que se iza la vela. La operación es la misma para cada palo.

La longitud del palo mayor es de 16 metros, el diámetro a la altura de la fogonadura de 31 cm, y arriba en el cuello junto al **reclame**, de 15. El palo medio tiene de longitud 13,5 metros, de diámetro abajo 28 cm y arriba 14. El palo de mesana tiene 10,5 metros por 20 cm y 13.

De igual forma se escogen los palos de las **antenas**, para las que se utilizan troncos más largos y delgados que los anteriores, y también de pino. El procedimiento de labrado es el mismo, aunque los extremos varían y disponen de unos rebajes para hacer firmes las velas. Con objeto de conseguir la longitud necesaria se unen dos palos hacia un tercio y a veces hasta dos tercios de su largo. En la antena del palo mayor de la Niña la longitud total es de 26 metros, en dos piezas, la de más a proa se llama **car** y la de más a popa, **pena**.

La longitud del car mayor es de 18 metros, el diámetro es abajo de 19 cm y arriba de 11. La pena mayor tiene 17 metros de longitud, con un diámetro abajo de 14 cm y arriba de 10. La antena media tiene una longitud total de 20 metros, en dos piezas.

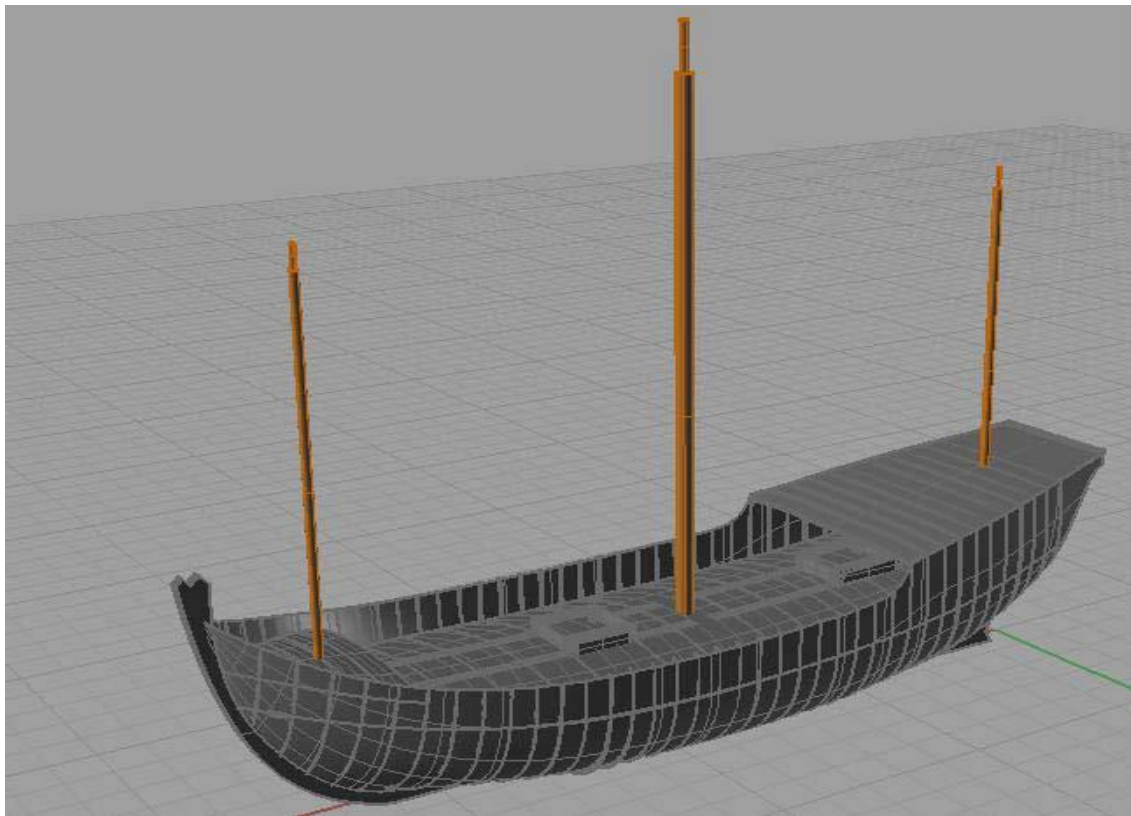
El car medio tiene una longitud de 16 metros y un diámetro abajo de 18 cm y arriba de 10. La pena media tiene 15 metros de longitud, y un diámetro abajo de 14 cm y arriba de 9. La antena de mesana tiene 16 metros de longitud, en dos piezas, el car tiene 12 metros de largo y un diámetro abajo de 14 cm y arriba de 9. La pena tiene 8 metros y un diámetro abajo de 12 cm y arriba de 8.

Por último, para colocar los palos una vez terminados se procede de la forma siguiente: Se atan unos cabos a la parte alta del mástil y se le coloca apoyando la coz en la fogonadura. A partir de ahí se empieza a tirar de ambos lados, a la vez que se iza mediante una **cabria**; así el palo va ocupando su posición, penetrando por la fogonadura, hasta encajar en la carlinga quedando en su posición. El ajuste en la fogonadura y la estanqueidad de esta parte se logra mediante unas piezas a modo de cuñas, que rodean

UPCT
Proyecto fin de carrera: Carabela “Niña”
Manuel Clemente Carrillo



totalmente al palo y que reciben el nombre de **tamboretetes**. Con ellos se puede ajustar también la mayor o menor inclinación del palo, con el fin de adelantar o atrasar el plano vélico.



Colocación de los mástiles

JARCIA Y APAREJOS

Los palos se sostienen lateralmente mediante unos cabos de cáñamo de 3 cm de diámetro llamados **obenquillos**; en el palo mayor se montan tres por banda, dos para el palo medio y uno para el de mesana. Las entenas se maniobran por medio del aparejo de la ostaga, guarnido con cabo de cáñamo de 4 cm de diámetro, y los aparejos de car pena, guarnidos con cabo de cáñamo de 2 cm de diámetro.

El aparejo de ostaga consta de dos cuadernales o poleas grandes de madera de ocho **guarnes**, tantos como ruedas o roldanas tenga el aparejo. Otro aparejo, el de **troza**, guarnido con cabo de cáñamo de 3 cm de diámetro, está formado también por cuadernales, pero en este caso de seis guarnes.

Los aparejos de car y pena están provistos de cuadernales de cuatro guarnes, y el resto de los aparejos montan motones, que disponen de una sola rueda o roldana y por tanto son

UPCT
Proyecto fin de carrera: Carabela “Niña”
Manuel Clemente Carrillo



de dos guarnes. La entena mayor con su vela pesa 600 kg, y a la **tira** del aparejo (cabo de donde se cobra) hay que aplicar una fuerza aproximada de 120 kg para izar la vela.

VELAS

El proceso de diseño, corte y cosido del velamen de la Niña se lleva a cabo simultáneamente a la construcción de ésta. De estos tres aspectos, el primero, el del diseño, es quizás el más importante, puesto que difiere mucho cuando se trata de barcos de una sola vela a si lleva varias. En los barcos de dos o más velas latinas se cortan de tal forma que el **pujamen** es menor en relación con la **baluma**, a fin de que no obstaculicen las viradas y sean más manejables.

En cuanto a su material, están hechas de algodón en paños de 60 cm de ancho y 50 hilos. La vela mayor tiene una superficie de 105 m², con 21 paños de lona y 20 cabos de envergue, y las siguientes dimensiones:

Gratil: 25 metros.
Baluma: 18 metros.
Pujamen: 12,5 metros.

La vela media tiene una superficie de 52 m², con 15 paños de lona y 15 cabos de envergue, y las siguientes dimensiones:

Gratil: 19 metros.
Baluma: 13 metros.
Pujamen: 9 metros.

La vela mesana tiene una superficie de 28 m², con 10 paños de lona y 10 cabos de envergue, y las siguientes dimensiones:

Gratil: 14,5 metros.
Baluma: 10 metros.
Pujamen: 6,5 metros.

La superficie vélica total es de 185 m².

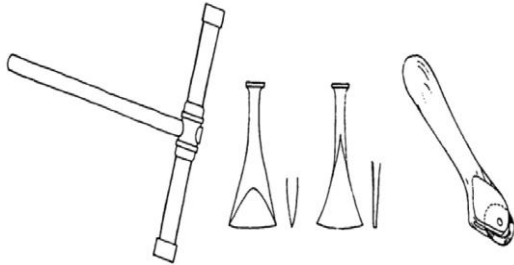
CALAFATEADO

La fase final relacionada con el casco es la de hacerlo completamente estanco; para ello es esencial el **calafateado**, palabra que deriva del latín “calefactare” (calentar), porque la **brea** se ha de dar muy caliente para que fluya y penetre la estopa.

Esta operación consta de dos partes. En la primera se introduce un cordón de estopa hilada entre las juntas de los tablones del forro empujándola con los hierros de calafatear



(uno para abrir los tablones, otro para meter la estopa y otro para asentarla), y un mazo de madera o **mallo**.



Herramientas de calafateado



Calafateado del casco

La segunda operación consiste en sellar la junta de los tablones ya estopada con brea y sebo hirviendo, y que se da en la cubierta con un cacillo y en el costado con un trozo de piel de oveja enrollada en un palo, a modo de brocha rudimentaria, pues la lana de oveja hace que la brea muy caliente penetre mejor por la estopa y estanca más la junta.

TERMINACIONES

A la vez que se está calafateando, se hacen las terminaciones de la cubierta, entre las que cabe destacar:

Las **tapas** de las escotillas para que no entre agua en la bodega, el **saltillo** de popa o plataforma de gobierno, los **bitones** y **cornamuzas** para el amarre de los cabos del ancla, el **caperol** de la roda y las **gambotas** y **maniguetas** para guiar los cabos de amarre y del ancla, así como los **ojos** de la carabela que tradicionalmente se ponen en la proa.

En el interior y a proa de la bodega se hace un estante o **jorote** para poner las velas y cabos, y a popa el **pañol** para guardar el pan, la galleta, la harina y los productos que deban permanecer secos.

La última operación de acabado del casco es la de darle un buen número de manos de alquitrán vegetal, que la madera va a absorber poco a poco. Generalmente se dan hasta seis manos para impermeabilizar al máximo la madera, tanto en el exterior como en la bodega. Estas capas sirven de protección contra los parásitos, y evitan que la madera se cuarte y raje.

El proceso de aplicar manos de alquitrán se hace continuamente durante la construcción del barco, a partir del momento mismo de colocar la quilla.

BOTADURA

Junto a las gradas, sobre el suelo, se colocan gruesos tablones en línea descendente hacia el mar y con una longitud de dos veces la eslora de la carabela. Bajo el pantoque se sujeta con fuertes cabos a proa y popa una pieza de madera en forma de L, llamada **anguila**, y

UPCT
Proyecto fin de carrera: Carabela “Niña”
Manuel Clemente Carrillo



que al tumbarse la carabela poco a poco sobre su costado de estribor cae sobre un grueso tablón que ha sido untado previamente con grasa de atún.

Al tirar con aparejos desde la dirección del mar, la carabela comienza a deslizarse sobre los tablones, que se van cambiando de popa a proa hasta llegar al agua. Antes de empezar a tirar de la carabela se le amarran varios cabos de retenida por la popa para evitar que tome mucha velocidad en su deslizamiento hacia el mar.

Tras la **botadura** es normal que el barco haga agua durante los días en que la madera está hinchándose, no alcanzándose la estanqueidad prácticamente total hasta pasado al menos un mes.

Finalmente, dos elementos complementarios van a ser sumamente útiles en un barco de estas dimensiones y características; no forman parte de su estructura fundamental desde el punto de vista náutico, pero sí cumplen una serie de funciones secundarias de gran utilidad. De una parte el cabrestante y de otra el bote auxiliar o barca.

CABRESTANTE

Torno vertical que han de mover cuatro o más hombres y que se emplea continuamente para los casos en que es necesario hacer grandes esfuerzos.

Sirve para subir las anclas a bordo, tirar del barco en las salidas de puerto con vientos contrarios (**atoar**), en los casos en que el barco quede embarrancado, en operaciones de carga y descarga, ayudar en la maniobra del barco cuando haya poca marea, etc.

Los soportes de su eje están dispuestos para trabajar en dos direcciones (hacia proa y hacia popa), con unas dimensiones en la base de 2,30 metros de largo por 1 metro de ancho y 1,20 de altura en el eje desde la cubierta.

BARCA

Se usará en las operaciones de contacto con tierra para llevar provisiones, abastecerse de agua, portar la carga...y demás tareas imprescindibles en un barco que no puede acercarse a la orilla por razones de seguridad.

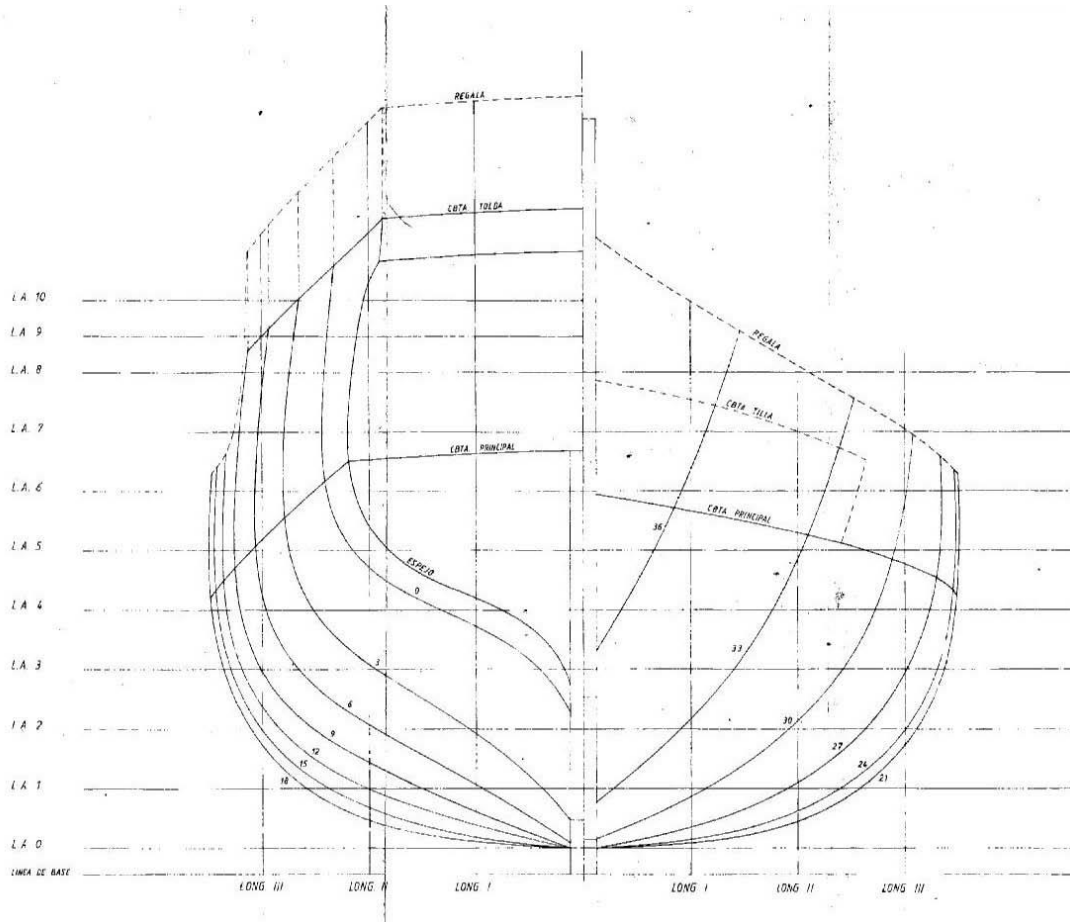
Tendrá de eslora la manga de la carabela, lo que permite que sea estibado atravesado con la quilla al sol encima de la escotilla principal. En los casos de buen tiempo y en condiciones normales de navegación se llevará amarrado por la popa, para tenerlo disponible en todo momento.

Sus dimensiones serán de 4,5 metros de eslora y dos bancos para cuatro remos. La capacidad de carga mínima será la **bota** o la **pipa** (medio tonel), para permitir la descarga de la carabela en los puertos en que no haya muelle, que eran la mayoría en la época.

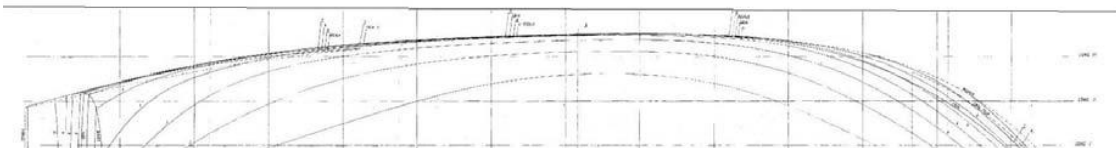
UPCT
Proyecto fin de carrera: Carabela "Niña"
Manuel Clemente Carrillo



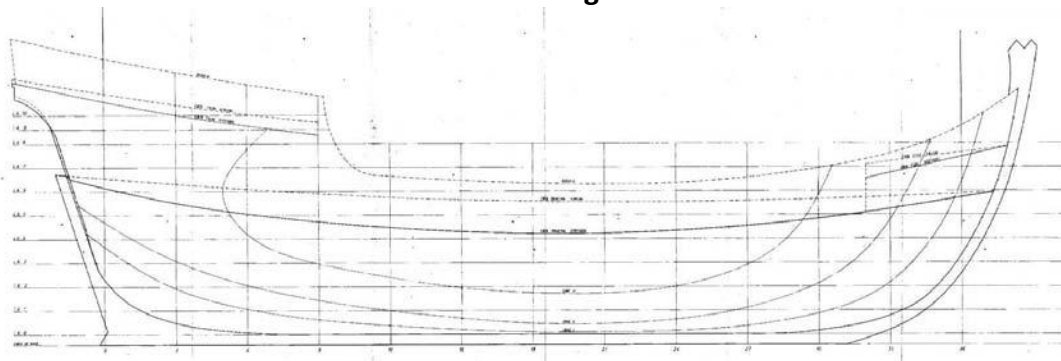
PLANO DE FORMAS



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



Líneas de agua



Longitudinales

Proyección en un plano horizontal conteniendo a los ejes OX y OY

UPCT
 Proyecto fin de carrera: Carabela “Niña”
 Manuel Clemente Carrillo



CARTILLA DE TRAZADO

	C0	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16
DWL	----	1,54	2,2	2,5	2,65	2,78	2,87	2,92	2,95	2,94	2,89	2,76	2,49	2,02	1,26	0,19	----
LA.1	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
LA.2	----	0,17	0,9	1,38	1,67	1,98	2,15	2,23	2,26	2,22	2,11	1,91	1,52	0,97	0,21		----
LA.3	----	0,8	1,64	2,08	2,32	2,53	2,63	2,69	2,71	2,69	2,62	2,48	2,15	1,6	0,8		----
LA.4	----	1,48	2,16	2,47	2,63	2,77	2,85	2,91	2,94	2,92	2,87	2,74	2,47	1,99	1,23	0,14	----
LA.5	0,65	2,01	2,41	2,64	2,77	2,89	2,96	3,01	3,03	3,03	2,99	2,89	2,66	2,23	1,53	0,54	----
LA.6	1,67	2,22	2,5	2,71	2,83	2,92	2,99	3,03	3,06	3,06	3,03	2,95	2,76	2,39	1,76	0,81	----
LA.7	1,94	2,3	2,54	2,72	2,84	2,93	2,99	3,04	3,06	3,07	3,04	2,97	2,82	2,5	1,93	1,01	----
LA.8	2,02	2,32	2,53	2,7	2,83	2,92	----	----	----	----	----	----	----	----	2,08	1,17	----
LA.9	2,03	2,29	2,5	2,67	2,82	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	1,32	0,03

CURVAS HIDROSTATICAS

Abscisa del centro de carena en metros (OC):

Posición longitudinal del centro de carena con respecto a la cuaderna maestra. El centro de carena es el centro de gravedad del volumen sumergido.

Abscisa del centro de flotación en metros (OF):

Posición longitudinal del centro de flotación con respecto a la cuaderna maestra. Se define como la curva de los brazos longitudinales tomados con respecto a la cuaderna maestra, correspondientes a los centros de gravedad de las áreas de las flotaciones para los distintos calados.

Altura del metacentro longitudinal sobre la quilla en metros (KMI):

Partiendo de la situación de equilibrio para el buque sin asiento, el empuje correspondiente a un ángulo infinitesimal cortará a la línea de empuje que pasa por el centro de carena inicial en un punto, MI, metacentro longitudinal inicial.

Altura del metacentro transversal sobre la quilla en metros (KMt):

Partiendo de una situación de equilibrio y con el buque adrizado, al producirse una escora infinitesimal, las fuerzas de empuje verticales que pasan por los centros de carena inicial y final, se cortarán en un punto denominado metacentro transversal inicial que estará situado en la línea central.

Área de la superficie de flotación en metros² (Af):

Curva de las áreas de las flotaciones.

UPCT
Proyecto fin de carrera: Carabela “Niña”
Manuel Clemente Carrillo



Área de la superficie mojada en metros² (Sm):

Área del forro exterior incluidos los apéndices.

Coefficiente de bloque (Cb):

Relación entre el volumen de trazado y el prisma geométrico que lo circunscribe.

Coefficiente de la flotación (Cf):

Relación entre el área de la flotación al calado de trazado y la de un rectángulo circunscrito a la misma, que tenga por medidas su eslora y su manga en la flotación de trazado.

Coefficiente de la maestra (Cm):

Relación entre el área de la cuaderna maestra hasta una flotación y el área de un rectángulo cuyas dimensiones son el calado y la manga de la misma.

Coefficiente prismático (Cp):

Relación adimensional entre el volumen de carena y el de un cilindro de sección recta el área de la cuaderna maestra por debajo de la flotación de trazado y que tiene por longitud la eslora.

Desplazamiento del buque en toneladas (Δ):

Peso del buque para una condición de carga determinada. Es igual al volumen sumergido por la densidad, representando el peso del agua desplazada para este volumen. Tanto el calado como el volumen sumergido y, en consecuencia, el desplazamiento, que figuran en las curvas hidrostáticas para uso marino, deben tener el espesor del forro incluido así como el volumen de los apéndices.

Momento unitario para alterar el trimado un centímetro en t·m/cm (Mtc):

Momento unitario utilizado para calcular la alteración producida en el asiento debido a una carga, descarga o traslado, o también para calcular el asiento correspondiente a una situación determinada.

Ordenada del centro de carena en metros (KC):

Altura del centro de carena sobre la quilla. La propiedad de la curva KC es que siempre es creciente.

Toneladas por centímetro de inmersión en t/cm (Tci):

Número aproximado de toneladas que es preciso cargar o descargar de cualquier punto del buque para que el calado medio aumente o disminuya un centímetro. Dependerán de la situación de partida.

Volumen sumergido del buque o Volumen de carena (V):

Volumen limitado por el casco y por la superficie de flotación (el delimitado por la obra viva).

UPCT
 Proyecto fin de carrera: Carabela “Niña”
 Manuel Clemente Carrillo



Calados	0	0,173	0,3	0,51	0,69	0,86	1,03	1,20	1,38	1,55
V	0	0	1,8	7,50	15,3	24,74	35,44	47,20	59,84	73,29
Δ	0	0	1,8	7,	15,7	25,3	36,3	48,4	61,	75,
Af	0	0	24,	39,7	50,2	58,51	65,23	70,80	75,58	79,82
Sm	0	6,919	31,	47,9	59,8	69,91	78,86	86,96	94,78	102,4
OF	9,10	-9,105	0,1	0,09	0,04	0,00	-	-	-	-
OC	9,10	-24,63	0,2	0,16	0,11	0,08	0,05	0,03	0,00	-
KC	0,22	0,207	0	0,40	50	0,61	0,71	0,81	0,91	1,01
KMt	0,22	0,207	6,0	4,85	4,38	4,25	4,00	3,81	3,71	3,65
KMI	0,22	0,207	1	64,3	45,4	36,02	30,32	26,	23,59	21,5
Tc	0	0	0,2	0,40	0,51	0,	0,66	0,72	0,77	0,81
Mtc	0	0	0,1	0,27	0,39	0,	0,60	0,69	0,79	0,88
Cb	0	0	0,1	0,23	0,29	0,34	0,38	0,4	0,43	0,44
Cf	0	0	0,5	0,63	0,67	0,70	0,72	0,74	0,75	0,75
Cm	0	0	0,2	0,42	0,50	0,56	0,60	0,63	0,6	0,68
Cp	0	4E+15	0,4	0,54	0,58	0,61	0,63	0,64	0,66	0,6

Tabla de curvas hidrostáticas

5. CÁLCULO DEL ARQUEO

El arqueo de un buque es la capacidad o volumen interior del buque.

Las medidas principales de los buques del s. XVI eran la manga máxima (M), la eslora (E), la quilla (Q), y el puntal (H).

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 tomaban 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 un volumen del buque:

$$V = (1/2HM) \cdot 1/2(Q+E)$$

que simplificado es:

$$V = MH(Q+E)/4$$

Puesto que las dimensiones de las naves se medían en codos (*), el resultado del cálculo anterior eran codos cúbicos. Para obtener el resultado del arqueo en toneles castellanos o toneladas de ocho codos había que dividir por ocho, de manera que la fórmula anterior queda así:

UPCT
 Proyecto fin de carrera: Carabela “Niña”
 Manuel Clemente Carrillo



MH(Q+E)/32 = Toneles o toneladas de ocho codos cúbicos.

Las dimensiones de nuestro barco son las siguientes:

	Metros	Codos
Eslora	21,4	38,3994258
Quilla	15,55	27,9023865
Manga máxima	6,28	11,2686165
Puntal	2,8	5,02422394

Aplicando la fórmula anterior, obtendremos el siguiente resultado:

$$V = MH(Q+E)/32$$

V = 117.304591 toneladas de ocho codos.

(*) 1 codo = 0,5573 metros.

6. ESTABILIDAD

Situaciones de carga.

Para obtener el desplazamiento en rosca de la nave partiendo de los datos iniciales reflejados en la siguiente tabla, se ha estimado necesario agregar los pesos que a continuación se indican con expresión de su situación a bordo:

Designación	Peso (T)	Abcisa (m)	Momento (m·kg)	Ordenada (m)	Momento (m·kg)
Buque en rosca	43,655	8,1	353,614	2,69	117,268
Pertrechos en cubierta	2	6,73	13,46	3,86	7,72
Pertrechos en la bodega	3	9,04	27,12	1,9	5,7
Buque pertrechado	48,655	8,1	394,194	2,69	130,688

Incluyendo una tripulación estimada de 35 hombres:

Designación	Peso (T)	Abcisa (m)	Momento (m · kg)	Ordenada (m)	Momento (m · kg)
Buque pertrechado y con tripulación	49,799	8,5	417,647	2,8	144,168

Si a continuación se cargase la bodega con sus 53 toneles de capacidad y un contenido de la misma densidad del agua (si la carga fuese de mayor densidad habría que disminuir el nº de toneles para tener un francobordo aceptable y la situación de carga no sería nunca

UPCT
 Proyecto fin de carrera: Carabela “Niña”
 Manuel Clemente Carrillo



más desfavorable que la supuesta), obtendríamos un peso adicional para la carga de 48.84 toneladas y el buque se encontraría en la situación de carga y estabilidad siguiente:

Designación	Peso (T)	Abcisa (m)	Momento (m · kg)	Ordenada (m)	Momento (m · kg)
Buque pertrechado y con tripulación	98,639	8,81	883,582	2,085	209,125

Desplazamiento	100,295 T
Calado correspondiente	1,785
Centro de carena sobre la base	1,138
Centro de gravedad sobre el centro de carena	0,947
Metacentro transversal sobre la base	3,345
Altura metacéntrica transversal	1,260
Metacentro longitudinal sobre la base	19,2
Altura metacéntrica longitudinal	17,115
Abcisa centro de carena	9,080
Abcisa centro de flotación	8,980
Cambio de asiento	0,303
Calado a proa	1,624
Calado a popa	1,927
Calado medio	1,775
Francobordo	0,490

Al aplicar un criterio de estabilidad se obtiene un momento escorante por la acción del viento tal que:

$$M_v = 0,001$$

$$P.h.s. = 26,325 \text{ metros}$$

Siendo P = Presión del viento sobre las velas para una fuerza = 16 kg/m².
 h = altura del centro vélico sobre el plano de deriva = 9,02 metros.
 s = superficie vélica = 181,83 m².

El brazo escorante resulta igual a

$$bv = M_v / \Delta \cdot \cos^2 \alpha = 0,263 \cdot \cos^2 \alpha,$$

que representado sobre la curva de grandes ángulos produce una escora de **8.75°**.
 La nave no navegará nunca en esta condición de carga, ya que por mucho equipaje, víveres y efectos que se incluya quedará bien lejos de la carga máxima admisible en bodega.

UPCT
 Proyecto fin de carrera: Carabela “Niña”
 Manuel Clemente Carrillo



Para la situación de lastre es imprescindible incluir un peso; se ha estimado conveniente dividir el lastre en dos partes, uno permanente y otro móvil para el tránsito de la nave por ultramar.

Los pesos estimados de estos lastres son de 18 toneladas el fijo y 5 el móvil.

Con ellos las condiciones de carga y estabilidad de la nave serían:

Designación	Peso (T)	Abcisa (m)	Momento (m · kg)	Ordenada (m)	Momento (m · kg)
Buque en rosca pertrechado y con su tripulación	49,799	8,5	417,647	2,8	144,168
Lastre fijo	18	9,5	171	0,8	14,4
Lastre móvil	5	12	60	1,2	6

Desplazamiento	74,455 T
Calado correspondiente	1,495 m
Centro de carena sobre la base	0,970 m
Centro de gravedad sobre el centro de carena	1,240 m
Metacentro transversal sobre la base	3,525 m
Altura metacéntrica transversal	1,315 m
Metacentro longitudinal sobre la base	22,150 m
Altura metacéntrica longitudinal	19,940 m
Abcisa centro de carena	9,100 m
Abcisa centro de flotación	9,056 m
Cambio de asiento	0,376 m
Calado a proa	1,296 m
Calado a popa	1,672 m
Calado medio	1,484 m
Francobordo	0,780 m

Se aplica seguidamente un criterio de estabilidad por viento suponiendo uno de fuerza en la escala Beaufort, excesivo para tener toda la nave con las velas dadas; además también se supone que el viento es de través y las velas se encuentran paralelas al plano diametral del buque.

En estas circunstancias, el momento escorante sería

$$M_v = 0,001$$

$$P.h.s. = 26,653 \text{ metros}$$

Siendo P = Presión del viento sobre las velas = 16 kg/m^2 para un viento de fuerza.

h = altura del centro vélico sobre el plano de deriva = 9.163 m

s = Superficie vélica = 185 m^2

UPCT
Proyecto fin de carrera: Carabela “Niña”
Manuel Clemente Carrillo



El brazo escorante obtenido sería

$$bv = Mv/\Delta \cdot \cos^2\Theta = 0.358 \cdot \cos^2\Theta$$

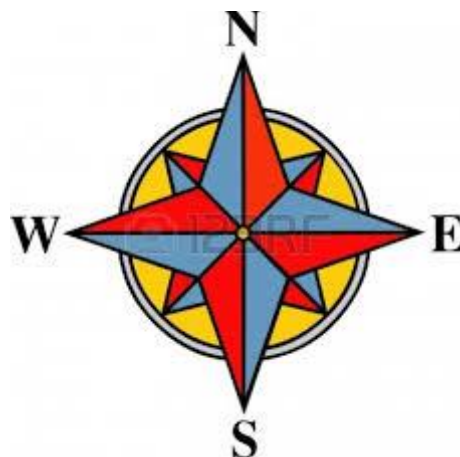
Dibujando este par escorante en la curva de grandes ángulos se obtiene un ángulo de escora permanente con este viento y en las condiciones supuestas de 12.2°, y la nave empezaría a mojar el cintón.

Comparando ambas condiciones de carga se deduce que, en la que podíamos denominar “*plena carga histórica*”, la curva de grandes ángulos es ligeramente más baja, pero el brazo escorante, por efecto del mayor desplazamiento, es notablemente menor, de forma que la relación entre el máximo brazo adrizante y el brazo escorante en el ángulo de inclinación es de 1.98, mientras que en el caso de la que podríamos llamar “*salida de puerto*” esta relación es sólo de 1.62.

Por estas circunstancias se considera que las cifras de lastre son sólo orientativas y el definitivo se incluirá cuando la situación de carga real de la nave quede perfectamente conocida, circunstancia imprevisible en el momento de redactar el proyecto. Además será necesario utilizar la nave y conocer sus condiciones marineras para tener otro dato más que fije cuales son los calados más adecuados desde todos los puntos que se considera el buque.

El lastre fijo, lingotes de hierro fundido de 50 kg cada uno, se ha situado alrededor de los palmejares al objeto de dar un radio de inercia de la distribución de masas superior al que tendría poniéndolo más próximo a crujía, con lo que el buque será menos sensible a los momentos escorantes no permanentes.

El lastre móvil se ha situado a una altura similar a la que previsiblemente tendrán los efectos que se embarquen en la navegación hacia el Nuevo Continente.

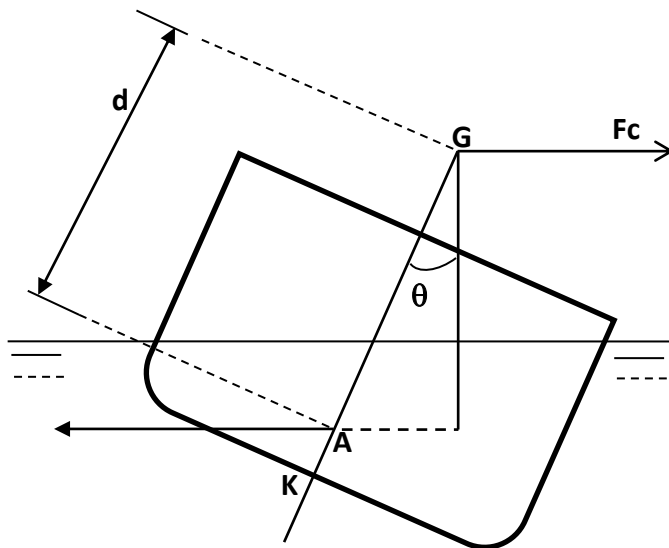




7.CASO PRÁCTICO

Momento escorante debido a una virada ó F_c

Sea $F_c = m \times V^2 / R = \Delta \times V^2 / g \times R$; $m = \Delta / g$
Suponemos que F_c se aplica en "g" (centro de gravedad del buque):



$$P_e = F_c \times AG \times \cos \theta$$

$$P_e = (\Delta \times V^2 / g \times R) \times [KG - (T/2)] \times \cos \theta$$

(porque $AG = d$);



$$\lambda_e = P_e / \Delta = [V^2 / (g \times R)] \times [KG - (T/2)] \times \cos \theta$$

si $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ y $R = 5 \times L_f$, siendo "R" el radio de giro según la Admón.,

$$\lambda_e = [(0,02 \times V^2) / L_f] \times [KG - (T/2)] \times \cos \theta \text{ (A)}$$

("A" es el **centro de resistencia transversal**).

Para obtener el momento escorante hemos supuesto que el efecto de la escora **NO** es despreciable y que la reacción del agua está en la línea de crujía, en un punto correspondiente a **la mitad del calado** cuando el buque está adrizado .

También hemos aplicado la fuerza centrífuga en el **centro de gravedad** del buque.

Todo ello nos permite, con los datos obtenidos del buque una vez embarcados los 53 toneles de agua, estimar la velocidad a la que la carabela tendrá que navegar para que durante un giro de radio 5 veces la eslora en la flotación mantenga una escora máxima de 10^0 .

Si tenemos,

- i) Centro de carena sobre la base (**KB**) = 1,138 m.
- ii) Centro de gravedad sobre el centro de carena (**KG**) = 1,138 + 0,947 = 2,085 m.
- iii) Altura metacéntrica transversal (**GMt**) = 1,260 m.
- iv) Calado de proa (**Tpr**) = 1,624 m.
- v) Calado de popa (**Tpp**) = 1,927 m.
- vi) Manga máxima (**B**) = 6,28 m.
- vii) Puntal (**H**) = 2,8 m.
- viii) Eslora entre perpendiculares (**Lpp**) = 21,4 m.
- ix) Calado medio (**T**) = 1,775 m.



$$t = |T_{pr} - T_{pp}| = |1,624 - 1,927| = 0,303 \text{ m}; \text{ como } L_f = [(t^2 + L_{pp}^2)]^{1/2},$$

$$L_f = [(0,303)^2 + (21,4)^2]^{1/2} = 21,402 \text{ m}.$$

Necesitamos saber el radio metacéntrico:

$$BM = GM + KG - KB = 1,260 + 2,085 - 1,138 = 2,207 \text{ m}.$$

Suponiendo al buque de costados rectos, aplicamos la fórmula de Scribanti:

$$GZ = \text{sen}\theta \times [GM + ((BM/2) \times \text{tg}^2\theta)]$$

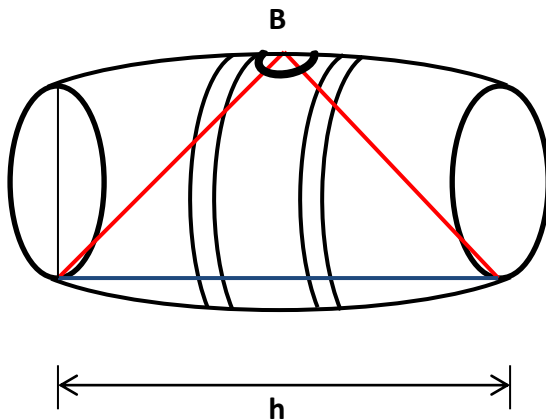
$$GZ = \text{sen } 10 \times [1,260 + (2,207/2) \times \text{tg}^2 10] = 0,206. \quad GZ = 0,206.$$

Ahora suponemos un tonel de capacidad "c" estimada en 55 galones, es decir, 208,20 litros.

$$c = d^3 \times 0,625;$$

siendo "d" (trazo rojo) la distancia de la boca "B" a cada uno de los témpanos del tonel en decímetros. En este caso,

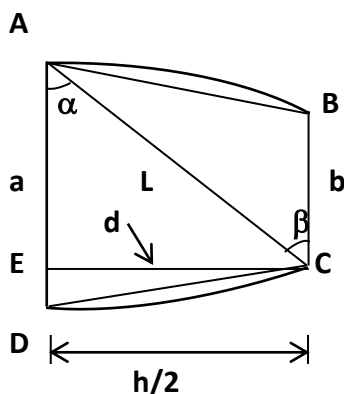
$$208,20 = d^3 \times 0,625 \quad \Rightarrow \quad d = 6,932 \text{ dm} \times 0,1 = 0,693 \text{ m}.$$



Si las dos "d" ("d" y "d") son perpendiculares entre sí, formarán un ángulo de 90°, luego "h" (trazo azul), constituye la hipotenusa del triángulo rectángulo y equivale a la altura del tonel:

$$h^2 = d^2 + d^2 \quad \Rightarrow \quad h^2 = 2 \times d^2 = 0,961$$

$$h = 0,980 \text{ m}.$$



Representando ahora la mayor sección del tonel, y aplicando el Teorema del coseno a los triángulos ACD y ABC quedará:

$$a^2 + L^2 - 2ac\cos\alpha = d^2, \text{ y } b^2 + L^2 - 2bc\cos\beta = d^2;$$

aunque como α y β son ángulos alternos, serán iguales. Tomando la 2ª ecuación:



$$b^2 + L^2 - 2bc\cos\beta = d^2; \text{ en este caso,}$$

$\beta = 45^\circ$, "L" equivale a la "d" calculada anteriormente, y "d" a $h/2$, luego

$$b^2 + (0,693)^2 - 2bc\cos 45 = (0,980/2)^2 \implies b^2 - 1,050b = 0,2401 - 0,4802;$$

al resolver la ecuación de 2º grado se obtienen dos soluciones, $b = 0,713$ m y $b = 0,336$ m; tomamos la 2ª, **que equivale al valor del diámetro menor del tonel.**

Si tenemos en cuenta que para obtener el valor del volumen en el tonel disponemos de dos fórmulas:

$$V = 1/3 \pi h (2 R^2 + r^2) \text{ y } V = 0,2 h (D + d)^2, \text{ igualando quedará:}$$

$$1/3 \pi h (2 R^2 + r^2) = 0,2 h (D + d)^2; \text{ ahora } d = b, R = D/2, \text{ y } r = b/2, \text{ luego}$$

$$1/3 \pi (2 (D/2)^2 + (b/2)^2) = 0,2 (D + b)^2; \text{ para } b = 0,336 \text{ m, y desarrollando:}$$

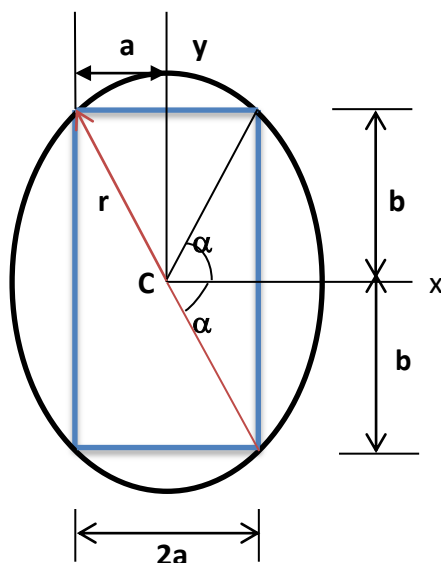
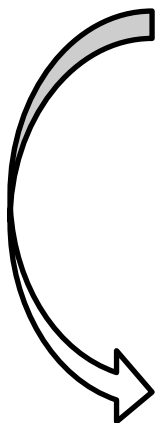
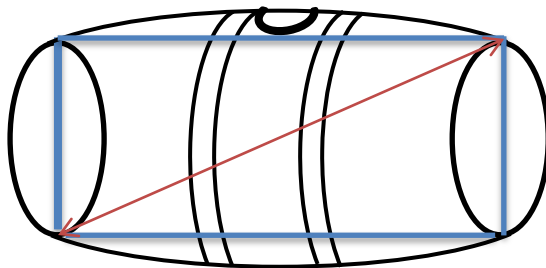
$$0,5D^2 + 0,028 = 0,190D^2 + 0,128D + 0,021 \implies (0,5 - 0,190)D^2 - 0,128D + 0,028 - 0,021 = 0;$$

$$0,310D^2 - 0,128D + 0,007 = 0 \implies D^2 - 0,413D - 0,022 = 0.$$

al resolver la ecuación de 2º grado se obtienen dos soluciones, una de ellas negativa, luego tomando la positiva, $D = 0,461$ m, **que equivale al valor del diámetro mayor del tonel.**

Luego el volumen del tonel quedará: $V = 0,2 h (D + d)^2 = 0,2 \times 0,980 \times (0,461 + 0,336)^2$

$$V = 0,124 \text{ m}^3.$$



Consideremos ahora el rectángulo circunscrito al tonel, del que conocemos sus dimensiones ($l \times b = h \times b = 0,980 \times 0,336$ m).

La **diagonal** de dicho rectángulo (en trazo rojo) valdrá:

$$d^2 = (0,980)^2 + (0,336)^2; d = 1,036 \text{ m.}$$

Asimilando la figura a un "círculo con núcleo removido", es decir, con el origen de los ejes en el centro del círculo,

i) $2a = b$ (diámetro menor) = 0,336 m,

luego $a = 0,168$ m.

ii) $b = h/2$ (1/2 de la altura) = 0,980/2,

luego $b = 0,490$ m.

UPCT
 Proyecto fin de carrera: Carabela "Niña"
 Manuel Clemente Carrillo



iii) $\operatorname{tg} \alpha = \operatorname{sen} \alpha / \cos \alpha = b/a = 0,490/0,168 = 2,916$; luego $\alpha = 71,075^\circ$.

iv) $r = d \text{ (diagonal)}/2 = 1,036/2 = 0,518 \text{ m}$.

Con estos datos, podemos obtener el momento de inercia:

$$I_y = r^4/2 \times [\alpha - (ab/r^2) + (2ab^3/r^4)] \implies I_y = 2,567 \text{ m}^4.$$

Haciendo ahora el mismo cálculo para un cilindro, es decir, obteniendo el momento de inercia del cilindro con el que estamos trabajando resulta:

$$I_c = \frac{1}{2} M \times r^2;$$

El volumen **del cilindro** quedará:

$$V = \pi \times r^2 \times h = \pi \times (0,168)^2 \times 0,980 = 0,086 \text{ m}^3$$

La diferencia entre el volumen del tonel y el del cilindro es pequeña:

$V_{\text{tonel}} - V_{\text{cilindro}} = 0,124 - 0,086 = 0,038 \text{ m}^3$ es decir, únicamente **38 litros**, luego asimilamos el **volumen del tonel** para calcular la masa del cilindro:

$$\rho = M / V, \text{ como } \rho_{\text{H}_2\text{O}} = 10^3 \text{ kg/m}^3, M = 1000 \text{ kg/m}^3 \times 0,124 \text{ m}^3 = 124 \text{ kg};$$

Además $r = \text{diámetro menor del tonel} / 2 = 0,168 \text{ m}$, luego

$$I_c = \frac{1}{2} \times 124 \times (0,168)^2 \implies I_c = 1,749 \approx 1,75 \text{ m}^4.$$

Aunque ninguno de los dos valores obtenidos para el momento de inercia es exacto, escogemos el 2º para la corrección por superficies libres:

$$\Sigma i \times \gamma / \Delta = 1,75 / 100,295 = 0,017 \times 53 \text{ (nº de toneles embarcados)} = 0,924 \text{ m},$$

luego el momento por superficies libres para $\theta = 10^\circ$ será

$$\Sigma M_{sl} = \operatorname{sen} \theta \times [1 + (\operatorname{tg}^2 \theta / 2)] \times \Sigma i \times \gamma = \operatorname{sen} 10 \times [1 + (\operatorname{tg}^2 10/2)] \times 0,924;$$

$$\Sigma M_{sl} = 0,163$$

Así, obtenido **GZ** y ΣM_{sl} , solo resta calcular el valor del **GZ** para $\theta = 10^\circ$:

$$(GZ)_{d_{10}^0} = GZ - (\Sigma M_{sl} / \Delta) = 0,206 - 0,163 = 0,043 \text{ m} \times rd,$$

luego si $GZ = \lambda e$, sustituyendo en **(A)** e igualando :

$$0,043 = ((0,02 \times V^2) / 21,402) \times [2,085 - (1,775/2)] \implies 0,920 = 0,023 \times V^2,$$

$$\text{luego } V^2 = 38,413 \implies V = 6,197 \approx 6,2$$

$$V = 6,2 \text{ nudos.}$$

UPCT
Proyecto fin de carrera: Carabela “Niña”
Manuel Clemente Carrillo



BIBLIOGRAFIA

- Biblioteca virtual “Miguel de Cervantes”.
- “Enciclopedia de los barcos”
(Roger Ford, Tony Gibbons, Rob Hewson, Bob Jackson, David Ross)
Edimat Libros-2002
- Diccionario Básico Espasa
Espasa Calpe-1983.
- Wikipedia, la enciclopedia libre.
- Enciclopedia “Navíos y Veleros, historia, modelos y técnicas”
Planeta-De Agostini-1993.
- “Jarcias, palos y velas”
(Camil Busquets i Vilanova)
Aigualarga Editores-1998.
- “La carabela Niña de Cádiz y el primer viaje de Colón”
(Luis M. Coín Cuenca)
Diputación Provincial de Cádiz-1993.
- Apuntes de Hidrostática y Estabilidad
2º curso de I.T.Naval-U.P.CT.
- Resistencia de materiales-Timoshenko
(James M. Gere)
Thomson editores-2005.
- Formulario de Matemáticas elementales
(Biblioteca técnica Everest)
Editorial Everest-1966.
- Revistasuma.es //“Miscelánea-Tecnología popular tradicional: Medición de la capacidad de barriles y toneles por métodos empíricos”.
(José Manuel González Rodríguez).

UPCT
Proyecto fin de carrera: Carabela “Niña”
Manuel Clemente Carrillo



AGRADECIMIENTOS

No me hubiera sido posible de ninguna forma obtener esta titulación de no haber contado con la ayuda totalmente desinteresada de todos estos compañeros:

Gil Joaquín García Cegarra, Salvador Andreu, Francisco Acosta, los hermanos Dulce y Lucas Quiñonero Hellín, Francisco Cerezo, Javier Busquets, José SanMartín (†), Pepe Roselló Tur, Juan Ramón Ragel, Pablo García Garcerán, Nacho Moreo, M^a José Andreu Casas.

Algunos han demostrado tener una infinita paciencia conmigo, incluso a veces, “más que la del Santo Job”; durante estos años he tenido la inmensa suerte de conocerlos y, mejor aún, se han convertido en mis amigos.

También quiero mencionar a los siguientes profesores:

Ginés Martínez Nicolás, Isidoro Martínez, Ana Eva Jiménez Ballesta, Mariano Hernández Albaladejo, Félix Saura Redondo, Ignacio González Pérez, Francisco Blasco Lloret, Manuel M. Sánchez Nieto, Adoración Escudero, Juana Mari Belchí, Marta Clemente, Gabriel Soler, Rafael Vilar, José Ojados, José Ubaldo Degano, Daniel García Fernández-Pacheco.

En especial, a los del Departamento de Construcciones Navales:

Tomás López Maestre, Leandro Ruiz Peñalver, José Alfonso Martínez García, José Esteban Otón Tortosa, Domingo García López.

Y por supuesto, a mi tutor en éste proyecto, Federico López-Cerón de Lara.

Otros amigos cuyo apoyo y ayuda me ha servido de ánimo en momentos difíciles, en los que llegué a plantearme abandonar:

José Molina García-Pardo, los hermanos Antonio y José Luis Morales Guerrero, Antonio Torrente, José López Muñoz, José Enrique, Antonio Piñana y Miguel Ros. También a mi primo José Mariano Fernández.

A mis compañeros de mi “otra” familia, la Armada, y en concreto de Submarinos, Ángel Moreno Urbaneja y Marcos Peñalver Segado, por su ayuda técnica en asignaturas relacionadas con la Electricidad y Tecnología Mecánica, respectivamente, así como a Francisco Parra Molina por su soporte informático. También a Paco San Martín, del CBA.

A toda mi familia SIN EXCEPCIÓN, que **siempre, siempre**, me mostró su apoyo, a mi madre, a mis hermanos y cuñados, a mis primos José María y Carmen, Ana, Pedro y Pedrito, a Faustino y Mari Carmen por su permanente disposición.

A mis hijos Manu y Marina, por el mucho tiempo que por la Ingeniería no les he dedicado a ellos. A mi padre, que allá donde esté pueda ver que al fin lo he conseguido.

A todos, muchísimas gracias. Gracias de corazón.

Pero por encima de todos ellos, y sin desmerecerlos en absoluto, a M^a José, mi mujer. Sin su comprensión, ánimo e ilusión no podría haber escrito nunca estas palabras.

CARTAGENA, Septiembre de 2014.