



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería Naval y Oceánica

## PROYECTO FIN DE CARRERA

---

# “La Niña”

AUTORA: **Ursula Mirete García**

ESPECIALIDAD: **Estructuras Marinas**

DIRECTOR: **Federico López-Cerón de Lara**

CONVOCATORIA: **Septiembre, 2014**

Proyecto Fin de Carrera: “La Niña”

# ÍNDICE

<b>1. Objeto y justificación del Proyecto.....</b>	<b>5</b>
1.1 Objeto del Proyecto.....	5
1.2 Justificación.....	5
<b>2. Descripción del buque.....</b>	<b>6</b>
2.1 Definición de la carabela.....	6
2.2 Características y problemas de la carabela.....	6
2.3 Tripulación de la carabela.....	8
2.4 Historia y viajes de “La Niña”.....	9
<b>3. Caracterización del buque. Diseño.....</b>	<b>12</b>
3.1 Plano de formas.....	12
3.1.1 Definición.....	12
3.1.2 Curvas características del buque.....	13
3.1.3 Plano disposición general.....	14
3.1.4 Velamen.....	14
3.1.5 Disposición bajo cubierta.....	15
3.2 Reproducción de “La Niña” en CAD.....	15
3.3 Cartilla de trazado.....	19
3.3.1 Definición.....	19
3.3.2 Elaboración de la Cartilla de Trazado.....	20
<b>4. Cálculos justificativos.....</b>	<b>26</b>
4.1 Determinación del Arqueo.....	26
4.1.1 Definición.....	26
4.1.2 Cálculo.....	26
4.1.2.1 Método geométrico.....	26
4.1.2.2 Fórmula del arqueo de Cristóbal de Barros.....	27
4.1.2.3 Conclusión.....	28
4.2 Cálculo del desplazamiento en rosca.....	28
4.3 Estudio previo de estabilidad.....	32
4.4 Cálculo de estabilidad en diferentes condiciones de carga.....	35
4.5 Resultados.....	38
4.5.1 Peso en rosca.....	39
4.5.2 Resultados en las diferentes condiciones de carga.....	41
4.6 Gráficas.....	47
<b>5. Proceso constructivo.....</b>	<b>67</b>
5.1 Justificación de las maderas seleccionadas.....	67
5.2 Escantillonado.....	68
5.3 Detalle de uniones y ensamblaje.....	68
5.4 Pasos del proceso constructivo.....	69
<b>6. Valoración económica.....</b>	<b>91</b>

<b>7. Bibliografía.....</b>	<b>94</b>
<b>8. Anexos.....</b>	<b>95</b>

## 1. Objeto y justificación

### 1.1 Objeto del Proyecto

Este proyecto se enmarca dentro de la conservación del Patrimonio Histórico Español en su vertiente marítima tecnológica, de las artes de construcción y la navegación.

El proyecto que se propone consiste en la realización del estudio íntegro de una de las tres naves que realizaron la travesía la cual supuso el descubrimiento de América. En este caso se estudiará la carabela denominada “La Niña”.

Objetivos generales:

- 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.
- Reconstrucción de la nave 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 Río 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 varios 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 con la réplica que se construyó para la conmemoración del V Centenario realizada en el Arsenal Militar de Cartagena.

## 2. Descripción del buque

### 2.1 Definición de la carabela

Una carabela es una embarcación a vela, ahora en desuso, ligera, alta y larga. Las primeras carabelas tenían una sola cubierta y la popa llena de velas latinas, lo que proporcionaba una gran velocidad. La carabela portuguesa de la época de los descubrimientos tenía entre 20 y 25 m de eslora. El palo mayor se situaba en el centro del casco y no tenía ni bauprés ni trinquete. Aquellas carabelas del principio no tenían el castillo a proa pues habría estorbado mucho la maniobra del [car](#). La experiencia les hizo ver que siendo todas las velas latinas corrían grandes peligros en los viajes de alta mar con vientos largos, así que cambiaron estas velas latinas del trinquete por velas redondas o *cuadra*. Gracias a estas características pudo afrontar con éxito los viajes a través del océano.

Con las velas latinas, el pilotaje de una carabela requería mucha más destreza y conocimiento que con las embarcaciones más comunes de finales de la Edad Media y principios del Renacimiento, de las cuales la principal era la carraca o nao. Ello conllevaba una mejora significativa de la maniobrabilidad con cualquier tipo de viento; sin embargo, este tipo de vela no permitía aprovechar al máximo el viento de popa como lo hacen las velas rectangulares.

En un principio las carabelas se utilizaron como embarcaciones pesqueras. Dada sus cualidades marineras, así como por los avances en la construcción naval de los astilleros portugueses y españoles, sus prestaciones se extendieron a la carga y la exploración de nuevas tierras.

En los años posteriores al descubrimiento y la colonización de América, las carabelas fueron cayendo en desuso en la medida que aparecieron nuevos tipos de embarcaciones, especialmente los galeones, con enormes mejoras en sus prestaciones, especialmente en cuanto a capacidad de carga, resistencia y maniobrabilidad.

### 2.2 Características y problemas de la carabela

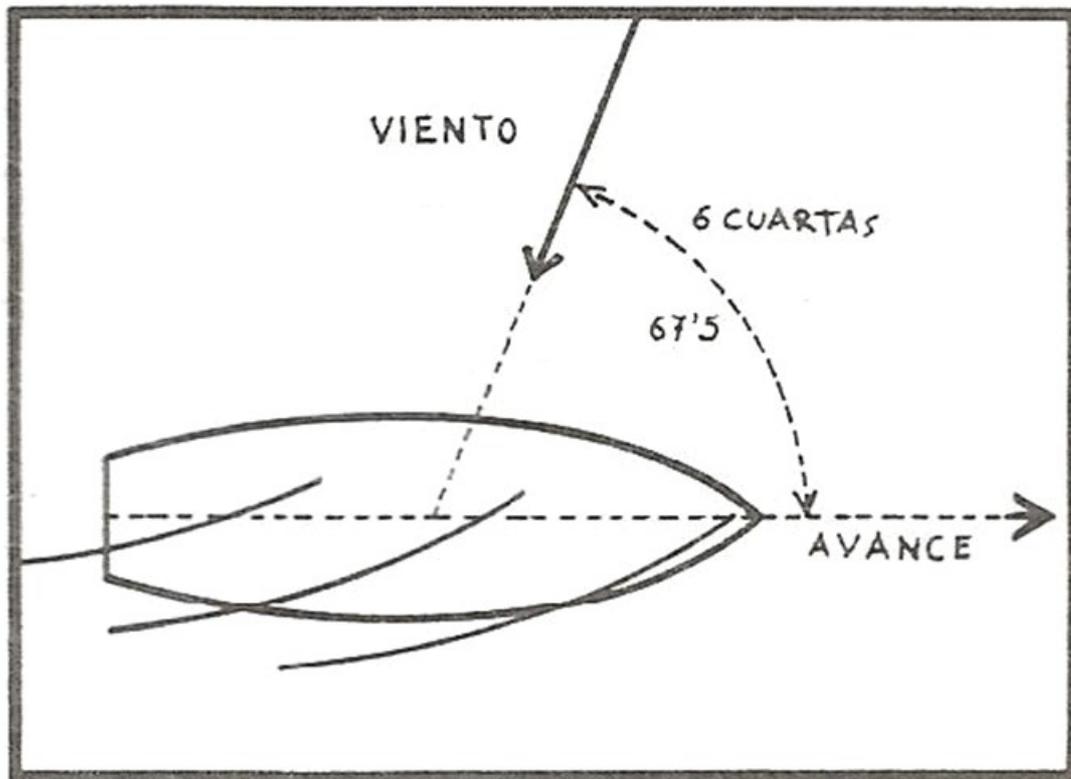
Podría sorprendernos que un barco tan conocido y empleado en los descubrimientos geográficos de la Edad Moderna esté tan lleno de incógnitas que haya sido prácticamente imposible reproducirlo con un mínimo de fiabilidad y eficacia. Pero existen razones que lo justifican.

En primer lugar, se trata de una clase de nave que resume toda una larga trayectoria de experiencias prácticas de los constructores o carpinteros de ribera, se hacía mediante el procedimiento elemental de ir aprendiendo el oficio repitiendo siempre los modelos conocidos. Cualquier variación debida a la experiencia en el mar,

recogida por los propios marinos, se incorpora rápidamente a los sucesivos barcos que construya un maestro carpintero. De este modo se va poco a poco perfeccionando la carabela con el transcurso del tiempo. Ahora bien, en ningún momento se hacen planos del casco, de las cuadernas, ni de ningún elemento parcial del barco, salvo los dibujos circunstanciales que el maestro hace en el taller y muchas veces sobre la propia madera. En suma, la misma técnica de construcción de la carpintería de ribera ha sido el motivo de que no nos haya llegado uno de los elementos que en la actualidad consideraríamos esenciales: los planos.

Cuando se comienzan a dibujar planos de construcción naval en el siglo XVII, la carabela es un barco que ya no tiene la vigencia que lo caracterizo dos siglos antes. Son sus dimensiones, su poca capacidad de carga y su dificultad de maniobra las que determinan que vaya progresivamente cayendo en desuso, hasta el punto de desaparecer hacia mediados del siglo XVII.

Las peculiares características de la carabela desde el punto de vista náutico, la convierten en la verdadera protagonista de todos los viajes de descubrimiento. Ello se debe a que es un barco de poco calado y que puede navegar hasta seis cuartas contra el viento, y por tanto no necesita viento favorable para su navegación (Fig. 1).

**FIG. 1**

Gracias a ello se puede entrar en aguas desconocidas y de poca profundidad. Es decir, que se puede navegar en aguas en las que se ve el fondo sin necesidad de sondear, y, por consiguiente, permite avanzar con mayor rapidez.

El camino que han recorrido las carabelas permite al piloto conocer los datos fundamentales de fondeaderos, peligros de bajos fondos o corrientes, desembocaduras de ríos, cabos y puntos de referencia, poblaciones, características de la costa que la hagan reconocible, etc. Estos datos se pasan a lo que va a ser la carta de marear, con la que se puede posteriormente hacer el mismo recorrido con seguridad en barcos de mayor calado.

Un elemento decisivo, que condiciona la falta de información acerca de estos barcos tan específicamente aptos para los Viajes de descubrimiento, radica en la rivalidad de españoles y portugueses en la búsqueda de nuevas tierras y nuevas rutas por el Atlántico a lo largo de casi un siglo. Cualquier mejora en relación con las carabelas o cualquier vía que puedan éstas recorrer, constituyen datos de vital importancia que se guardan en el mayor de los secretos.

La carabela de los descubrimientos -como se dirá más adelante- es un barco de entre dieciséis y veinticinco metros de eslora. Tiene dos o tres mástiles, cada uno de los cuales arbola una vela latina de considerable tamaño, que en las viradas requieren el esfuerzo de muchos marineros bien entrenados, a fin de poder cambiarlas de una banda a otra simultáneamente. Las dimensiones van condicionadas por la capacidad de bodega, que suele medirse en toneles, es decir, el número de ellos que le caben y que recibe el nombre de porte. Lo normal en las carabelas del siglo XV es un porte que oscila entre los veinte y los sesenta toneles, siendo el tipo medio de carabela portuguesa en la fase de los descubrimientos de unos cincuenta toneles.

El número de tripulantes oscila entre los quince y treinta hombres, según el número de toneles y el velamen del barco.

En un espacio de apenas veinte metros de largo, por cinco de ancho máximo (lo que corresponde a la eslora y la manga respectivamente), deben tener cabida tanto los hombres como las provisiones y el agua. Resulta de este modo que en trayectos largos el espacio para otro tipo de carga queda reducido al mínimo, lo que hace de la carabela un barco económicamente insostenible a partir de un determinado momento.

### **2.3 Tripulación de la carabela**

La tripulación solía dividirse entre el personal especializado y el que no lo era. Había determinados cargos imprescindibles así como determinados oficios.

*El maestre.*- Era la persona que se responsabilizaba tanto de que el aparejo del navío fuera correcto como de la mercancía que se cargaba y de cómo se estibaba. Solía ser el máximo controlador, llevaba la cuenta de todo lo que iba entrando en el barco, comprobaba que todo estuviera en buen estado, revisaba las velas, el timón, las jarcias, los instrumentos náuticos; el estado general de la embarcación, calafateado, amarres,

batel, juegos de remos, bombas de achique... así como el material necesario para que el candil que iluminaba la bitácora estuviera permanentemente encendido. Por último también era el encargado de revisar el material de repuesto.

El maestre también controlaba el estado en el que se encontraban las provisiones que iban a subir a bordo, los animales vivos, el agua (fundamental para el éxito de cualquier travesía), la leña... Igualmente tenía la responsabilidad de guardar todo el papeleo y los documentos relativos a la carga que llevaba la nave. Tal era la importancia de este personaje y su responsabilidad que en caso de poca profesionalidad o negligencia, estaba obligado a pagar todas las pérdidas que pudieran derivarse de su mala gestión.

*El despensero.*- Actuaba como mayordomo del maestre y era el encargado de mantener bajo llave los documentos más preciados, de vigilar el fuego del fogón que sólo él podía manipular bajo cubierta e igualmente solía mantener guardados los productos de “botica” que administraba el físico cuando era necesario.

*Escribano.*- Era el encargado de anotar cuidadosamente todas las mercancías que componían la carga, incluso si durante la travesía, por problemas climatológicos o de otras características, había que lanzar al mar parte de la carga, él debía anotar con fecha, qué se lanzaba al mar y a quién pertenecía. Vigilaban pues la carga y descarga, anotaban los salarios y comprobaban lo necesario para el abastecimiento del buque.

*Calafates y carpinteros.*- Eran los encargados del mantenimiento del barco e iban acompañados en las travesías de todas sus herramientas y materiales.

*Patrón.*- Era la persona que se encontraba al frente de la explotación de la embarcación, actuando en nombre de los propietarios y responsabilizándose de cualquier percance que pudiera tener la nave.

*El tonelero.*- Es la persona encargada de cuidar de toneles y pipas, asegurando el aprovisionamiento de agua.

*Los cirujanos.*- Solían ser barberos con alguna experiencia en traumatología práctica y buena voluntad, que no ciencia

*Pajes y grumetes.*- Eran los aprendices. Tenían de 13 a 17 años los primeros y de 18 a 20 los segundos. Hacían multitud de funciones, trepar por los palos, arriar velas, preparar la comida o fregar la cubierta. Eran criados para todo, normalmente dependiendo de lo que dictaran los marinos veteranos. Muchas veces pertenecían a la misma familia o tenían que ver con algún personaje importante del barco.

*El piloto.*- Era el encargado de la ruta, del rumbo y del cálculo de la posición de la embarcación.

## 2.4 Historia y viajes de “La Niña”

La Niña fue una de las dos carabelas que usó Cristóbal Colón en su primer viaje al Nuevo Mundo en 1492. Fue construida entre 1487 y 1490, en los antiguos astilleros de la Ribera de Moguer, con maderas de pino y chaparro de los montes mogueres. En su botadura sobre el Río Tinto, la nave recibió el nombre de Santa Clara (en honor al Monasterio de Santa Clara de dicha localidad), aunque pasaría a la posteridad con el nombre de sus propietarios, los hermanos Niño.

Los Hermanos Niño, tuvieron una destacada participación en los preparativos y desarrollo del viaje descubridor. Una vez superadas las primeras reticencias al proyecto de Cristóbal Colón, se convirtieron en férreos defensores del viaje, y pusieron todo su empeño en llevar a cabo la empresa Colombina. Convencieron a la marinería mogueresa, y al resto de marinos que habitualmente navegaban con ellos, para que se alistaran al viaje.

La Niña partió el 3 de agosto de 1492, capitaneada por Vicente Yáñez Pinzón, con Juan Niño como propietario y maestre, y una veintena de tripulantes.

Su primitivo velamen latino fue transformado a velas cuadradas en la escala que la flotilla descubridora realizó en las Canarias, y ya en la isla de 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. La carabela carecía de castillo de proa, mientras que el alcázar era bastante pequeño.

El 12 de octubre de 1492 se culminó el viaje con el descubrimiento del Nuevo Mundo. Tras el encallamiento de la nao Santa María el 25 de diciembre de 1492 en la costa de Haití, Cristóbal Colón elige a La Niña para capitanear el viaje de retorno por tener una construcción más fuerte pero de reducida eslora.

En el tornaviaje, el día 14 de febrero de 1493, a la altura de las Islas Azores se cruzaron con una fuerte tempestad que estuvo a punto de hacer naufragar las embarcaciones. A causa del temporal se separaron las carabelas, y La Niña se vio obligada a atracar en Las Azores, islas a 850 millas de Portugal y controladas por este país. Allí, Colón fue arrestado y liberado posteriormente para, a causa de otro temporal, terminar atracando en Lisboa el 4 de marzo, donde se entrevistará con el Rey Juan II de Portugal y le informará de su descubrimiento.

Finalmente, el día 15 de marzo de 1493 llega por la mañana la carabela Niña a Palos de la Frontera, después de 42 días de navegación.

El 25 de septiembre del mismo año formó parte de la flotilla del segundo viaje de Colón. Ya en las nuevas tierras, partió como capitana de un viaje de exploración en el que se descubrieron Jamaica y la costa sur de Cuba.

En el puerto de La Española, en el verano de 1495, un ciclón hunde a todos los barcos amarrados a puerto, excepto a ésta carabela, que aunque sufrió algunos daños, fue el único navío que no naufragó. Esta capacidad de mantenerse a flote fue quizás determinante para que La Niña sirviese de modelo al primer barco construido en América, la carabela Santa Cruz, conocida como La India. Regresa a España con la segunda expedición colombina el 11 de junio de 1496.

En los años posteriores La Niña pasa a ser propiedad de la Corona, al gobierno de Alonso Medel, quien realiza con la carabela varios viajes comerciales. En el transcurso de una de estas expediciones es capturada por barcos corsarios franceses, algunos de cuyos tripulantes, naturales de El Puerto de Santa María, son sobornados por Medel, y ayudan al español a escapar de los corsarios.

En septiembre de 1497 participó en un viaje comercial a Roma, ciudad en la que había sido fletada por Marco de Baeza. En el tornaviaje fue asaltada y apresada por un corsario en el puerto “Cagliari” de Cagliari. Tras su liberación, regresó de nuevo a Indias participando en actividades mercantiles y de exploración de las islas y costas americanas.

El último viaje de La Niña del que tenemos noticia fue una expedición a La Española, después de que el navío fuese reparado y calafateado en Palos, con un coste de 35.000 maravedíes. Apenas 35 días después de su partida, La Niña arriba a la actual Haití en uno de los viajes trasatlánticos más rápidos de la historia.

A partir de ese momento no tenemos noticias fiables de la suerte de La Niña, aunque una mención a una carabela Santa Clara, gobernada por Alonso Prieto en 1508, nos lleva a pensar que la carabela muguereña, una de las naves más famosas de la historia, navegaría todavía unos años más entre el viejo y el nuevo continente.

### 3. Caracterización del buque

#### 3.1 Plano de formas

##### 3.1.1 Definición

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. (Figura 2)

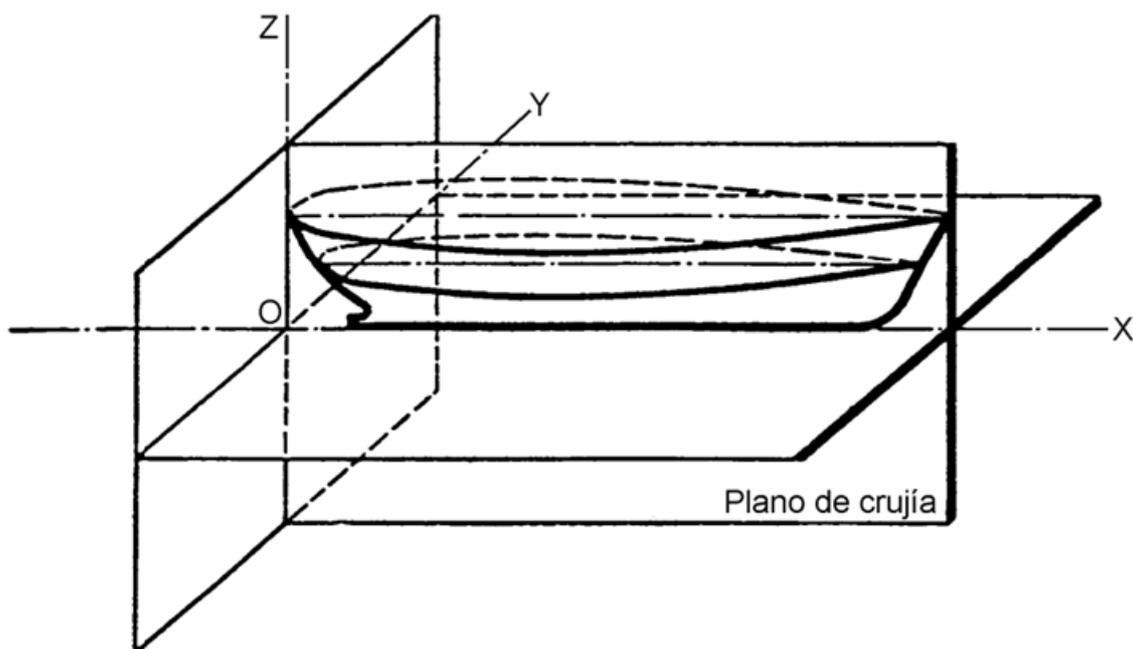


FIGURA 2

##### 3.1.1.1 Definiciones básicas:

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 o sentido longitudinal.

Eje OY: el de dirección Estribor-Babor o sentido transversal.

Eje OZ: el de dirección Quilla-Cubierta o 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.

### **3.1.2 Curvas características del buque**

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. Para ello se representa el 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. (figura 3)

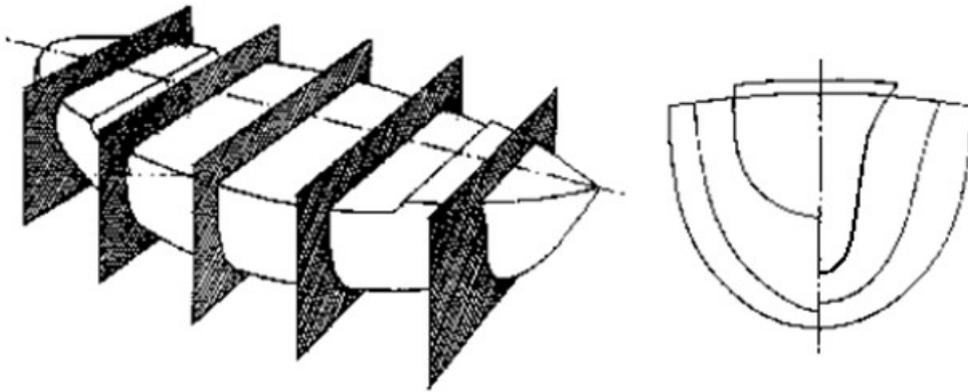


FIGURA 3

- Proyección en un plano horizontal, conteniendo a los ejes OX y OY.  
 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. (figura 4)

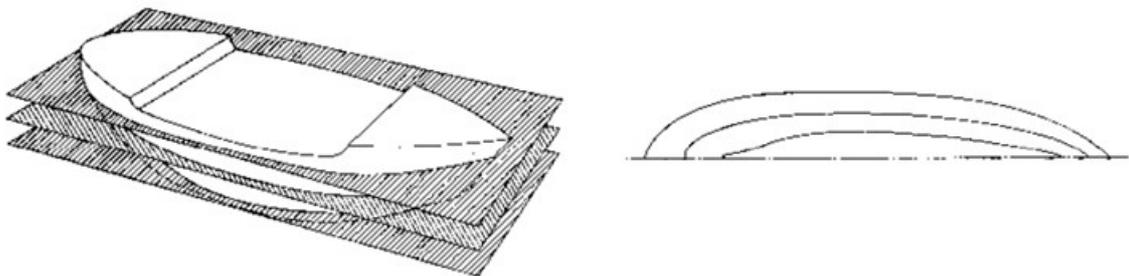


FIGURA 4

- Proyección en un plano longitudinal, conteniendo a los ejes OX y OZ.  
 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 buques de madera 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. Por esta razón el trazado se realiza fuera de forros, es decir las líneas de trazado tienen en cuenta el espesor del forro exterior.

### 3.1.3 Plano de disposición general

Se adjunta plano de disposición general, el plano que representa la vista superior de la cubierta principal, la cubierta tilla y tolda. (Anexo 1)

### 3.1.4 Velamen

Para la representación de las velas y arboladura, se adjunta el plano del velamen. En él se puede apreciar las dimensiones del velamen utilizado en el viaje al descubrimiento. (Anexo 2)

### 3.1.5 Disposición bajo cubierta

Se adjunta el plano de disposición bajo cubierta, donde se representa la vista superior del interior del buque, donde se pueden apreciar la localización de los diferentes tanques, arcones y lechos. (Anexo 3)

## 3.2 Reproducción de “La Niña” en CAD

Para la creación en 3D de la carabela empleamos el programa de diseño Rhinoceros.

En primer lugar, se copia el plano de curvas características facilitado en bitmap. Para proceder con el calcado de las formas del buque, empezamos insertando en Rhinoceros los Bitmaps de fondo. A continuación, creamos curvas mediante las diferentes herramientas copiando las líneas de agua (azul), cuadernas (rojo) y longitudinales (verde). (Figura5 )

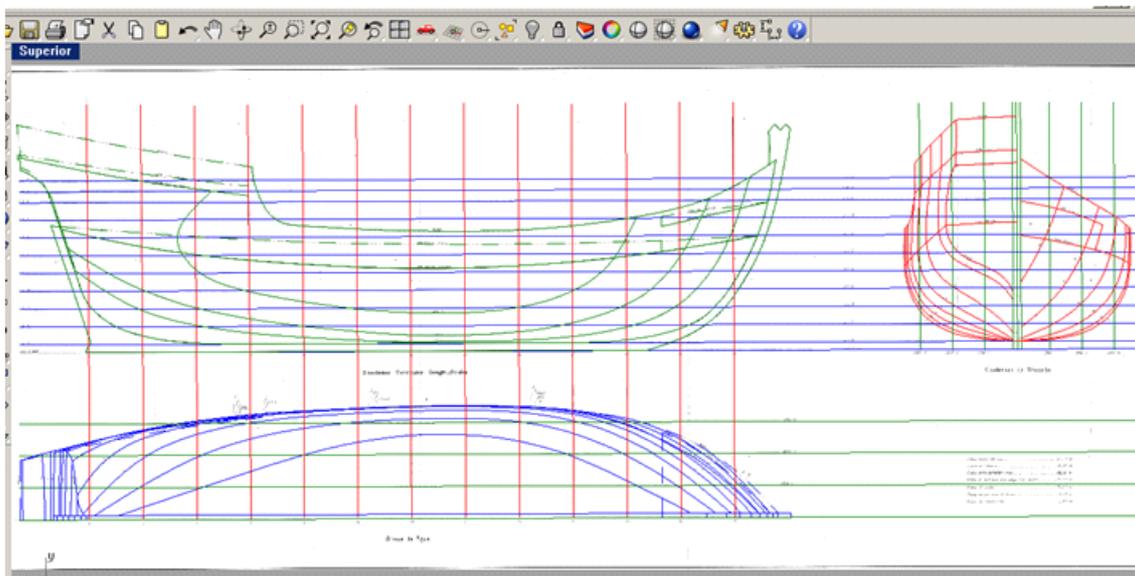


FIGURA 5

Una vez calcadas, procedemos a escalar las curvas copiadas para que tengan las medidas originales de la carabela. En mi caso utilizo el valor de la eslora entre perpendiculares para hacerlas corresponder.

Eslora máxima	21,40 m
Eslora en cubierta	19,35 m
Eslora entre perpendiculares	18,00 m
Eslora en la flotación máx. carga	19,30 m
Eslora de quilla	15,55 m
Manga máxima fuera forros	6,28 m
Puntal de construcción	2,00 m

Ahora que las medidas son reales, procedemos a girar las curvas a los diferentes planos dependiendo de las vistas que tomemos (Figura6 )

- Cuadernas: Perfil (vista derecha)
- Lineas de agua: Planta (vista superior)
- Longitudinales: Alzado (vista frontal)

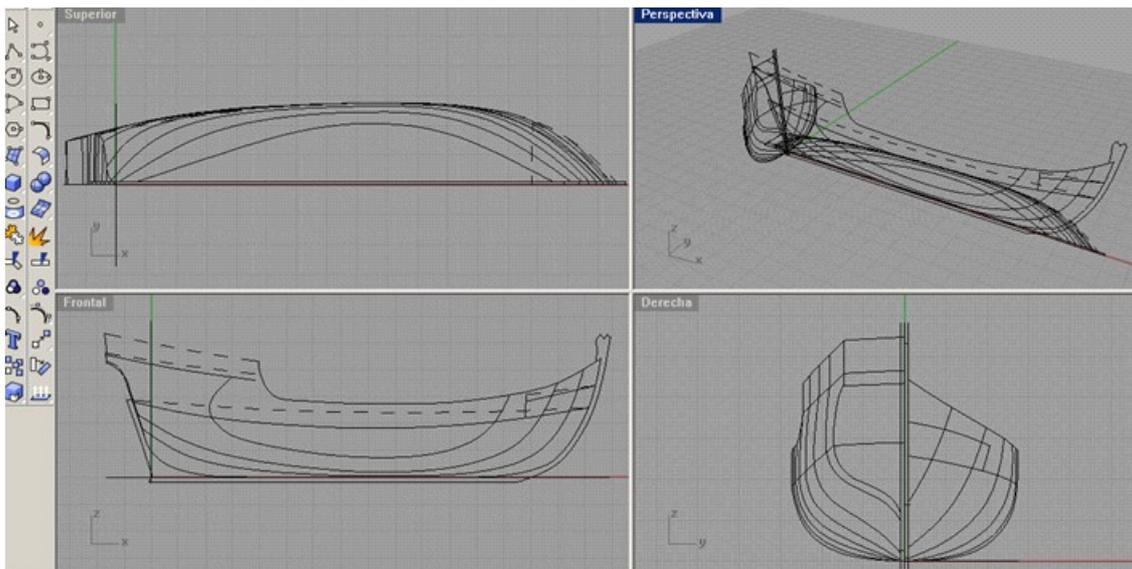


FIGURA 6

Teniendo las curvas en sus correspondientes planos, se proyectan las curvas principales como la regala, la cubierta principal, la cubierta de tilla, la cubierta de tolda y el espejo de nuestra carabela. (Figura 7 )

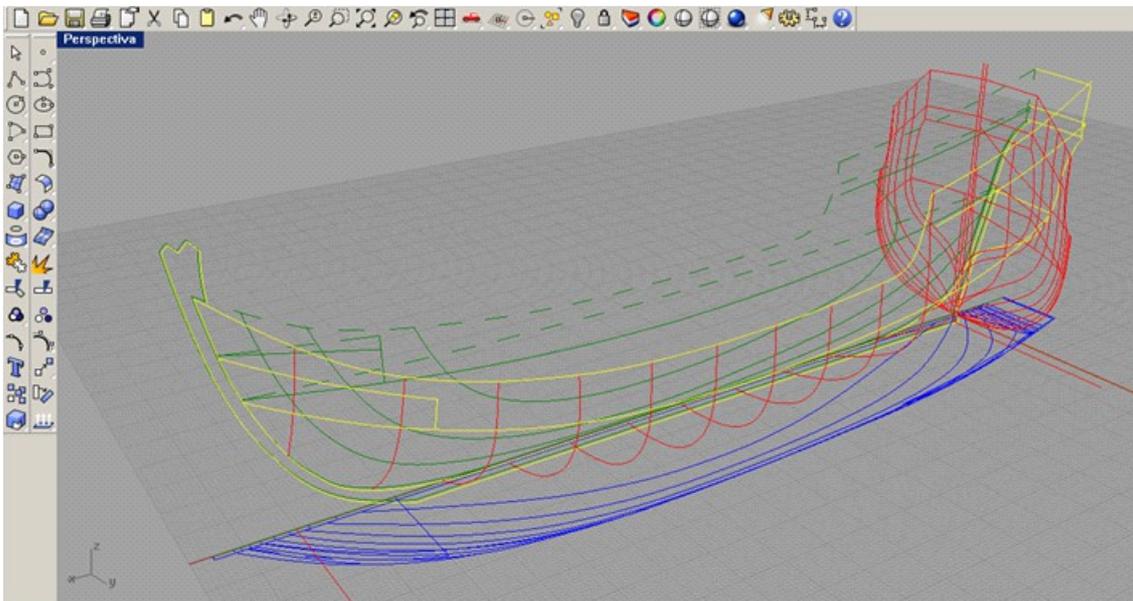


FIGURA 7

Por último, creamos las superficies del barco, mediante las herramientas de superficie del programa, partiendo de las líneas proyectas y las líneas transversales. (Figura 8)

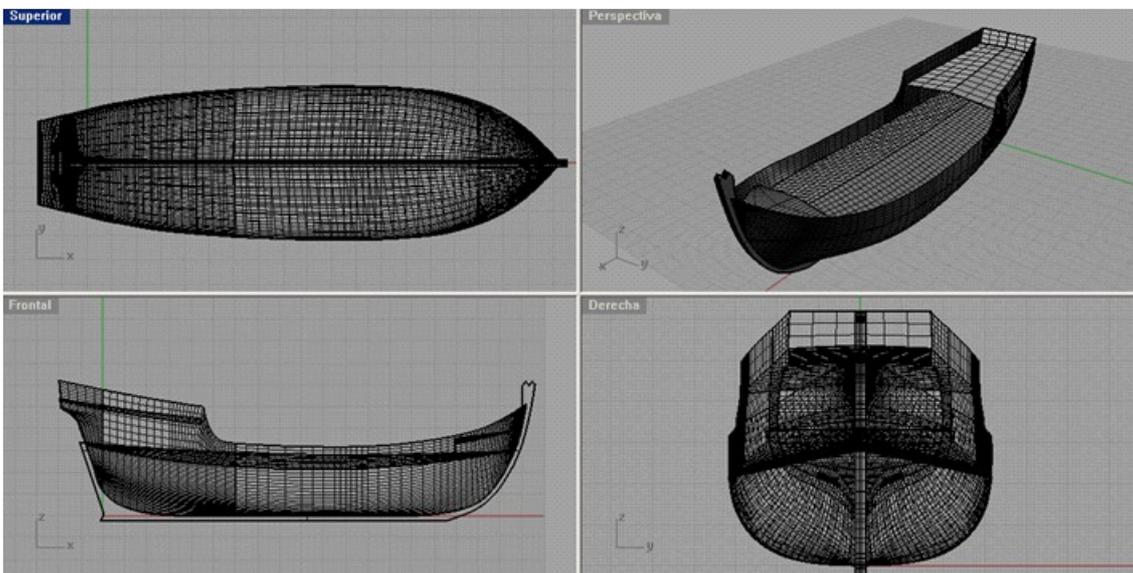


FIGURA 8

Procederemos ahora con el alisado de las formas del buque. Este paso es importantísimo, ya que con ello conseguiremos que el casco no tenga bultos, y lo construyamos de la forma mas lisa posible. Para ello es importante mencionar que cuantos menos puntos de control tenga la superficie a alisar, mas fácil será el alisado del mismo. Para conseguir esto, Rhinoceros posee diferentes herramientas. Un ejemplo de ellas puede ser la opción de “Reconstruir Superficie”, donde nos aparecerá la siguiente tabla: (FIGURA 9-10)

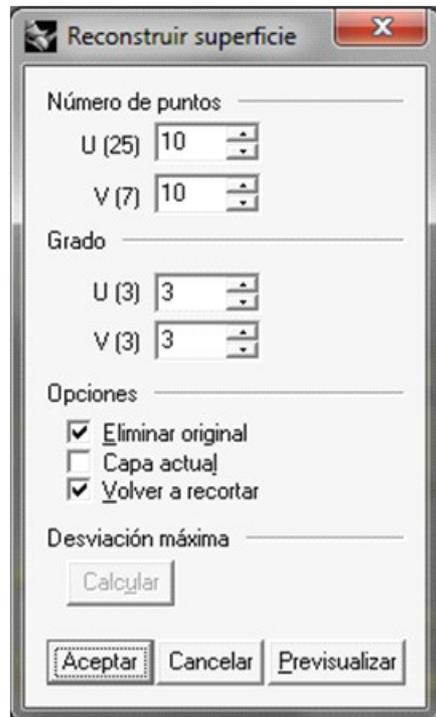


FIGURA 9

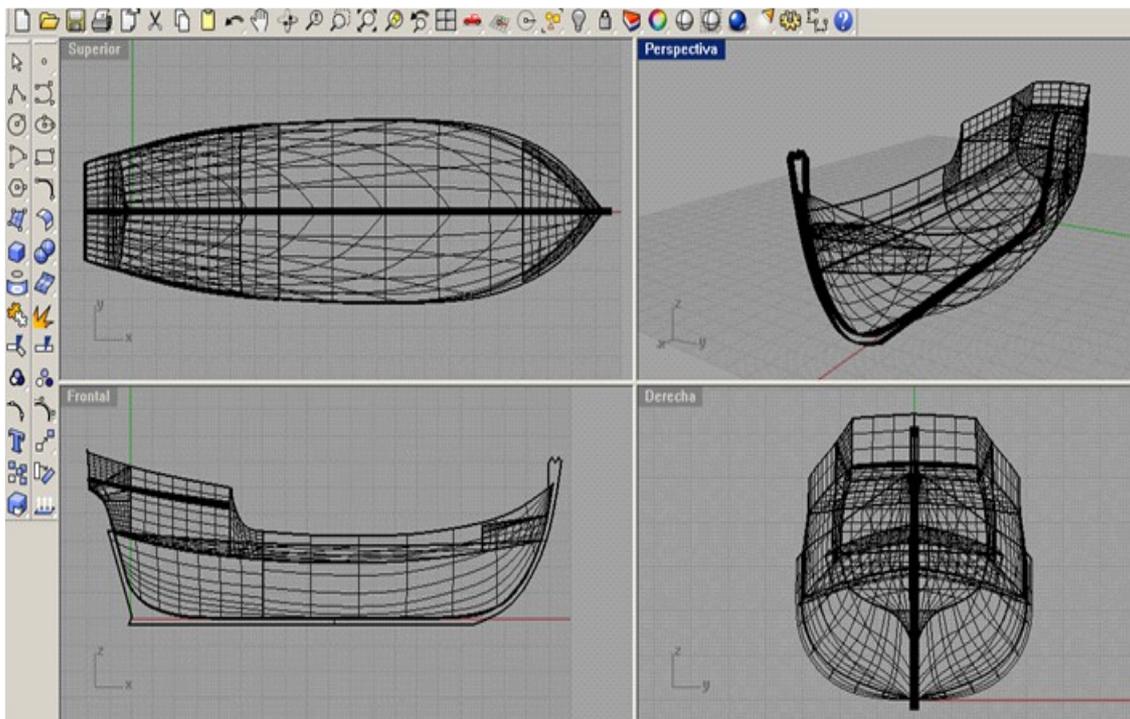


FIGURA 10

A través del análisis de curvatura de superficie de Rhinoceros, podemos comprobar el alisado de nuestro casco. En mi caso, he hecho un estudio de la superficie

con el valor absoluto de la curvatura media que muestra las áreas de cambio brusco en la curvatura de la superficie. (Figura 11)

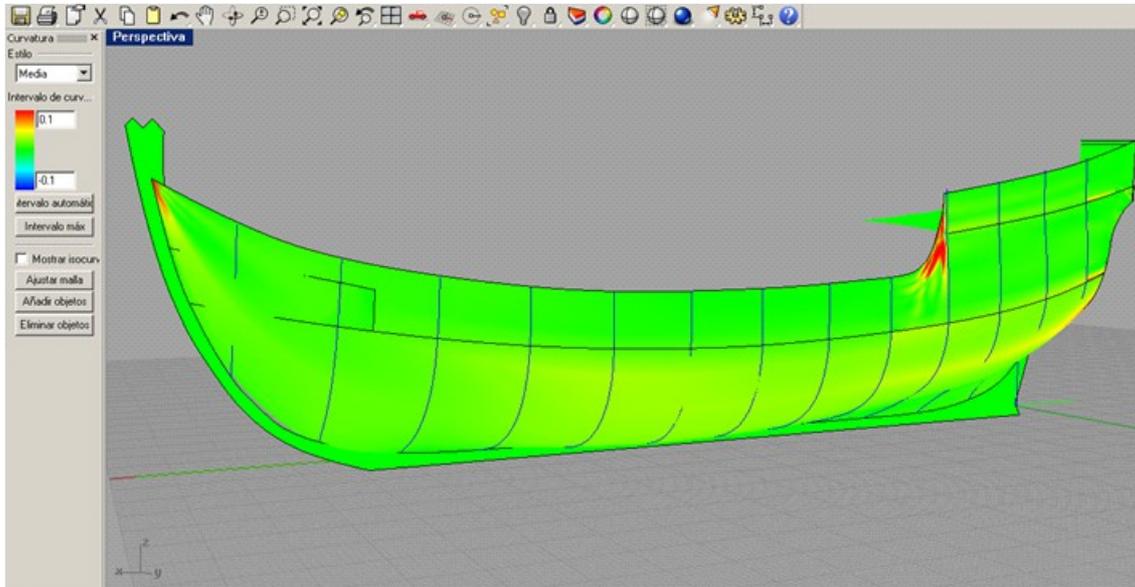


FIGURA 11

### 3.3 Cartilla de trazado

#### 3.3.1 Definición

La cartilla de trazado se define como el conjunto de valores numéricos, ordenados, que representan las dimensiones necesarias para definir las formas del barco.

En la cartilla de trazado se deben mostrar las dimensiones principales del buque, indicando la eslora, manga, puntal, calado de proyecto, las características de trazado, como la separación entre líneas de agua, entre cuadernas trazado, entre longitudinales, y si tiene asiento, su valor.

-El forro se define por medio de las semimangas, distancias de los puntos del mismo al plano diametral, obteniendo estos puntos por el cruce de dos series de líneas, por ejemplo las líneas de agua y secciones o secciones transversales y longitudinales. Se debe indicar si las distancias son fuera miembros o fuera forros.

-Se debe indicar si las medidas son fuera forros o miembros.

- Los perfiles de proa y popa se definen por puntos, dando su altura y posición longitudinal o mediante croquis acotados.

- La línea de quilla en el caso de no coincidir con la línea base, se define igual que los perfiles de proa o popa.

-Los codillos, intersecciones de las cubiertas con el costado, en general las vagras de doble curvatura, se definen por las semimangas y alturas de sus puntos obtenidos como intersección de con los planos de las cuadernas.

-Se pueden definir las alturas de los puntos de intersección de los longitudinales con las cuadernas.

-Se pueden definir las brascas de las cubiertas.

### 3.1.2 Elaboración de la Cartilla de Trazado

Para obtener esta cartilla utilizaremos el programa Maxsurf, introduciendo la superficie del casco del buque en dicho programa. Exportaríamos dicha superficie, procedente de Rhinoceros, en formato .IGS. Para hacer esto, seleccionaremos la superficie, en la pestaña “archivo”, opción exportar, seleccionando el formato que buscamos, .IGS.

El segundo paso consistiría en abrir Maxsurf, seleccionamos nuevo diseño, e importamos dicho archivo .IGS procedente de Rhinoceros. Ya tendremos la superficie requerida del casco en Maxsurf. Pasos a seguir para conseguir la cartilla de trazado y poder trabajar adecuadamente en Maxsurf.

1-Preparación de la superficie posicionando las superficies de Proa y Popa, Línea de flotación y Línea base. Estos datos se introducirán en la pestaña de “Frame of Reference” del menú Data, apareciendo el siguiente cuadro e introduciendo los datos de distancia de perpendiculares y calado de proyecto.(Figura 12).

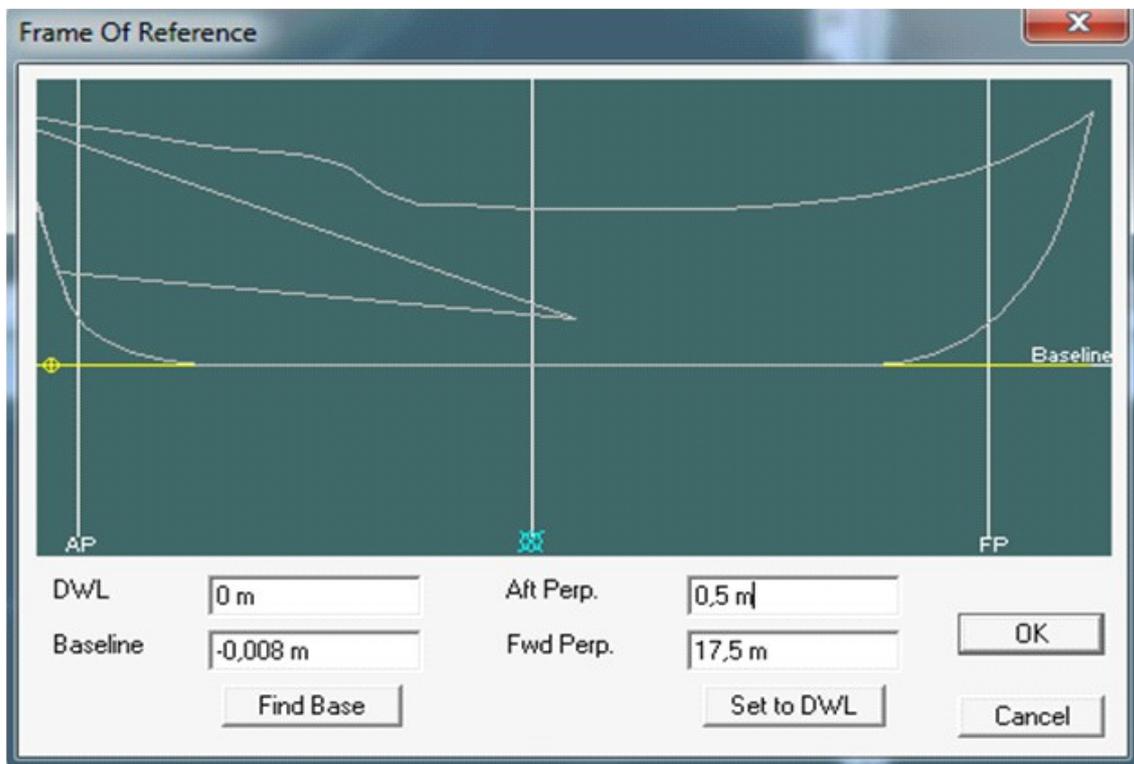
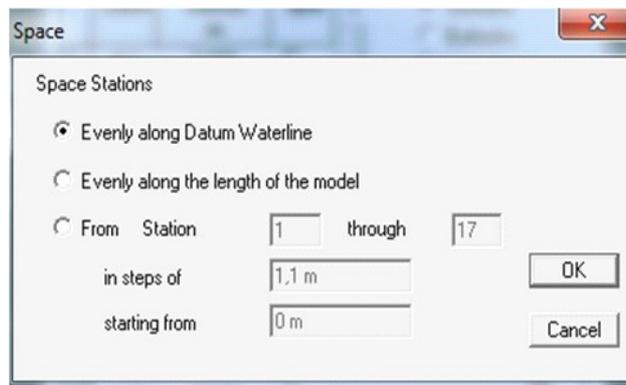
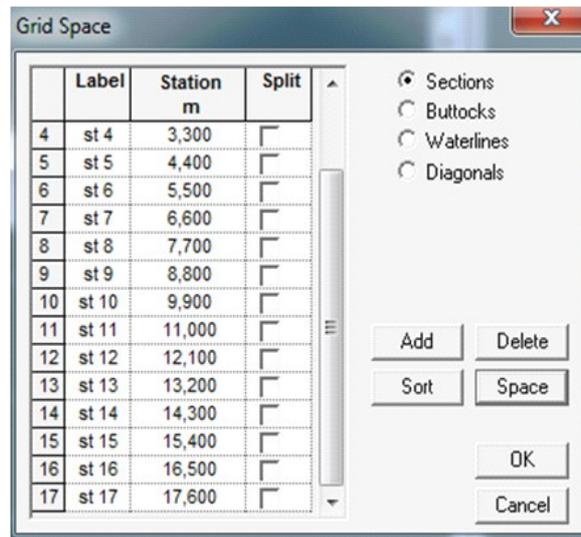
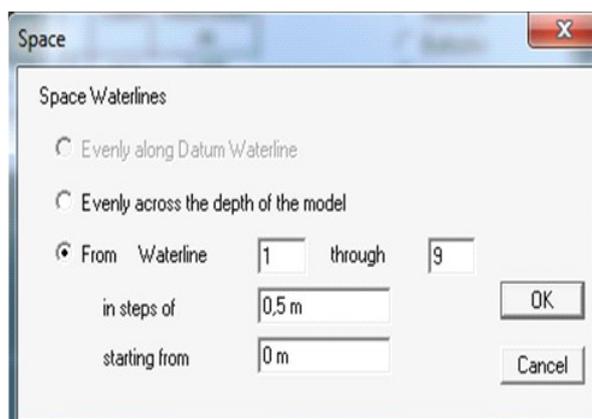


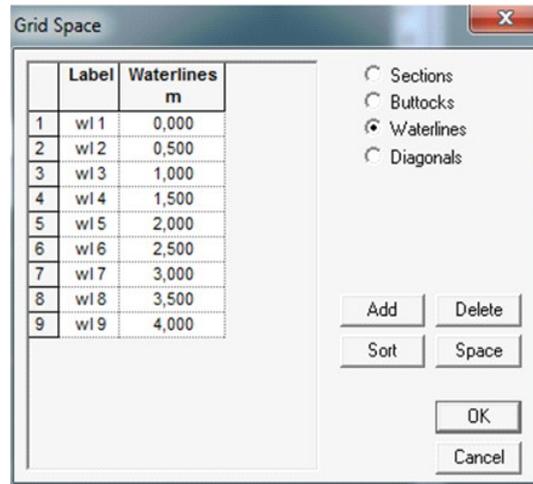
FIGURA 12

Para poder producir la Cartilla de Trazado, necesitaremos la introducción de una serie de parámetros en el programa, como son el espaciado entre Cuadernas y de Líneas de agua. Para ello, procedemos a darle a la opción de “GridSpacing” en el menú Data, apareciéndonos el siguiente cuadro:



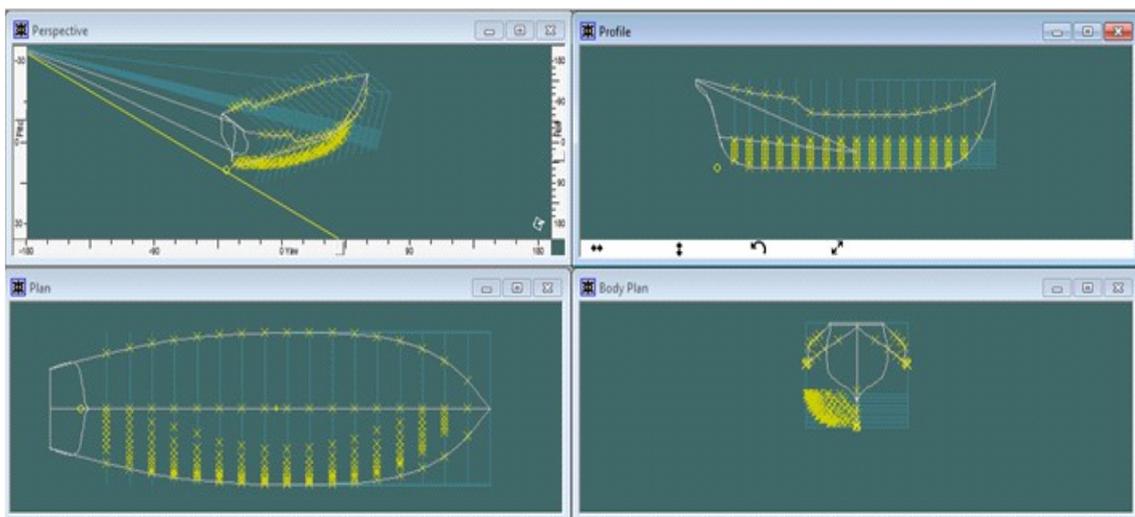
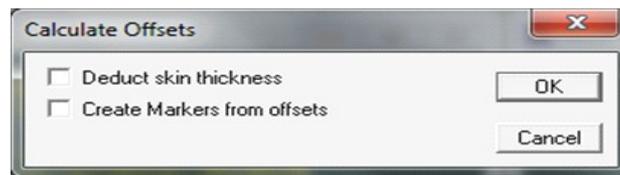
Para las “Sections” (cuadernas) hemos dado un espaciado entre ellas de 1,1 m, y para las Líneas de agua 0,5m.





Para las “waterlines” (Líneas de agua), una separación de 0,5 m.

Una vez dado los espaciados correspondientes a ambos datos, procederemos al cálculo de la Cartilla de Trazado. Para ello se utiliza la opción de menú Data y “Calculateoffsets”, saliendo la siguiente pestaña para la marcación de las intersecciones.



Presionamos OK y el programa empieza con el análisis de la Cartilla, consiguiendo los siguientes resultados.

Se comprueban las intersecciones, y vemos que solo salen de la cuaderna 16. Para ello nos vamos a “Data” y “Goto offset” seleccionando una a una las 17 cuadernas que habíamos puesto anteriormente, comprobando resultados.

Creamos un libro excel (Tabla 1) para crear la tabla y con ella la cartilla de trazado, quedando como resultado el siguiente:

Cartilla de trazado															
	C-2	C-3	C-4	C-5	C-6	C-7	C-8	C-9	C-10	C-11	C-12	C-13	C-14	C-15	C-16
DWL	---	---	---	0,027	---	---	0,013	0,041	0,12	0,046	0,013	0,009	0,007	0,005	0,008
w1	0,985	1,754	2,294	2,64	2,64	2,64	2,921	2,963	2,973	2,954	2,91	2,855	2,748	2,631	2,491
w2	0,853	1,638	2,204	2,562	2,562	2,562	2,863	2,91	2,922	2,904	2,858	2,8	2,69	2,559	2,403
w3	0,704	1,503	2,094	2,469	2,469	2,469	2,788	2,839	2,855	2,838	2,791	2,731	2,616	2,46	2,284
w4	0,536	1,345	1,957	2,354	2,354	2,354	2,695	2,75	2,769	2,755	2,707	2,646	2,515	2,33	2,125
w5	0,347	1,164	1,785	2,207	2,207	2,207	2,576	2,638	2,661	2,649	2,599	2,534	2,379	2,158	1,92
w6	0,132	0,959	1,568	2,015	2,015	2,015	2,42	2,49	2,519	2,508	2,454	2,382	2,192	1,937	1,677
w7		0,721	1,305	1,754	1,754	1,754	2,208	2,291	2,328	2,316	2,251	2,168	1,93	1,664	1,385
w8		0,448	0,978	1,406	1,406	1,406	1,898	2,005	2,053	2,039	1,949	1,843	1,579	1,3	1,013
w9		0,134	0,555	0,882	0,882	0,882	1,43	1,569	1,635	1,613	1,485	1,346	1,028	0,76	0,555

## 4. Cálculos justificativos

### 4.1 Determinación del Arqueo

#### 4.1.1 Definición

El arqueo es un indicador del tamaño del buque por el volumen que puede almacenar en su interior.

Para determinar el arqueo de mi embarcación voy a trabajar según dos métodos. El primero, de acuerdo a las nociones geométricas que se utilizaban a mediados del siglo XVI y el segundo método se basará en la fórmula de Cristóbal de Barros (1570).

Antes de meternos de lleno en ese tema, es necesario conocer la relación que hay entre las medidas del siglo XVI con respecto al sistema métrico decimal que es el utilizado actualmente, para conocer las dimensiones de la embarcación.

Las medidas utilizadas en la época eran:

- 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: también llamado codo real, era la unidad que más se utilizaba en la práctica del trazado y construcción de naves y la que utilizaré en mis cálculos para la obtención de los valores.

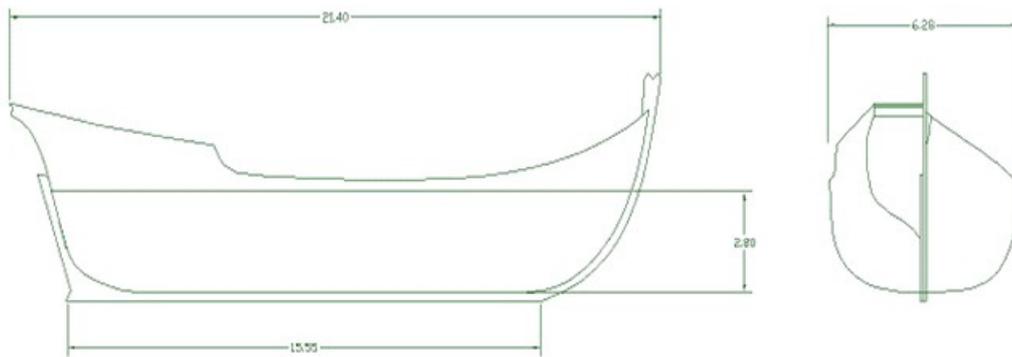
Es necesario añadir que, para determinar el valor del codo, deberé fijarme en la fecha, ya que el valor de éste cambió con los años, pasando de 0,5573 hasta el año 1590, a 0,5747 desde ese año en adelante. Puesto que los dos métodos que voy a utilizar son anteriores a 1590, la relación establecida en mi caso será de 0,5573 metros por codo.

#### 4.1.2 Cálculo

##### 4.1.2.1 Método Geométrico

De acuerdo a lo que he estudiado, las medidas más importantes de los buques, que serán relevantes en mi trabajo, eran la eslora, manga máxima, puntal y quilla.

He de puntualizar que en esta época ya se utilizaban los métodos geométricos. Uno de los más sencillos es el consistente en la multiplicación del área de la sección media por su longitud media, en el que se actúa tomando como área de la sección media, la manga por el puntal; y como longitud, la eslora de la primera cubierta o la semisuma de la quilla y la eslora.



De esta forma se obtendría el volumen del buque según la siguiente fórmula:

$$V = [M \cdot H \cdot (Q + E)] / 4$$

Es necesario tener en cuenta que las embarcaciones se medían en codos, y de acuerdo con la fórmula anterior, el resultado de la operación me daría en codos cúbicos. Esto quiere decir que tengo que modificarlo y dividir por ocho, quedándose la fórmula definitiva de la siguiente manera:

$$V = [M \cdot H \cdot (Q + E)] / 32$$

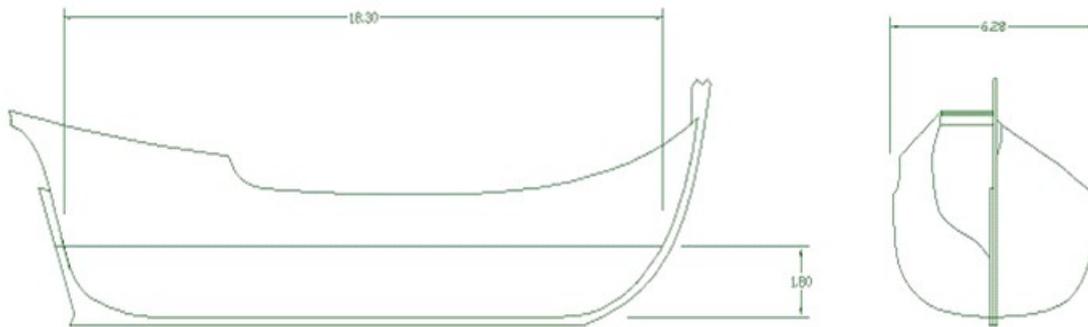
Sustituyendo los valores en la ecuación el arqueo de la Niña por el método geométrico da un valor de 117,30 toneladas de ocho codos.

#### ***4.1.2.2 Fórmula del arqueo de Cristóbal de Barros***

Según Cristóbal Barros, a la hora de determinar el arqueo, la primera fase consistía en tomar las medidas de la manga, por donde más ancho fuera el buque, y el altor donde se produce este ancho.

Una vez tomados ambos datos, se pasaría a calcular la ecuación que resolvería el número de toneles para el buque:

$$\text{Toneles} = (M/2) \cdot ((M/4) + (H/2)) \cdot (E/8)$$



En este caso las medidas tomadas son M la manga máxima del buque, H el puntal y E la eslora a la altura de dicho puntal.

Al sustituir en la fórmula obtenemos un arqueo de 116,85 toneladas de ocho codos.

#### **4.1.2.3 Conclusión**

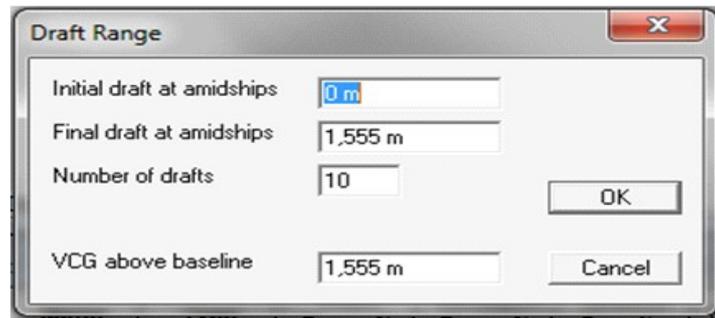
El arqueo resultante por ambos métodos se difiere en muy poco ya que los cálculos son relativamente similares.

La tendencia alrededor del último tercio del siglo XVI era a 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 Curvas hidrostáticas**

Para calcular las curvas hidrotáticas utilizaremos el programa Hydromax, en el cual deberemos abrir la superficie creada anteriormente en el apartado 3.1 e introducir las secciones deseadas.

Para comenzar con el análisis, tenemos que desplazarnos a la pestaña “Analysis”, seleccionando la opción “DraftRange”, en el cual hay que insertar los datos del Calado y el número de cortes para analizar las hidrostáticas.



Este estudio lo realizamos con el barco en aguas tranquilas, seleccionándolo en la pestaña Waveform.

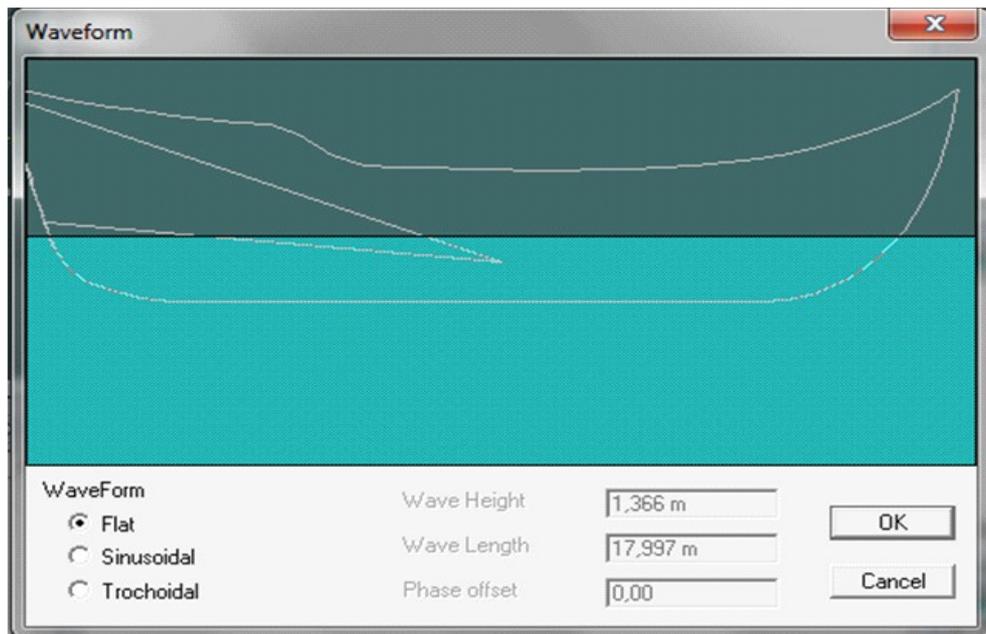
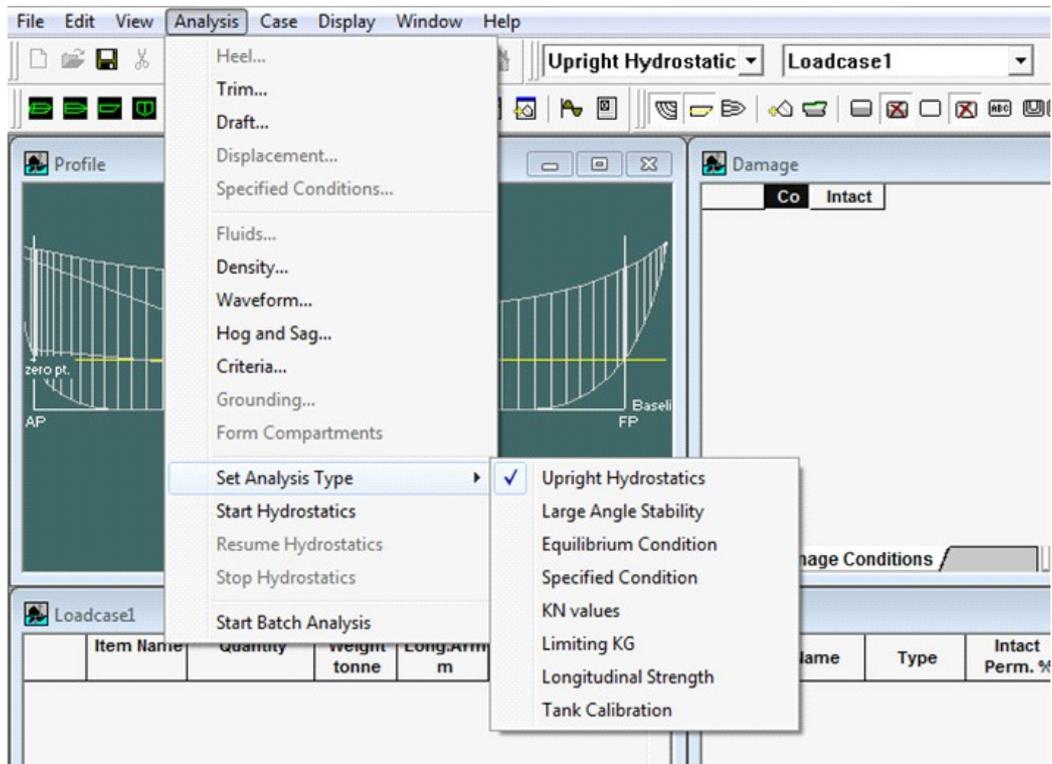
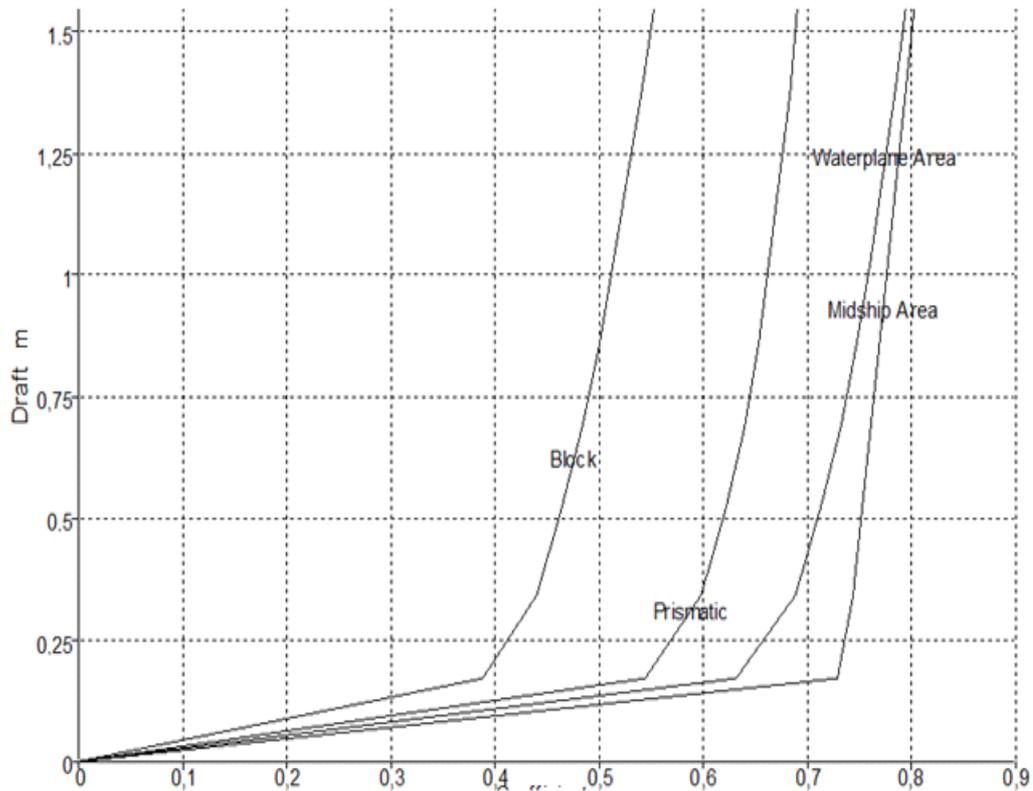
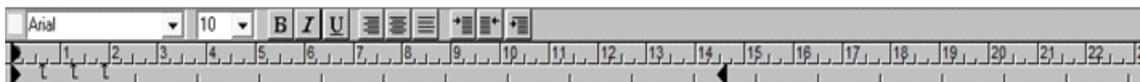


FIGURA 13

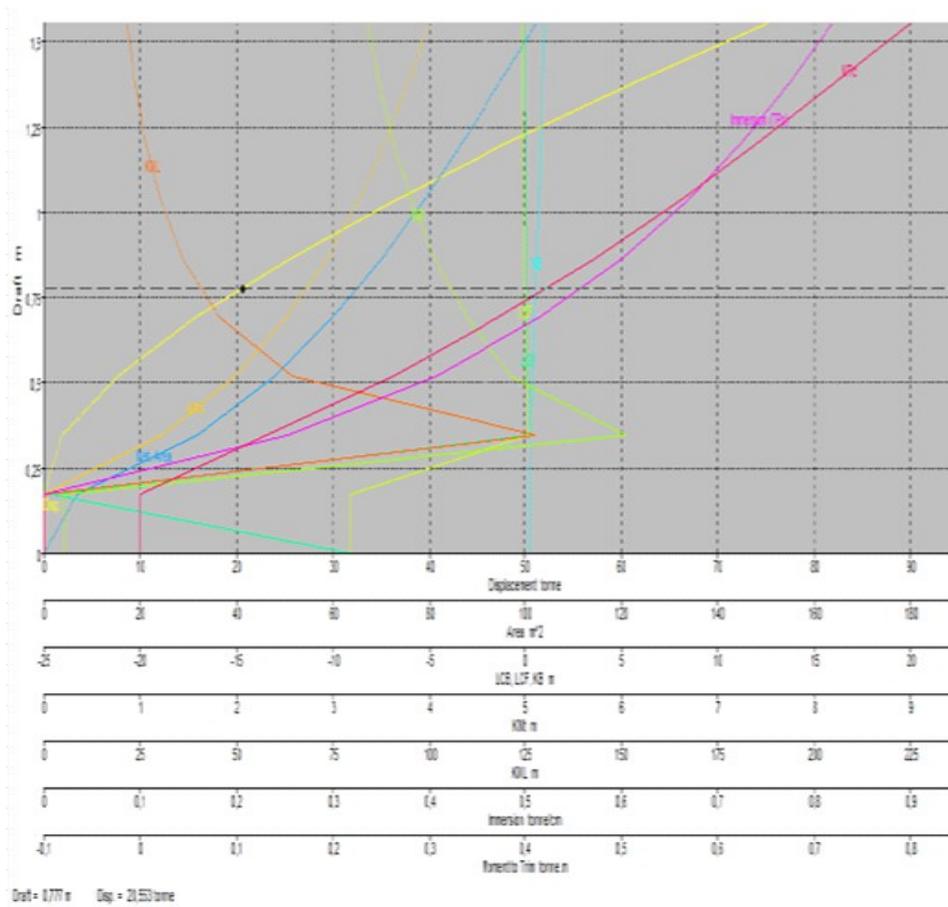
Ya tenemos todo preparado para el cálculo de las hidrostáticas por lo que procedemos al análisis de éstas. Pulsaremos sobre la opción “uprighthydrostatics” y “StartHydrostatics”.



A continuación, con el análisis, se producen los resultados de forma gráfica, obteniendo valores de coeficientes.



Calados	0	0,161	0,322	0,483	0,644	0,805	0,966	1,127	1,288	1,449
Displacement tonne	0	0	1,72	7,5	15,72	53,776	35,54	46,674	60,953	73,65
Draft at FP m	0	0,161	0,311	0,505	0,691	0,813	1,011	1,187	1,37	1,521
Draft at AP m	0	0,161	0,311	0,505	0,691	0,813	1,011	1,187	1,37	1,521
Draft at LCF m	0	0,161	0,311	0,505	0,691	0,813	1,011	1,187	1,37	1,521
WL Length m	0	0	14,525	15,896	16,752	15,78	17,21	16,234	17,142	17,988
WL Beam m	0	0	2,54	3,97	4,44	4,21	4,987	5,214	5,5	5,654
Wetted Area m^2	0	6,434	29,792	46,654	59,893	66,786	77,675	82,754	92,744	100,832
Waterpl. Area m^2	0	0	22,526	37,761	50,29	55,675	64,543	68,749	73,677	77,765
Prismatic Coeff.	0	3,45275E+15	0,397	0,576	0,589	0,597	0,618	0,503	0,612	0,55
Block Coeff.	0	0	0,111	0,252	0,298	0,297	0,287	0,398	0,386	0,433
Midship Area Coeff.	0	0	0,23	0,432	0,509	0,503	0,586	0,599	0,69	0,618
Waterpl. Area Coeff.	0	0	0,489	0,653	0,676	0,61	0,712	0,732	0,794	0,729
LCB from Amidsh. (+ve fwd) m	-9,105	-25,678	0,221	0,15	0,119	0,054	0,053	0,029	0,0078	-0,011
LCF from Amidsh. (+ve fwd) m	-9,105	-8,968	0,185	0,121	0,046	0,004	-0,021	-0,043	-0,087	-0,108
KB m	0,225	0,197	0,29	0,43	0,508	0,583	0,701	0,84	0,886	0,947
BMT m	0	0	5,659	4,121	3,874	3,213	2,86	2,754	2,54	2,124
BML m	0	0	124,528	61,564	44,926	31,455	27,456	24,567	21,634	18,729
GMt m	0,225	0,195	5,784	4,753	4,383	3,864	3,754	3,545	3,397	3,225
GML m	0,225	0,195	124,424	60,345	45,434	35,456	29,584	25,889	22,765	20,765
KMt m	0,225	0,195	6,121	4,765	4,383	3,907	3,707	3,545	3,397	3,225
KML m	0,225	0,195	124,424	60,345	45,434	35,456	29,584	25,889	22,765	20,765
Immersion (TPc) tonne/cm	0	0	0,273	0,423	0,516	0,43	0,563	0,75	0,68	0,796
MTc tonne.m	0	0	0,143	0,292	0,391	0,27	0,573	0,611	0,758	0,844
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	0	0	0,189	0,619	1,202	1,65	2,3	2,97	3,657	4,213
Totm angle (+ve by stern) deg	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0



### 4.3 Estudio previo de la estabilidad

Un paso previo al estudio de la estabilidad es el cálculo de las curvas hidrostáticas de la embarcación, datos que serán imprescindibles en procesos posteriores de mi proyecto.

En primer lugar, me dispongo a llevar a cabo el cálculo del peso en rosca de mi nave y para ello me planteo organizar una experiencia de estabilidad mediante la que voy a conocer con cierta exactitud la posición del c.d.g del buque (KG) y el GM para un desplazamiento, sabiendo el valor del KM (por las curvas hidrostáticas), así como los pesos empleados en la experiencia de estabilidad. Por último, efectuaré el cálculo de la estabilidad del buque en cuatro situaciones diferentes.

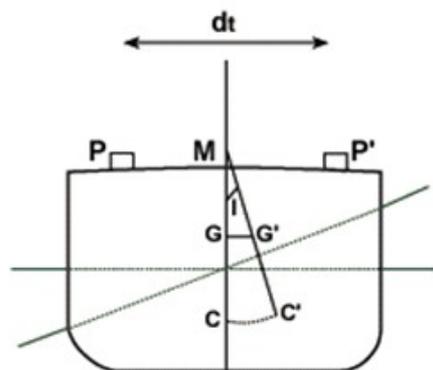
### 4.3.1- Cálculo del peso en rosca

Buscando determinar el peso en rosca de la embarcación realizaré una experiencia de estabilidad que sólo es válida cuando el ángulo de escora de la embarcación es muy pequeño, ya que tomaré el metacentro como un punto fijo.

En esta experiencia lo que pretendo calcular es el GM de la embarcación para un desplazamiento del calado medio conocido (medido en el buque), entrando en las curvas hidrostáticas que he obtenido anteriormente.

Una vez conocidos los datos del barco para el desplazamiento de las hidrostáticas, recalcaré esos parámetros, obteniendo así el peso en rosca del buque y su centro de gravedad, restándole posteriormente los pesos utilizados en la experiencia de estabilidad.

Para el cálculo del GM utilizaré unos pesos conocidos, así como la distancia en que serán movidos hacia los costados, y de esta manera, mediante un péndulo, obtendré la escora del buque en dicho momento.

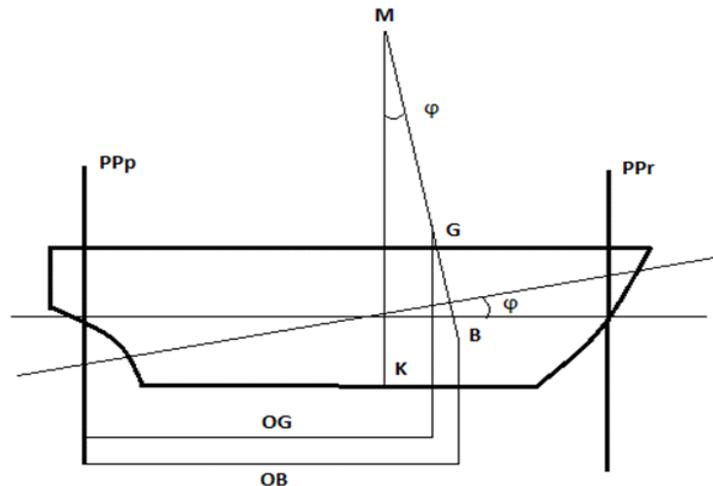


Observando la imagen es obvio que para el cálculo de GM con los datos conocidos, la fórmula resultaría de la siguiente manera:

$$Gmt = (P \cdot d) / \text{Atg } \Theta$$

Donde el ángulo  $\Theta$  será obtenido a través de las medidas realizadas con el péndulo; y con el valor de GM, así como los valores del centro de carena del buque que

he calculado en las curvas hidrostáticas, puedo proceder al cálculo de la ordenada y abscisa del centro de gravedad del buque para la experiencia de la siguiente manera:



Desde donde llego a la conclusión de que la posición vertical del centro de gravedad del buque en la experiencia que sería:

$$KG = KB + BG \cdot \cos \phi = KB + (BM - GM) \cdot \cos \phi$$

El BM se conseguirá por cálculo directo, puesto que es el radio metacéntrico transversal de la nueva flotación. GM es la altura metacéntrica transversal en el momento de la experiencia sin escora (obtenida directamente por el traslado de pesos).

La posición longitudinal del buque en la experiencia es:

$$G = B - BG \cdot \sin \phi = B - (BM - GM) \cdot \sin \phi$$

La posición vertical del centro de carena KB en la experiencia se calcula mediante:

$$KB = KB + 0.5 \cdot BM \cdot (\tan \phi)$$

La altura metacéntrica transversal KM en el momento de la experiencia:

$$KM = KB + BM \cdot \cos \phi$$

Y una vez superado este primer escollo y obtenido los parámetros correspondientes, calcularé los valores reales del buque en rosca para los datos de mi embarcación. Esos datos, encuentran en el cálculo de estabilidad realizado posteriormente.

#### 4.4 Cálculo estabilidad en diferentes situaciones de carga

En este apartado me voy a centrar en conocer la estabilidad del buque para las situaciones de carga de salida del puerto (100% Consumos) y para la llegada (10% Consumos), también comprobaré el comportamiento en las dos situaciones anteriores en la condición de toda vela, para diferente intensidad de viento.

Para el cálculo de estabilidad tengo que comenzar hallando la curva de GZ (brazos adrizantes de la embarcación) mediante la siguiente fórmula:

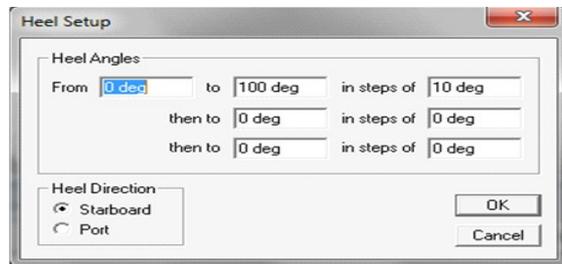
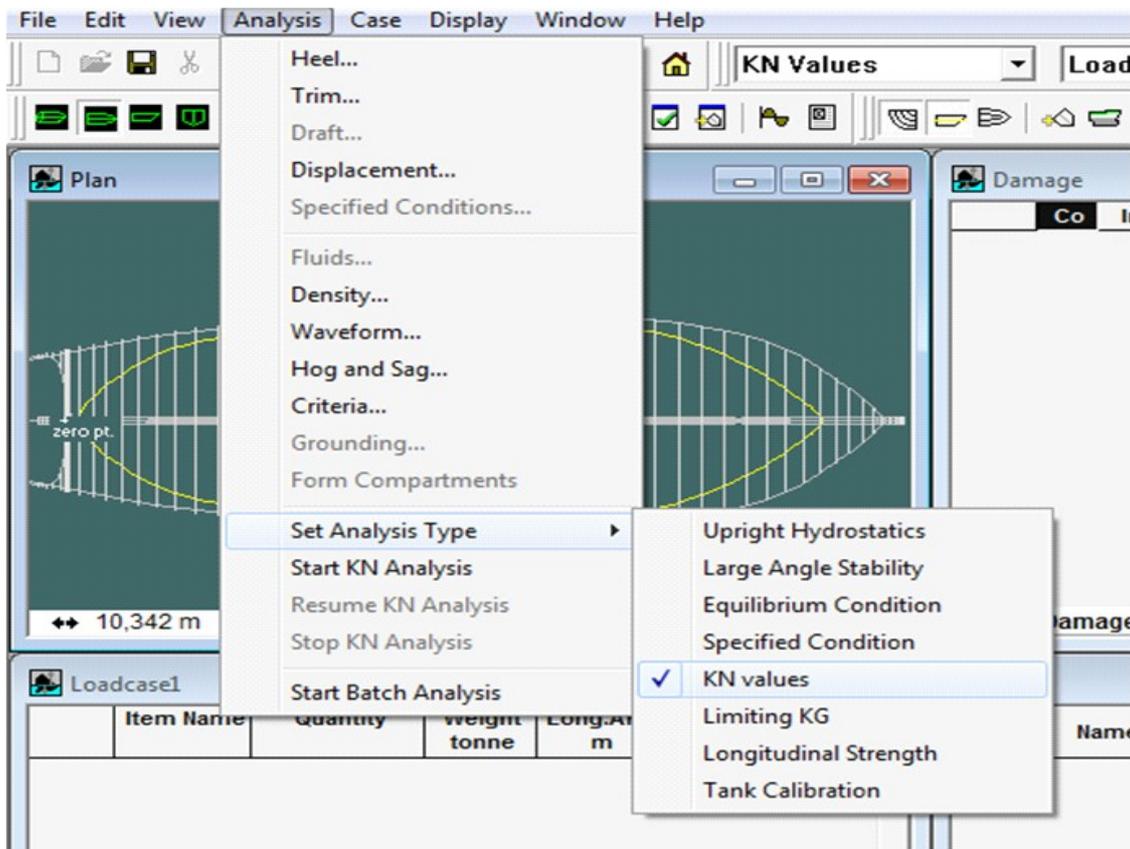
$$GZ=KN-KG*\text{sen } \Theta$$

El valor de KG lo obtengo a partir del “Teorema de los Momentos” aplicado a los pesos embarcados en el buque, conocido su centro de gravedad, así como el del buque en rosca que ya he calculado en el apartado anterior.

Para encontrar los valores de KN voy a contar con la ayuda del programa Hydromax del paquete de Maxsurf.

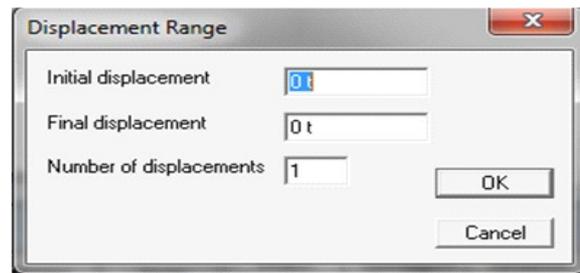
La primera tarea a la que me debo encomendar es la de la introducción de los datos necesarios, algunos de ellos ya introducidos para obtener las hidrostáticas. Un ejemplo de ello son la posición de las perpendiculares de proa y popa, datos pedidos por el programa para este cálculo.

Primero debo seleccionar el tipo de análisis que voy a realizar, en este caso para las KN.

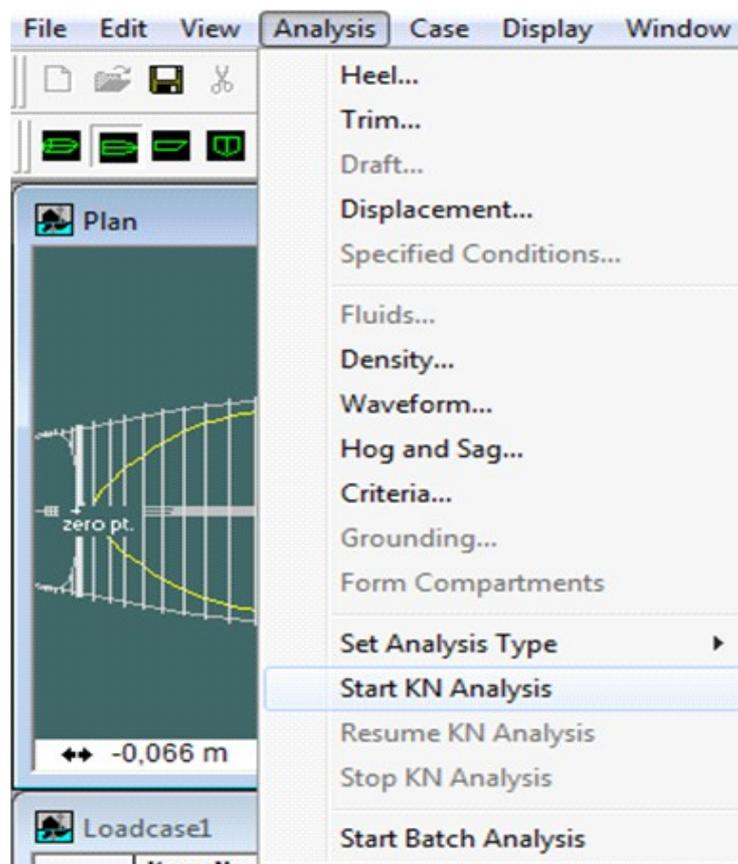


Una vez hecho este trabajo, debo introducir los ángulos para los que quiero obtener el valor de las diferentes KN, para lo que abriré la opción Heel donde encontraré el siguiente cuadro.

Una vez transcritos los ángulos de estudio, abro la opción Displazament e introduzco los desplazamientos a los que se realizará el cálculo, así como el número de éstos que quiero calcular. Toda esta tarea la llevaré a cabo rellenando el siguiente cuadro.



Al no tener que escribir trimado, ya sólo tengo que dar a la opción Start KN analysis y obtendré los resultados en la pestaña de Results.



Una vez dispongo de estos valores, estoy en condiciones de calcular los brazos adrizantes para cada uno de los ángulos de escora y con ello generar la curva de GZ para poder calcular el brazo dinámico del buque a los distintos ángulos, siendo éste el correspondiente al área encerrada bajo la curva de GZ. Para todo este trabajo utilizaré el método de Simpson que programaré en una tabla de Excel.

Terminado este proceso, he conseguido saber la estabilidad en las dos primeras situaciones a estudiar. Consiguientemente me queda obtenerla pero en una nueva situación, con todas las velas desplegadas.

Primero que debo determinar es la fuerza que ejercen las velas sobre el buque.

Esta fuerza viene determinada por la velocidad del viento y la superficie expuesta, en cuyo caso la presión sería igual a:

$$P = \frac{1}{2} * \rho * V^2$$

Donde:

- $\rho$  es la densidad del aire, que se toma 1,25 Kg/m.
- V es la velocidad media del viento.

Al obtener esta presión, multiplicándose por el área resistente de las velas (superficie vélica), puedo obtener el valor de la fuerza aplicada.

Una vez obtenida la fuerza aplicada para cada velocidad de viento, es necesario conocer el centro de aplicación, que lo hallaré mediante el “Teorema de los Momentos” para cada una de las tres velas.

Ahora ya me encuentro en condiciones de calcular el valor del momento escorante, que sería el resultado de la fuerza aplicada sobre el centro vélico del buque, para cada una de las fuerzas obtenidas.

Conocidos los momentos escorantes, puedo pasar a calcular el valor de los brazos escorantes para cada ángulo y velocidad de viento, sabiendo que en el momento en el que éstos se igualen con los brazos adrizantes se producirá un ángulo de escora permanente para esa situación, donde debo comprobar el francobordo producido.

El francobordo es la distancia medida verticalmente en el centro del buque, desde la intersección de la cara superior de la cubierta de francobordo con la superficie exterior del forro, hasta la línea de carga correspondiente.

## 4.5 Resultados

### 4.5.1 Peso en Rosca

A continuación aparecen los datos para mi experiencia de estabilidad.(Tabla 3)

Datos experiencia estabilidad	
Calado sobre la base en las marcas	
Proa	1,245 m
Popa	1,875 m
Pesos abordo ajenos al desplazamiento en rosca	
Peso total	2,45 t
Ordenada sobre la base	2,85 m
Abcisa a PPpp	7,33 m
Pesos de la experiencia	
Peso	2x1000 kg
Ordenada sobre la base	2,65 m
Abcisa a PPpp	8,8 m
Distancia entre pesos	5,5 m
Péndulo	
Longitud	4,48 m
Distancia a PPpp	8,21 m
Desv a estribor	0,134 m
Desv a babor	0,145 m
Periodo de balance	4,11 seg

Basándome en estos datos desarrollaré los cálculos de la experiencia de estabilidad y de ese trabajo obtengo los siguientes valores.(Tabla 4)

Momento escorante (Me): $5,2 \cdot 0,9$	4,68 mt
Desviación media péndulos	0,159 m
Tg ángulo desviación (Tg $\theta$ )	0,03804
Calados sobre las perpendiculares	
Proa	1,245 m
Popa	1,865 m
Calado medio	1,555 m
Asiento de la experiencia	0,62 m
Tangente del ángulo de asiento (Tg $\alpha$ )	0,03444
Coseno del ángulo de asiento (Cos $\alpha$ )	0,99941
Desplazamiento de Hidrostáticas ( $\Delta$ )	75,20 t.
Altura metacéntrica transversal:	
$r-a=Me/\Delta \cdot Tg \theta$	1,64 m
Corrección por superficies libres	0
Ordenada del centro de carena (KB) (Hidrostát.)	1,02 m
Abcisa del centro de carena (OB) (Hidrostát.)	8,99 m
Radio metacéntrico transversal (r) (KMt-KB)	2,64 m
Ordenada sobre centro transversal sobre la base (KMt)	3,66 m
Ordenada del centro de gravedad basado en la experiencia	
$KG=KB+(r-(r-a)) \cos \alpha$	2,02 m
Abcisa del centro de gravedad basado en la experiencia	
$OG=OB+(KG-KB) \operatorname{tg} \alpha$	9,02 m

Con estos datos obtengo los siguientes valores del buque en rosca: (Tabla 5)

BUQUE EN CONDICION DE ROSCA					
Concepto	Peso	ABSC c.d.g.	Mt	ORD. C.d.g.	Mt
Buque en la experiencia	75,20	9,02	678,30	2,02	151,86
Pesos ajenos	-2,22	7,63	-16,93	2,95	-6,549
<b>Resultados</b>	<b>72,98</b>	<b>9,06</b>	<b>661,37</b>	<b>1,99</b>	<b>145,31</b>

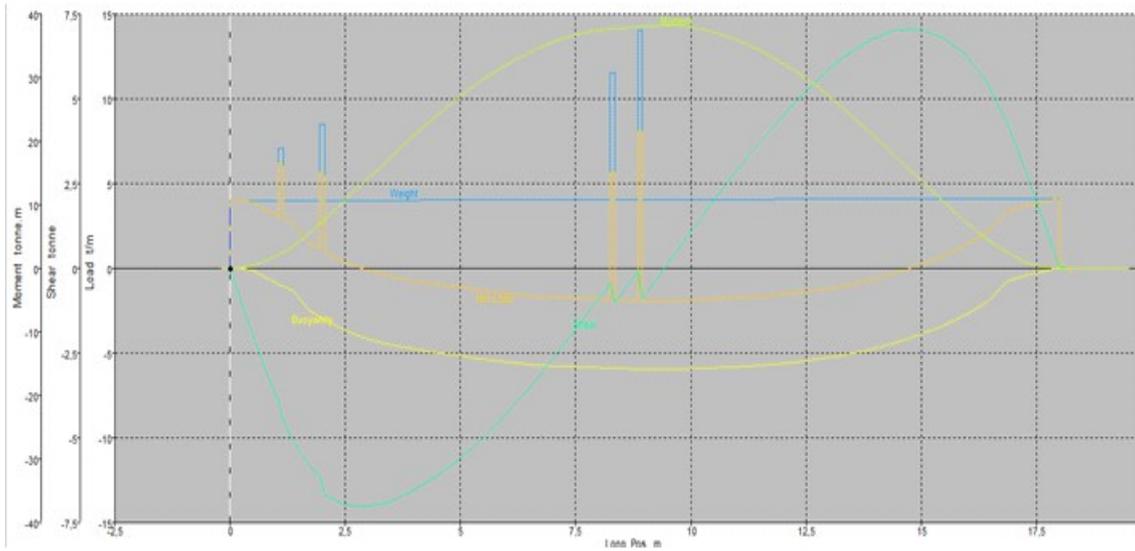
#### 4.5.2 Resultados en las diferentes condiciones de carga

##### Condición de carga (100% Consumos) (Tabla 6)

Designación	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	0,50	8,90	4,95	1,50	0,75
6 Hombres en tolda	0,45	2,00	0,90	6,00	2,70
10 Hombres en cubierta	0,75	8,30	6,23	4,10	3,08
Efectos personales	0,30	8,90	2,67	1,50	0,45
Viveres	0,10	8,90	0,89	1,50	0,15
Agua en cartones	0,10	8,90	0,89	1,10	0,11
Combustible	0,31	1,10	0,34	2,07	0,64
<b>Resultados</b>	<b>75,49</b>	<b>8,97</b>	<b>677,46</b>	<b>2,03</b>	<b>153,11</b>

Tabla 6

Brazos del par de esatabilidad estatica y dinamica							
$\theta$	$\text{Sen}\theta$	KG (metros)	KG* $\text{Sen}\theta$ (metros)	KN (metros)	GZ (metros)	Corrección por asiento 0,02m	m*rad
0	0	0	0	0	0		0
10	0,174	2,03	0,353	0,580	0,227		0,020
20	0,342	2,03	0,694	1,129	0,435		0,078
30	0,500	2,03	1,015	1,621	0,606		0,170
40	0,643	2,03	1,305	1,895	0,590		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

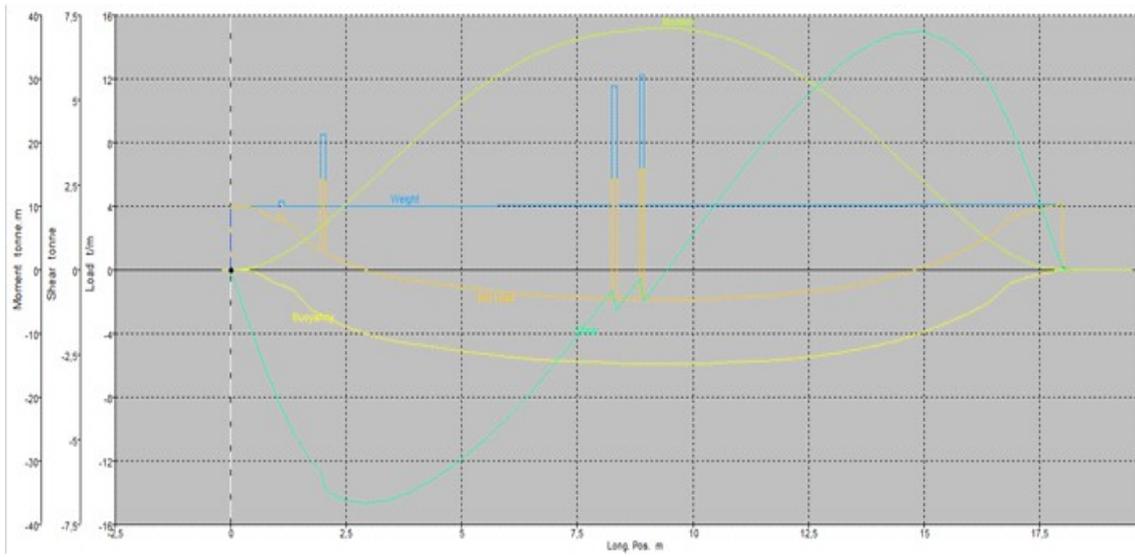


**Condición de carga (10% Consumos) (Tabla 7)**

Designación	Peso	ABSC		ORD. C.d.g.	Mt
		c.d.g.	Mt		
Buque en Rosca	72,98	9,05	660,59	1,99	145,23
Pertrechos	0,50	8,90	4,95	1,50	0,75
6 Hombres en tolda	0,45	2,00	0,90	6,00	2,70
10 Hombres en cubierta	0,75	8,30	6,23	4,10	3,08
Efectos personales	0,30	8,90	2,67	1,50	0,45
Viveres	0,01	8,90	0,09	1,50	0,02
Agua en cartones	0,01	8,90	0,09	1,10	0,01
Combustible	0,03	1,10	0,03	2,07	0,06
<b>Resultados</b>	<b>75,03</b>	<b>9,00</b>	<b>675,55</b>	<b>2,03</b>	<b>152,29</b>

Tabla 10

Brazos del par de esatabilidad estatica y dinamica							
$\theta$	$\text{Sen}\theta$	KG (metros)	KG* $\text{Sen}\theta$ (metros)	KN (metros)	GZ (metros)	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		0,020
20	0,342	2,03	0,694	1,131	0,437		0,079
30	0,500	2,03	1,015	1,622	0,607		0,170
40	0,643	2,03	1,305	1,897	0,592		0,280
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



**Condición de carga (100% Consumos y toda vela) (Tabla 8)**

Brazo escorante							
V. viento	$\theta$						
	10	20	30	40	50	60	70 80
Brazos del par de esatabilidad estatica y dinamica							
$\theta$	Sen $\theta$	KG (metros)	KG*Sen $\theta$ (metros)	KN (metros)	GZ (metros)	Correccion por asiento 0,02m m <sup>rad</sup>	
0	0	0	0	0	0		0
10	0,174	2,03	0,353	0,580	0,227		0,020
20	0,342	2,03	0,694	1,129	0,435		0,078
30	0,500	2,03	1,015	1,621	0,606		0,170
40	0,643	2,03	1,305	1,895	0,590		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

Tabla 12

Presion a las diferentes velocidades								
$\rho=1,25 \text{ Kg/m}^3$	d=11,48 m							
Velocidad (nudos)	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00
Presión (Kg/m <sup>2</sup> )	0,66	1,49	2,65	4,13	5,95	8,10	10,58	13,40
Area velica (m <sup>2</sup> )	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	1801,50	2280,02
M. Escorante (N*m)	1292,58	2908,30	5170,30	8078,60	11633,19	15834,06	20681,22	26174,67

V. viento (nudos)	$\theta$								
	0	10	20	30	40	50	60	70	80
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	0,10	0,09	0,08	0,07	0,05	0,04	0,02
5	0,15	0,15	0,14	0,13	0,12	0,10	0,08	0,05	0,03
6	0,21	0,21	0,20	0,18	0,16	0,13	0,10	0,07	0,04
7	0,27	0,27	0,26	0,24	0,21	0,00	0,14	0,09	0,05
8	0,35	0,34	0,33	0,30	0,27	0,00	0,17	0,12	0,06

Escora permanente									Escora permanente	Francobordo (m)
		0	10	20	30	40	50	60		
2	GZ	0	0,227	0,435	0,606	0,59	0,483	0,347	$\theta$	0,57
	B. escorante	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	1,7	
3	GZ	0	0,227	0,435	0,606	0,59	0,483	0,347	$\theta$	0,50
	B. escorante	0,07	0,07	0,06	0,06	0,05	0,04	0,03	3	
4	GZ	0	0,227	0,435	0,606	0,59	0,483	0,347	$\theta$	0,41
	B. escorante	0,11	0,11	0,10	0,09	0,08	0,07	0,05	4,8	
5	GZ	0	0,227	0,435	0,606	0,59	0,483	0,347	$\theta$	0,33
	B. escorante	0,15	0,15	0,14	0,13	0,12	0,10	0,08	6,5	
6	GZ	0	0,227	0,435	0,606	0,59	0,483	0,347	$\theta$	0,20
	B. escorante	0,21	0,21	0,20	0,18	0,16	0,13	0,10	9,1	
7	GZ	0	0,227	0,435	0,606	0,59	0,483	0,347	$\theta$	0,06
	B. escorante	0,27	0,27	0,26	0,24	0,21	0,00	0,14	11,8	
8	GZ	0	0,227	0,435	0,606	0,59	0,483	0,347	$\theta$	-0,12
	B. escorante	0,35	0,34	0,33	0,30	0,27	0,00	0,17	15,3	

**Condición de Carga (10% Consumos y toda vela) (Tabla 9)**

Brazos del par de esatabilidad estatica y dinamica							
$\theta$	Sen $\theta$	KG (metros)	KG*Sen $\theta$ (metros)	KN (metros)	GZ (metros)	Correccion por asiento 0,02m	m <sup>2</sup> rad
0	0	0	0	0	0		0
10	0,174	2,03	0,353	0,581	0,228		0,020
20	0,342	2,03	0,694	1,131	0,437		0,079
30	0,500	2,03	1,015	1,622	0,607		0,170
40	0,643	2,03	1,305	1,897	0,592		0,280
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

Tabla 16

Presion a las diferentes velocidades									
$\rho=1,25 \text{ Kg/m}^3$	$d=11,48 \text{ m}$								
V. viento (nudos)		2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00
Presión (Kg/m <sup>2</sup> )		0,66	1,49	2,65	4,13	5,95	8,10	10,58	13,40
Area velica (m <sup>2</sup> )		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	1801,50	2280,02
M. Escorante (N*m)		1292,58	2908,30	5170,30	8078,60	11633,19	15834,06	20681,22	26174,67

(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	0,10	0,09	0,08	0,07	0,05	0,04	0,02
5	0,15	0,15	0,13	0,12	0,10	0,08	0,05	0,03
6	0,21	0,20	0,18	0,16	0,14	0,11	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	0,30	0,27	0,22	0,17	0,12	0,06

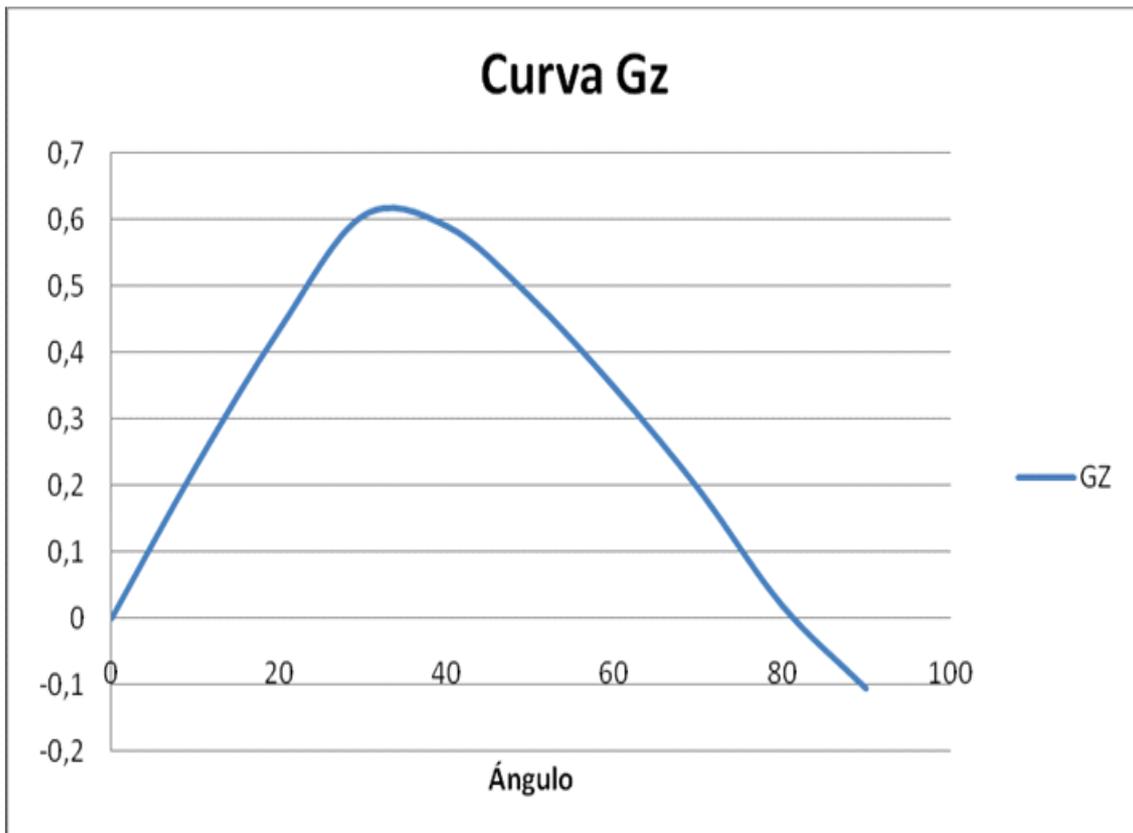
Tabla 18

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

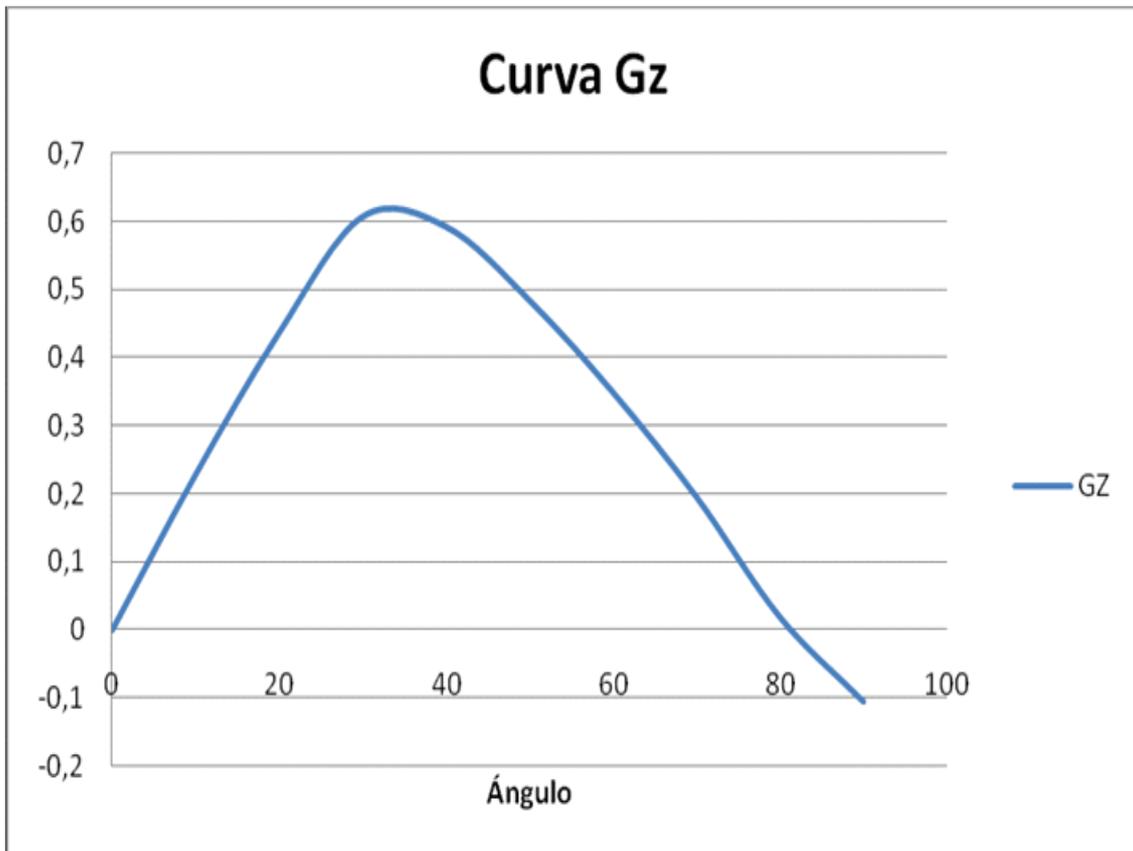
LA NINA			
		Condiciones	
Estabilidad y asiento		Salida	Llegada
Desplazamiento	$\Delta$	75,49	75,03
Calado medio	Cm	1,56	1,55
Centro de carena a Ppp	OB	8,97	9
Centro de gravedad a Ppp	OG	8,97	9
Metacentro longitudinal sobre base	KM	21,52	21,56
Centro de gravedad sobre la base	KG	2,03	2,03
Altura metacéntrica longitudinal	R-a	19,49	19,53
Centro de carena sobre base	KB	1,02	1,02
Radio metacéntrico longitudinal	R	20,5	20,54
Altura C. gravedad sobre C. carena	a	1,01	1,01
Metacentro transversal sobre base	KMt	3,63	3,63
Altura metacéntrica transversal	r-a	1,64	1,64
Centro de gravedad Flotc. A Pp	OF	8,37	8,37
Centro de gravedad Flotc. A Ppr		9,63	9,63
Calado en Ppr	Cpr	1,25	1,245
Calado en Ppp	Cpp	1,87	1,865
Calado medio	Cm	1,56	1,55
Calado en la marca de proa	Cmpr	1,25	1,245
Calado en la marca de popa	Cmpp	1,88	1,875
Brazo de palanca máximo	GZ	0,619	0,623
	Grados	32	32
Estabilidad nula a	Grados	82	82

#### 4.6 Gráficas

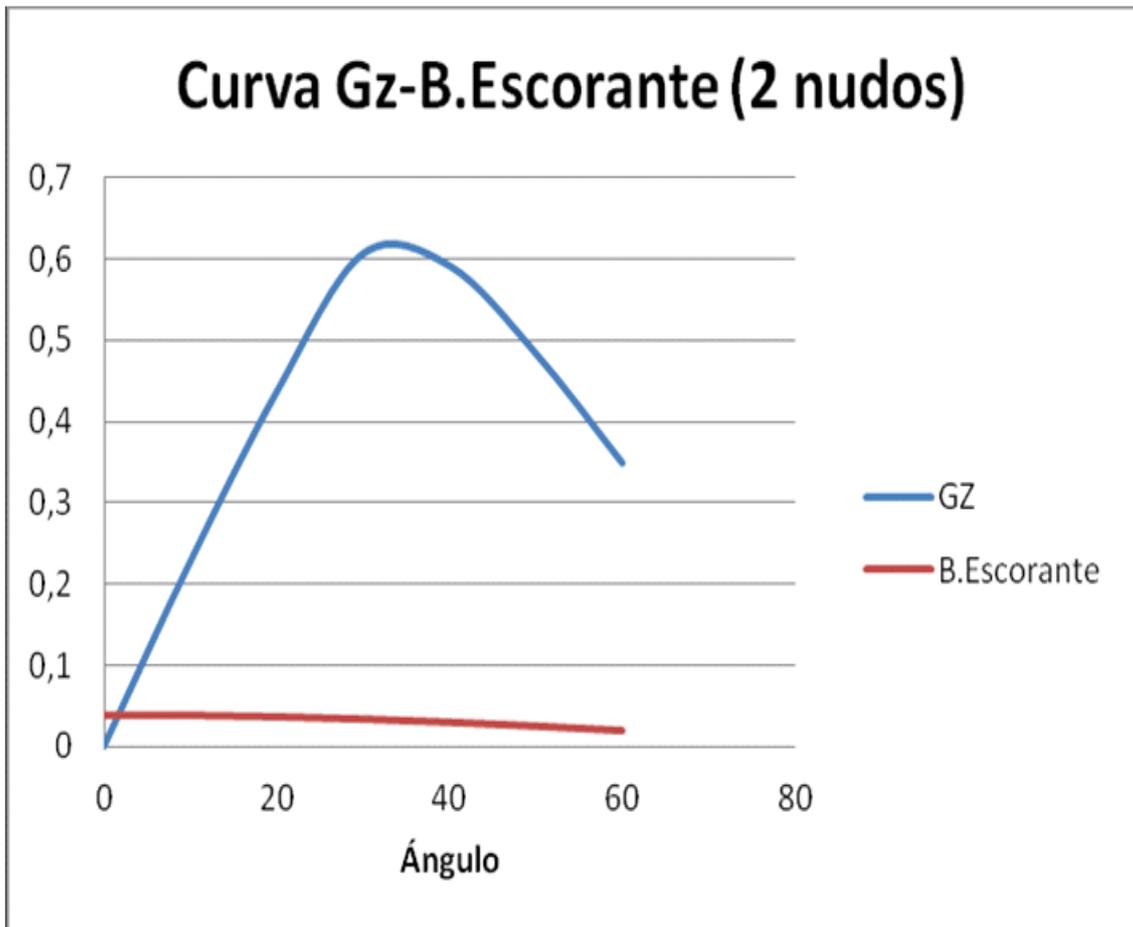
Gráfica para salida de puerto (100% de los consumos):

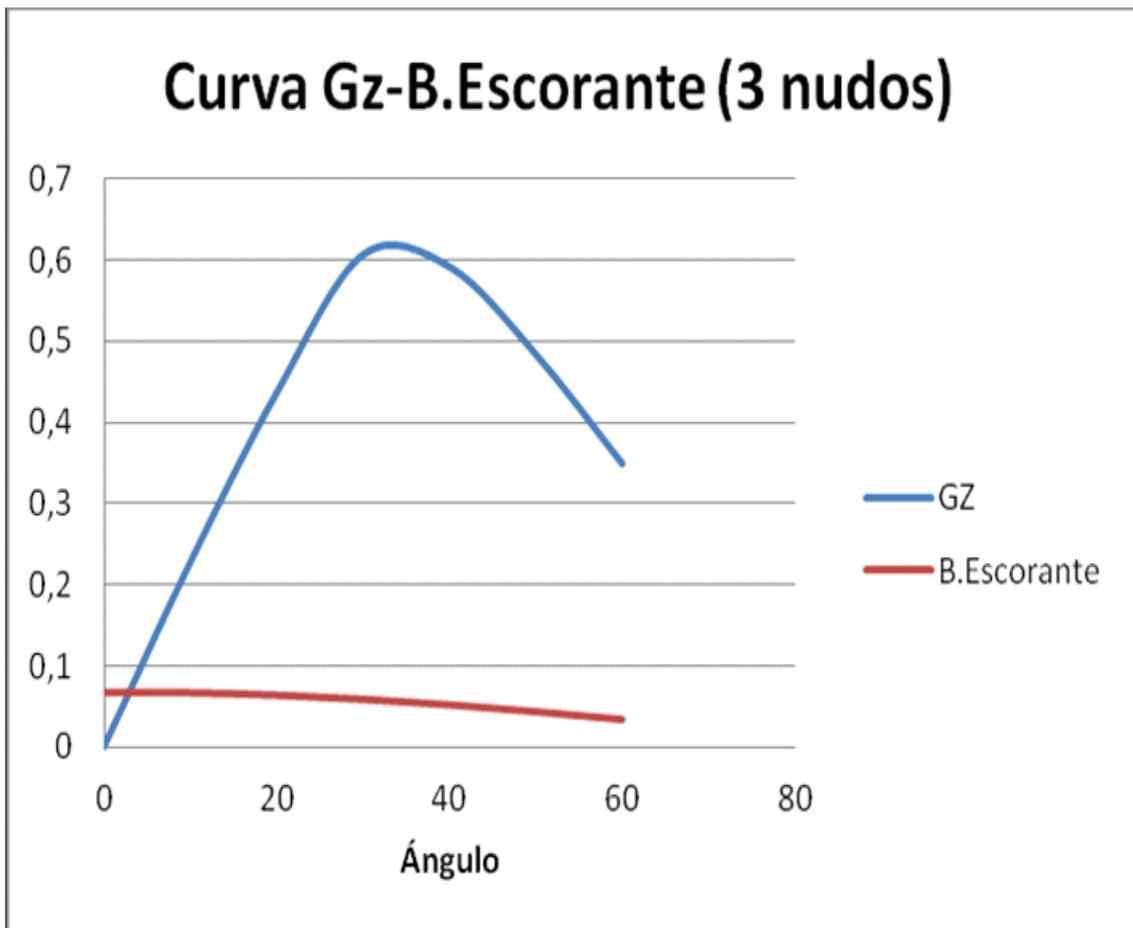


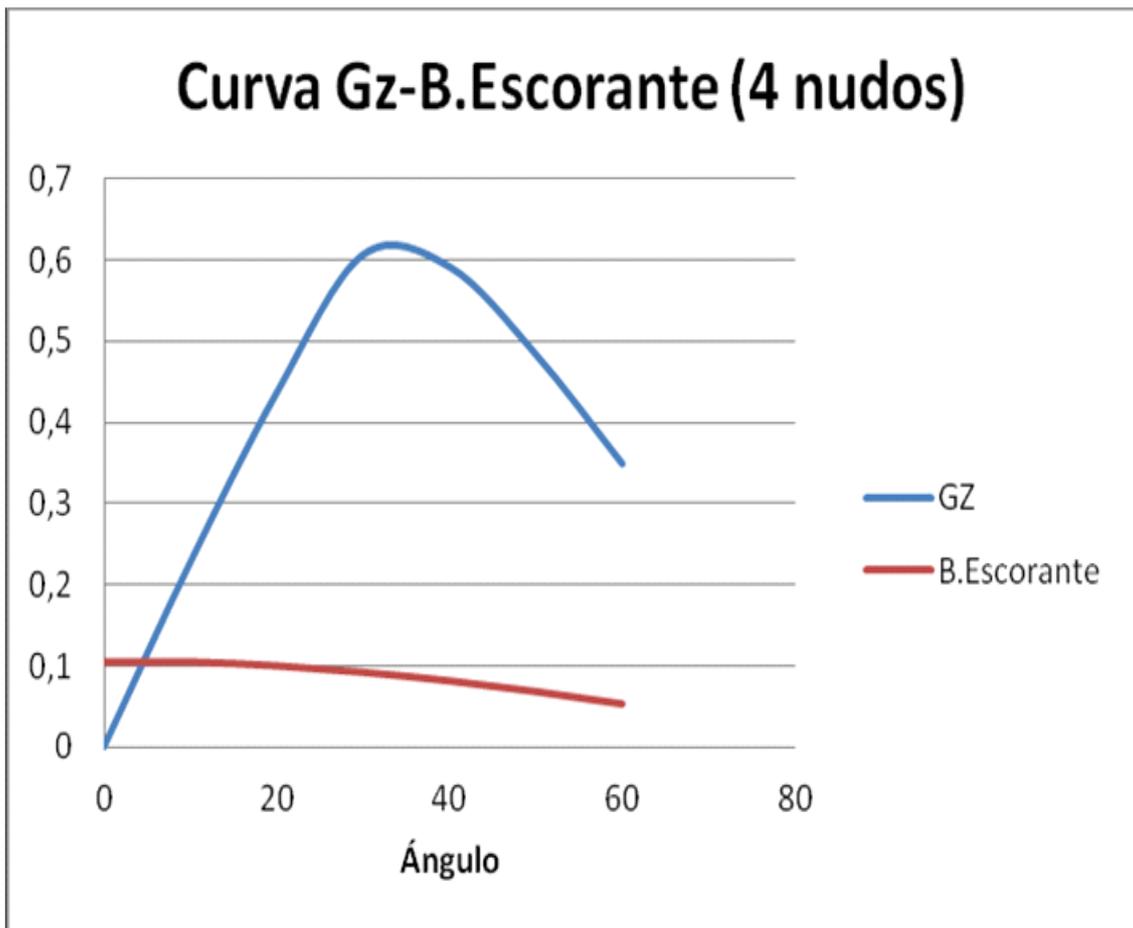
Gráfica para llegada a puerto (10% de los consumos):

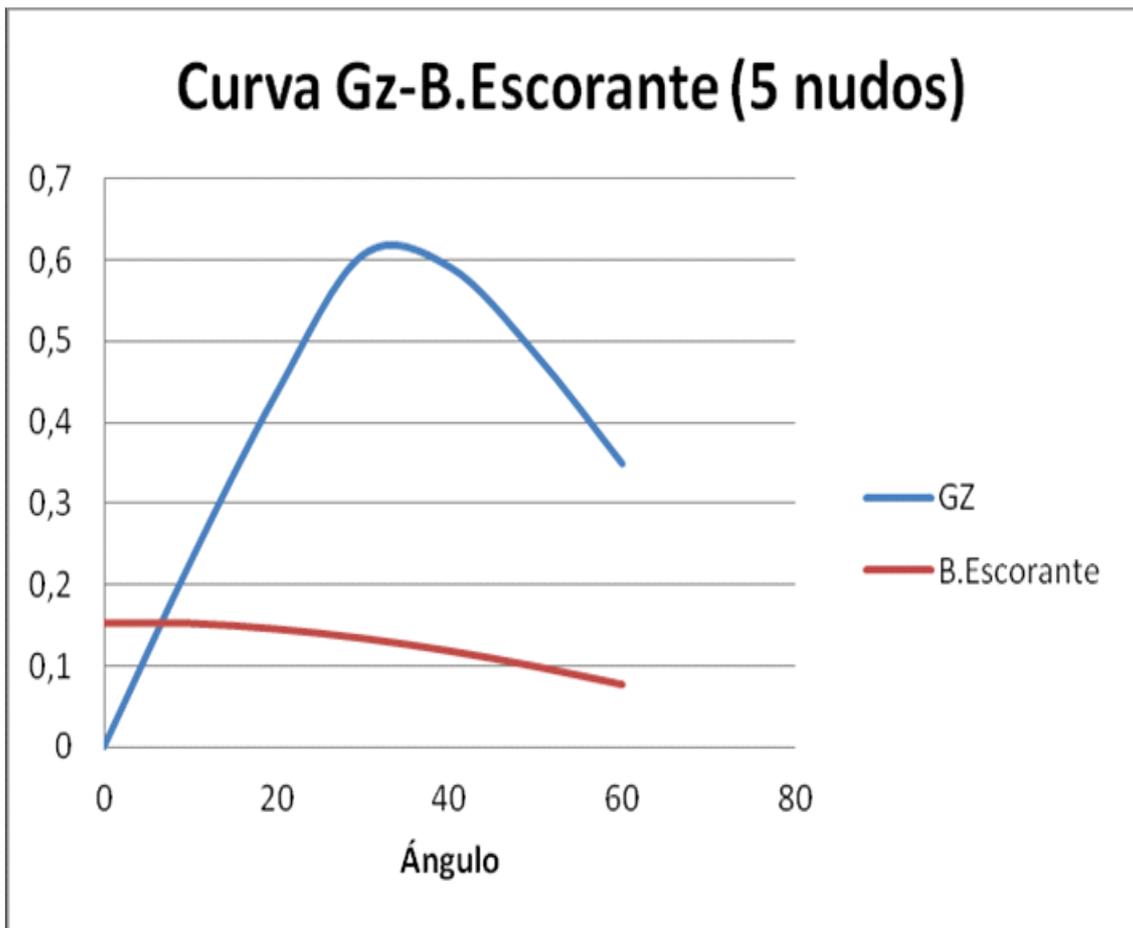


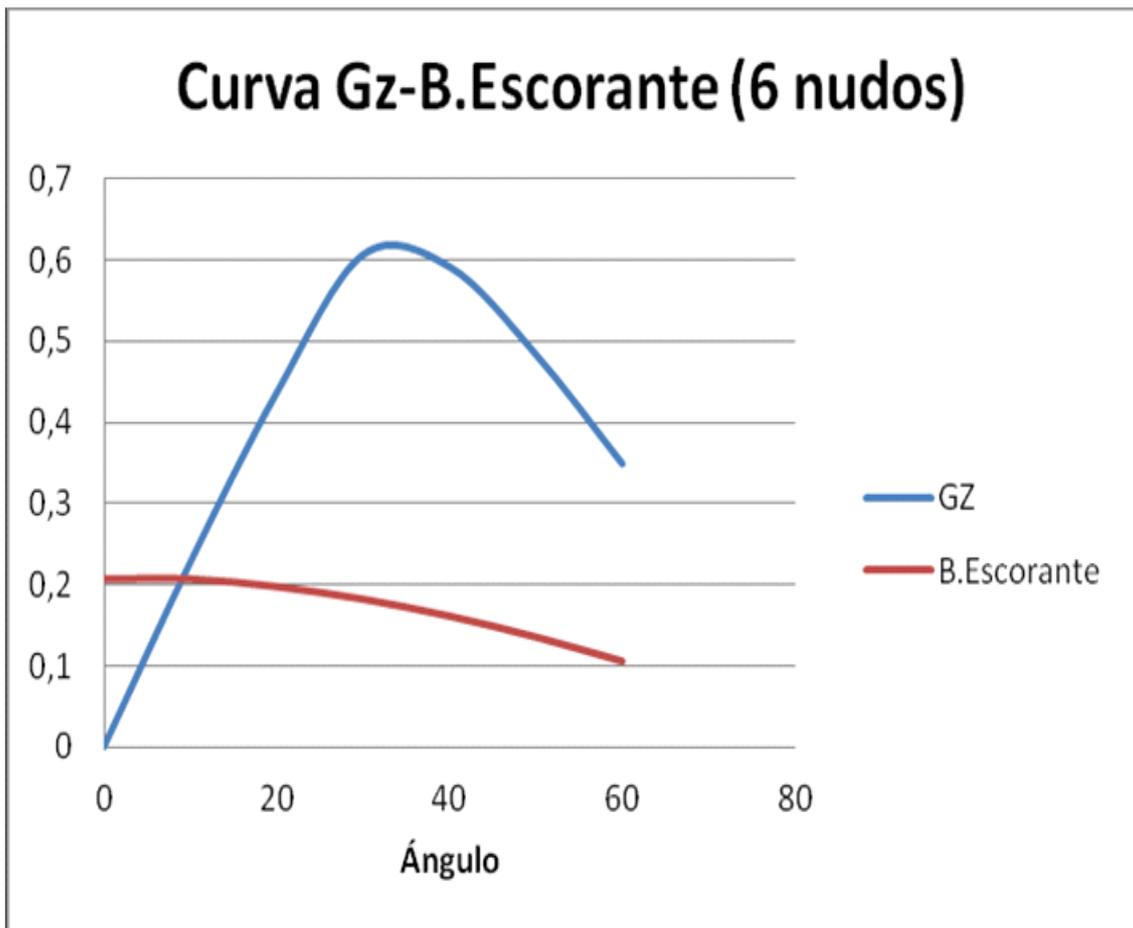
Gráficas salida de puerto con toda la vela desplegada:

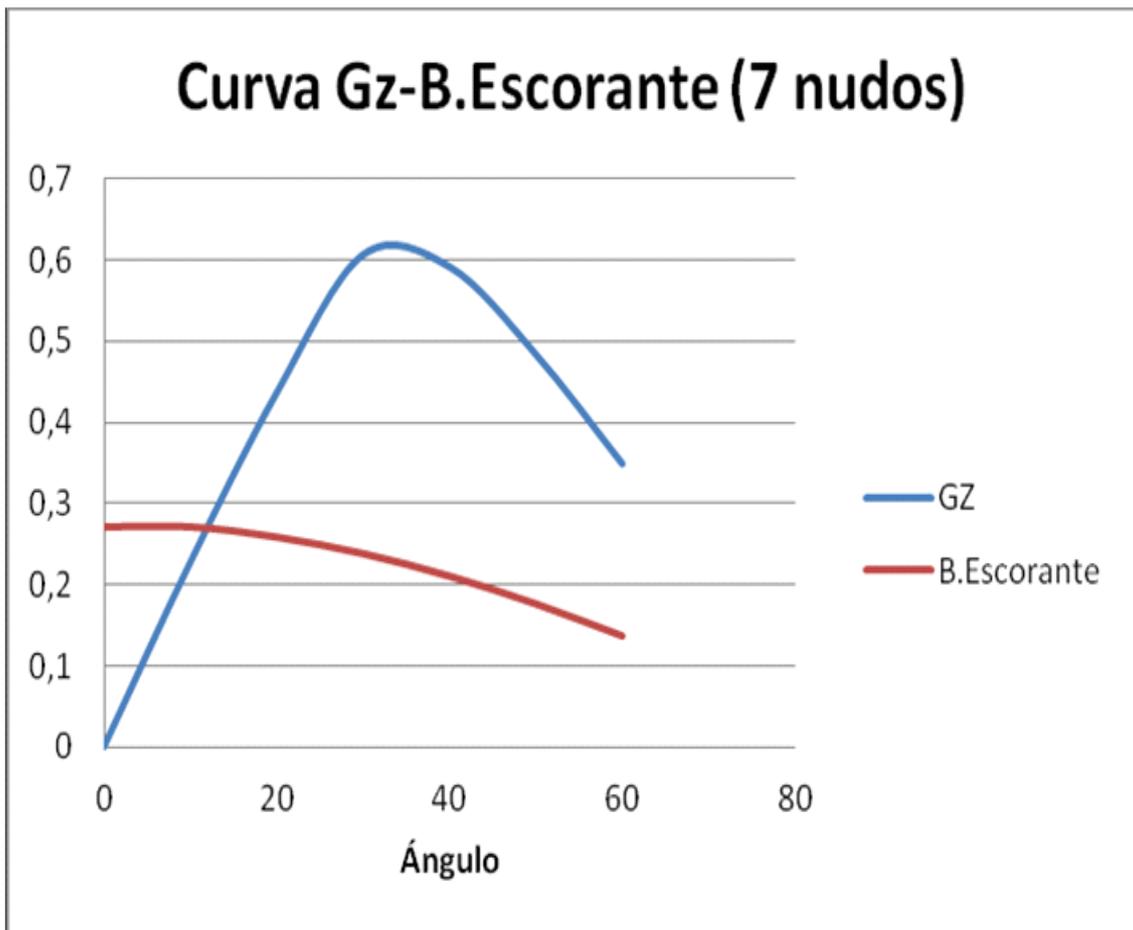


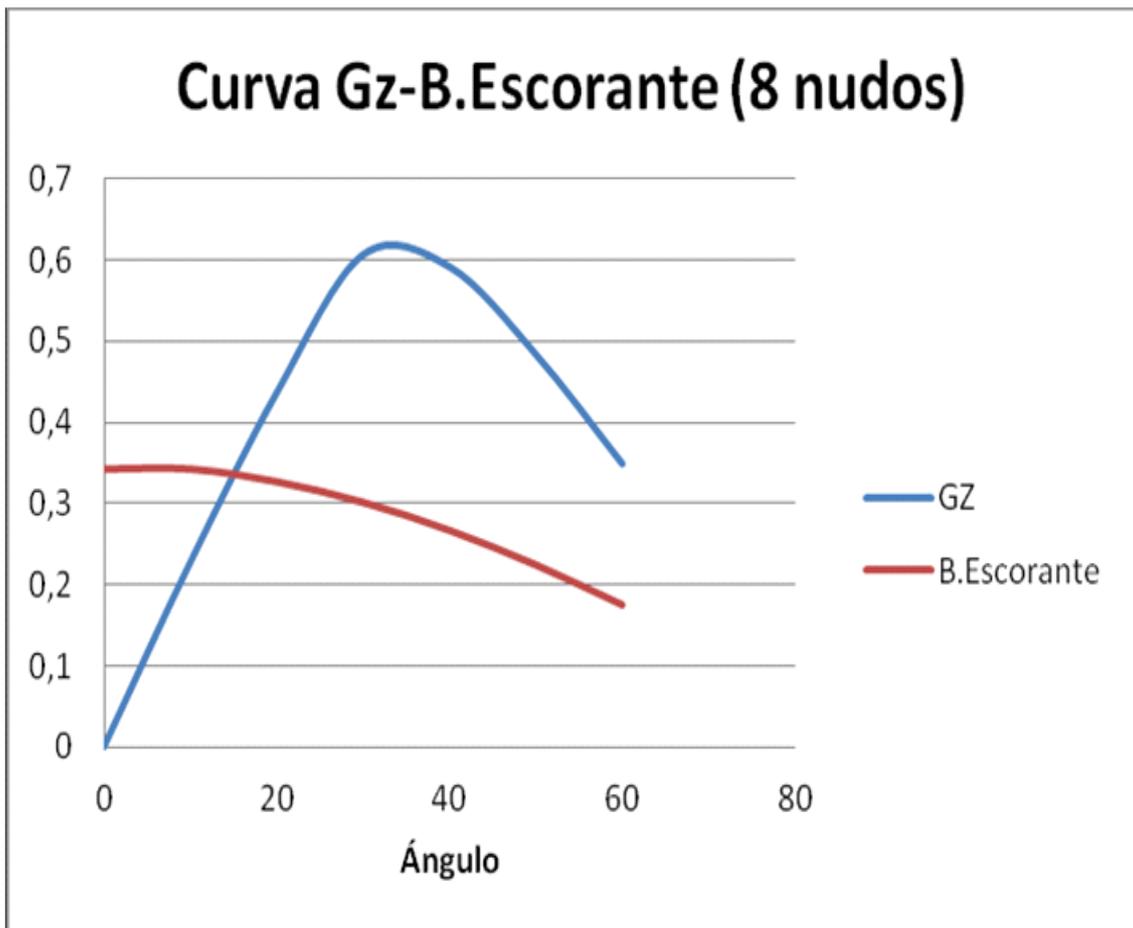




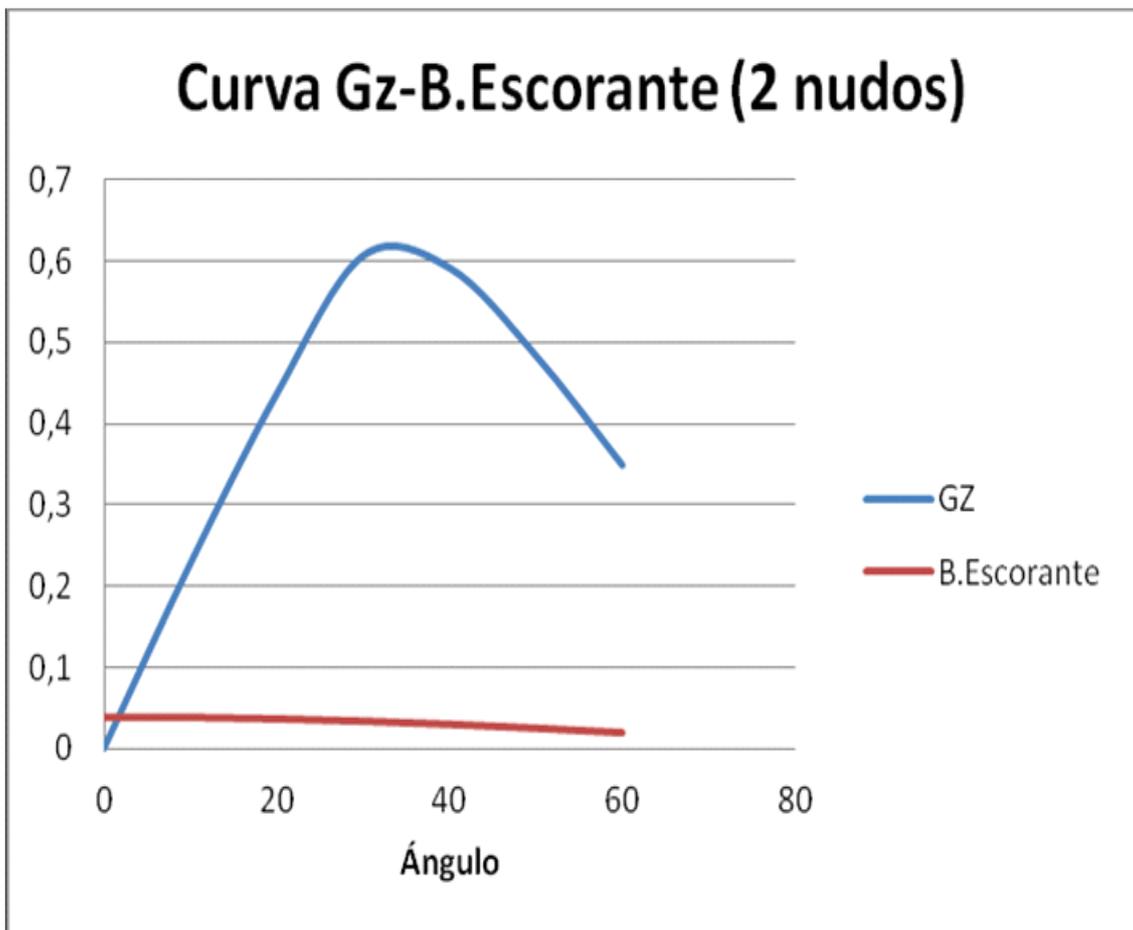


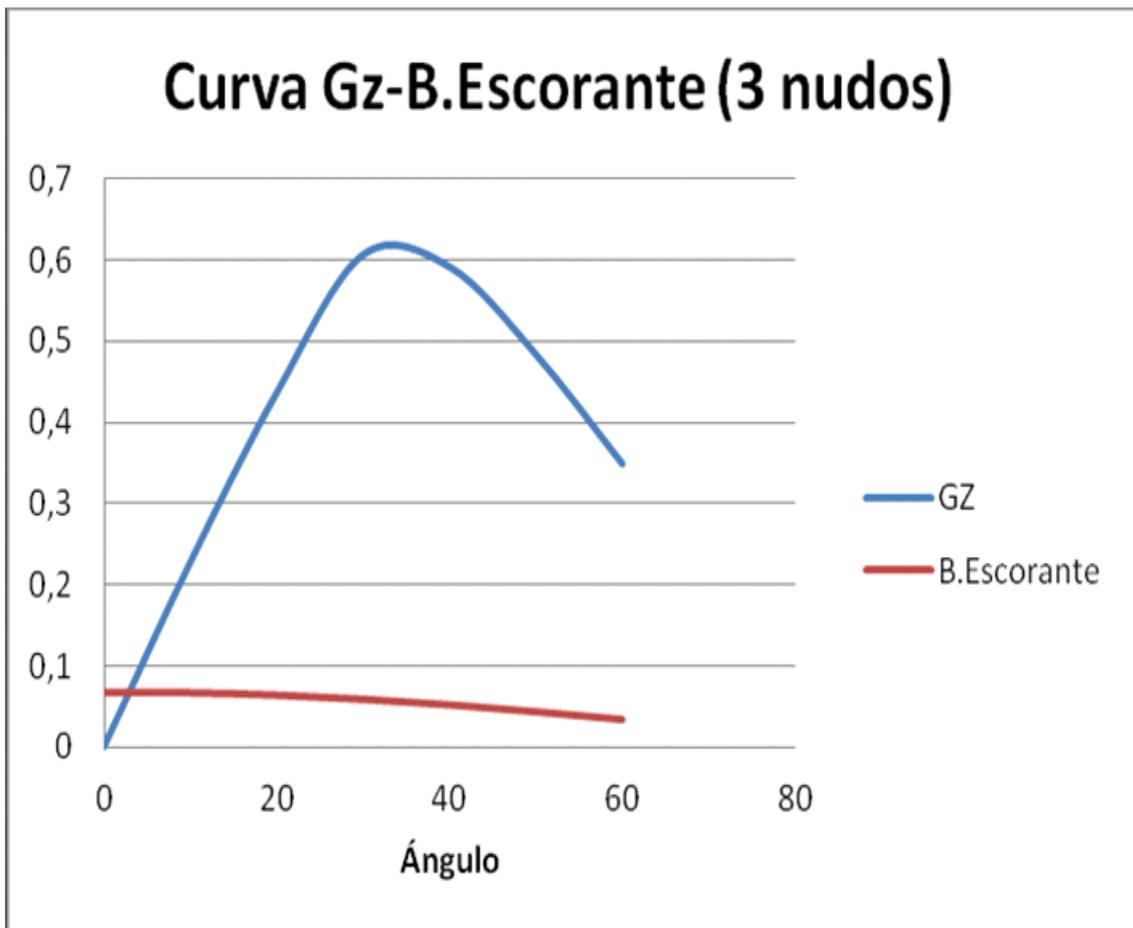


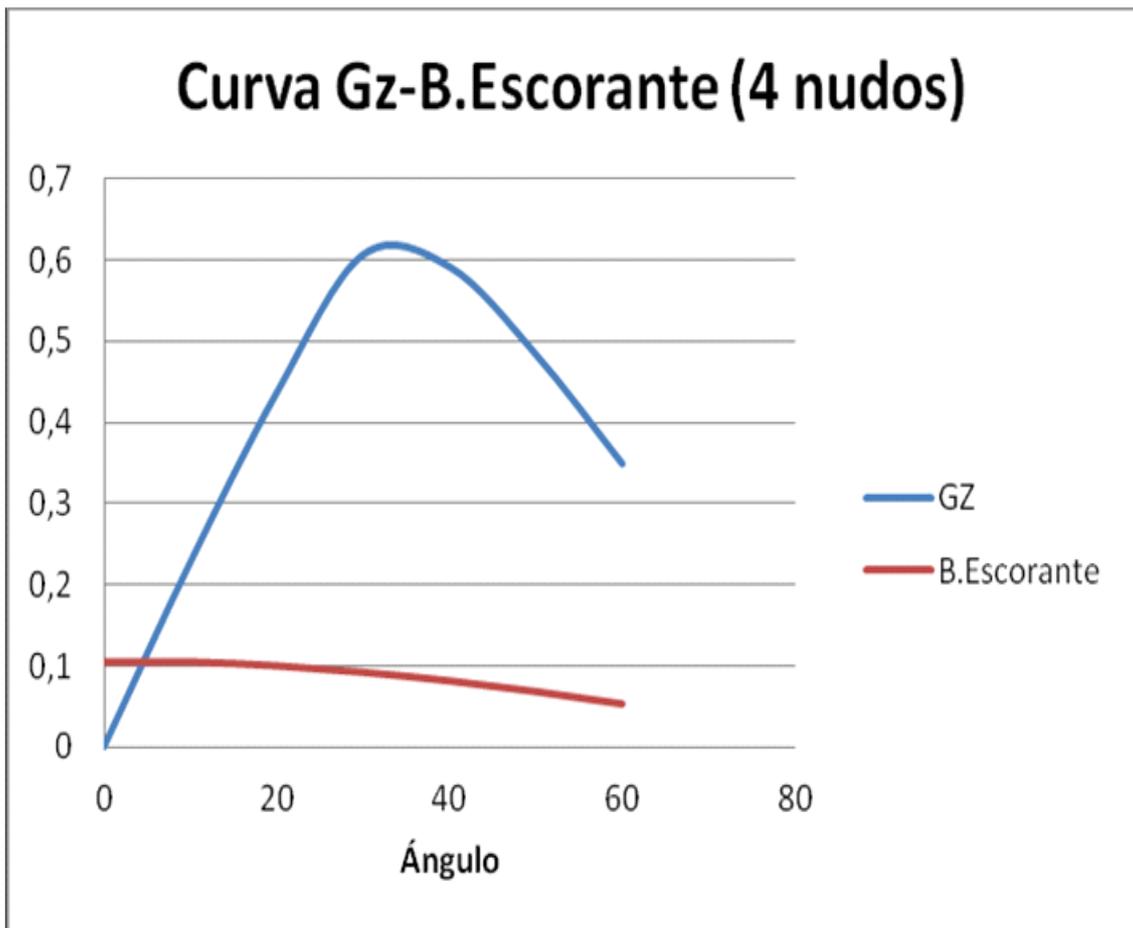


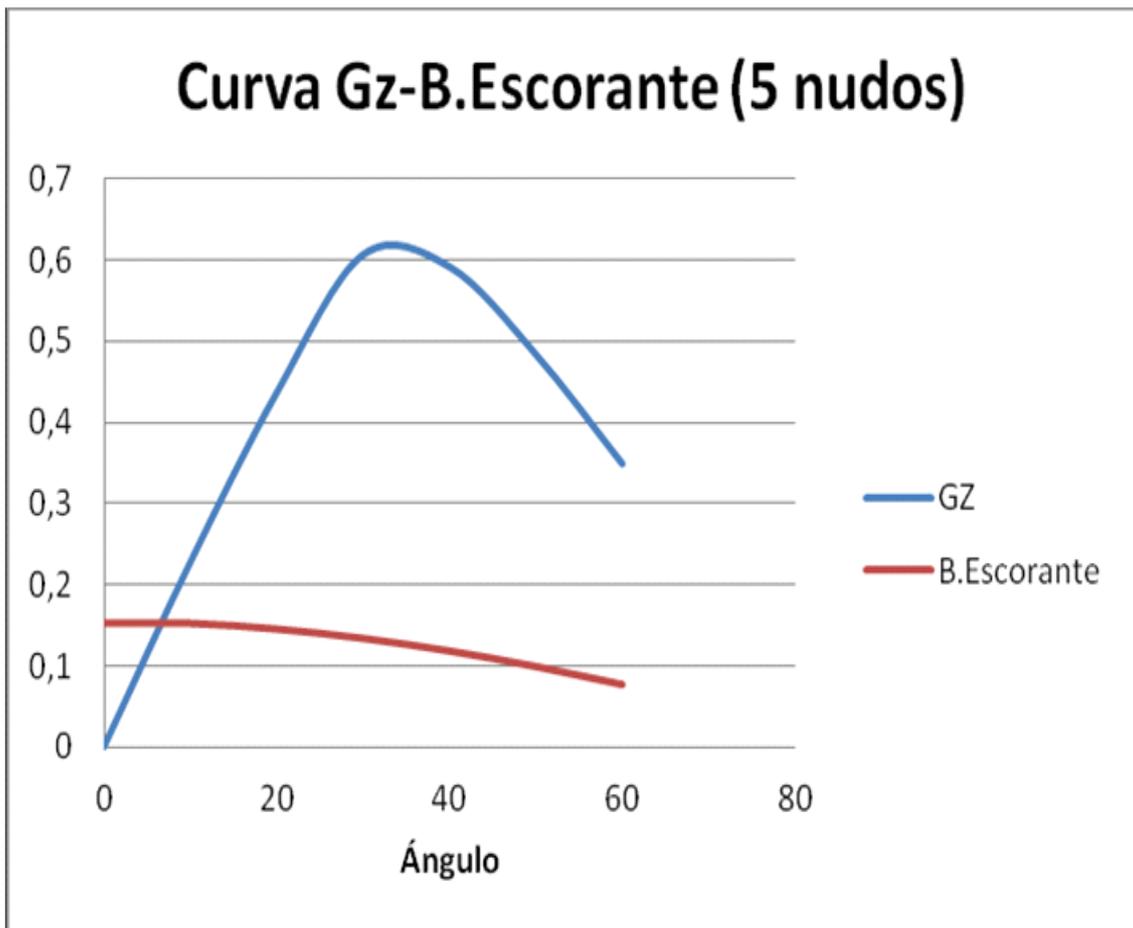


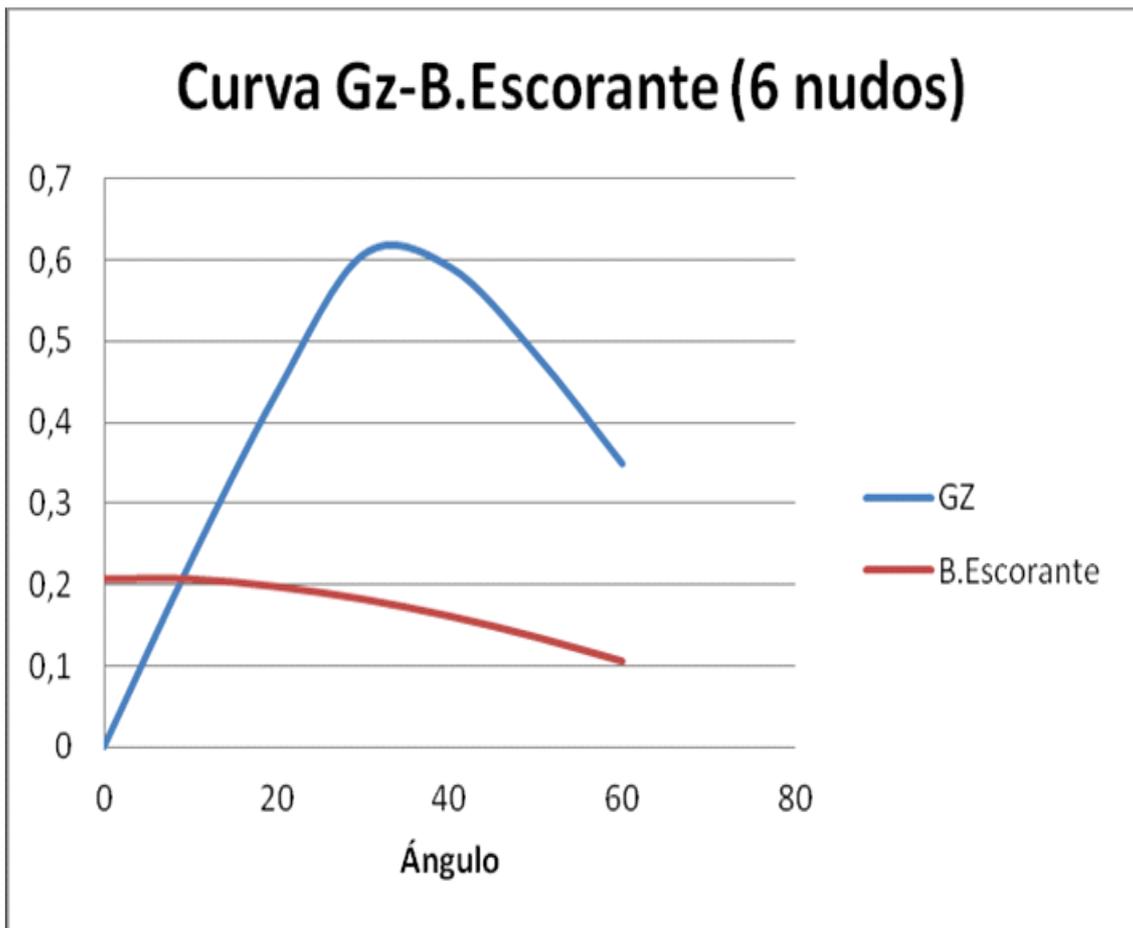
Gráficas para llegada a puerto con toda la vela desplegada:

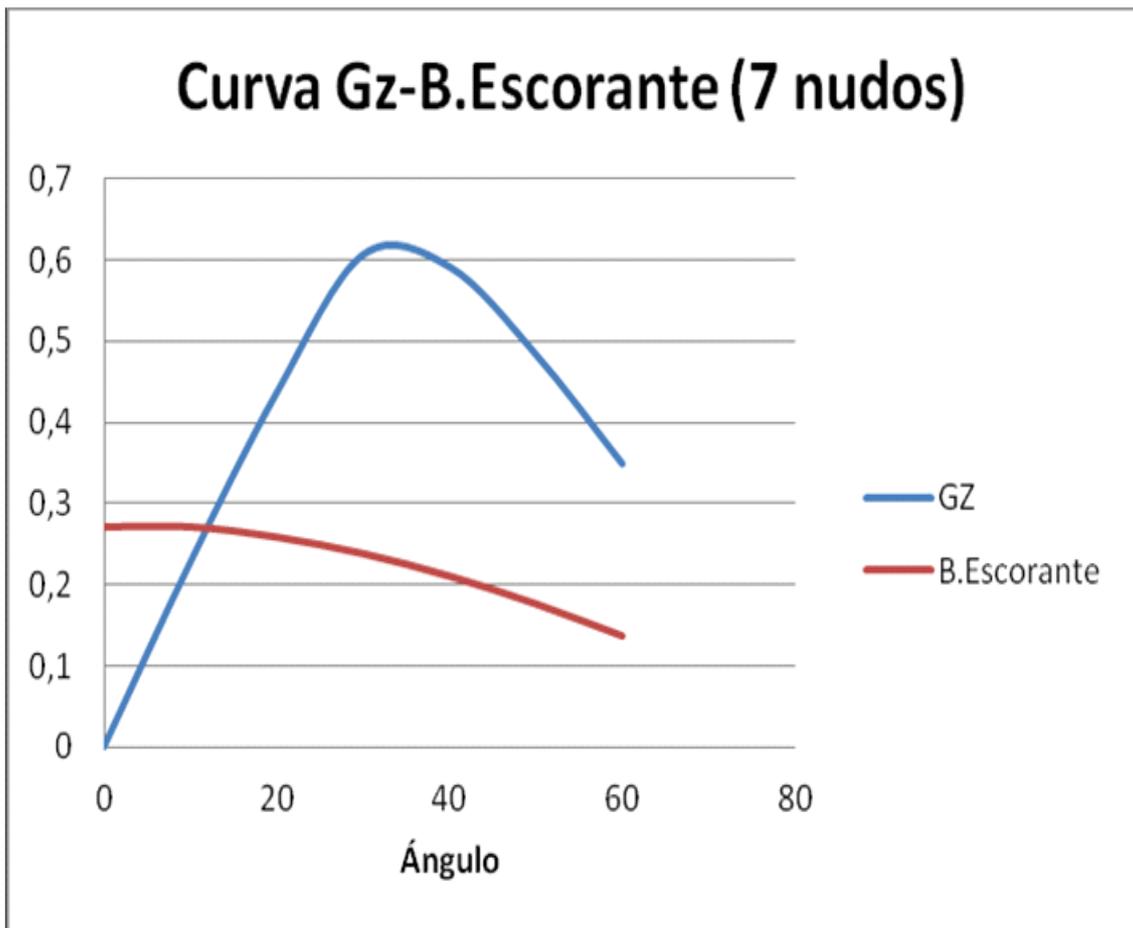


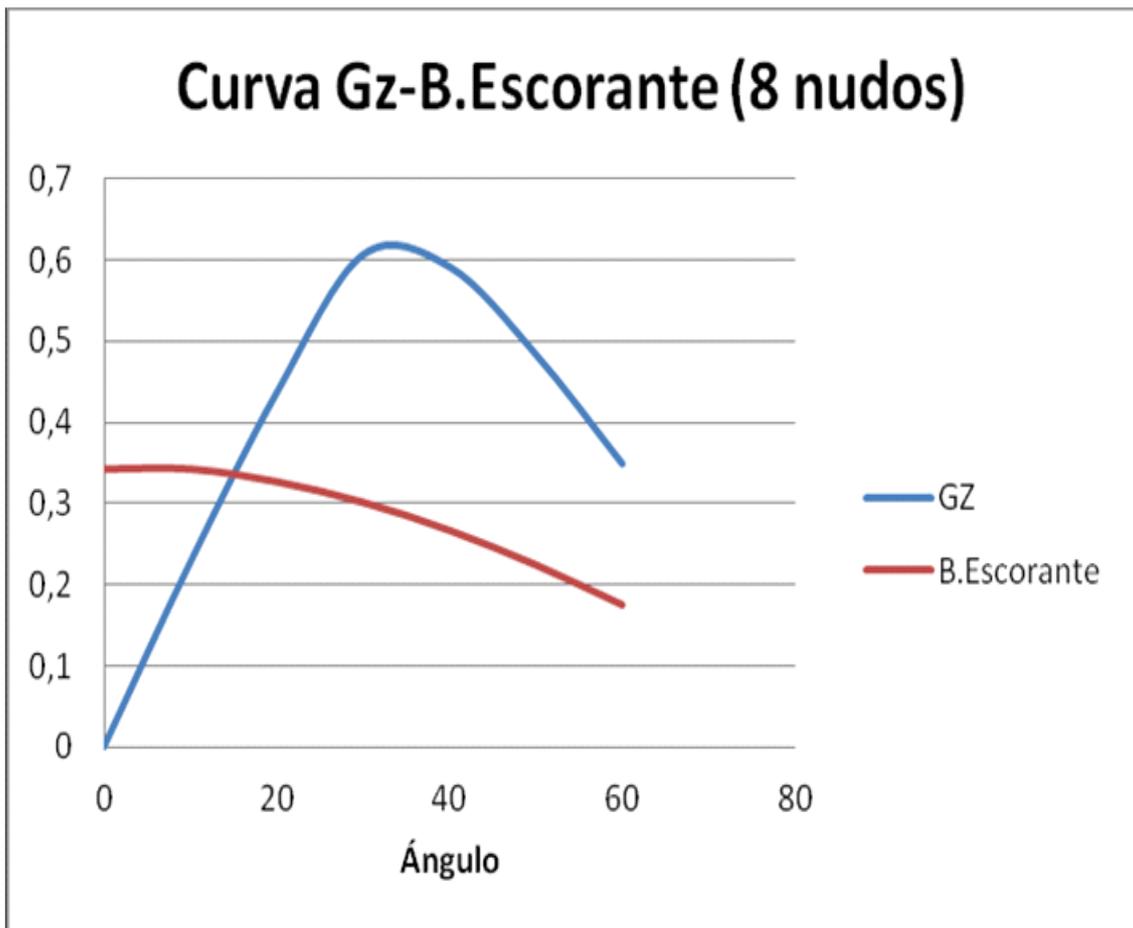












## 5. Proceso Constructivo

Hemos aludido en apartados anteriores al hecho de que la construcción de las carabelas estaba basada principalmente en las tradiciones de los carpinteros de ribera. Por ello son muy pocos los datos necesarios, las medidas o las especificaciones de cualquier tipo que se utilizaban en la contratación de estas embarcaciones. Ello ha dificultado recientemente la reconstrucción de carabelas, en las que se reproduzcan de manera fiable las condiciones marineras que tanto elogiaban los que las conocieron en los siglos XV y XVI. Por tal razón, el primer paso a dar, antes de intentar reproducir este barco, consistió en la recogida de datos referentes a la construcción naval en toda la Costa de Andalucía occidental.

Los mismos tipos de casco, aunque en dimensiones y formas algo distintas, se han venido construyendo en las carpinterías de ribera, pero, eso sí, en el anonimato de unos pueblos y comunidades de pescadores y marineros dedicados a la pesca y al tráfico de cabotaje. Ellos han mantenido durante siglos infinidad de pequeños detalles, esenciales para la construcción de todos los pasos necesarios a la hora de reproducir una carabela en condiciones similares a las de la época de los descubrimientos geográficos.

### 5.1 Justificación de las maderas seleccionadas

En las carpinterías de ribera de las costas andaluzas se han mantenido vigentes los mismos tipos de madera, la forma de curarla y cortarla, las técnicas de trabazón y las herramientas y procedimientos de construcción.

Para la construcción de los elementos estructurales de mayor responsabilidad (quilla, sobrequilla, roda, codaste, cuadernas, baos, durmientes, palmejares...) se ha utilizado tradicionalmente y se sigue usando en la actualidad el roble, por ser una madera dura con buena resistencia mecánica, de buen comportamiento frente a la humedad y la acción del agua de mar, además de tener una gran resistencia al ataque de hongos, insectos y moluscos.

Para la quilla y sobrequilla también se usaba el eucalipto, que también es una madera pesada y fuerte por la ausencia de maderas de roble de la longitud adecuada.

Para el forro del casco y de la cubierta se ha mantenido la utilización del pino por tratarse de una madera regular y muy resinosa.

Para la construcción de “La Niña” del V centenario se emplearon los siguientes materiales:

Roble	Estructura Palos Timón
Pino	Forros
Cáñamo	Jarcia
Lino	Velas

Hierro	Anclas Clavazón
Estopa de cáñamo	Calafateado

## 5.2 Escantillonado

Otro detalle importante, que no se registra en la documentación local que se pudo obtener, es el grosor de los tablonos y piezas que se emplean en los diferentes tamaños de barco.

En lo referente al escantillonado, comprobamos que existía una proporción constante entre la eslora de los cascos y el forro. Esta proporción en las dimensiones no se limita al grosor de la madera del tablazón, sino a las piezas de estructura interior. Y estos grosores de tablonos y tamaños de determinadas piezas, coinciden prácticamente con los datos que únicamente nos proporcionan dos tratados portugueses, uno de finales del siglo XVI y otro de principios del siglo XVII, sobre construcción de carabelas: El Livro Nautico y el Livro de traças de Carpintaría.

## 5.3 Detalle de uniones y ensamblajes

Resultó de especial interés en la observación de los barcos antiguos en las costas andaluzas, la comprobación de las distintas uniones que se dan entre las piezas que forman el casco. Son fundamentales la trabazón de la roda y el codaste con los extremos de la quilla, las uniones de la propia quilla en el caso de que un tronco no alcance las dimensiones necesarias; y la fijación de la sobrequilla, las cuadernas y todos los elementos de ligazón. Estas piezas estaban todas fijadas con clavos de hierro, unas veces remachados y otras, doblados en el interior.

La estanqueidad era conseguida mediante la introducción de estopa entre los dos cantos de las tablas de forro y un sellado a base de brea que se aplica hirviendo. El lastre fijo, que además de cumplir su función principal de dar estabilidad al barco, aumenta la estanqueidad de la parte baja del casco, consistía en un mortero de cal y piedra al ras de la sobrequilla y por debajo del plan de bodega.

En estos cascos antiguos se conservaba la bodega corrida, que es la habitual en los tamaños que normalmente se construyen para cabotaje y pesca. También quedan vestigios para comprobar la forma de las escotillas, su colocación en cubierta y las dimensiones que tienen. Lo más frecuente era disponer de una escotilla mayor para la carga y otra u otras para el acceso de la tripulación. En las embarcaciones de más eslora se colocaba una escotilla en proa y otra en popa, además de la central, que era la de mayor tamaño. Nos estamos refiriendo a datos tomados en cascos de unos veinte metros de eslora, que son las dimensiones aproximadas de la carabela.

Un detalle que se ha ido perdiendo con la introducción de la propulsión a motor, incluso en las carpinterías de ribera, es la curvatura de las cuadernas. La propulsión con motor no necesita que la obra viva del casco disponga de líneas finas, que eviten el abatimiento o desplazamiento lateral por la acción del viento, ya que se corrige este empuje lateral cambiando el rumbo unos grados a barlovento. En los viejos cascos de veleros de aparejo latino existía una notable diferencia entre la curvatura de las cuadernas, a fin de dar a la parte inferior del casco una forma a manera de orza fija en el tercio de popa, que cumplía la misión anterior. Las cuadernas de la porción de proa eran mucho más abiertas y daban al casco una forma casi plana hacia el tercio de proa de la eslora. A medida que se iba retrocediendo, el ángulo de las cuadernas en su unión con la quilla se cerraba. Finalmente, en el tercio de popa vemos que se han cerrado totalmente las cuadernas a la salida de la quilla, con lo que la forma de la carena es casi un plano vertical, para abrirse progresivamente al acercarse a la cubierta.

## **5.4 Pasos del proceso productivo**

### **5.4.1 Maqueta**

El primer paso es la fijación de la forma del casco de la carabela en una maqueta sólida a escala, que va tallando el maestro de carpintería, siguiendo las instrucciones que se le dan.

### **5.4.2 Plantilla**

Una vez tallado el modelo sólido del casco se secciona en horizontal en tablas de dos centímetros. A partir de estas piezas se dibujan a escala natural en una pared encalada las cuadernas de proa y de popa, tomando a escala los puntos. Para la unión de los puntos que se han ido tomando se emplea un junquillo de madera muy flexible que da la curvatura a cada cuaderna. Este va a ser el único plano del barco, dibujado sobre una superficie en el taller y, por consiguiente, muy efímero. Así trabajaron siempre los carpinteros de ribera y ello ha sido el principal motivo de que no existan auténticos planos de construcción de los barcos que construyeron a lo largo de siglos.

En el diseño anterior cada cuaderna es diferente de la que le sigue. Por esto el paso que se da a continuación consiste en elaborar plantillas para cada una de ellas. En el caso de “La Niña” son treinta y siete. Una vez que se tienen todas las plantillas de las cuadernas, se colocan a sus distancias, para verificar que la forma del casco es la deseada. Para ello se utiliza un junquillo flexible que va desde la proa hasta la popa, al objeto de comprobar que el forro va a tocar en cada una de las cuadernas. Los junquillos se colocan a la altura del pantoque y a la altura del cintón, en una operación que basta con realizar en una de las bandas del barco, ya que la otra parte es simétrica.

A continuación, se trata de ir buscando sobre diversos troncos que se han aserrado al ancho de las cuadernas, aquellos que se aproximan más a la forma de cada una de ellas. Para esta operación se extienden en una amplia superficie todos los troncos de más o menos curvatura y se les va marcando el número de la cuaderna a que van a corresponder. (Foto 1).



FOTO 1

Para cada una de las cuadernas se necesitan tres partes, que son las que se van a unir para dar la curvatura desde la quilla hasta la cubierta. Terminadas las cuadernas y unidas por clavos las partes que habitualmente la componen, se procede a la colocación de la quilla y de las piezas de proa (roda) y popa (codaste).

#### **5.4.3 Puesta de la quilla**

La quilla, que tiene 14,50 metros de larga por 40 cm. de alta y 22 cm. De ancha, se coloca sobre unos soportes de madera perfectamente nivelados y horizontales a los que llaman gradas. Estas van firmemente clavadas al suelo. Hemos de recordar que en las dimensiones de la quilla se fija el precio del barco, estipulándose en la actualidad, como se hacia en los protocolos notariales de hace varios siglos, una cantidad fija por cada medida. El momento de colocación de la quilla constituye uno de los pasos importantes en la construcción de barco y se procede al pago de una parte del contrato.

Es práctica habitual, en la carpintería de ribera, la celebración del momento en que se pone la quilla de un barco, costumbre que también se mantiene en Portugal. Su colocación implica también la de la roda y codaste, que van apoyados en unos puntales que se fijan a ellas mediante clavos de hierro..

Un detalle sumamente curioso en la operación de situar las piezas anteriores es el de la colocación de una cruz de madera que va a permanecer en el barco hasta el momento de la botadura.

#### 5.4.4 Cuadernas

Colocadas la quilla y las piezas de proa y popa, se procede a ir poniendo las cuadernas en su lugar, apuntalándolas para sostener lo que va a ser la parte esencial de la ligazón (Foto 2).



FOTO 2

Una vez colocadas en su posición las cuadernas se equilibran o pesan, para que ambos costados sean perfectamente simétricos. Estas van unidas a la quilla mediante una clavija que impide su desplazamiento lateral, pero que no tiene la verdadera función de fijar. Esta misión la cumple la sobrequilla, que es una gran pieza que aprisiona las cuadernas y que está firmemente unida a la quilla mediante pernos de hierro. El ancho y el alto de la sobrequilla, o paramola como la llaman los carpinteros de ribera en Andalucía, es de 40 cm.

Un dato que es esencial en relación con las cuadernas es el de la separación a que deben estar según las características del barco. La tradición que se documenta en los cascos antiguos que pudimos ir examinando en las inmediaciones es, para barcos de estas dimensiones, aproximadamente un codo, es decir, unos cuarenta centímetros. El ancho es de 18 cm, el grueso en la parte baja de la cuaderna es de 16 cm y en la parte alta de 12 cm.

Para fijar las cuadernas por la parte alta, se monta el andamio (Fotos 3).



FOTO 3

Después se procede a la colocación de los durmientes que van de proa a popa por ambos costados interiores, con un ancho de 20 cm y un grosor de 8 cm, y por el exterior a la misma altura van las cintas. Sobre esta línea de tablones interiores se apoyan 32 baos, que en este tipo de barcos de poco puntal son menos gruesos y reciben el nombre de latas. La separación entre ellos es prácticamente la misma que la de las cuadernas, aunque no necesariamente coinciden con ellas. El ancho de las latas es de 15 cm. y el alto de 7 cm. Los trozos de las cuadernas que sobresalen por encima de las latas se cortan a ras de ellas. Se coloca encima otra pieza gruesa de madera, de 30 cm. de ancho por 9 cm. de alto, que cubre la cabeza de las cuadernas y la unión de la lata con el durmiente, a fin de que no puedan salir de su sitio. Esta pieza recibe el nombre de trancanil y cumple una importante función en la ligazón.

#### 5.4.5 Escotilla

Sobre esta estructura de latas se fijan las brazolas de las escotillas que van a delimitarlas, y con las dimensiones que se desean, en función de la carga que va a llevar o el uso que va a darse al barco. Dado que las escotillas son un punto débil en la estructura de la cubierta, se busca siempre las menores medidas posibles dentro del tipo de mercancía que se va a llevar. A la carabela “La Niña” se le han colocado una escotilla a proa y otra a popa, para el acceso a bodega de la tripulación y equipos, y la escotilla de carga en el centro. Las dos primeras miden aproximadamente un metro, que es la dimensión documentada en este tipo de embarcaciones. La escotilla central, sin embargo, está condicionada por los toneles, cuyas dimensiones han determinado, para poder cargar con cierta comodidad, una escotilla de 1'75 x 1'50 m. aproximadamente, y que es la dimensión que aparece tanto en el Libro Nautico Como en el Libro de Tragas de Carpintería. También estas medidas coinciden con los barcos de pesca actuales, hechos en madera y en la misma zona, aunque ya no se utilizan los toneles.

Terminada la colocación de las brazolas que delimitan las escotillas, se comienza a forrar la cubierta con 30 piezas longitudinales de tablazón, con unos 17 cm. de ancho y 4 cm. de alto, que van clavadas a las latas. Este forro de cubierta tropieza lateralmente en el trancanil y se va cerrando hacia el centro, donde se coloca la última línea de tablones que cierran la cubierta. (Fotos 4-5).



FOTO 4



FOTO 5

#### 5.4.6-Barraganetes

A continuación se hacen unas perforaciones cuadradas en el trancanil, y a lo largo de todo el perímetro del barco, para colocar, en nuestro caso, 74 piezas verticales de madera denominadas barraganetes -que los carpinteros de ribera llaman bolillos-, 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.

#### 5.4.7 Forro

Hasta aquí se ha terminado básicamente la estructura o ligazón del barco, así como la cubierta, que va a ser en lo sucesivo el plano de trabajo de la parte superior. A partir de este momento se comienza a forrar exteriormente el casco, aparando las cuadernas, y después colocando 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 (Foto 6), con un grosor de 8 cm., y desde la quilla hacia arriba, empezando por la aparadura (Foto 7), para cerrar finalmente hacia lo que va a ser la línea de flotación (Foto 8).

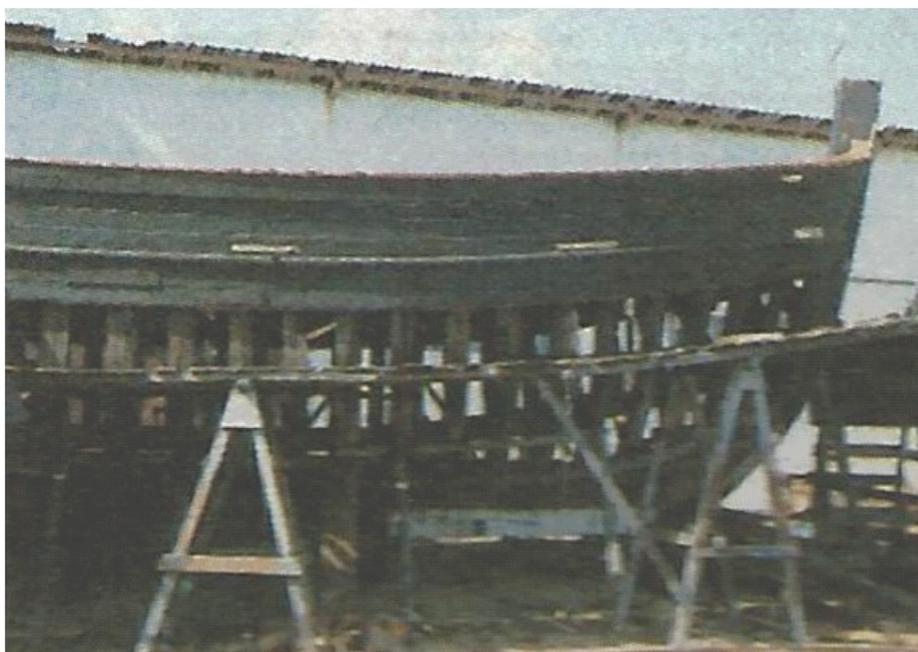


FOTO 6

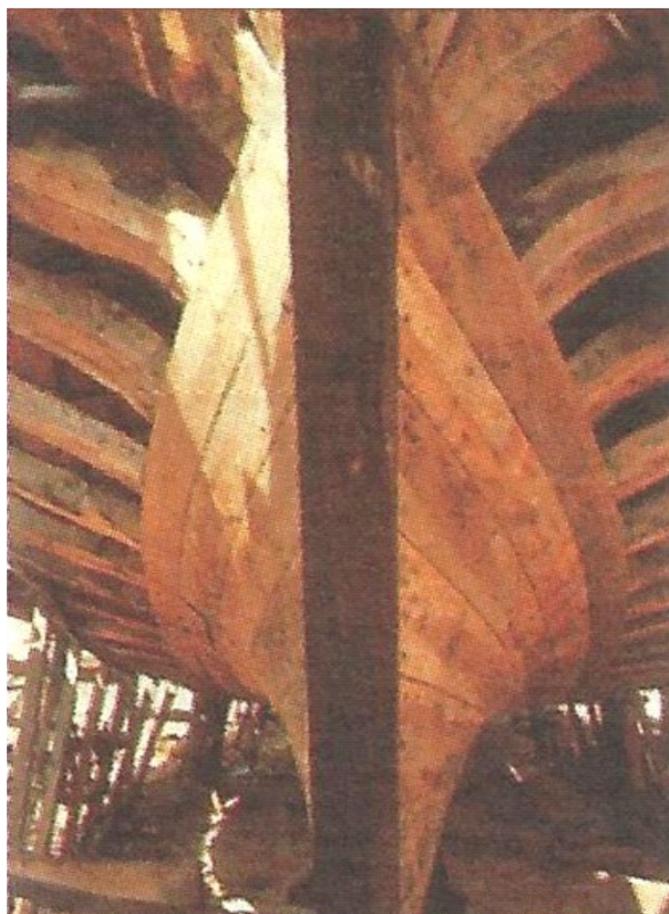


FOTO 7



FOTO 8

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

#### 5.4.8 Lastre y plan de bodega

El paso siguiente es la preparación del plan de bodega. Se empieza labrando las carlingas, que son los asientos de la coza, o extremo inferior de los mástiles. Después se colocan las piezas de soporte de los tablonos o barrotes, de 5 cm de ancho por 5 cm. de alto, a la altura de la sobrequilla y cruzando de banda a banda con una separación de 1'50 m aproximadamente. Una vez que estén dispuestos los barrotes se procede a la colocación del lastre fijo, que en el caso de La Niña consistió en cinco toneladas de hormigón repartidas en los espacios que dejan las cuadernas y quedando su nivel a media altura de la sobrequilla. Este tipo de lastre es el que decíamos anteriormente que se conserva, debido a su mayor resistencia, en los cascos de barcos antiguos que se hacen visibles en las bajamares de las costas andaluzas. En su forma más antigua era un mortero de cal y piedra, que da origen al nombre de encalichado con que es conocido en las carpinterías de ribera de las costas andaluzas. En el momento de la colocación de este mortero se tiene la precaución de dejar un hueco de sentina, que es el espacio entre cuadernas a la altura de la quilla, colocado en el tercio de popa, para el achique del agua que penetra en el interior. Una vez terminada la colocación del lastre fijo se procede a la colocación del plan de la bodega, con tablonos de 15 cm. de ancho y 4 cm. De grueso, en el que se dejan varias tapas o cuarteles para el acceso a estos huecos, en los que se dejan algunos espacios para la colocación del lastre semi-permanente, que se hace con cantos rodados.

#### 5.4.9 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 la parte de proa y 130 cm. en la de popa (Foto 9).



FOTO 9

Para ello se coloca la tablazón exterior clavándola sobre los barraganetes y encima se fija la regala, (Foto 10) que es una pieza de cierre de la borda, con un ancho de 22 cm. y 5 cm. de alto. Esta última se la protege con otra pieza más estrecha, 15 cm. de ancho por 5 cm. de alto, que se denomina tapa de regala, para evitar el desgaste con el roce de los cabos.



FOTO 10

#### 5.4.10 Espejo

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

(Foto 11). Sobre la plantilla se cortan las piezas que van a formar la estructura del espejo de popa y se le sujeta en su posición con curvatores de mayor tamaño que los de la borda. En el caso de La Nina el espejo de popa esta fijado a la cubierta mediante ocho grandes curvatores (Foto 12).



FOTO 11



FOTO 12

Como es fácilmente comprensible, el espejo de popa sirve para conocer, aun en el caso de los dibujos antiguos en que las carabelas aparecen navegando, las dimensiones y situación del rasel de popa o plano antideriva.

### 5.5.11 Curvatonos

En la parte interior de la borda, para reforzarla se fijan 17 piezas de madera en forma de L, con 10 cm. de ancho y 14 cm de alto, denominadas curvatonos, que se hacen normalmente de madera mas dura, a fin de sujetar firmemente los barraganetes a la cubierta. La madera empleada en La Niña para estos curvatonos, así como la de la tapa de regala, es la encina o el quejigo. Tanto estas piezas, como las que se han venido colocando anteriormente, están sujetas con clavos de hierro, que se van remachando. Esto explica la necesidad de herreros en la construcción naval de madera.

### 5.5.12 Esloras

Los pasos siguientes consisten en colocar unas piezas que refuerzan la estructura del casco longitudinalmente a diferentes alturas, tanto en su interior como en la parte exterior. Interiormente se colocan unas piezas, de 14 cm. de ancho por 6 cm. de alto, que van de proa a popa clavadas a la parte inferior de las latas y que reciben el nombre de esloras (Foto 13). Estas esloras forman dos líneas continuas a ambas bandas de las escotillas por la parte interior de la bodega. Con ellas se refuerza la cubierta, que ha quedado debilitada por la apertura de las escotillas.

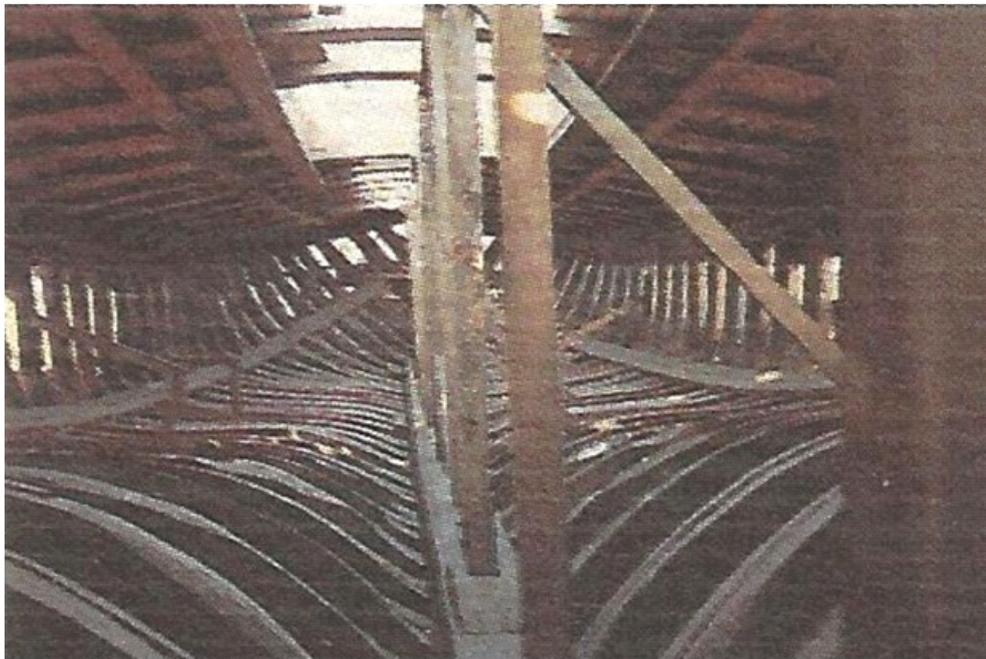


FOTO 13

### 5.5.13 Palmejares

También en el interior de la bodega se colocan unas piezas longitudinales de madera, que tienen 11 cm. de ancho por 7 cm. de grueso, fijadas a media altura de las cuadernas, desde proa a popa, y que reciben el nombre de palmejares (Foto 13). La fijación de los palmejares se hace mediante clavos de hierro remachados, debido a que

son utilizados para sujetar la carga en el interior de la bodega, además de dar mayor resistencia longitudinal al casco.

#### 5.5.14- Cintones

En el exterior el refuerzo principal es el cinturón (Foto 14), que es una pieza longitudinal, de 12 cm. de ancho y 10 cm. de alto, sobrepuesta al forro del casco, un poco por encima de la línea de flotación, y tiene como misión servir de defensa en caso de colisiones contra barcos y objetos sólidos flotantes a la altura más vulnerable, otro refuerzo longitudinal por debajo del pantoque lo tenemos en los carenotes, que son unas piezas longitudinales, de 10 cm. de ancho y 10 cm. de alto, sobrepuestas al forro, y sirven para protegerlo cuando el barco queda en seco y apoyado sobre un costado.



FOTO 14

#### 5.5.15 Postareos

En la parte central de ambos costados, desde el cinturón hasta la regala, van afirmadas cuatro piezas verticales de 10 cm. de anchura por 10 cm. de grosor y 1,30 m. de longitud. Están formando dos zonas reforzadas, de 60 cm. de anchura, separadas 2,50

metros entre si. La función de estas defensas es proteger el costado en las operaciones de carga y descarga tanto de los toneles como del bote auxiliar.

### 5.5.16 Timón

Una pieza que se labra por separado, cuando ya esta concluida la popa, es el timón, que tiene 5,40 metros de longitud y una pala con 1 metro de anchura y 12 cm. de grosor. Para ello se traza una plantilla con la forma y dimensiones reales, a partir de la cual se cortan las piezas que 10 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 (Foto 16). 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, el movimiento de la caña es muy suave, de tal manera que hasta un niño podría moverla.

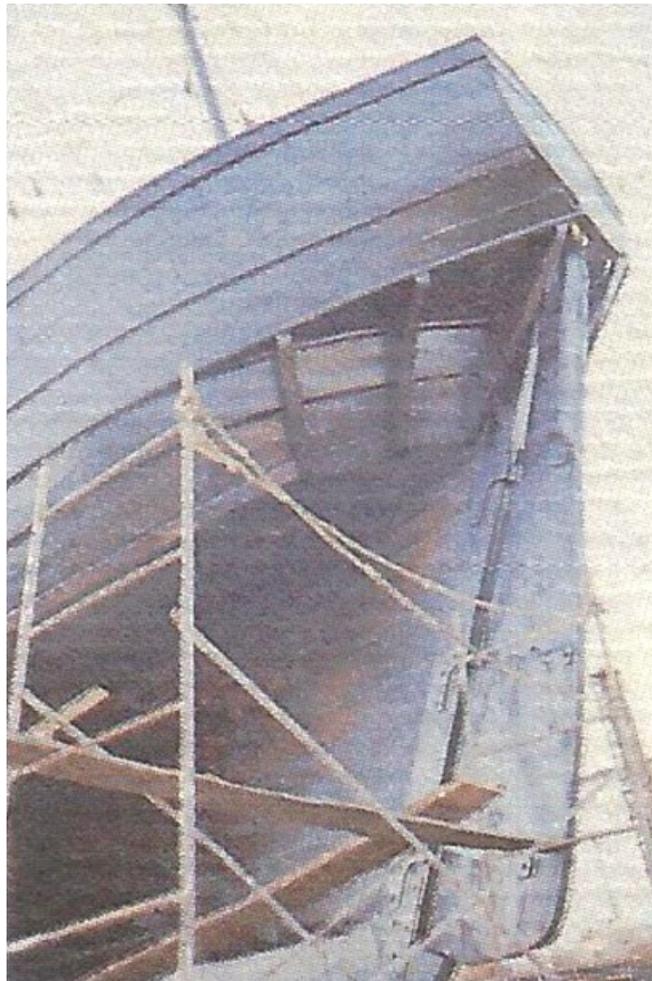


FOTO 16

En la réplica de la Niña se constató que el timón se maneja con gran facilidad, a pesar de que por sus dimensiones da la impresión de ser una pieza muy pesada de mover, aún en el agua.

### 5.5.17 Arboladura

Terminado el casco y sus refuerzos, tanto interiores como exteriores, se comienza la arboladura o colocación de mástiles. Con este fin hay que abrir unos espacios en la cubierta que se refuerzan en sus bordes, para resistir los empujes de cada palo. Estos espacios, por los que entran los mástiles, reciben el nombre de fogonaduras. 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 piezas laterales de madera, clavadas a las cuadernas 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 mas rectos posibles y con el menor número de nudos. A pesar de ello las turbonadas, o golpes de viento, ocasionan frecuentemente la rotura de los mástiles y de las entenas, si no se reducen velas en el momento oportuno. La rotura del mástil evita el vuelco, por lo que resulta ser un mal menor. Esta es la razón por la que se suele llevar uno o más palos de repuesto en las navegaciones largas. Esta precaución la toman en La Niña para el regreso del primer viaje del descubrimiento.

Cuando se ha cortado el árbol se procede a lo que llaman el labrado, que es la eliminación de la corteza y la preparación y alisamiento de la superficie, mediante azuelas y cepillos. Una vez alisado se prepara la parte baja, que corresponde a la más gruesa, esquadrandolo para que pase por el hueco de la fogonadura y encaje en la carlinga. A esta parte del palo se la denomina la coz (Foto 17). 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 es de 31 cm y arriba en el cuello junto al reclame es de 15 cm. El palo medio tiene de longitud 13,50 metros, de diámetro abajo 28 cm y arriba 14 cm. El palo de mesana tiene 10,50 metros por 20 cm y 13 cm.



FOTO 17

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 veintiséis 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 cm. La pena mayor tiene 17 metros de longitud, con un diámetro abajo de 14 cm y arriba de 10 cm. 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 cm. La pena media tiene 15 metros de longitud, y un diámetro abajo de 14 cm y arriba de 9 cm. 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 cm. La pena tiene 8 metros y un diámetro abajo de 12 cm y arriba de 8 cm.

Terminados los palos es interesante la forma de su colocación, que no varía en nada de los procedimientos empleados por los marinos de la antigüedad. Para esta operación se atan unos cabos a la parte alta del mástil y se le coloca apoyando la coza en la fogonadura. A partir de ahí se empieza a tirar de ambos lados, al tiempo que se iza mediante una cabria. De esta forma 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 totalmente al palo y que reciben el nombre de tamborettes (Foto 18).

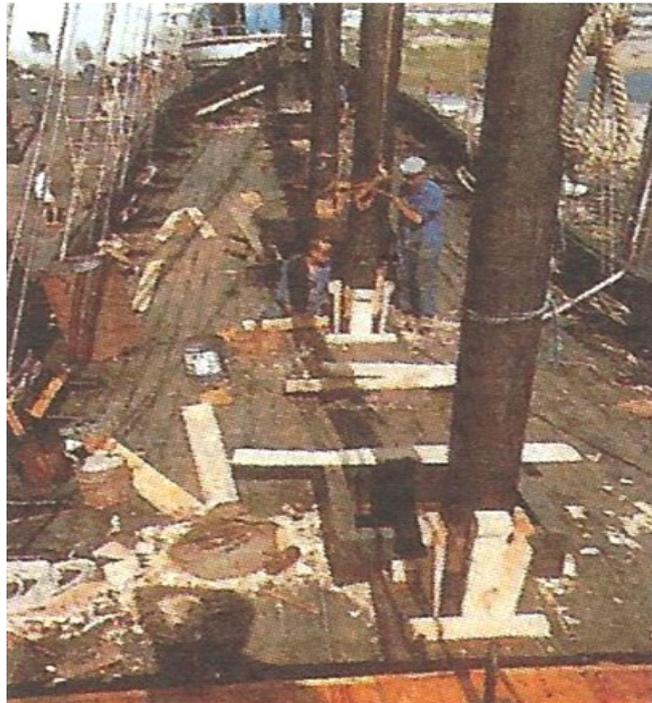
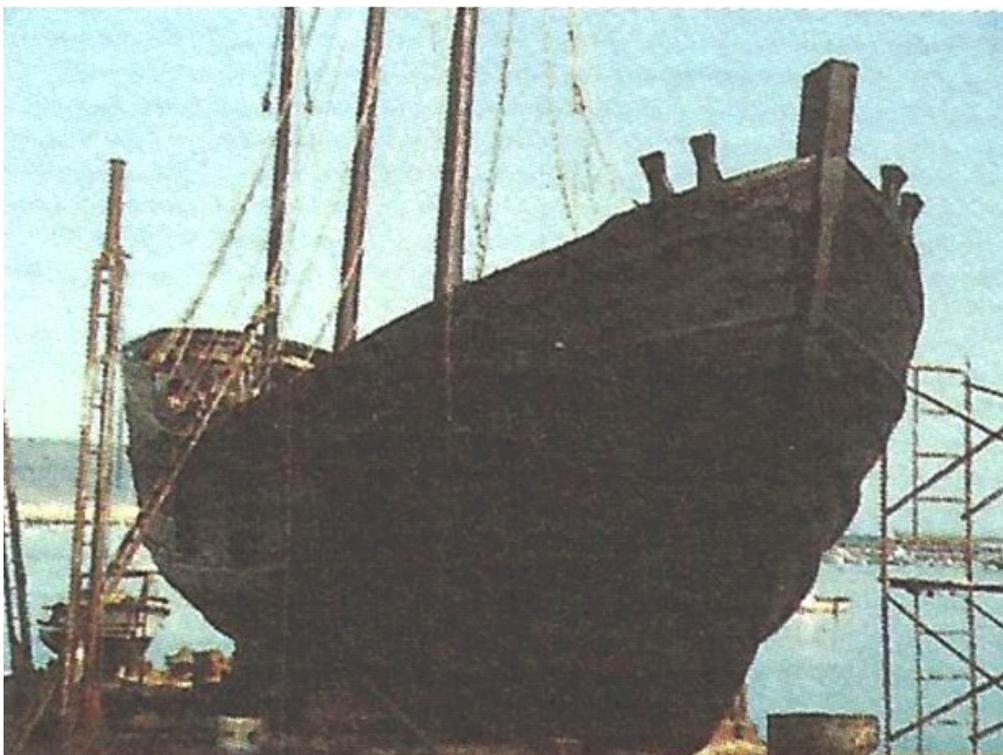


FOTO 18

Con ellos se puede ajustar también la mayor o menor inclinación del palo, con el fin de adelantar o atrasar el plano vélico (Foto 19).



### 5.5.18 Jarcia y aparejos

Tras la colocación de los palos se comienza la disposición de las jarcias y aparejos. Los palos quedan sostenidos lateralmente mediante los obenquillos, que son (Foto 21) cabos de cáñamo de 3 cm de diámetro. 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 (Foto 22), guarnido con cabo de cáñamo de 4 m de diámetro, y los aparejos de car y pena guarnidos con cabos de cáñamo de 2 cm de diámetro. El aparejo de ostaga consta de dos cuadernales, especie de polea grande de madera de ocho guarnes, tantos como ruedas o roldanas tenga el aparejo.



FOTO 22

También el aparejo de troza, guarnido con cabo de cáñamo de 3 cm de diámetro, esta formado por cuadernales o tallas, pero de seis guarnes. Los aparejos de car y pena, están provistos de cuadernales de cuatro guarnes, y los restantes aparejos tienen motones, que disponen de una sola rueda o roldana y por tanto son 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 izarla.

### 5.5.19 Velas

Al tiempo que se está construyendo el barco, los maestros veleros diseñan, cortan y cosen las grandes velas que van a ser utilizadas en la carabela. Los maestros veleros han sido parte esencial en la artesanía naval de nuestras costas, pero así como los carpinteros de ribera han mantenido parcialmente su actividad por la construcción de barcos de pesca y a veces pequeñas embarcaciones de remos y motor, los veleros dejaron su actividad hace varios decenios.

Un paso importante en la fabricación de las velas de La Niña fue el del diseño, ya que es sensiblemente distinto cuando se hace para barcos de una sola vela que en el caso de llevar 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. Esta forma se puede apreciar en los dibujos de los marineros del Puerto de Santa María de hacia el año 1500, de los que se han tornado las proporciones

para la construcción de estas velas. En cuanto al material, están hechas de algodón en paños de 60 cm de ancho y 50 hilos.

La vela mayor tiene una superficie de 105 metros cuadrados, con 21 paños de lona y 20 cabos de envergadura, y las siguientes dimensiones:

Gratil ..... ..25 metros  
Baluma ..... ..18 metros  
Pujamen ..... ..12,50 metros

La Vela media tiene una superficie de 52 metros cuadrados, con 15 paños de lona y 15 cabos de envergadura, y las siguientes dimensiones:

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

La vela mesana tiene una superficie de 28 metros cuadrados, con 10 paños de lona y 10 cabos de envergadura, y las siguientes dimensiones:

Gratil ..... ..14,50 metros  
Baluma ..... ..10 metros  
Pujamen ..... .. 6,50 metros

La superficie vélica total es de 185 metros cuadrados.

### **5.5.20 Calafateado**

La fase final relacionada con el casco es la de hacerlo totalmente estanco. Para ello es esencial el calafateado; palabra derivada 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.

-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. Los calafates prefieren la piel de oveja porque la lana hace que la brea muy caliente penetre mejor por la estopa y deja más estanca la junta.

### **5.5.21 Terminaciones**

A la vez que se está calafateando, se hacen las terminaciones de la cubierta, entre las que citaremos; las tapas de las escotillas para que no entre agua en la bodega, el saltillo de popa o plataforma de gobierno, los bitones y cornamusas 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 (Foto 23)

Y los ojos de la carabela que tradicionalmente se ponen en la proa. En el interior de la bodega; a proa 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 no deban mojarse.



La última operación de acabado del casco es la de darle un buen número de manos de alquitrán vegetal, que la madera va absorbiendo poco a poco. Por lo general se dan hasta seis manos para impermeabilizar al máximo la madera, tanto en el exterior como en la bodega. Estas capas sirven de protección para evitar que la madera se cuarté y se raje y también para evitar los parásitos. El proceso de ir dando manos de alquitrán se hace continuamente durante la construcción del barco, a partir del momento mismo de colocar la quilla.

### 5.5.22 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 que al tumbarse la carabela poco a poco sobre su costado de estribor cae sobre el grueso tablón que ha sido bien untado con grasa de atún. Al ir tirando 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. Por esta razón era necesario achicarlo una vez al día durante la primera semana. La estanqueidad prácticamente total no se logra hasta pasado por lo menos un mes. Pese a ello es necesario achicar el agua que se acumula poco a poco en la sentina cada dos o tres semanas.

La puesta a punto y ajuste final de las velas, aparejos y jarcias se hacen ya en las primeras etapas de navegación, por lo general con pequeñas correcciones en las que cuentan la experiencia y la practica de la navegación a vela (Fotos 24).



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 si cumplen una serie de funciones secundarias de gran utilidad. De una parte el cabestrante y de otra el bote auxiliar o barca.

### **5.5.23 Cabestrante**

El cabestrante es un torno vertical que mueven cuatro o mas hombres y que se emplea continuamente para los casos en que es necesario hacer grandes esfuerzos. Este torno sirve para subir las anclas a bordo, para tirar del barco en las salidas de puerto con vientos contrarios (atoar), en los casos en que el casco queda embarrancado, en las operaciones de carga y descarga, para ayudar en la operación de poner el barco al monte cuando hay poca marea, etc.

El que se ha montado en la réplica de la carabela La Niña, sigue el modelo tradicional que aún se ve en las costas andaluzas. Se emplea para el varado de las embarcaciones en las playas en que no hay puerto y, por tanto, es necesario sacar diariamente los barcos a la playa. Todavía pueden verse cabestrantes muy parecidos al que monta la carabela en las playas de Cádiz y de Málaga. La única diferencia que tiene el que va a bordo, con respecto a los que se usan en las playas, consiste en que los soportes del 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 de altura en el eje 1, 20 metros desde la cubierta, mientras que los utilizados en el varado de barcos, desde la Costa, trabajan desde tierra y en una sola dirección.

En una cerámica azul de Manises, del siglo XV, aparece grabado un cabestrante que representa al gremio de calafates. Un tipo igual de cabestrantes se está utilizando todavía en las costas andaluzas, y con una pequeña variación se utilizó a bordo de las últimas embarcaciones de vela latina que hicieron cabotaje por las costas andaluzas hace ya más de cincuenta años.

#### **5.5.24 Barca**

El bote auxiliar es de gran utilidad en la carabela. Se utiliza en las operaciones de contacto con tierra para llevar provisiones, abastecerse de agua, portar la carga y un sinnúmero de tareas que son imprescindibles en un barco que no puede acercarse a la orilla por razones de seguridad. En algunas ocasiones se menciona en el diario de Colón la utilización de bote auxiliar para tareas de reconocimiento de bajos y para pescar con el procedimiento de copo o jábega.

Normalmente la barca tiene de eslora la manga de la carabela. De esta forma se puede estibar atravesado con la quilla al sol encima de la escotilla principal. En los casos de buen tiempo y en condiciones normales de navegación se lleva el bote auxiliar amarrado por la popa, con objeto de tenerlo disponible en todo momento. Las dimensiones adecuadas para el bote de La Niña son 4,5 m. de eslora y dos bancos para cuatro remos. La capacidad de carga mínima tiene que ser lógicamente 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.

## 6. Valoración económica

Podemos empezar averiguando el peso del forro, esto lo podemos calcular con el área de la superficie mojada, la calcularemos a partir de la fórmula aproximada de Denny:

$$S = \text{volumen de carena}^{(2/3)} \cdot (3,4 + (L_{pp} / \text{volumen de carena}^{(1/3)}))$$

Para todo el barco (262,851 m<sup>3</sup> de volumen), nos da un valor de 242,508 m<sup>2</sup> de superficie, que, multiplicado por el espesor del forro (0,08 m), nos el valor del volumen de madera de pino utilizado para el forro. Esto es igual a 19,5 m<sup>3</sup> de madera de pino, si se multiplica por la densidad de esta madera podemos obtener el peso total de pino utilizado. La densidad de la madera del pino es de 500 kg/m<sup>3</sup>, por lo tanto el peso es 9,700 t.

El resto de nuestro peso en rosca es el perteneciente a la madera de roble y a los elementos de unión como son los clavos y cabillas, correspondientes a un 5% del peso del buque. Por lo tanto nos queda el siguiente reparto de pesos.

Madera de roble: desplazamiento en rosca (85,279 t), menos un 5% de este mismo (4,263 t) de las cabillas y clavos, menos 9,700 t del forro. Esto es igual a: 73,333 t.

Tabla 10

MATERIALES	PRECIO POR UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO TOTAL
------------	-------------------	----------	--------------

Proyecto Fin de Carrera: "La Niña"

Valoración económica

Madera de roble	6071	€/t	73,333	t	445204,643
Madera de pino	1200	€/t	7,682	t	9218,4
Cabillas de cobre	5000	€/t	0,2	t	1000
Cabillas de hierro galvanizado	11000	€/t	1,412	t	15532
Clavos de hierro galvanizado	6000	€/t	2,624	t	15744
Estopa	25000	€/t	0,2	t	5000
Brea	6000	€/t	0,552	t	3312
Tejido de cáñamo	40000	€/t	0,13552	t	5420,8
Motoneria					
Pequeños	14,52	€/unidad	10		145,2
Medianos	21,78	€/unidad	35		762,3
Grandes	31,45	€/unidad	6		188,7
Pintura	37,5	€/L	10		375
Anclas	6000	€/unidad	2		12000
Cables y estachas de cáñamo					
14mm	2,41	€/m	50	m	120,5
16mm	3,12	€/m	150	m	468
18mm	3,87	€/m	50	m	193,5
20mm	4,55	€/m	100	m	455
22mm	5,57	€/m	100	m	557
32mm	14	€/m	140	m	1960
<b>TOTAL</b>					<b>517657,043 €</b>

**JORNALES**

trazador de gálibos	535	€/mes
Carpintero de ribera	600	€/mes
Calafate	537	€/mes
Movimiento	700	€/mes
Aserradores	539	€/mes
Veleros	650	€/mes
Pintores	541	€/mes

**TOTAL 4102 €/mes**

**SI DURA 6 MESES**

**TOTAL 24612 €**

**PERTRECHOS**

**TOTAL 5000 €**

MATERIALES+JORNALES	547269,043	€
6% Beneficio industrial	32836,1426	€
20% Gastos generales	6567,22852	€
	<b>TOTAL</b>	<b>586672,414</b>
		€
5%ITE	29333,6207	€
	<b>TOTAL</b>	<b>616006,035</b>
		€

## 7. Bibliografía

- Alves, F. **Ria de Aveiro A - a mid-15th century shipwreck from the west Portuguese central coast** en Pré-Actas do Simpósio Internacional Arqueologia dos Navios Medievais e Modernos de Tradição Ibero-Atlântica”, ed. Alves, F., CNANS, Lisboa. 1.998.
- Alves, F. **The remains of the Corpo Santo, a 14th century shipwreck and the remains of a shipyard at parça do Municipio, Lisbon, Portugal** en Pré-Actas do Simpósio Internacional Arqueologia dos Navios Medievais e Modernos de Tradição Ibero-Atlântica”, Ed. Alves, F., CNANS, Lisboa, 1.998.
- Arnold, B. **The Nautical Archaeology of Padre Island: the Spanish shipwrecks of 1554**, Academic Press, N.Y, 1.978.
- Costa, L. **Naus e Galeões na Ribeira de Lisboa - A construção naval no século XVI para a Rota do Cabo**, Patrimonia Historica, Cascais, 1.997.
- Grenier, R. **Basque Whalers in the New World** en la obra de Bass, G. **Shipwrecks of the Americas – A History Based on Underwater Archaeology**, Thames and Hudson, N.Y, 1.996.
- Oertling, T. **The Molasses reef wreck hull analysis: final report**, The International Journal of Nautical Archaeology and Underwater Exploration, IJNA, 18.3: 235, 1.989.
- Smith, R. Spirek, J. Bratten , J. **The Emanuel Point Ship, Archaeological Investigations**, 1992-1995, Florida Department of State, Division of Historical Resources, Bureau of Archaeological Research, 1.995.
- **Arquitectura de las Naos y Galeones de las Flotas de las Indias. Serrano. Ediciones Sélter. Málaga 1991.**
- **Matagorda. Construcción de barcos de Madera.**
- **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.**
- **La Carabela Niña de Cadiz y El Primer Viaje de Colon-** Luis Miguel Coin Cuenca, Libros de la Diputación de Cadiz

**LISTA DE ANEXOS**

**ANEXO 1** Plano disposición general.....14

**ANEXO 2** Plano velamen.....15

**ANEXO 3** Plano disposición bajo cubierta.....15

**ANEXO 4** Plano de formas.....15

**LISTA DE FIGURAS**

<b>FIGURA 1</b>	Sistema de referencia tridimensional ortogonal asociado al barco.....	7
<b>FIGURA 2</b>	Proyección en un plano transversal, conteniendo a los ejes OY y OZ.....	12
<b>FIGURA 3</b>	Proyección en un plano horizontal, conteniendo a los ejes OX y OY.....	14
<b>FIGURA 4</b>	Colocación curvas características de “La Niña” en 3 vistas.....	14
<b>FIGURA 5</b>	Calco bitmap del plano de “La Niña” en Rhinoceros.....	15
<b>FIGURA 6</b>	Colocación curvas características de “La Niña” en 3 vistas.....	16
<b>FIGURA 7</b>	Proyección de las curvas principales de “La Niña”.....	17
<b>FIGURA 8</b>	Representación de superficies con reducción de puntos de control.....	17
<b>FIGURA 9</b>	Representación de las superficies de “La Niña”.....	18
<b>FIGURA 10</b>	Tabla reconstrucción de superficie de Rhinoceros.....	18
<b>FIGURA 11</b>	Representación de superficies con reducción de puntos de control.....	19
<b>FIGURA 12</b>	Representación análisis de curvatura de “La Niña”.....	20
<b>FIGURA 13</b>	Captura buque en Maxsurf.....	20
<b>FIGURA 14</b>	Captura buque en Hidrosurf.....	28

**LISTA DE TABLAS**

<b>TABLA 1</b> Cartilla de trazado.....	24
<b>TABLA 2</b> Valores curvas hidrostáticas.....	30
<b>TABLA 3</b> Datos experiencia de estabilidad.....	38
<b>TABLA 4</b> Resultados experiencia de establiidad.....	39
<b>TABLA 5</b> Resultados experiencia de estabilidad buque en rosca.....	39
<b>TABLA 6</b> Experiencia de estabilidad 100% consumos.....	40
<b>TABLA 7</b> Experiencia de estabilidad 10% consumos.....	41
<b>TABLA 8</b> Experiencia de establiidad 100% consumos y toda vela.....	42
<b>TABLA 9</b> Experiencia de estabilidad 10% consumos y toda vela.....	44