



# PHICARIA

VI ENCUENTROS INTERNACIONALES DEL MEDITERRÁNEO

NAVEGAR EL MEDITERRÁNEO



PHICARIA

**PHICARIA**

VI Encuentros Internacionales del Mediterráneo.  
Navegar el Mediterráneo.

© de los textos y las imágenes:

Sus autores.

© de esta edición:

Universidad Popular de Mazarrón.  
Concejalía de Cultura.

**COORDINACIÓN EDITORIAL**

José María López Ballesta.

**EDICIÓN CIENTÍFICA**

María Milagros Ros Sala.

**PORTADA**

Muher.

**IMPRIME**

I.G. Novoarte, S.L.

ISBN: 978-84-697-9948-2

Depósito Legal: MU-179-2018

Impreso en España / Printed in Spain

# ÍNDICE

CONDICIONES Y CONOCIMIENTOS NAÚTICO-MARINOS EN LA ANTIGÜEDAD. Pere Izquierdo i Tugas .....	17
IL NAUFRAGIO DI SAN PAOLO A MALTA ( <i>ATTI DEGLI APOSTOLI, 27</i> ). TRA LA VITA E LA MORTE SUL MARE. Stefano Medas .....	37
EL MEDITERRÁNEO ARCAICO COMO ESCENARIO BÉLICO. Adolfo J. Domínguez Monedero .....	53
DE SIROS A KYRENIA: EMBARCACIONES EN EL MEDITERRÁNEO ORIENTAL HASTA EL FINAL DE LA ÉPOCA CLÁSICA. Jorge García Cardiel .....	81
COMERCIO FENICIO A TRAVÉS DE LOS DATOS PROPORCIONADOS POR EL YACIMIENTO SUBACUÁTICO DEL BAJO DE LA CAMPANA. ESTUDIO PRELIMINAR. Juan Pinedo Reyes .....	99
LA FUNCIÓN MECÁNICA DEL COSIDO EN LOS BARCOS GRIEGOS ARCAICOS. Xavier Nieto Prieto .....	117
UNA INTERPRETACIÓN NAÚTICA A LA ESTIBA DEL CARGAMENTO EN EL PECIO BOU FERRER. Carlos de Juan Fuertes .....	131
EL ESTUDIO DE LA NAVEGACIÓN ANTIGUA (S. II A.C. - S. VI D.C.) A TRAVÉS DEL PAISAJE COSTERO EN LAS COSTAS DE LA CARTAGINENSE. Felipe Cerezo Andreo .....	147
PRODUCCIÓN, DISTRIBUCIÓN Y ASPECTOS RELIGIOSOS DE LOS LINGOTES CON FORMA DE PIEL DE TORO EN EL MEDITERRÁNEO DURANTE EL II MILENIO A.C. Álvaro Gómez Peña .....	163
LA NAVEGACIÓN EN LA CERDEÑA PREHISTÓRICA. Claudia Pau .....	183
ROMA Y LA PRIMERA GUERRA PÚNICA: UNA POTENCIA TERRESTRE ANTE LA GUERRA MARÍTIMA. Gerard Cabezas Guzmán .....	189
EL MONOPOLIO DEL COMERCIO MARÍTIMO ORIENTAL BAJO LA ÉLITE PUTEOLANA. Rebeca Arranz Santos, Clara Ramos Bullón y Carlos Díaz Sánchez .....	199
TOPONIMIA Y NAVEGACIÓN FENICIA EN EL EXTREMO OCCIDENTE EN LOS INICIOS DE LA COLONIZACIÓN. José Luis López Castro .....	217
MAGISTRADOS NAVALES EN LA REPÚBLICA: EL CASO DE LOS <i>DUOVIRI NAVALES</i> . Julián Espada Rodríguez .....	227
DELITOS MARÍTIMOS COMETIDOS TRAS UN NAUFRAGIO Y SU RESPONSABILIDAD PENAL DERIVADA. Teresa Encarnación Villalba Babiloni .....	235

# **LA FUNCIÓN MECÁNICA DEL COSIDO EN LOS BARCOS GRIEGOS ARCAICOS**

---

XAVIER NIETO PRIETO

# LA FUNCIÓN MECÁNICA DEL COSIDO EN LOS BARCOS GRIEGOS ARCAICOS

XAVIER NIETO PRIETO

No es hasta comienzos de la década de los años sesenta del siglo pasado cuando se plantea con rigor y nuevos objetivos el estudio de la construcción naval en la Antigüedad (Pomey 1998) y cuando Lionel Casson hace evidente que los barcos de aquel periodo responden a un principio de construcción de casco previo.

Esta teoría convierte en obsoletos los planteamientos anteriores según los cuales el estudio de un barco antiguo se hacía en el marco de una evolución lineal de la construcción naval mediterránea, a la que se le suponía una tradición única (Casson 1963, 1964a, 1964b, 1994).

Aceptado que en la Antigüedad el principio de construcción naval mayoritario era el de casco previo, ya que no será hasta el siglo VII d.C. que barcos como Saint-Gervais II (Jézégou 1985) y Yassi Ada I (Bass; Van Doorninck 1982) nos documentan otra línea evolutiva caracterizada por el principio de construcción sobre esqueleto, que ha perdurado como mayoritaria hasta hoy. Sin embargo, no podemos olvidar las influencias mutuas entre estos dos principios constructivos, que nos obligan a aceptar una construcción mixta (Haslslöf 1963; Basch 1972; Pomey 1988), evidencia que nos pone de manifiesto una problemática compleja, de múltiples líneas evolutivas, rica en matices.

Estos dos principios de construcción naval no son diacrónicos a lo largo de la historia ya que todavía hoy, aunque de modo residual, se conserva en nuestro ámbito tecnológico y vigente de manera más clara en el Extremo Oriente, una concepción del barco en la cual el forro es mecánicamente el elemento estructural principal. Es aquello que se conoce como principio de construcción naval de casco previo (*shell first o bordé premier*).

Este principio de construcción naval se caracteriza por el hecho de que las tablas del forro, sólidamente unidas entre ellas y a los elementos longitudinales, especialmente la quilla y las rodas, forman un conjunto estructuralmente unitario y mecánicamente determinante.

En este principio el carpintero naval parte de una concepción longitudinal del barco (Steffy 1995), lo cual requie-

re una decisión sobre su eslora, que se materializa, en el inicio de la construcción, con la colocación de la quilla, la roda y el codaste. A partir de este momento el carpintero naval, conforme coloca las tracas de aparadura y sucesivamente las otras hiladas de tablas del forro, decide, en función de sus medidas y ángulo, la forma transversal del barco.

Acabado el forro y con la ayuda de una plantilla, o cualquier otra solución simple, se pueden obtener las cuadernas con la forma deseada para que se adapten al forro (Fig.1).

Este principio de construcción obliga a hacer una sólida unión entre las tablas del forro (Pomey 1998) y hace innecesaria una gran solidez de las cuadernas, que en este tipo de barco tienen una función estructural muy secundaria. Esto se detecta en arqueología náutica al constatar que mayoritariamente, excepto en los barcos griegos de época arcaica en los que la unión es muy débil, la inexistencia de unión sistemá-



**Figura 1.** Este carpintero de ribera de Siem Reap (Camboya) en el año 2005, con ayuda de un martillo, torcía una barra de hierro para obtener el perfil interno de una parte de la embarcación ya construida. Posteriormente, utilizando la barra de hierro como plantilla, tallaría la cuaderna con la forma exacta. Se trata de una embarcación que responde al principio de construcción naval conocido como casco previo.

tica entre las varengas y los genoles o al encontrar, por ejemplo en los barcos Mazarrón 1 y 2, cuadernas cilíndricas con un diámetro medio de únicamente 6 cm. (Negueruela 2004).

Tampoco será necesaria una gran cantidad de cuadernas y es por esto que en el pecio de Cala Sant Vicenç (Pollença – Mallorca) (Nieto; Santos 2008) y los otros de su tradición arquitectónica, la distancia entre los centros de dos cuadernas sucesivas es de entre 90 y 100 cm., generando unas claras enormes. Tampoco será imprescindible la unión de las cuadernas a la quilla.

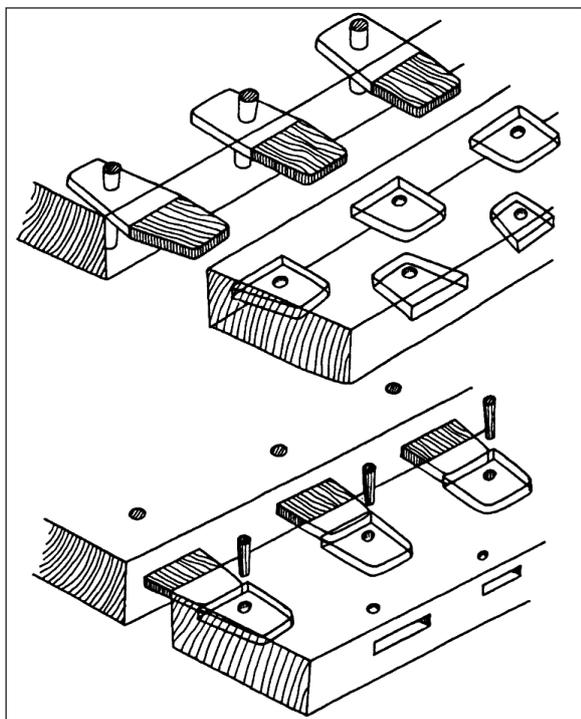
Se conocen dos sistemas de fijación para la construcción de un casco previo: uno de tradición griega, que es el que presenta el barco de Cala Sant Vicenç y que se documenta también en otros cuatro barcos griegos mediterráneos (Giglio, Bon Porté 1, Jules-Verne 9 y Pabuç Burnu) todos ellos datados en el siglo VI a.C. y que presentan como caracterís-

tica más evidente que todos sus elementos estructurales, especialmente las tablas del forro, están fijados mediante unas finas cuerdas vegetales que pasan por unos orificios hechos con esta finalidad. Es el sistema que conocemos como de barcos cosidos y que todavía perdura hoy día (Fig. 2).

El otro sistema de fijación, al que se le atribuye un origen en el área cultural fenicia, de aquí su nombre: *coagmenta punicana* (De Agricultura, XXI, 18.9) (Sleeswyk 1980; Kahanov; Pomey 2004), tiene en Ulu Burum, de finales del siglo XIV a.C., su ejemplo más antiguo (Steffy 1994). Este sistema de fijación se acabará imponiendo en el Mediterráneo, siendo el barco de Kyrenia, del siglo IV a.C. un ejemplo plenamente consolidado. Se caracteriza por la existencia de unas mortajas en el canto de las tablas del forro, de modo que quedan enfrentadas las de dos tablas adyacentes, lo cual permite introducir unas lengüetas de tal manera que la mitad



**Figura 2.** Detalle de una embarcación de la provincia de Tamil Nadu (sudeste de la India), año 2001. Pueden apreciarse la cara interna de las tablas del forro de una embarcación de casco previo ensamblada mediante el cosido. Es de destacar la enorme similitud de la técnica de cosido de esta embarcación del siglo XXI con la de los barcos griegos del siglo VI a.C.



**Figura 3.** Sistema de ensamblaje de las tracas de una embarcación mediante mortajas – lengüetas y clavijas.

queda en cada tabla. El rasgo más característico y específico es que el conjunto se fija mediante dos clavijas cilíndricas (ligeramente troncocónicas) que, introducidas verticalmente en las dos tablas, perforando las lengüetas, impiden que las tablas se separen (Fig. 3). Este sistema de fijación por mortajas – lengüetas y clavijas irá desapareciendo progresivamente del Mediterráneo a partir del siglo VI d.C.

La construcción naval sobre esqueleto se caracteriza por la sólida unión entre la estructura axial, especialmente la quilla y las rodas, y la estructura transversal, especialmente las cuadernas y los baos, de tal manera que todos estos elementos forman un conjunto estructuralmente unitario sobre el cual, en una fase posterior, se colocará el forro.

Este principio de construcción naval hace necesario que, antes del inicio de la construcción del barco, el carpintero tenga una concepción muy exacta del casco acabado, especialmente en cuanto a sus formas transversales. Esto le será imprescindible para labrar, con una precisión casi milimétrica, las medidas y la curva de cada cuaderna, las cuales varían continuamente de forma y dimensiones de un extremo al otro de la nave. Esta exactitud hará posible, en un paso posterior, que las tablas del forro se ajusten perfectamente sobre las cuadernas (Fig. 4).



**Figura 4.** La construcción naval sobre esqueleto tiene como característica más evidente el que las tablas del forro se clavan sobre el conjunto formado por el eje axial del barco y las cuadernas, cuando estos elementos estructurales esenciales están ya contruidos.

Las tablas del forro, fijadas individualmente sobre las costillas no forman un elemento estructural unitario, ni son elementos estructurales fundamentales, al contrario, son tablas independientes entre ella lo cual hace necesario el calafateado.

Los barcos de casco previo no presentan un calafateado (entendido como una masa de estopa introducida en la junta entre dos tablas), ya que la necesaria estanqueidad que debe tener un barco se consigue gracias a la dilatación de las tablas del forro al humedecerse. Si en un casco unido por lengüetas – mortajas y clavijas se utiliza para las tablas del forro una madera blanda, como el pino, y una madera dura como el olivo para las lengüetas, al mojar el conjunto y dilatar las tablas más que las lengüetas, las primeras tenderán a cerrar cualquier resquicio que pueda quedar entre las tablas. Algo similar a lo que ocurre con las duelas de los toneles gracias a los aros de hierro que las ciñen. Un efecto similar se produce en los barcos cosidos.

### EL QUEBRANTO Y EL ARRUFO

Un barco es una máquina compleja en la que todos sus componentes interaccionan para obtener un conjunto homogéneo que responda favorablemente a una serie de esfuerzos mecánicos originados, entre otras causas por: su propio peso, el peso del cargamento, el efecto del viento sobre las velas que repercute en la carlinga y las fuerzas hidrodinámicas que presionan sobre el casco por efecto del agua desplazada.

Unas presiones serán constantes y otras variables y entre estas últimas son de gran relevancia las originadas por el

movimiento y en especial por la potencia, la intensidad, la frecuencia y el intervalo de las olas, que actúan, en el mismo instante y con diferente fuerza sobre las diversas partes del casco, de manera que unas pueden estar sometidas a presión y otras a tensión (Pomey; Rieth 2005). Estas presiones deforman el barco, que ha de tener la flexibilidad suficiente para absorber estas deformaciones sin desmembrarse.

Navegando sobre las olas, el barco tendrá tendencia a sufrir, entre otras, una deformación longitudinal al bajar la proa y la popa, cuando la ola presione en la parte central de la embarcación, curvándose la quilla hacia el interior (quebranto), mientras que un instante más tarde las presiones de la ola, al desplazarse bajo el casco, tenderán a hacer subir la proa y la popa, cuando la presión de dos olas sucesivas actúe sobre la proa y la popa existiendo un seno en la parte central del barco, curvando la quilla hacia el exterior (arrufo).

En cualquier barco de madera de un cierto porte y especialmente en un barco cosido, estos movimientos alternativos, constantes y en ocasiones de gran violencia, se transmiten a las tablas del forro que tendrán tendencia a desplazarse longitudinalmente a lo largo de su canto, lo cual puede llegar a producir el destensado de las cuerdas e incluso su rotura.

En el pecio griego de Cala Sant Vicenç (520 – 500 a.C.) se conservan algunas de las soluciones técnicas adoptadas por el carpintero naval. Una es la forma de unión de las cabezas de las tablas del forro de una misma hilada. Para hacer esta unión las testas no se cortan a escuadra, al contrario, se cortan en forma de S muy estilizada, de tal modo que se aumenta muy considerablemente la zona de contacto entre dos tablas que pasa de ser de 44 a 125 cm. lo cual permite reforzar sensiblemente esta unión. Otra solución, sin duda eficaz y complementaria del cosido es la instalación de lengüetas introducidas en mortajas labradas en dos tablas contiguas (cabe recordar que esta solución, al faltar las clavijas tiene una función mecánica diferente a la *coagmenta punicana*). Su frecuencia de aparición es alta, aunque irregular. En Cala Sant Vicenç aparecen tablas que presentan estas mortajas y lengüetas con una media de cuatro por metro lineal. Sin duda esta solución contribuye en gran manera a evitar el desplazamiento longitudinal de las tablas y la rotura del cosido, pero por sí sola, al faltar las clavijas, no evita el desplazamiento lateral de las tracas.

El tercer elemento y el que tiene una función mecánica más activa es el cosido, que logra su máxima eficacia gracias a unas pirámides invertidas de planta triangular que presentan una cara plana paralela al canto de la tabla y en la que existe una perforación oblicua y cilíndrica que tiene su otro extremo en el canto de la tabla del forro.

La acción conjunta de estos tres elementos evita el desmembramiento del buque. Se trata de un sistema de ensam-

blaje enormemente sofisticado y que debemos considerar de una enorme eficacia a pesar que desde la tecnología actual nos resulte sorprendente.

### **EL SISTEMA DE COSIDO DE LAS TABLAS DEL FORRO EN LOS BARCOS GRIEGO DE ÉPOCA ARCAICA**

El cosido de un barco, como concepto, no es un rasgo ni característico ni distintivo de una zona geográfica, ni de un periodo cronológico, ni de una cultura, ya que esta solución técnica la han utilizado, con diversas soluciones en la práctica, numerosos grupos étnicos desde la Prehistoria hasta la actualidad (Fig.2), en prácticamente todo el mundo, excepto en Australia (Marlier 2005). Recordemos, a modo de ejemplo, la barca de Nord Ferriby (Humberside) excavada nordeste de Inglaterra y datada a finales de la Edad del Bronce (Casson 1994; Dell'Amico 2002, fig.62), la barca funeraria del faraón Keops de hacia el 2.650 a.C. (Lipke 1984), las embarcaciones localizadas en Suecia, Rusia o Kenya (Pomey 1981), las de época romana como la de Comacchio (Berti 1990), medievales como las localizadas en el delta del Po, entre ellas la de Pomposa (Bonino 1968; Marlier 2002), todas las griegas citadas en este artículo o las de Nin en Croacia (Brusic 1968), por citar algunas que presentan característica particulares. Lo que caracteriza al sistema de cosido griego arcaico que estamos comentando es su realización práctica, utilizando una serie de elementos particulares que actúan conjuntamente para lograr, como objetivo, una sólida fijación de las tablas del forro, tanto en sentido longitudinal como transversal, de una manera sorprendentemente eficaz.

En el cosido del forro de un barco griego arcaico interviene, condicionándose, los siguientes elementos: marcas de ubicación, tetraedros, perforaciones oblicuas realizadas desde el canto de la tabla hasta el tetraedro, clavijas de fijación, cuerda y bandas de tela impermeabilizadas para mejorar la estanqueidad, todos ellos sujetos a un depurado y experimentado método de construcción.

Los describiremos en el orden en que creemos que fueron realizados por el carpintero naval durante el proceso constructivo.

#### **Marcas de ubicación.**

Una vez cortada una nueva tabla del forro, se curvaba y se presentaba, adosándola a la ya definitivamente colocada con anterioridad y en la que ya existían las mortajas para las lengüetas. Sobre la nueva tabla, con la ayuda de una herramienta de punta fina, se hacían una serie de marcas perpendiculares al canto de la nueva tabla y que se correspondían



**Figura 5.** Detalle del barco de Cala Sant Vicenç en el que puede observarse el canto de una tabla del forro con el inicio de las perforaciones oblicuas y con el extremo, con el extremo de las clavijas que boqueaban las cuerdas del cosido. En la cara superior de aprecian los triángulos que se forman al tallar los tetraedros.

con las mortajas ya existentes en la tabla anteriormente colocada. Se deshacía el montaje provisional y se realizaban algunas mortajas, las suficientes para mantener la nueva tabla provisionalmente en su emplazamiento definitivo, tras lo cual se volvía a montar la nueva tabla para, tomando como referencia las perforaciones oblicuas de la tabla ya instalada definitivamente, marcar sobre la nueva el emplazamiento de las perforaciones oblicuas. Se desmontaba nuevamente el conjunto y el carpintero naval procedía a realizar las perforaciones oblicuas en la nueva tabla, los tetraedros que se tallaban en el extremo de la perforación oblicua que aparecían en la cara interna del forro (Fig. 5) y se incrementaba en número de mortajas. De este modo quedaba la nueva tabla lista para ser colocada en su emplazamiento definitivo y soportada por las lengüetas hasta que se realizara el cosido.

Si en Jules-Verne 9 estas marcas sutiles son sistemáticas y exhaustivas y se han conservado, no pasa lo mismo en Cala Sant Vicenç donde las marcas conservadas hechas a punta seca son muy escasas.

#### **Perforaciones oblicuas.** (Fig.6)

Tomando como referencia estas marcas y mediante un taladro, partiendo del canto de la tabla en las proximidades de la arista inferior, el carpintero naval realizaba una serie de perforaciones separadas unos 5 cm. Era de capital importancia que la ubicación de estas perforaciones fuera extremada-

mente regular, tanto en cuanto a la distancia al canto de la tabla como en cuanto a la distancia entre ellas. Esta regularidad que observamos es la prueba de que las perforaciones se hicieron partiendo del canto de la tabla, ya que si fuera a la inversa hubiera sido extremadamente difícil dar siempre al taladro la misma inclinación, por lo que sería imposible obtener la regularidad que observamos y además se correría el riesgo de que muchas perforaciones estropearan la arista de la tabla.

Es cierto que, iniciando el agujero en el canto de la tabla y por las razones expuestas, se produciría una irregularidad en la alineación de los agujeros de salida en la cara interna de las tablas. Esto se solucionaba con los tetraedros que se ubicaban con una regularidad absoluta cortando las perforaciones oblicuas y eliminando las astillas que podrían haberse formado por la presión del trepano.

#### **Los tetraedros.**

Utilizando un formón, que en vez de tener el corte recto lo tuviera en forma de punta triangular, y situándolo en la cara interna de la tabla a una distancia enormemente regular de entre 1,5 y 2 cm, del canto de la arista y en la vertical de la perforación oblicua, con un golpe de maza se lograba un corte vertical con forma de triángulo que cortaría la perforación oblicua. Con dos golpes más con el formón se obtendría un tetraedro, consiguiéndose, por una parte, que todos los

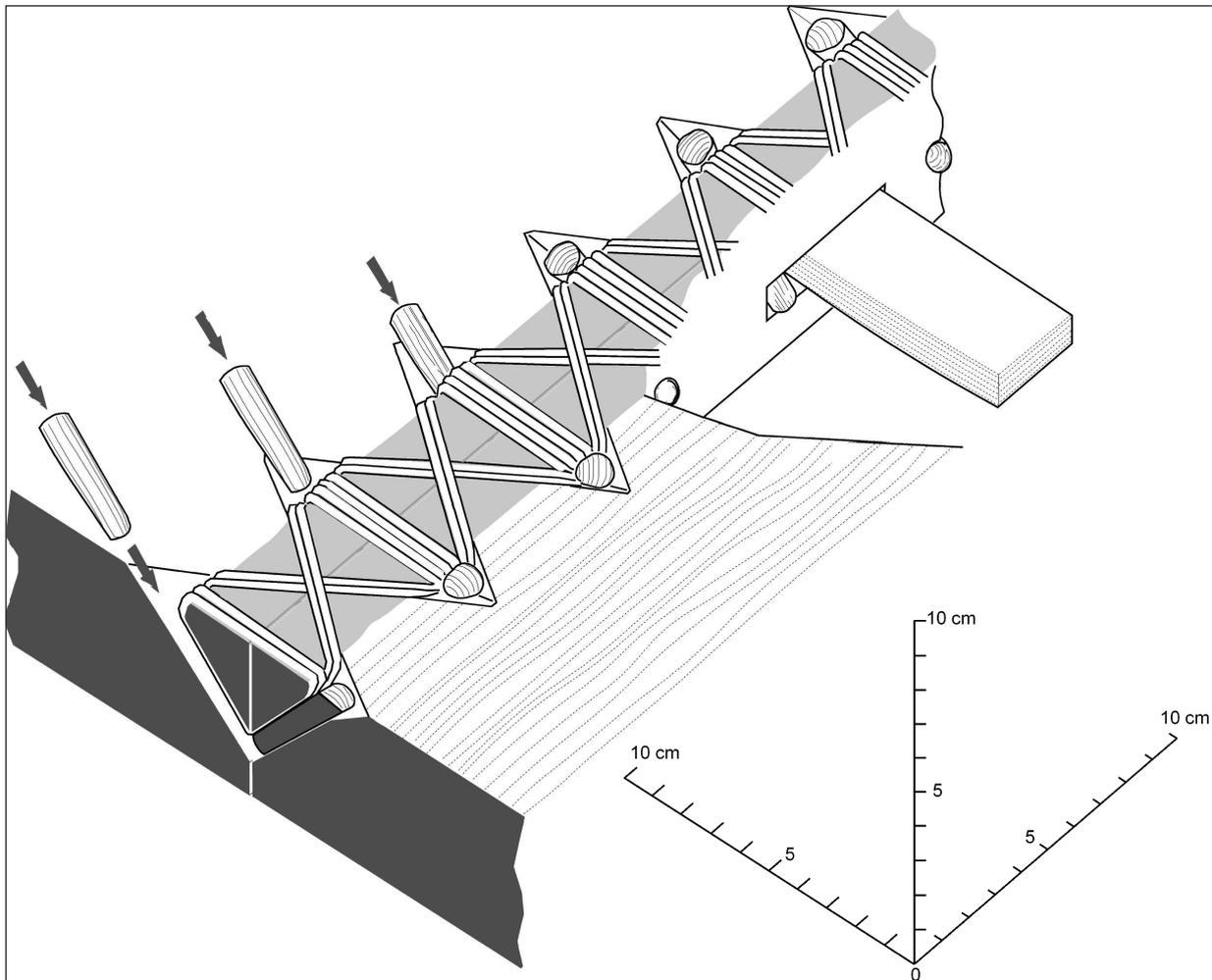


Figura 6. Sistema de cosido y de fijación de las cuerdas. Se observa también una lengüeta en parte introducida en una mortaja. (Cala Sant Vicenç - Pollença)

orificios de salida de las perforaciones oblicuas estuvieran distribuidos con máxima regularidad y algo importante, que se obtuvieran unas oquedades triangulares con una cara paralela al canto de la tabla.

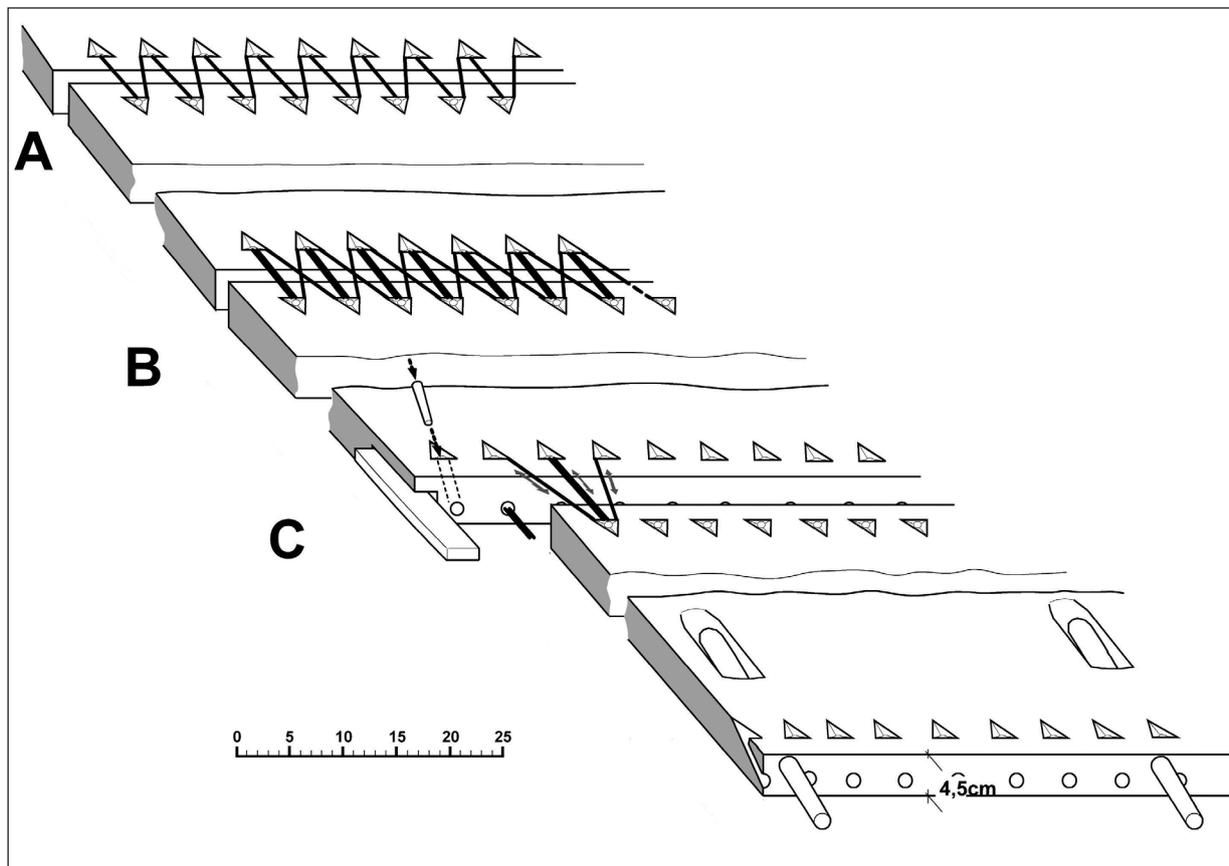
#### **Bandas de tela para conseguir la estanqueidad.**

Realizados los tetraedros y las mortajas y una vez colocadas las lengüetas se colocaba la tabla en su emplazamiento definitivo y se cubría la junta de las dos tablas con una banda de tela de unos 5 cm. de anchura, que quedaría posteriormente fijada por el cosido y que más tarde se impregnaría con una sustancia impermeable. Esta banda de tela contribuiría, aunque no en exclusividad, a evitar las filtraciones de agua.

#### **Las cuerdas y el método de cosido en “pata de gallo”.**

Para el cosido se utilizaron dos cuerdas de esparto de aproximadamente 0,3 cm. de grueso cada una, sin trenzar, pero utilizadas juntas. Lo que se observa en Cala Sant Vicenç es que los tetraedros enfrentados en dos tablas contiguas están unidos por cuatro cuerdas, mientras que solo existen dos cuerdas que unan cada tetraedro con el situado en oblicuo en la tabla contigua (Fig. 6).

Creemos que primero se fijó un tetraedro al enfrentado en la tabla contigua, con una puntada perpendicular, para después, con una puntada oblicua ir a la tabla contigua pasando por los vértices de los triángulos, después con una puntada perpendicular se enlazaba un nuevo triángulo para posteriormente con una puntada oblicua unir un nuevo triángulo y de este modo ir avanzado en dirección a la proa o a la



**Figura 7.** Creemos que el cosido se podría realizar en dos fases. **A.-** Se hacía un tensor en perpendicular al canto de la tabla y otro en oblicuo, pero siempre avanzando en la misma dirección. **B.-** En la segunda fase se realizaba el mismo proceso, pero en dirección contraria a la de la fase A. **C.-** La unidad mecánica es el cosido en pata de gallo, que impide que dos tablas contiguas se separen y que se desplacen longitudinalmente sobre sus cantos.

popa (Fig. 7A). Una vez alcanzado el extremo del barco se volvería atrás con nuevas puntadas, pero esta vez en dirección contraria (Fig. 7B).

El resultado es el cruce de tensores, unos hacia proa, otros hacia popa y otros de babor a estribor (Fig. 8), todos ellos bloqueados con clavijas de madera ligeramente tronco-cónicas (Fig. 6).

La función del cosido era triple, lo cual denota una solución tecnológica derivada de un perfecto conocimiento de la problemática mecánica que planteaba la flexibilidad de una embarcación cosida. El objetivo a conseguir era evitar: por una parte, que las tablas se separen lateralmente, lo que facilitaría que, al hincharse la madera húmeda, las tablas encajaran perfectamente evitando vías de agua, por otra evitar el desplazamiento longitudinal de las tablas sobre sus cantos, hacia proa y hacia popa, lo cual destensaría las cuerdas pudiendo acabar rompiéndolas. Un tercer logro, aunque éste de importancia mecánica secundaria (en esta



**Figura 8.** Restos del cosido y de la banda de estanqueidad en el barco de Cala Sant Vicenç.



**Figura 9.** Numerosas tablas aparecieron en Cala Sant Vicenç con sus cantos arrancados siguiendo la línea de las perforaciones oblicuas. Este dato nos inclina a pensar que las cuerdas aguantaron la tensión y que fueron las tablas las que no resistieron.

función el papel principal lo tenían las cuadernas), era conseguir que las tablas no se plegaran sobre sí mismas. Para conseguirlo el cosido creaba miles de pequeños tensores en forma de pata de gallo (Fig. 7C) y que actuaban como una unidad.

Se corre el riesgo de pensar que el esquema básico del cosido es asimilable a IIXIIXIX, cuando en realidad la base mecánica es la pata de gallo IVIVIV (Fig. 7) la cual al invertirse en la tabla contigua crea una imagen IIXIIXIX pero esto no debe hacernos olvidar que el efecto mecánico básico en cada tabla se consigue con la pata de gallo.

En Cala Sant Vicenç, de media, hay 120 tetraedros por metro cuadrado lo cual posibilita la existencia de 60 tensores perpendiculares y 120 oblicuos. Nos resulta imposible hacer un cálculo exacto de los tensores que podría haber tenido este barco en el momento de su construcción, pero no sería exagerado aceptar un número de 10.000 tensores perpendiculares y 20.000 oblicuos, de los que una mitad evitarían el desplazamiento de las tablas hacia proa y la otra mitad hacia popa.

Es con esta ejecución de los tetraedros y su regularidad y ritmo que el conjunto adquiere sentido. Los tetraedros generan unos triángulos en la cara interna del forro con unos vértices que guían los tensores oblicuos en dos direcciones concretas con el mismo ángulo y la misma longitud. Lo mismo ocurre con los tensores perpendiculares, produciéndose una suma de resistencias que se reparten uniformemente por todo el casco de la embarcación dando un resultado unitario.

Nos encontramos ante un sistema de fijación enormemente elaborado que denota un profundo conocimiento de la problemática mecánica de un buque de casco previo y que en contra de lo que podría desprenderse de un análisis superficial, en cuanto a la debilidad del cosido, resulta enormemente resistente.

Cala Sant Vicenç nos ofrece constantes pruebas de la bondad del sistema y también de sus puntos débiles.

Durante la excavación han aparecido numerosas tablas del forro, incluso partes de la quilla, que presentan las aristas arrancadas violentamente, justo por la línea de las perforaciones oblicuas (Fig. 9), dejando visibles estas perforaciones. Creemos que esta es la mejor prueba de que el cosido y los tensores aguantaron las tensiones violentas y anómalas que se produjeron durante el proceso de hundimiento y que lo que se rompió no fue el cosido sino la madera de las tablas del forro, indicándonos que el debilitamiento de las tablas por efecto de las perforaciones oblicuas y la concentración de todo el esfuerzo mecánico en las aristas, es el factor que constituye el punto débil del sistema.

Existe un elemento esencial para mejorar la resistencia del cosido: las clavijas de fijación.

#### Clavijas de fijación.

A medida que se iba dando cada puntada del cosido, introduciendo las cuerdas por las perforaciones oblicuas, se introducía también unas pequeñas clavijas troncocónicas de madera, para conseguir que las cuerdas quedasen bloqueadas en el interior de las perforaciones (Figs. 5 y 7) lo cual es especialmente útil si durante la navegación se rompían las cuerdas, ya que estas clavijas evitarían que se deshiciera toda la costura.

Hay que recordar que el cosido condiciona totalmente la morfología de las cuadernas de este tipo de barcos ya que, para evitar que las cuadernas rozaran continuamente contra el cosido y la banda de tela lo que originaría su desgaste o rotura, se labraban, en la cara inferior de las cuadernas, unos arcos bajo los que pasaba el cosido. Para contribuir también a este fin las cuadernas se tallaban con una sección transversal en forma de trapecio invertido (Fig. 10) de tal modo que la anchura de la cara inferior podría llegar a ser cuatro o cinco veces menor que la anchura de la cara superior. Esta es una característica propia de la tradición naval griega arcaica y que tendría como beneficio secundario el facilitar la reparación del cosido. Estaba tan aceptada esta forma de las cuadernas que, como veremos más adelante, se sigue conservando, incluso cuando los barcos de tradición griega pasan a ser unidos con lengüetas – mortajas y clavijas.

#### EL COSIDO EN EL CONTEXTO DE LA ARQUITECTURA NAVAL GRIEGA

Probablemente una de las diferencias más evidentes entre los barcos cosidos egipcios, ejemplificados magníficamente por la barca funeraria de Keops y los barcos griegos

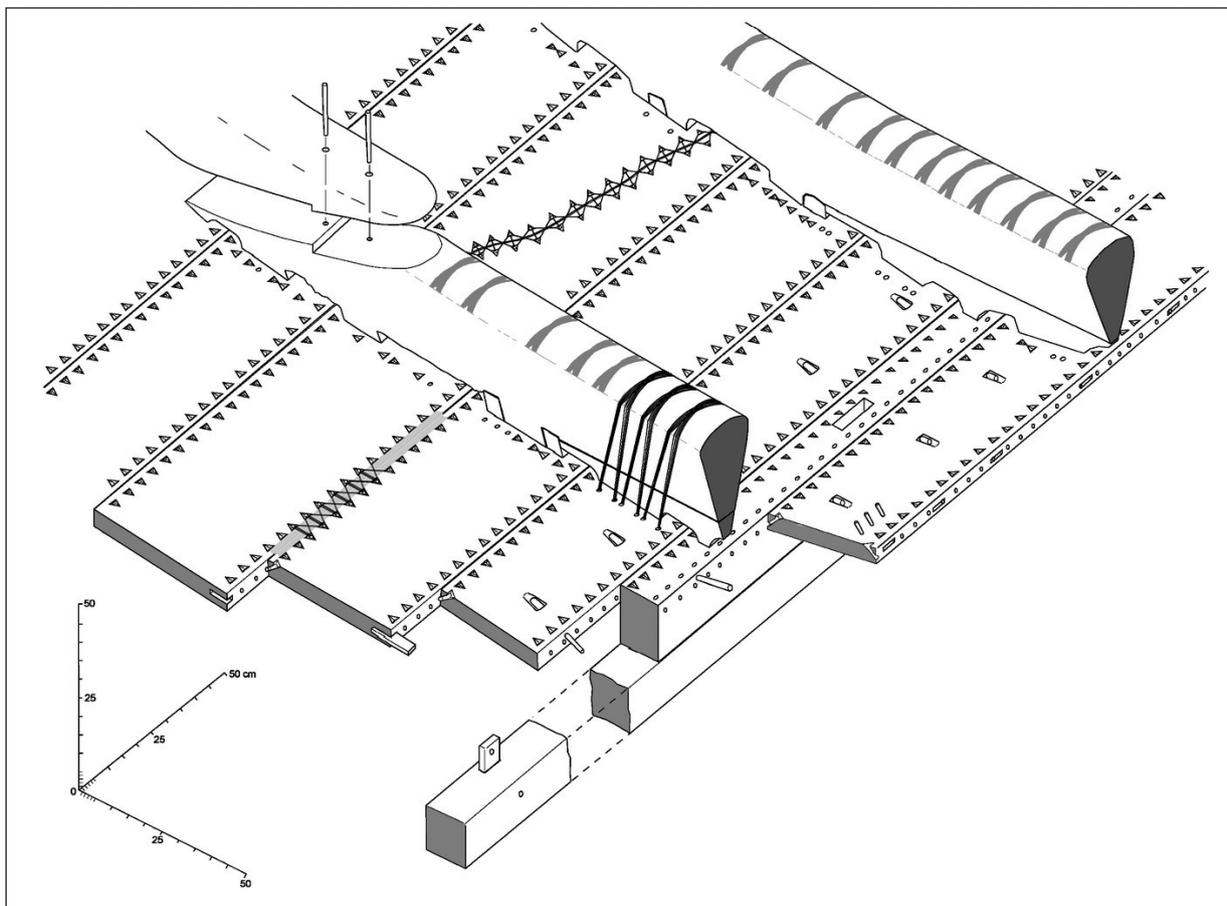


Figura 10. Reconstrucción del sistema de construcción del barco de Cala Sant Vicenç a partir de algunos restos conservados.

arcaicos sea que mientras en los barcos nilóticos el sentido del cosido es transversal, de babor a estribor, en los barcos griegos el sentido del cosido es longitudinal de proa a popa. Eso denota dos problemáticas mecánicas diversas y dos soluciones adaptadas a necesidades distintas, originadas por dos realidades náuticas tan diferentes como son la fluvial y la marítima y por consiguiente el diferente juego de fuerzas que actúan en los dos tipos de barco. Son las olas y las continuas y alternantes deformaciones longitudinales del barco (quebranto y arrufo) lo que lleva a dos concepciones diferentes del sistema de fijación de las tablas del forro, generándose dos líneas evolutivas diferentes en la construcción naval antigua.

Mientras la tradición del cosido egipcio, adaptada a unos condicionantes geográficos muy concretos, desaparecerá, la tradición del cosido longitudinal llegará a nuestros días (Fig. 2) prácticamente sin cambios en su concepción y método de ejecución, como prueba de su eficacia. El barco romano bajo

imperial de Cervia (Bonino 1985) y el del siglo XI d.C. de Pomposa (Bonino 1978) jalonan esta perduración que coexiste con otros métodos de cosido en los que las respuestas a los problemas de fijación no parecen ser tan eficaces. La barca de Ljubljana, de la segunda mitad del siglo II a.C. sin tensores transversales ni tetraedros, nada más con tensores oblicuos y bandas de estanqueidad (Salemke 1973) y especialmente el barco de Nin, de la mitad del siglo I d.C., sin tetraedros, ni tensores oblicuos y con la cuerda de cosido visible al exterior del casco después de pasar por una perforación vertical a la tabla, pero con clavijas de bloqueo y banda de estanqueidad (Brusic 1968), muestran diversas soluciones en el cosido del forro tal como ha puesto de manifiesto Sabrina Marlier (2002, 2005), pero muy distantes de la perfección mecánica de los barcos cosidos griegos.

Los tensores en pata de gallo denotan un conocimiento de todas las fuerzas que actúan sobre las tablas de un casco y aportan una solución que está ya plenamente depurada en

la segunda mitad del siglo VI a.C. como la más idónea y de implantación generalizada en los barcos griegos de forro cosido.

Los cinco barcos griegos cosidos que conocemos presentan la misma solución técnica a un problema entendido de la misma forma, pero en Cala Sant Vicenç hay un detalle que creemos que anuncia un cambio en la manera de afrontar la cuestión de la fijación de las tablas del forro para evitar su desplazamiento.

Los barcos de el Giglio, Bon Porté 1, Jules-Verne 9, Pabuç Burnu y Cala Sant Vicenç presentan clavijas cilíndricas entre la quilla y la traca de aparadura, pero a partir de la segunda traca, mientras que en Cala Sant Vicenç y Pabuç Burnu, por lo poco que sabemos del barco turco, se utilizan lengüetas rectangulares. No pasa lo mismo en el Giglio, Bon Porté 1 y Jules-Verne 9, en donde se utilizan clavijas cilíndricas entre todas las tablas del forro.

Creemos que en Cala Sant Vicenç la explicación es clara y está en relación con la importante reparación que se hizo al barco y consistente en cambiar la quilla y la primera traca de aparadura. Es esa reparación era más sencillo hacer perforaciones cilíndricas que mortajas rectangulares y no podemos descartar que en el barco original todo fueran lengüetas. De cualquier modo, tanto el barco mallorquín como el turco presentan lengüetas.

Patrice Pomey (1997), al establecerlas familias de barcos de tradición griega y después de agrupar en la misma a las embarcaciones a las que nos estamos refiriendo, estableció otra que arranca de ella, pero posterior cronológicamente y que responde a unos planteamientos diferentes. El prototipo de esta nueva familia sería el Jules-Verne 7, aparecido junto al 9. En esta nueva familia el rasgo más definitorio es la sustitución del sistema de cosido de las tablas por el de lengüetas – mortajas y clavijas (*coagmenta punicana*) de manera muy generalizada ya que sólo aparece el cosido, de manera puntual, para unir las testas de las tracas a las rodas y en las reparaciones.

Es clarificador que en estos barcos se siguen utilizando cuadernas dentadas cuando son absolutamente innecesarias dada la ausencia de cosido. Este anacronismo tecnológico es la característica más evidente de esta familia de tradición griega en la que se incluyen, además de Jules-Verne 7 (525-510 a.C.), el Cesar 1 (525-510 a.C.) también encontrado en Marsella (Pomey 2001), Gela 1 (hacia el 480 a.C.) y Gela 2 (450-425 a.C.), así como el Grand Ribaud F (515-470 a.C.), barcos por lo tanto ligeramente más modernos que los totalmente cosidos.

Creemos que este anacronismo tecnológico, de utilizar cuadernas dentadas sin ser necesarias, y el hecho de conser-

var el cosido para las partes más delicadas, son unos magníficos ejemplos de la permeabilidad cultural mediterránea y de un principio etnográfico que se manifiesta en el conservadurismo tecnológico, en la reticencia a los cambios especialmente en el caso de los barcos en los que la vida y el capital dependen de la calidad de la construcción de la nave.

Creemos que Cala Sant Vicenç y por lo que parece, también Pabuç Burnu, al utilizar lengüetas en vez de clavijas documentan los últimos ejemplos de barcos cosidos, en un momento en que el sistema del cosido ha llegado a su máxima perfección pero también al límite de sus posibilidades tecnológicas y esto se produce, como ha escrito Pomey (1997) y Cala Sant Vicenç lo confirma, entre finales del siglo VI i comienzos del siglo V a.C.

Este tipo de intercambio tecnológico no es extraño y único de este momento en el Mediterráneo, disponemos afortunadamente de documentos que lo confirman. Se trata de unos textos (Meeks 1997): uno es una carta de Ramsés II, hacia el 1.270 a.C. dirigida al rey hitita, anunciándole que le envía una embarcación para que sus carpinteros hagan una copia. Otro texto muy similar se data entre el 555 y el 539 a.C., durante el reinado de Nabónid, rey de Babilonia. Además de estos ejemplos de colaboración, existía también el espionaje y en este sentido es elocuente el texto de Polibio (I,20) por el que sabemos que gran parte de las quinqueremes que utilizaros los romanos en las Guerra Púnicas eran copias de un barco capturado a los cartagineses.

Probablemente en Cala Sant Vicenç se encuentra la prueba arqueológica que motivó el progresivo abandono de la tecnología de barcos cosidos y la implantación generalizada en el Mediterráneo de la *coagmenta punicana*. El barco mallorquín, para el que se ha calculado una eslora de alrededor de 20/22 m. se sitúa entre los mayores barcos de su familia y hemos dicho que sufrió una importante reparación consistente en la sustitución de la quilla y de las primeras tracas de aparadura. En esta misma reparación se le añadió una zapata de quilla que tiene unas medidas similares a las de la propia quilla. Una reparación de esta importancia sólo es justificable por el deterioro o posible rotura de la quilla, a causa del quebranto y el arrufo del conjunto original y con la finalidad de reforzar la resistencia longitudinal.

Cala Sant Vicenç (520-500 a.C.) es un magnífico ejemplo de un comercio empórico caracterizado por unos cargamentos enormemente heterogéneos y por lo tanto difíciles de estibar en varias capas, como será habitual en épocas posteriores, lo cual produce un sensible desperdicio de espacio en la bodega y por lo tanto menor peso por metro cuadrado. Al contrario, el Grand Ribaud F (515-470 a.C.), que hemos incluido en la segunda fase de la familia griega, es decir que presenta cuadernas dentadas pero una unión del forro con

la *coagmenta punicana* presenta un cargamento homogéneo formado por ánforas etruscas estibadas en varias capas lo cual produce un importante peso por metro cuadrado sobre el casco del barco. Este modo de estiba del Grand Ribaud F es el que se irá imponiendo en el Mediterráneo por varias causas, entre ellas rentabilizar al máximo un viaje. Creemos que para este tipo de comercio se requerían barcos de superior tamaño y menos flexibles y para ello las posibilidades de los barcos cosidos habían llegado a su límite como podría desprenderse de la necesidad de hacer una importante reparación en el Cala Sant Vicenç. Probablemente este hecho tecnológico provocó el paulatino abandono de la construcción naval de los barcos cosidos.

Homero en la *Ilíada* (II, 135) ya nos informa de otro inconveniente de los barcos cosidos al relatarnos como los barcos aqueos, después de pasar nueve años en la playa de Troya, presentaban las maderas del forro contraídas y las cuerdas podridas, por lo que habían perdido su estanqueidad y eran inhábiles para navegar. El mantenimiento de estos barcos debía ser constante, aunque no debía ser excesivamente complejo ya que la sustitución de una tabla cosida es mucho más fácil que la reparación de una tabla unida con lengüetas y clavijas.

Reiteramos por lo tanto que la causa del progresivo abandono de la técnica de construcción mediante el cosido quizás debemos buscarla en la variación en el modelo de comercio naval, que necesitaba más tonelaje, por razones económicas y comerciales, demanda que los barcos cosidos no podían satisfacer ante la imposibilidad de superar unas esloras de 20/25 m.

## BIBLIOGRAFÍA

- BASCH, L. 1972, Ancient wrecks and the archaeology of ships, *The International Journal of Nautical Archaeology and Underwater Exploration* 1, 1-58.
- BASS, G., VAN DOORNINCK, F.H. 1982, *Yassi Ada I. A seventh-century byzantine shipwreck*, Texas.
- BERTI, F. 1990, *Fortuna Maris. La nave Romana di Comacchio*, Bolonia.
- BONINO, M. 1968, Tecniche costruttive navali insolite nei reperti di Cervia, Pomposa e Pontelagoscuro, *Convegno Internazionale di Studi sulle Antichità di Classe* (Ravenna 1967), 209-217.
- BONINO, M. 1978, *Archeologia e tradizione navale tra la Romagna e il Po*, Ravenna.
- BONINO, M. 1985, Sewn boats in Italy: sutiles naves and barche cucite, in S. McGrail, E. Kentley (eds.), *Sewn Plank Boats*, BAR Int. Series 276, Oxford, 87-104.
- BRUSIC, Z. 1968, Istrazivanje anticke luke koad Nina,-*Diadora* 4, Zadar, 203-210. Resumen en italiano: Le ricerche nel antico porto presso Nin, 210.
- CASSON, L. 1963, Ancient shipbuilding: new light on an old source, *Transaction of the American Philological Association* XCIV, 28-33.
- CASSON, L. 1964a, New light on ancient rigging and boatbuilding, *The American Neptune* 24, 81-94.
- CASSON, L. 1964b, Odysseus boat, *American Journal of Philology* 85, 61-64.
- CASSON, L. 1994, *Ships and Seafaring in ancient time*, London.
- DELL'AMICO, P. 2002, *Costruzione navale antica*, Albenga.
- HASSLÖF, O. 1963, Wrecks, Archives and Living Tradition, *Mariner's Mirror* 49.3, 162-177.
- JÉZÉGOU, M.P. 1985, Eléments de construction sur couples observés sur une épave du haut Moyen Age découverte à Fos-sur-Mer, *VI Congreso Internacional de Arqueología Submarina* (Cartagena 1982), Madrid, 351-356.
- KAHANOV, Y., POMEY, P. 2004, The Greek sewn shipbuilding tradition and the Ma'agan Mikhael ship: a comparison with Mediterranean parallels from the sixth to the fourth centuries BC, *The Mariner's Mirror* 90.1, 6-28.
- LIPKE, P. 1984, *The royal ships of Cheops*, BAR Inter. Series 276, Oxford.
- MARLIER, S. 2002, La question de la survivance des bateaux cousus de l'Adriatique, *Vivre, produire et échanger: reflets méditerranéens* (Mélanges offerts à Bernard Liou), Montagnac, 21-32.
- MARLIER, S. 2005, *Systèmes et techniques d'assemblage par ligatures dans la construction navale antique méditerranéenne*, tesi doctoral inédita, Aix-en-Provence.
- MEEKS, D. 1997, Navigation maritime et navires égyptiens: les éléments d'une controverse, *Techniques et Économie antiques et médiévales: le temps de l'innovation*, Paris, 175-194.
- NEGUERUELA, I. 2004, Hacia la comprensión de la construcción naval fenicia según el barco *Mazarrón-2* del siglo VII a.C., in A. Mederos, V. Peña, C.G. Wagner (eds.), *La navegación fenicia: tecnología naval y derroteros*, Centro de Estudios Fenicios y Púnicos - Universidad Complutense de Madrid, Madrid, 227-278.
- NIETO, X., SANTOS, M. 2008, *El vaixell grec arcaic de Cala Sant Vicenç*, Monografies del CASC, 7, Girona.

POMEY, P. 1981, L'épave de Bon-Porté et les bateaux cousus de Méditerranée, *The Mariner's Mirror* 67.3, 225-244.

POMEY, P. 1988, Principes et méthodes de construction en architecture navale antique, *Navires et Commerces de la Méditerranée Antique (Hommage à Jean Rougé)*, *Cahiers d'Histoire* XXXIII, 397-412.

POMEY, P. 1997, Un exemple d'évolution des techniques de construction navale antique: de l'assemblage par ligatures à l'assemblage par tenons et mortaises, *Techniques et économie antiques et médiévales: le temps de l'innovation* (Aix-en-Provence 1996), Paris, 195-203.

POMEY, P. 1998, Conception et réalisation des navires dans l'Antiquité méditerranéenne, *Concevoir et construire les navires, de la trière au picoteux*, *Revue d'Anthropologie des Connaissances* XIII.1, 49-72.

POMEY, P. 2001, Les épaves grecques archaïques du VIe siècle av. J.C. de Marseille: épaves Jules-Verne 7 et 9 et César 1, *Tropis* VI, 425-437.

POMEY, P., RIETH, E. 2005, *L'archéologie navale*, Paris.

SALEMKE, G. 1973, Schiffsarcheologie. Die Ausgrabung eines Binnensee Transportschiffes, *Schiffsarcheologie von 1890 aus Laibach, Österreich (jetzt Ljubljana in Jugoslavien)*, *Das Logbuch* I – 9, 21-24.

SLEESWYK, A.W. 1980, Phoenician joint, *coagmenta punicana*, *The International Journal of Nautical Archaeology and Underwater Exploration* 9.3, 243-244.

STEFFY, J.R. 1994, *Wooden ship building and the interpretation of shipwrecks*, Texas.

STEFFY, J.R. 1995, Ancient scantlings: the projection and control of mediterranean hull shapes, *Tropis* III, 417-428.

