

7

Revista
de Estudios
Marítimos
del País Vasco

ITSASa *m e m o r i a*

Portuen historia



Historia portuaria

U·M

UNTZI MUSEOA
MUSEO NAVAL

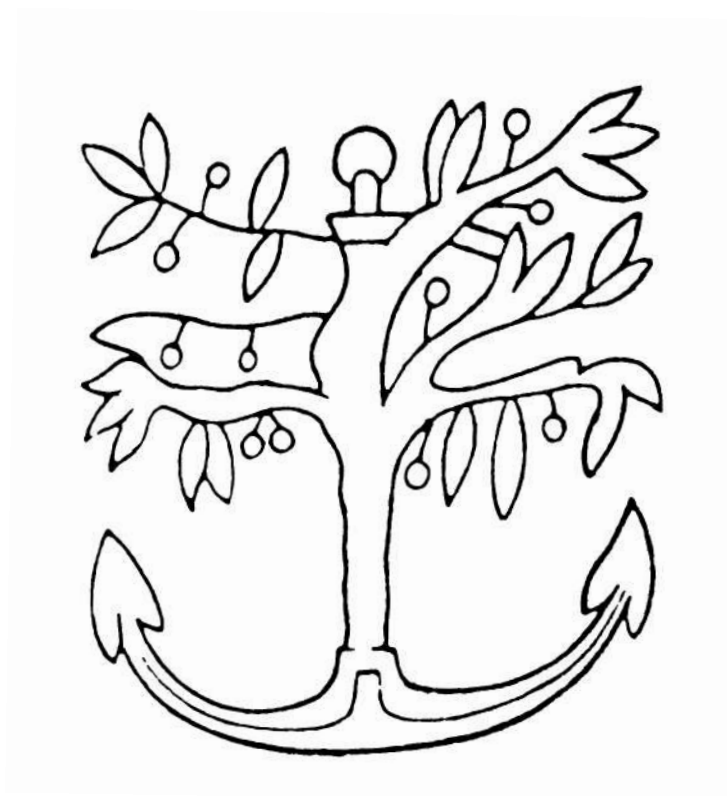


Gipuzkoako Foru Aldundia

Revista
de Estudios
Marítimos
del País Vasco

ITSAS *m e m o r i a*

7 2012



7

Revista
de Estudios
Marítimos
del País Vasco

ITSAS
memoria

OLABERRIA, Juan Pablo; OLAIZOLA, Iñaki: "Método de diseño en el astillero Mutiozabal de Orio en el siglo XIX y su relación con métodos no-gráficos de diseño de cascos del siglo XV", ***Itsas Memoria. Revista de Estudios Marítimos del País Vasco***, 7, Untzi Museoa-Museo Naval, Donostia-San Sebastián, 2012, pp. 443-459.

U·M

UNTZI MUSEOA
MUSEO NAVAL



Gipuzkoako Foru Aldundia

Método de diseño en el astillero Mutiozabal de Orio en el siglo XIX y su relación con métodos no-gráficos de diseño de cascos del siglo XV

Juan Pablo Olaberria Egiguren
Iñaki Olaizola Eizagirre

Recep.: 22.09.12

BIBLID [1136-4963 (2012), 7; 443-459]

Acep.: 06.11.12

Resumen

Hasta la invención del plano de formas como representación de la carena del buque en el siglo XVII, la transmisión del conocimiento para la construcción de un barco se realizaba a través de métodos no-gráficos. Estos métodos permitían el diseño del casco con unas herramientas básicas: una plantilla con la forma de la cuaderna maestra y una serie de regletas graduadas. El artículo describe con detalle el proceso de diseño del casco de una lancha fletera en el astillero Mutiozabal de Orio, Gipuzkoa, en el siglo XIX en una época en la que los métodos de diseño no gráficos estaban siendo sustituidos por métodos de diseño basados en la ciencia y la ingeniería.

Palabras clave: Diseño tradicional de carenas, Diseño no-gráfico, Puja y Grúa, Astillero Mutiozabal de Orio.

Laburpena

XVII. mendean ontzien kraskoa irudikatzeko forma-planoa asmatu zen arte, ontzi bat eraikitzeke ezagutzaren transmisioa metodo ez grafikoez egiten zen. Metodo haiei esker kraskoa tresna oinarritzko dizainatu zitekeen: zuaker nagusiaren forma zuen txantiloia bat eta erregela graduatu sorta bat. Artikuluak zehatz-mehatz deskribatzen du nola diseinatu zen Orioko (Gipuzkoa) Mutiozabal ontzian zamaontzi bat XIX. mendean, garai hartan diseinu-metodo ez grafikoen ordez zientzia eta ingeniariaren oinarritutako diseinu-metodoak ezartzen hasi baitziren.

Gako-hitzak: Tilapeen diseinu tradizionala, diseinu ez grafikoa, Orioko Mutiozabal ontziola.

Abstract

Until the linesplan was invented as a design tool of a ship's hull bottom in the 17th century, shipbuilding knowledge was transferred using non-graphic methods. These methods allowed the design of the hull with basic tools: a template in the form of the master frame and a number of graduated gauges. The article gives a detailed description of the hull design process for a freight boat at the Mutiozabal shipyard of Orio, Gipuzkoa in the 19th century at a time when non-graphic design methods were being replaced by design methods based on science and engineering.

Key words: Traditional hull-bottom design, non-graphic design, rising and narrowing, Mutiozabal dockyard of Orio.

1. INTRODUCCIÓN

A pesar de que para la mentalidad actual resulta difícil concebir el proceso de diseño de un casco sin la realización de un plano a escala, hasta el s. XVII, debido a los métodos de diseño que utilizaban, no se realizaba ningún tipo de plano para la definición teórica y construcción práctica de las formas del casco. Al no utilizarse planos ni representación gráfica alguna, a estos procesos de diseño se les suele denominar procesos de diseño no-gráficos (Rieth, 1996: 10).

El desarrollo del plano de formas y el uso de planos en arquitectura naval se produce en el s. XVII (McGrail, 1998: 102) y está plenamente incorporado al diseño de cascos desde el s. XIX en adelante. El hecho de que anteriormente los diseñadores de barcos no dibujaran la forma del casco, no significa que el diseño de cascos se hiciera sin método. Muy al contrario, «los más avanzados constructores de embarcaciones del s. XVI no construían sus embarcaciones a ojo, sino tras un cuidadoso proceso de diseño» (Barker, 1998: 540). Sus procedimientos de diseño y construcción se basaban en la geometría, y su aplicación práctica resultaba sencilla, producto de la utilización de unos instrumentos fáciles de elaborar mediante unos procedimientos geométricos. Estos instrumentos constaban de dos partes: una plantilla de la cuaderna maestra y un juego de regletas graduadas de fácil construcción. Con esos instrumentos, el diseñador podía proporcionar al constructor toda la información necesaria para dar forma a la embarcación y, a su vez, el constructor con los mismos instrumentos, podía fabricar muchas de las piezas del casco, de manera separada e incluso en lugares diferentes, que una vez montadas formaban entre todas la estructura de un casco de formas alisadas, y que se correspondía con el proyecto del diseñador (Taylor, 2006: 52).

Estos métodos de diseño no-gráfico se fueron abandonando a medida que se desarrollaron los métodos basados en la representación gráfica y el conocimiento científico, pero sobrevivieron en algunos lugares de Europa, o de tradición constructiva europea, hasta bien entrado el s. XX (Rieth, 1996: 11). La supervivencia de estos métodos en astilleros de Terranova, Grecia, Brasil e India en el s. XX, y del Mediterráneo francés en el s. XIX, ha sido documentada y publicada (Rieth, 1996; Taylor, 2006; McGrail, 2001).

Este artículo mostrará el caso de un astillero vasco, el astillero Mutiozabal de Orio (Gipuzkoa) en el que estos viejos métodos de diseño sobrevivieron hasta finales del s. XIX y, posiblemente, principios del s. XX¹.

2. MÉTODOS DE DISEÑO NO-GRÁFICOS

Los métodos de diseño no gráficos se utilizaban para la concepción de embarcaciones que se construían según el siguiente proceso: primeramente, se construía la estructura transversal de cuadernas, que a continuación se cubría con un forro que se adaptaba a su forma. La necesidad de diseñar y fabricar las cuadernas que definían las formas de la embarcación llevó al desarrollo de las técnicas de diseño no gráfico. Este tipo de diseño y construcción evolucionó en el Mediterráneo, donde en el s. XV aparecen los primeros tratados en los que se detallan procesos de diseño y construcción de galeras según procedimientos no-gráficos (Rieth, 1996: 139-148). En esa época, en el norte de Europa se construía aún según un proceso opuesto al descrito, ya que el primer paso de la construcción de una embarcación consistía en la construcción del forro, que posteriormente se reforzaba interiormente mediante la instalación de cuadernas adaptadas a la forma del forro exterior.

Con el tiempo, a medida que el porte de las embarcaciones aumentaba, las técnicas de diseño no gráfico evolucionaron y se extendieron por toda Europa, llegando a un gran nivel de desarrollo². A

1. La idea de realizar este trabajo surgió en la reunión que mantuvimos con Brad Loewen, profesor agregado del Departamento de Antropología de la Universidad de Montreal, con ocasión de su visita al astillero Olabe de Lasarte-Oria en la primavera del año 2009. En aquella visita observé el plano de la colección Mutiozabal sobre el cual estaba trabajando Juan Pablo Olaberria con la perspectiva de utilizarlo como modelo en una construcción futura, y sugirió la posibilidad de que los planos de esta Colección se hubieran trazado según los métodos no-gráficos de diseño.

2. En el País Vasco, durante el s. XVI se produjo un gran desarrollo en estos procedimientos de diseño y construcción, junto con el desarrollo de una importante industria de construcción naval y una estandarización de diseños. Como consecuencia de esta estandarización, y debido a que una de las consecuencias de la utilización de procedimientos de diseño no-gráfico es que una parte importante de las cuadernas de una embarcación se obtenían de una plantilla única, se produjo una demanda importante de madera curvada con unos radios determinados para la fabricación de cuadernas. El resultado fue la creación de plantaciones forestales en las que se producían piezas de madera con radios determinados, específicos para la construcción de cuadernas (Loewen, 1998: 193). La excavación arqueológica de la nao *San Juan*, hundida en Red Bay, Canadá en 1565, ha confirmado la utilización de las técnicas de diseño no-gráfico para su diseño y construcción (Loewen, 2007: III-83) y la utilización de maderas de plantación, pre-curvadas a radios concretos, para la fabricación de las cuadernas (Loewen, 2007: III-253).

continuación se explican los conceptos básicos del diseño no gráfico, que en términos generales, son aplicables a todas sus variantes³.

Para la concepción de las formas del casco, en los métodos de diseño no-gráficos no se realizaba ningún plano ni trazado de formas, a excepción del trazado a escala real de la plantilla de la cuaderna maestra.

Una vez acordadas las dimensiones principales del casco, establecidas por comparación con las de otros buques similares (buque de referencia), el diseñador seleccionaba la forma de la cuaderna maestra que generalmente se componía de una serie de arcos de circunferencia tangentes entre sí (Loewen, 2007: III-3). Siguiendo la tradición de la época, todas las dimensiones del casco y de la cuaderna maestra guardaban ciertas relaciones de proporcionalidad.

Para diseñar y construir un casco se diferenciaban tres zonas específicas. Por un lado estaría la zona central del mismo, en la que todas las cuadernas se podían obtener de la transformación de la plantilla de la cuaderna maestra mediante la aplicación de las reglas del diseño no-gráfico. Las cuadernas más extremas, entre las cuales se podía utilizar el método, se llamaban: *mura*, la de proa, y *quadra*, la de popa. Las cuadernas comprendidas entre la mura y la quadra se denominaban cuadernas de cuenta. Dependiendo del tipo de embarcación y de la época, la proporción de eslora de esta parte central variaría.

Las otras dos zonas del casco, los finos de proa y popa, no se podían definir con el método no-gráfico, por lo que el constructor debía utilizar otros procedimientos empíricos para obtener la forma de las cuadernas en ellas. Para ello, utilizando su propio criterio, se ayudaba de un serie de *madres* o junquillos longitudinales de madera para definir dichas zonas. Como consecuencia, era imposible la repetición de dos cascos iguales (Apestegui, 2000: 178).

Las cuadernas de cuenta se obtenían a través de la plantilla de la cuaderna maestra siguiendo unos criterios de transformación previamente definidos por el diseñador mediante tres herramientas básicas:

- La plantilla de la cuaderna maestra
- La regleta graduada, llamada puja
- La regleta graduada, llamada grúa

Para definir la forma de una cuaderna de cuenta se estrechaba la manga en la proporción regulada por la grúa, lo cual generaba una embarcación cuyas secciones se afinaban a medida que se alejaban de la maestra. Sin embargo, esta sola modificación produciría unas formas de los fondos de la embarcación no adecuadas, por lo que se daban otras dos transformaciones adicionales. Además del estrechamiento de la varenga, se alzaba la plantilla de la maestra en un movimiento regulado por la puja, y luego se rotaba sobre un punto, llamado codillo, hasta que la plantilla de la maestra tocara el canto superior de la quilla. Este proceso se explica de manera gráfica en la Figura 1.

La Figura 1-a muestra las tres herramientas necesarias para obtener la forma de una cuaderna de cuenta. La pieza de mayor tamaño es la plantilla de la maestra, que incorpora en su parte baja las marcas que regulan el estrechamiento de la varenga, con marcas precisas para cada cuaderna. Ese conjunto de marcas, o regleta graduada, es la grúa. La segunda regleta, independiente de la plantilla de la maestra, es la puja, e incorpora una marca para cada una de las cuadernas, de manera análoga a la grúa. El punto de codillo, P, que se utiliza como punto de articulación para el giro de la cuaderna maestra, es el mismo para la construcción de todas las cuadernas de cuenta. La elección del punto de codillo variaría según las épocas, lugares, e incluso preferencias del constructor, pero generalmente se situaría en un punto del arco del pantoque de la cuaderna (como en el ejemplo), o bien en el centro del arco del pantoque.

La Figura 1-b muestra la plantilla dispuesta para obtener la forma de la cuaderna número 4. Por un lado la varenga se ha estrechado hasta la marca 4 de la grúa, que se ha hecho coincidir con la línea de crujía (línea discontinua vertical). A su vez, la plantilla se ha elevado sobre la línea base o parte superior de la quilla (línea discontinua horizontal) hasta hacerla coincidir con la marca número 4 de

3. El proceso de diseño descrito aquí es el seguido en el astillero Mutiozabal, que se asemeja en términos generales con el método denominado *gabarit de St. Joseph*, utilizado en el s. XIX en el Mediterráneo francés. Este método es descrito por E. Rieth en el capítulo 11 de su obra: *Le Maître-Gabarit la Tablette et le Trébuchet: essai sur la conception non-graphique des carènes, du Moyen Âge au XXe siècle*, Comité des travaux historiques et scientifiques, Paris, 1996.

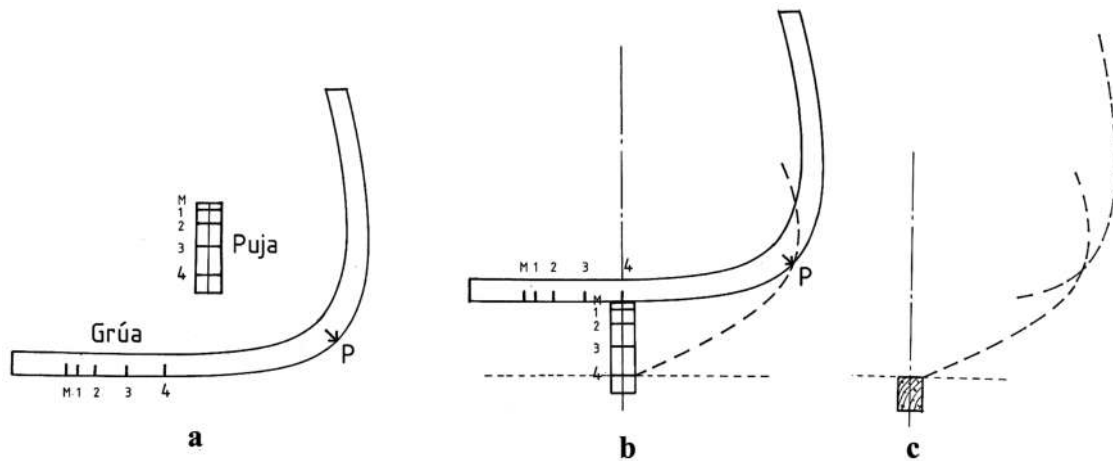


Figura 1: Transformaciones de la maestra.

la puja. La línea curva a trazos define la parte baja de la cuaderna y se obtiene de rotar la plantilla de la maestra sobre el punto P hasta que ésta toca el canto superior de la quilla.

La Figura 1-c muestra la forma de la cuaderna 4, con la discontinuidad que aparece alrededor del codillo, y que deberá ser *alisada*, posteriormente, por el constructor.

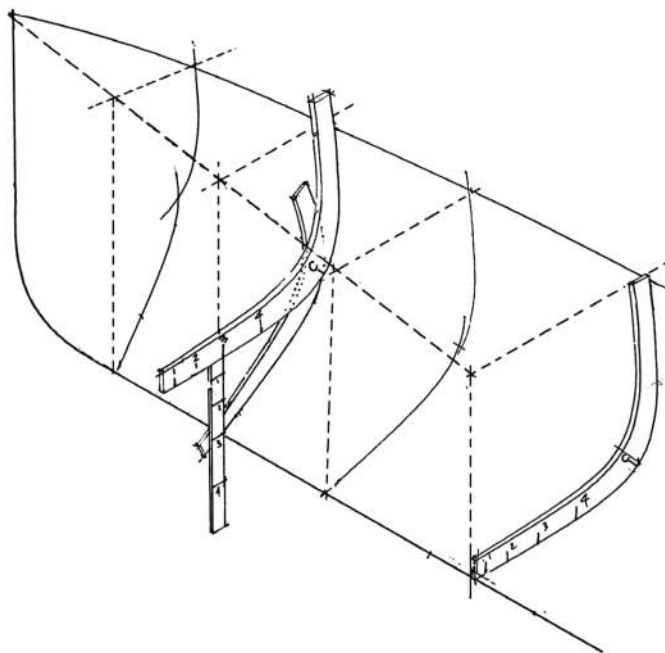


Figura 2.

La Figura 2 muestra una perspectiva en la que se aprecia la manera de utilizar las plantillas y reglas graduadas para la definición de una cuaderna.

En la Figura 3 hemos representado, de manera conjetural, la utilización de estas herramientas sobre el tablón con el que se construiría la cuaderna.

Con el procedimiento descrito hasta ahora, la regala se estrecharía en la medida señalada por la grúa, pero, en ocasiones, no interesaba que la regala se estrechara demasiado en las zonas de proa y popa por lo que, a menudo, se realizaba una transformación adicional llamada *joba* que consistía en rotar la plantilla de la maestra alrededor del punto de codillo, P, hacia el exterior, provocando un ensanchamiento de la manga en la regala. El control de esta transformación adicional se hacía también mediante reglas graduadas.



Figura 3.

Hemos visto que en este proceso de diseño y construcción del casco, además de la propia cuaderna maestra, las regletas graduadas, puja y grúa, juegan un papel fundamental en la definición de las formas. El diseño de estas regletas era muy sencillo y se basaba en construcciones geométricas básicas que ya eran conocidas y utilizadas en diferentes aplicaciones en la arquitectura, desde al menos la Grecia clásica (Loewen, 2007: Vol.3, III-9).

Existían diferentes maneras de obtener estas regletas, llamadas *Meia lua*, *saltarelha*, *brusca*, *rabo de espada*, etc. según la ley de formación utilizada en su definición (Castro, 2007). Todas ellas tenían en común que se podían construir con un compás como única herramienta y producían unos valores en serie que se incrementaban de manera gradual, y que cuando se trazaban producían una curva lisa, adecuada para el diseño de elementos largos y curvos, como cascos, mástiles de sección variable, etc.

Una vez decidía la cuaderna maestra, para construir las cuadernas de cuenta el diseñador decidía los valores máximos de elevación de la varenga y de estrechamiento de la manga en la mura y en la quadra. Generalmente estos valores se expresarían como un valor proporcional de alguna de las dimensiones principales de la cuaderna maestra (Castro, 2007: 148). El diseño de la mitad de proa y la mitad de popa serían independientes, por lo que los valores de elevación de la varenga y estrechamiento de la varenga en la quadra y en la mura no serían necesariamente iguales. Una vez que el diseñador había decidido estos valores máximos, debía *repartirlos* de manera proporcional entre las cuadernas de cuenta, mediante las regletas graduadas, puja y grúa.

La Figura 4 ilustra un ejemplo de la construcción de una regleta⁴ graduada (podría ser una puja o una grúa) para un casco con 6 cuadernas desde la maestra a la quadra y a la mura. Como primer paso, el constructor elegiría el tipo de regleta a construir. En este ejemplo hemos elegido la serie llamada *saltarelha* porque es la utilizada en el astillero Mutiozabal.

La *saltarelha* es una regleta graduada según una serie o progresión numérica. Existen varias formas de obtener dicha serie, pero la más sencilla es la que se muestra en la Figura 4-a. Como primer paso para obtener esa progresión numérica, el proyectista dibujaría una línea recta. Desde el origen 0 marcaría el punto 1 a una distancia arbitraria que llamaremos d . Para obtener la distancia de 1 a 2, duplicaría d . Para obtener la distancia de 2 a 3 triplicaría d , continuando de la misma manera hasta marcar el punto 6. El resultado se muestra en la Figura 4-a, donde 0 representa la cuaderna maestra, y cada una de las marcas representa a las cuadernas de cuenta que hay entre la maestra y la quadra, o la mura, representadas por el número 6. La elevación, o el estrechamiento de la manga, que representaría esta regleta en cada una de las cuadernas, sería la longitud desde el origen hasta la marca

4. Estas regletas se construían en madera. La anchura de la puja sería la misma que la anchura de la quilla, pero tanto la longitud de la regleta como su espesor serían determinados por el constructor dependiendo del material disponible, etc.

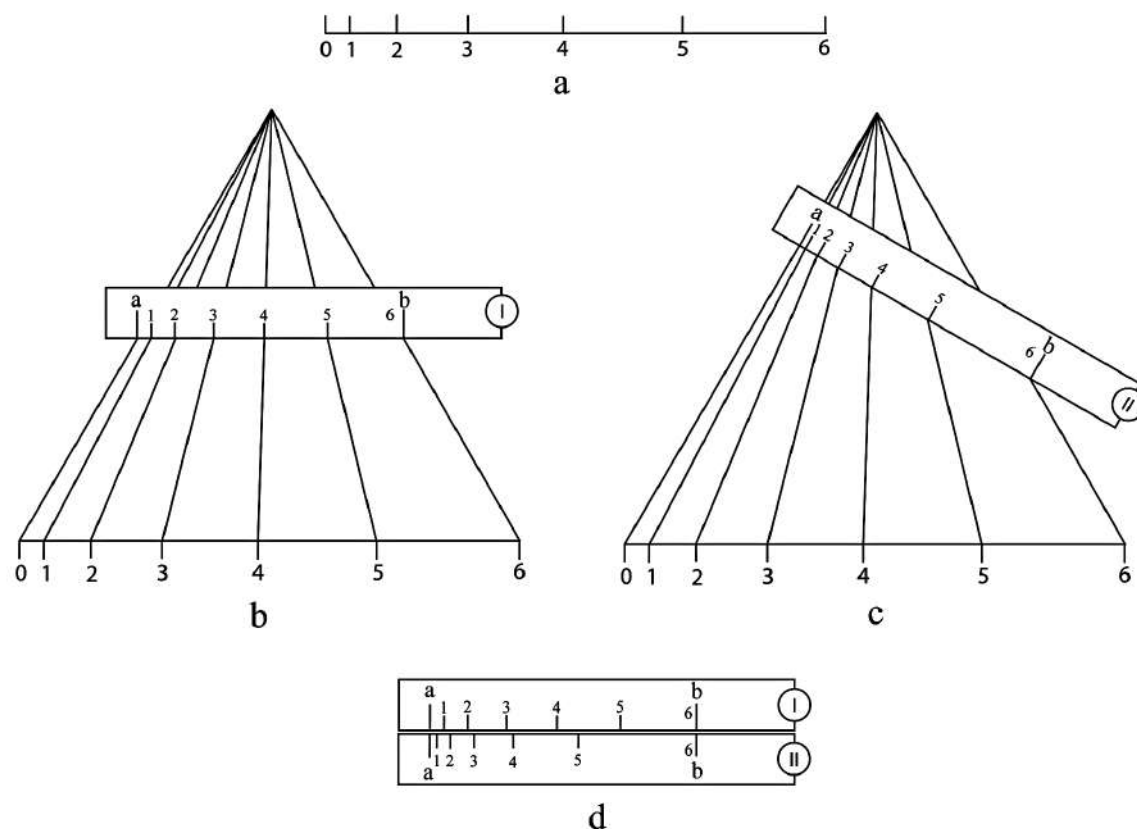


Figura 4: Procedimiento de elaboración de las regletas graduadas.

correspondiente a cada una de ellas. Se trata de una construcción geométrica simple, para la que solamente se necesita un compás para transferir los sucesivos valores de d .

Debido a que el valor de d se ha tomado de manera arbitraria, la longitud total de 0 a 6 también será arbitraria y hemos de recordar que el objeto de construir estas regletas es repartir los valores establecidos para la quadra y la mura en el resto de las cuadernas intermedias. Sería posible probar sucesivos valores de d hasta que la distancia de 0 a 6 coincidiera con la distancia a repartir. Sería un ejercicio largo y poco eficiente, ya que los diseñadores disponían de otra herramienta que facilitaba dicho trabajo; se trata del triángulo proporcional que se muestra en la Figura 4-b y 4-c.

La construcción del triángulo proporcional es sencilla, y se utilizaba para construir todos los diferentes tipos de regleta. En nuestro ejemplo, como base del triángulo se dibuja una *saltarelha* de longitud arbitraria. Se construye un triángulo⁵ con dicha base, y se proyecta un haz de rectas entre las marcas correspondientes a las cuadernas y el vértice. Una vez dibujado el triángulo mostrado en la Figura 4-b, en el caso de que el proyectista deseara repartir una distancia ab concreta en 6 intervalos graduales siguiendo la *saltarelha* que muestra la base del triángulo, el diseñador tomaría una tira de papel (o una pieza de madera) en la que marcaría la distancia ab , y la deslizaría paralela a la base del triángulo, hasta que ambas marcas a y b coincidieran con la primera y última recta del triángulo, es decir con las rectas que emanan del punto 0 y del punto 6, y trasladaría los puntos intermedios a la regleta. Si el diseñador quisiera repartir el mismo valor ab con una serie numérica diferente podría utilizar el triángulo original colocando la tira de papel (o pieza de madera) formando un ángulo con respecto a la base del triángulo como se ha hecho en la Figura 4-c. Si se comparan las dos regletas así obtenidas (Figura 4-d), se observa que si bien la longitud ab es la misma, el reparto de valores intermedios es diferente. La regleta marcada II generará unas formas del casco más llenas que las que se obtendrían con la regleta I.

5. En este caso se ha dibujado un triángulo equilátero, porque es el tipo de triángulo utilizado en el plano que sirve de base a este estudio, pero cualquier tipo de triángulo serviría, y en los tratados de la época es común hallar triángulos rectángulos.

Lo descrito hasta ahora es una manera abreviada de los procedimientos de diseño no-gráfico de los que había muchas variantes posibles. Se podían dar otras transformaciones adicionales a la maestra; podían utilizarse diferentes puntos de rotación; existían otros tipos de regletas graduadas; en ocasiones se utilizaban plantillas adicionales para la definición de la zona entre el pantoque y quilla sin producirse una rotación de la plantilla de la maestra; etc. La diversidad de métodos era amplia, pero todos tenían una característica común: la forma de cada una de las cuadernas de cuenta se obtenía de la transformación de la maestra mediante la utilización de unas regletas graduadas y sobre todo, y a diferencia de cualquier procedimiento de diseño en la actualidad, no se delineaba ningún tipo de plano para la definición de las formas del casco.

Estos sistemas de diseño no-gráficos, que no estaban basados en el conocimiento científico, por otro lado muy limitado en el campo de la Arquitectura Naval en esta época, permitían el diseño de cascos correctamente alisados y de comportamiento y prestaciones relativamente predecibles siempre que su diseño no se alejara mucho de las formas y proporciones habituales en ese astillero. Cualquier cambio brusco en las proporciones y medidas habituales podía, y muy a menudo solía, terminar en fracaso. Estos métodos no resultaban demasiado adecuados para facilitar la innovación y la mejora del diseño.

Durante el s. XVII los científicos y matemáticos iniciaron el difícil proceso de explicar los procesos físicos que regían el comportamiento hidrostático e hidrodinámico de los buques. A pesar de definir conceptos como flotabilidad, desplazamiento, estabilidad, resistencia hidrodinámica etc. los ingenieros navales de la época carecían del soporte teórico que les permitiera calcular las características de la carena de sus diseños de manera práctica y con un mínimo rigor científico. Una de las herramientas de diseño que se desarrolló en esta época y que todavía se utiliza es el plano de formas.

Mediante el dibujo del plano de formas los ingenieros navales de la época pudieron empezar a analizar los diseños y crear la teoría que explicaría su comportamiento, antes de construirlos. Estos planos adoptaron un aspecto que hoy día consideraríamos moderno, ya que representaban las tres vistas en planos ortogonales: alzado o caja de cuadernas, planta y perfil. Sin embargo, debido al todavía limitado desarrollo teórico de la arquitectura naval, los diseños representados en los planos de formas de la época mantenían las formas de los métodos no-gráficos, ya que su trazado se basaba en la plantilla de la maestra y su transformación mediante las regletas u otros métodos de transformación arbitrarios inventados en esa época. Debido a ello, los planos de esta época se deben de tomar como pertenecientes a la tradición de diseño de cascos por procedimientos no-gráficos.

Hasta que el conocimiento científico permitió la predicción del comportamiento de los buques sobre un plano, en el s. XIX⁶, los diseñadores de cascos tuvieron que mantener los viejos métodos de concebir y construir los cascos que, aunque de forma limitada, garantizaban un resultado satisfactorio. A partir de esa época, la posibilidad de predecir sobre plano el comportamiento de los cascos, liberó a los ingenieros navales de la utilización de los viejos métodos cerrados y las formas de los cascos que proyectaban quedaron establecidas por las exigencias de desplazamiento, estabilidad, etc., que ellos mismos imponían (Morgan, W. y Creuze, A., 1829: 21-22). A pesar de ello, ambos métodos de definición de la carena de un buque, el diseño no-gráfico y el diseño libre, convivieron por un tiempo.

En la Figura 5 se puede observar uno de esos planos, que representa la fragata *Todos los Santos*, de 50 codos (29 m) de eslora, construida en Orio en 1803. Este plano tiene una delineación moderna, pero muestra una embarcación cuyas formas se han derivado siguiendo alguno de los procedimientos que hemos denominado como no-gráficos. En la vista de perfil se aprecia la línea de rasel que muestra las pujas en cada una de las cuadernas.

En *Papers in Naval Architecture* (1829), el primer artículo está dedicado exclusivamente a lo que los autores denominan «métodos mecánicos para el diseño de carenas de buques», que no son más que los viejos métodos de diseño no-gráfico que en esas fechas aún se utilizaban en algunos casos para el trazado de planos de formas. Los autores no critican el proceso de trazado, que admiten que «... son de una aplicación tan sencilla, que las formas de un buque se pueden obtener en la sala de

6. Algunos de los conceptos básicos de la hidrostática como son el desplazamiento y la estabilidad se conocían desde épocas anteriores, e incluso se habían formulado procedimientos que en teoría permitían su cálculo. Sin embargo, los procedimientos de cálculo carecían de la agilidad suficiente para que pudieran ser utilizados de manera práctica. En fechas anteriores a 1860 el cálculo de las características de estabilidad de una embarcación para un ángulo de escora y posición del centro de gravedad determinado podía llevar hasta dos años (McGee, 1999: 231).

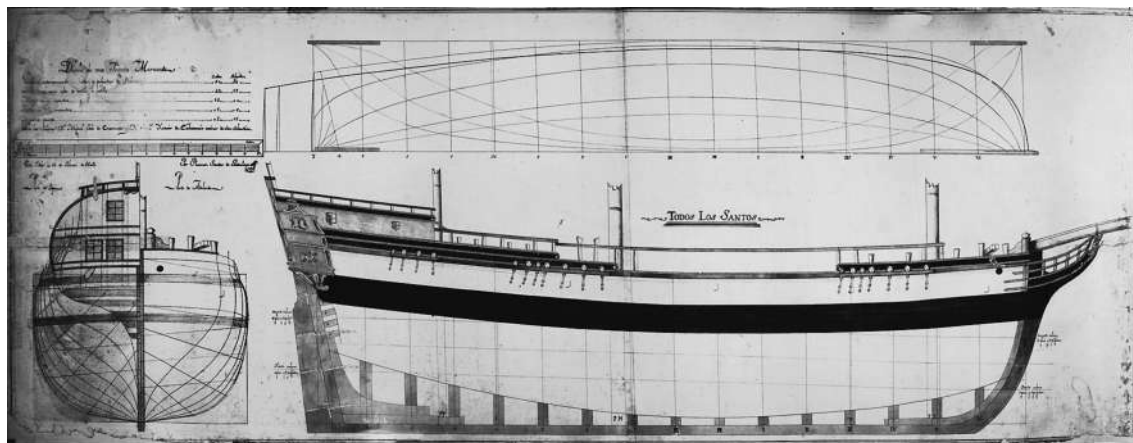


Figura 5: Fragata Todos los Santos (Colección Untzi Museoa de Donostia-San Sebastián).

trazado, incluso sin planos, en unas pocas horas; ... ». Los critican porque están basados en procesos arbitrarios que « ... no sólo impiden el legítimo intento de mejora, sino que impiden la utilización del conocimiento científico adquirido hasta ahora mediante la aplicación de principios establecidos y valiosa experiencia» (Morgan y Creuze, 1829: 17). Finalmente, y tal y como los autores de *Papers in Naval Architecture* escribieron, «con el conocimiento presente de esta ciencia, esos sistemas [de diseño] nunca podrán volver a ser utilizados extensivamente» (Morgan y Creuze, 1829: 19) y estos quedaron relegados a ser utilizados para el diseño de cascos basados en formas tradicionales. Es el caso del astillero Mutiozabal de Orío, en el que, a pesar de utilizar los nuevos métodos basados en formas libres y la ingeniería, se mantuvieron también los viejos métodos no-gráfico para el diseño de embarcaciones de pesca y de cabotaje.

La comparación de la caja de cuadernas de este tipo de embarcaciones de principios del S. XIX con otras de finales del s. XIX muestra la poca evolución que sufrieron las mismas en ese siglo. El método de diseño, y por lo tanto, las formas de estas embarcaciones, se mantuvo hasta finales del s. XIX y probablemente principios del s. XX. La desaparición de estas embarcaciones debido a la irrupción del vapor fue repentina, y con ellas desaparecieron los viejos procedimientos de diseño que no resultaban adecuados para el diseño de los nuevos tipos de casco requeridos.

3. MÉTODO DE DISEÑO EN EL ASTILLERO MUTIOZABAL

Para conocer el método de diseño en el astillero Mutiozabal nos hemos basado en el análisis de los planos pertenecientes a la Colección Mutiozabal, depositados en la Sociedad Oceanográfica de Gipuzkoa, de Donostia-San Sebastián. Se trata de una colección de planos realizados entre finales del s. XVIII y principios del s. XX. La tipología de las embarcaciones que aparecen en los planos es muy variada e incluye desde grandes navíos, como fragatas del s. XVIII y goletas de carga del s. XIX, hasta modestas lanchas de pesca y de carga, traineras, bateles, etc. La colección contiene también planos de embarcaciones fluviales, como gabarras y *alas*, así como algunos vapores y yates de recreo. La calidad del delineado de los planos es diversa, limitándose algunos planos a indicar las líneas principales, mientras que otros se hallan debidamente trazados a tinta, con información sobre la escala, fecha, cliente, puerto de destino, etc. Algunos incluyen información hidrostática básica en forma de curvas de desplazamiento o datos sobre el área sumergida⁷, lo cual constituye una aportación excepcional para el estudio del comportamiento de la embarcación.

Para analizar el proceso de diseño para dar forma al casco, podemos dividir estos planos en dos grupos. El primer grupo de planos, que es el que centra nuestro interés, muestra embarcaciones de

7. El plano 6593r muestra la caja de cuadernas de una trainera de pesca de finales del s. XIX en el que se indica el área sumergida hasta la flotación en la cuaderna maestra. Al multiplicar esta área, por las dimensiones principales del casco (eslora) y un factor (en términos de arquitectura naval, el coeficiente prismático) se obtiene el desplazamiento de la embarcación.

carga y de pesca, de diseño y tipología tradicional, en los que las formas del casco se han obtenido siguiendo los procedimientos no-gráficos. El segundo grupo de planos, más evolucionados que los primeros, muestra embarcaciones de tipología moderna o de origen extranjero, tales como goletas de carga, vapores de pesca, yates, etc., cuyas formas se han obtenido de manera libre, sin condicionantes derivados del procedimiento de trazado⁸.

Tras el análisis de diferentes planos del primer grupo hemos verificado que las formas de los cascos se podían reproducir aplicando las transformaciones sucesivas de la cuaderna maestra, mediante los movimientos de elevación de la altura de la varenga, estrechamiento de la varenga y rotación de la plantilla al rededor de un punto de codillo. Sin embargo resultaba más complicado determinar el tipo de regleta utilizada para el control de estas transformaciones. Afortunadamente, uno de los planos muestra un triángulo proporcional, como los que hemos descrito anteriormente. Esto nos ha permitido investigar acerca de cómo se diseñó aquella embarcación.

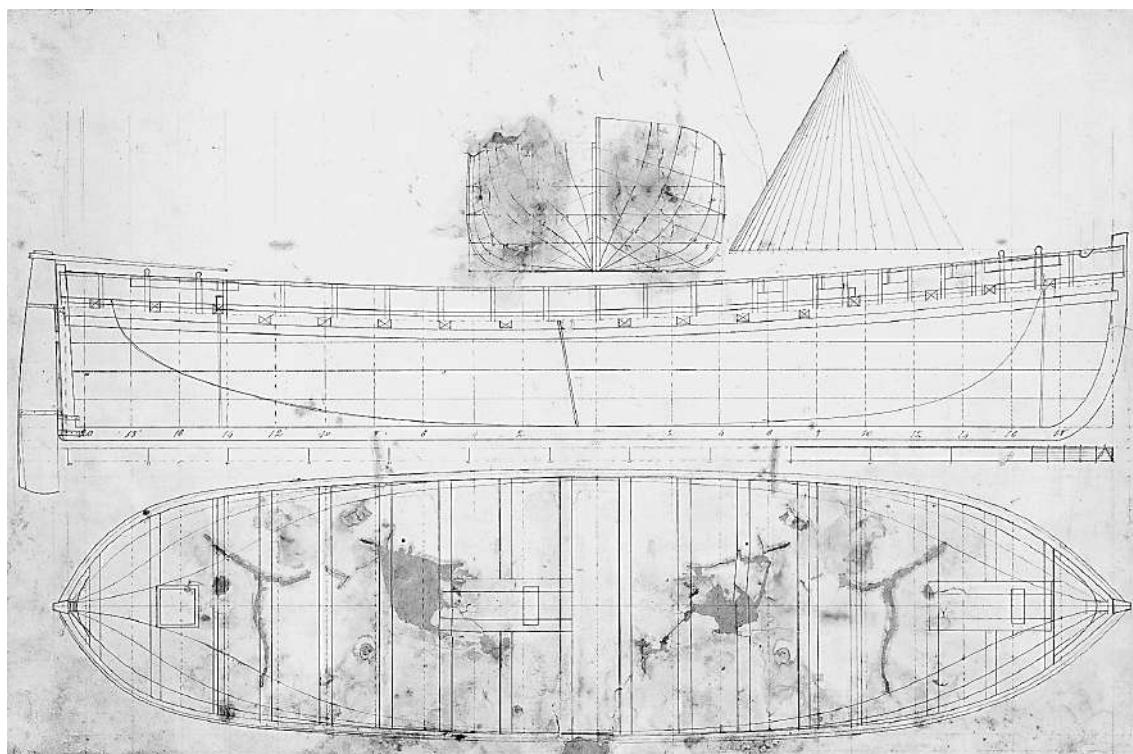


Figura 6: Plano 6223 de la Colección Mutiozabal (Sociedad Oceanográfica de Gipuzkoa).

3.1. Plano de una lancha de cabotaje de 65'

El plano 6223 de la Figura 6, de mediados del s. XIX, muestra una típica lancha de cabotaje de 65' de eslora (18,1 m)⁹ utilizada en la costa vasca en ese periodo. En el mismo se aprecia la posición de sus dos mástiles, aunque no se refleja el tipo de velas utilizado. Siguiendo con la práctica de la época se puede suponer que la lancha iría aparejada con dos velas al tercio y su aspecto sería similar al de la lancha que se muestra en la pintura de la misma época que ilustra la Figura 7.

Una característica significativa de este plano es que muestra el triángulo proporcional (Figura 12) del que se derivarían las regletas graduadas que, como hemos explicado, son la base de los procedi-

8. Existe un tercer grupo de planos trazados con una combinación aparente de ambos procedimientos de diseño. Todas las cuadernas se obtienen de la transformación sucesiva de una única plantilla de curvas, con la forma de la cuaderna maestra, pero su transformación se regula de manera totalmente empírica, mediante diagonales trazadas utilizando junquillos flexibles. Es un método de trazado y alisado extremadamente rápido, aunque con una cierta limitación de formas posibles para el diseño, que se justifica por el tipo de embarcación al que se destina: modestas embarcaciones de pesca.

9. La unidad de medida utilizada es el pie de Burgos, que equivale a 27,86 cm.

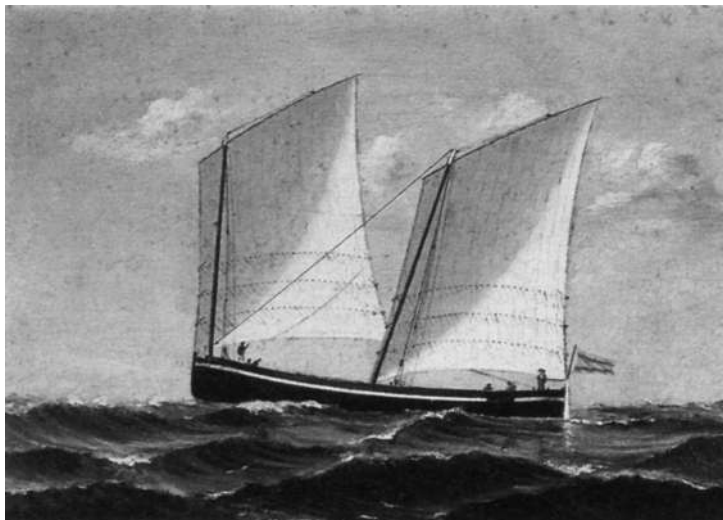


Figura 7: *Nuestra Señora de la Concepción*. reproducido de *Itsas aurrean. El País Vasco y el mar a través de la historia*, Untzi Museoa-Museo Naval, Donostia-San Sebastián.

mientos no-gráficos, y que los autores de *Papers in Naval Architecture*, coetáneos con estos métodos, llamaron «métodos mecánicos para el diseño de carenas de buques». La presencia de dicho triángulo sería por sí mismo un indicio que permitiría suponer que el plano podría haber sido dibujado según las técnicas de diseño no-gráfico. Sin embargo, para poder afirmarlo con mayor certeza, debería ser posible dibujar dicho plano con la única ayuda de las herramientas de diseño utilizadas en el diseño no-gráfico de embarcaciones y de sus correspondientes procesos de transformación a partir de la cuaderna maestra, y así lo hemos realizado.

3.1.1. Análisis del plano de la lancha de cabotaje de 65'

El análisis del plano lo hemos realizado en varias partes: por un lado la forma de la cuaderna maestra, y por otro el triángulo proporcional y las regletas graduadas (puja y grúa) que del mismo se obtienen.

El objetivo perseguido consiste en mostrar que:

- Es posible obtener las formas de una parte importante del casco mediante la transformación de la plantilla de la cuaderna maestra, regulando dicha transformación mediante las pujas y grúas obtenidas del triángulo proporcional.
- Las dimensiones de las diferentes partes de la cuaderna maestra, y las dimensiones de las pujas y grúas también, están relacionadas entre sí mediante sencillas proporciones en relación con alguna dimensión principal de la cuaderna maestra.

3.1.1.1. La cuaderna maestra

Tanto la cuaderna maestra de esta lancha de cabotaje, como el resto de las cuadermas maestras de las embarcaciones de esta Colección que hemos analizado, muestran características muy similares: carecen de astilla muerta (son de fondo totalmente plano) y tienen una forma ligeramente cerrada de boca (su manga en la regala es menor que la manga máxima).

Siguiendo con la practica de delineado común a todos estos planos, el diseñador ha trazado un rectángulo, o marco de referencia, definido por la manga y el puntal de la maestra en la regala. Según hemos verificado, la cuaderna maestra se compone de tres arcos de circunferencia tangentes entre sí, cuyos radios, así como las coordenadas de sus centros, son proporcionales a las dimensiones del marco de referencia (Figura 8). Estos tres arcos definen el genol, el pantoque y la varenga de la cuaderna maestra¹⁰.

10. El genol es la parte más vertical de la cuaderna. La varenga es la parte horizontal de la misma. El pantoque es la parte curva entre ambas.

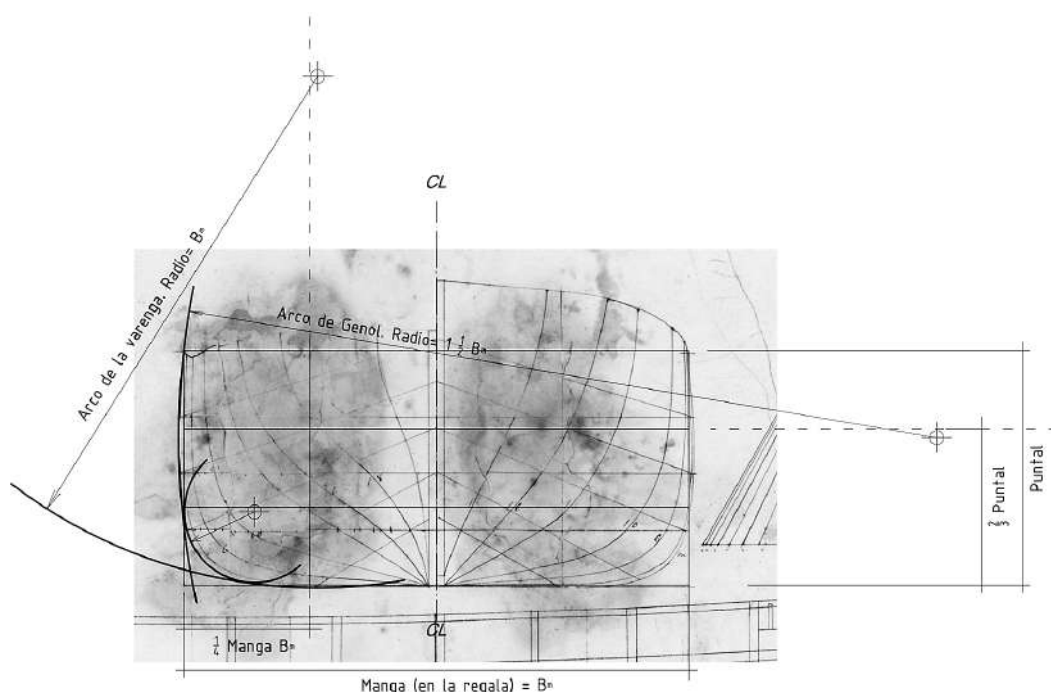


Figura 8: Elaboración propia sobre el plano 6223 de la Colección Mutiozabal (Sociedad Oceanográfica de Gipuzkoa).

Del análisis de la cuaderna maestra hemos obtenido las siguientes proporciones:

- El arco que da forma al genol tiene un radio de $1 \frac{1}{2}$ veces la manga de la maestra en la regala, B_m , y su centro se halla posicionado a $\frac{2}{3}$ del puntal medido desde la línea base.
- El arco que da forma a la varenga tiene como radio la manga, B_m , y su centro se halla situado a $\frac{1}{4}$ de la misma.
- El arco que da forma al pantoque es más impreciso, y su radio es $\frac{1}{7}$ de la manga, B_m , aproximadamente.

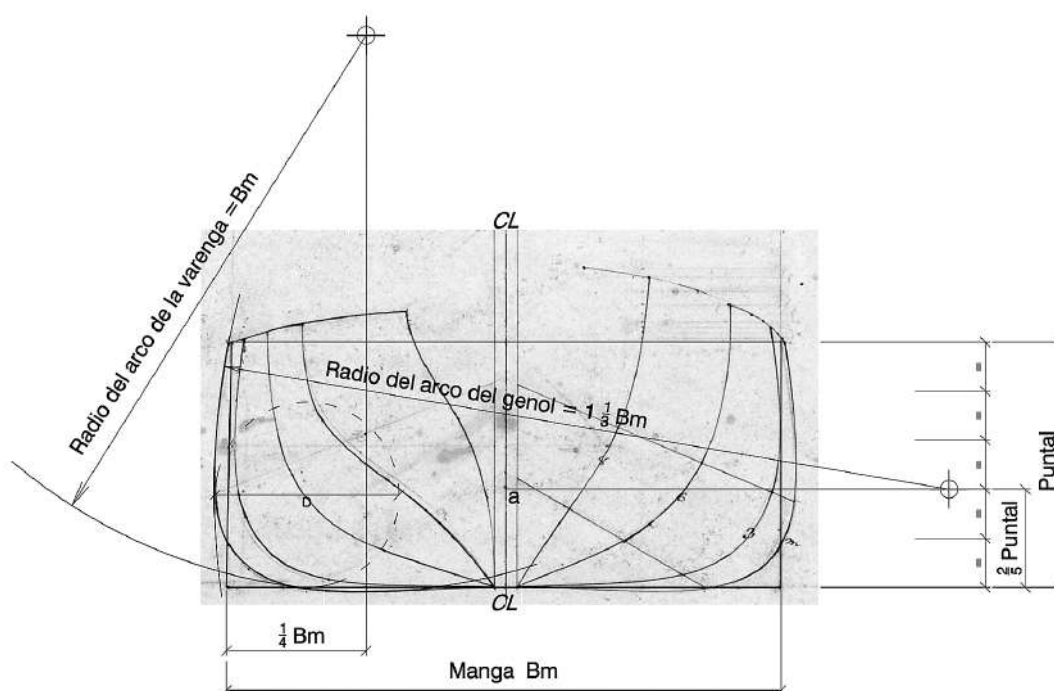


Figura 9: Caja de cuadernas de un potin de 7,2 m de mediados del s. XIX, perteneciente a la misma Colección.

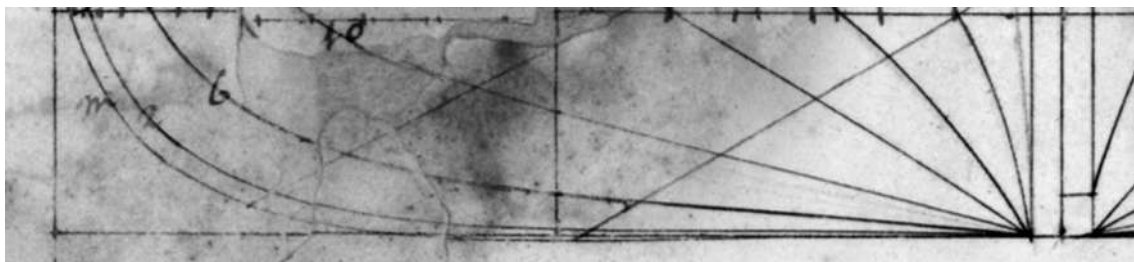


Figura 10: Detalle de los fondos de la lancha de cabotaje de 65' del plano 6223 de la Colección Mutiozabal (Sociedad Oceanográfica de Gipuzkoa).

En otros planos de la Colección se verifica que la posición de los centros se ajusta de una manera más exacta todavía con divisiones proporcionales del marco de referencia. Como muestra, incluimos en la Figura 9 la caja de cuadernas de un *potin* de pesca de mediados del S. XIX de 7,2 m de eslora. En el mismo, se aprecia que el diseño de la cuaderna maestra se compone de tres arcos, cuyos radios son proporcionales a la manga de la maestra en la regala (B_m), y sus centros se hallan en divisiones proporcionales exactas de la manga (B_m) y el puntal en la regala. Así, el radio del genol es $1 \frac{1}{3}$ veces B_m y su centro está a $\frac{2}{5}$ del puntal en la maestra. El radio de la varenga es igual a B_m y su centro se sitúa en $\frac{1}{4}$ de B_m . El diámetro del arco del pantoque es de $\frac{1}{3}$ de B_m .

En el plano de la lancha de cabotaje, así como en otros de la misma colección, el arco de la varenga sobresale por debajo de la línea base, lo que daría una forma muy peculiar a la obra viva de la embarcación (Figura 10 y 11). En nuestra interpretación, esta parte se ignoraría en el proceso de construcción y se alisaría, dando como resultado una sección maestra con el fondo plano. La función de esta parte curva bajo la línea base es dar una mayor curvatura en la zona de la obra viva al resto de las cuadernas de cuenta, y de esa manera evitar las secciones excesivamente planas, ya que una obra viva excesivamente plana no es adecuada desde el punto de vista de la resistencia estructural, tanto en la situación de varada, tan habitual en la época, como para absorber el impacto de los pantoazos.

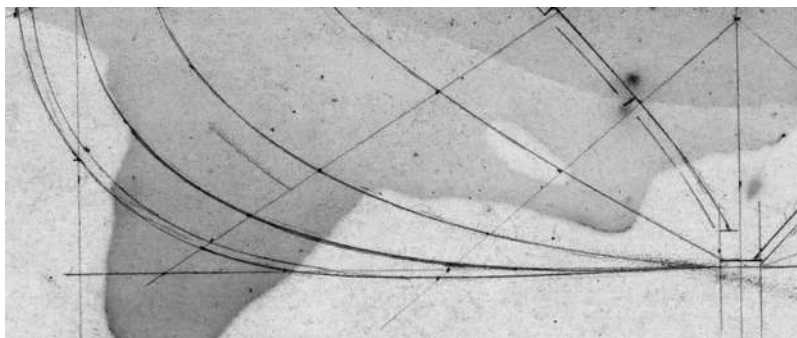


Figura 11: Fondos de una trainera de pesca de 1889 de la Colección Mutiozabal (Sociedad Oceanográfica de Gipuzkoa).

3.1.1.2. El triángulo proporcional y las regletas que del mismo se obtienen

En la Figura 12 podemos ver un detalle del triángulo proporcional que se muestra en el plano 6223, cuya base está definida por una serie del tipo que hemos denominado *saltarelha*.

El plano de formas consta de 18 secciones a proa de la maestra, y de 20 a popa de la misma, de las que se han dibujado solamente las secciones pares, tanto en la caja de cuadernas como en la planta y el perfil.

El triángulo proporcional se compone de un haz de 18 líneas, en el que las líneas 6, 10, 14 y 18 están identificadas por su número y se corresponden con las cuadernas del mismo número representadas en la caja de cuadernas.

La identificación del procedimiento de construcción de las regletas graduadas ha sido complejo y lo hemos realizado a través de un proceso de ensayo-error que finalmente produjo el resultado deseado. En la Figura 13 se observa la forma de obtener las regletas con las que actualmente resulta posible dibujar las formas del casco en gran parte de su eslora. Todas estas medidas las hemos trasladado a la sección de la cuaderna maestra en la Figura 14.

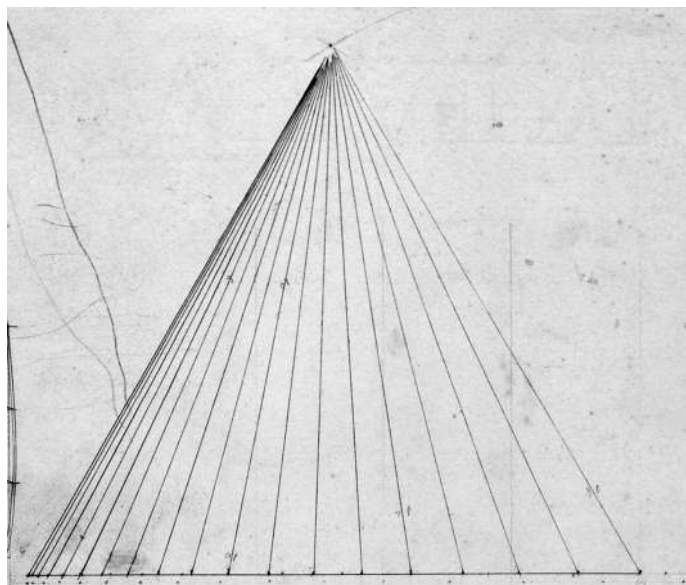


Figura 12: Triángulo proporcional del plano 6223 de la Colección Mutiozabal (Sociedad Oceanográfica de Gipuzkoa).

Estas regletas cumplen, además, una característica común al sistema de diseño descrito, pues sus dimensiones son proporcionales a la manga de la maestra en la regala, B_m , de acuerdo a las siguientes proporciones¹¹:

- La grúa en la cuaderna 18 de proa es $\frac{1}{3} B_m$ y en la cuaderna 18 de popa es $\frac{1}{4} B_m$.
- Las pujas son del mismo valor en la cuaderna 18 de proa y de popa, con una longitud de $\frac{4}{10} B_m$.
- La grúa y la puja de proa se obtienen mediante dos cortes paralelos del triángulo, y lo mismo ocurre con la grúa y la puja de popa. Sin embargo, los ángulos de corte en proa y popa son diferentes (Figura 13).

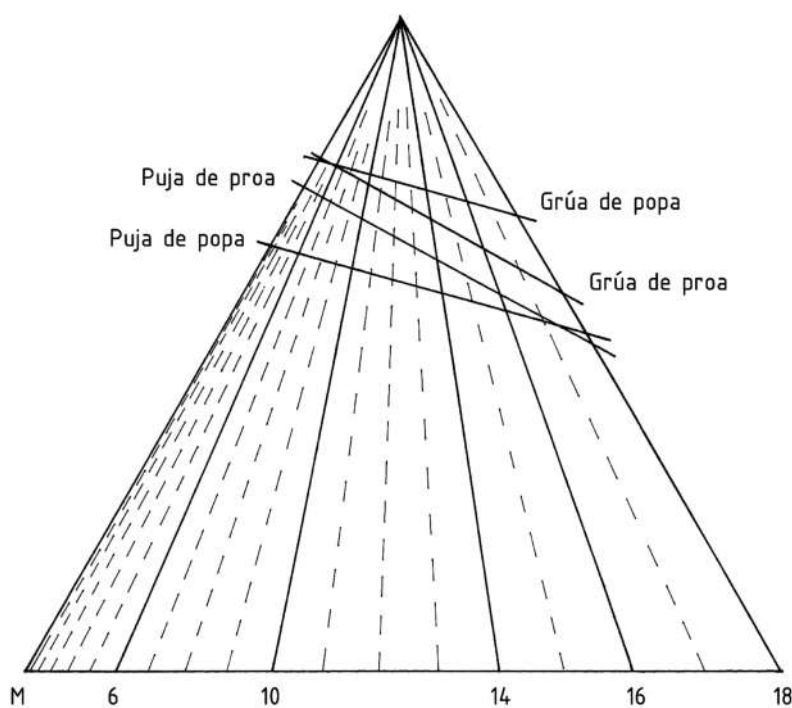


Figura 13.

11. A pesar de que el método de diseño no se ha llevado hasta la sección 18, tanto en proa como en popa, del análisis del plano se desprende que al desarrollar las regletas graduadas el diseñador utilizó unos valores teóricos de pujas y grúas en la sección 18, y que estos son proporcionales a la manga máxima del casco en la regala, B_m .

3.1.1.3. Otras proporciones en el diseño

Existen otras proporciones que también relacionan el puntal en la roda y en el codaste con el puntal en la maestra. Así:

- El puntal en la roda es igual al puntal en la maestra más $\frac{1}{3}$ del mismo ($P_r = \frac{4}{3} P_m$).
- El puntal en el codaste se obtiene de sumar al puntal en la maestra un tercio de la diferencia entre el puntal de la roda y el de la maestra ($P_c = P_m + \frac{1}{3} (P_r - P_m)$).

3.2. Análisis de resultados

Un elemento clave de nuestro estudio consiste en la comparación del plano que hemos obtenido por aplicación de estas reglas y el plano original. Tras el análisis de la cuaderna maestra y de las pujas y grúas, hemos procedido a la construcción material, sobre lámina de plástico y en la misma escala que el plano original, de la plantilla de la maestra sobre la que hemos marcado el punto de codillo, y las marcas correspondientes a la grúa, puja y joba.

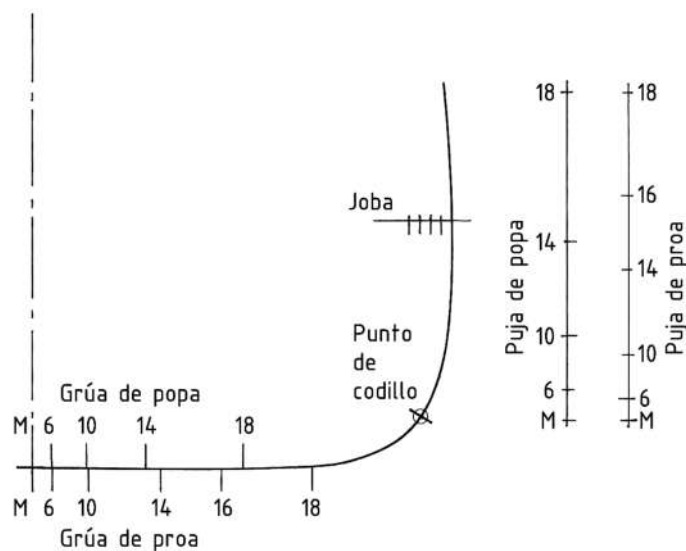


Figura 14.

Con esta información, representada en la Figura 14, se puede replicar la lancha de cabotaje de 65', según el proceso siguiente:

Obra viva: Establecidas la línea base, línea de crujía y el ancho de quilla, para diseñar cada una de las cuadernas, seguiremos tres sencillos pasos.

- Primeramente, elevamos la plantilla de la maestra según la escala de pujas.
- A continuación, reducimos la manga según la escala marcada por la grúa incluida en la plantilla de la maestra.
- Finalmente, rotamos la plantilla de la maestra al rededor del punto de codillo hasta que ésta coincida con la parte superior de la quilla.

Obra muerta: Entre las cuadernas 6 a 16 de proa hay que realizar la transformación adicional denominada joba para que el ajuste con la caja de cuadernas original sea máxima. La regleta graduada utilizada para el control de la joba no se obtiene del triángulo, pero tras un proceso empírico hemos diseñado la regleta y el punto de aplicación con los que obtenemos un buen ajuste con las secciones originales. La forma de utilizar la regleta para el control de la joba es sencilla¹². Así, para la

12. Al aplicar la joba a las cuadernas de cuenta, hemos verificado la existencia de una gran variedad de métodos tanto para definir las proporciones de la joba como en la identificación del punto de aplicación. El método de transformación de la joba utilizado en el plano que hemos estudiado comparte características comunes con el método descrito por Rieth (1996: 72), en cuanto a la regleta utilizada, y Apestegui (1992: 19) en cuanto al punto de aplicación de la misma.

primera sección de proa en la que se aplica la joba (sección nº 6), se coloca la plantilla de la cuaderna maestra con el estrechamiento y el alzamiento correspondientes y se marca (a trazos) la obra muerta que resultaría (Figura 15). El siguiente paso consiste en rotar la plantilla hacia el exterior, alrededor del punto de codillo, hasta la primera marca de la regleta de control de la joba. En el resto de las secciones el procedimiento se aplica de manera análoga, rotando dos unidades en la segunda sección (nº 10), tres en la tercera (nº 14) y por último cuatro en la cuarta (nº 16).

En la obra muerta, a popa, sucede algo similar, si bien, debido a que las formas de popa se pretenden más llenas, la joba no se aplica hasta la cuaderna 10 (la coincidencia en la cuaderna 14 ya no es posible).

El resultado de este proceso se representa en la Figura 15.

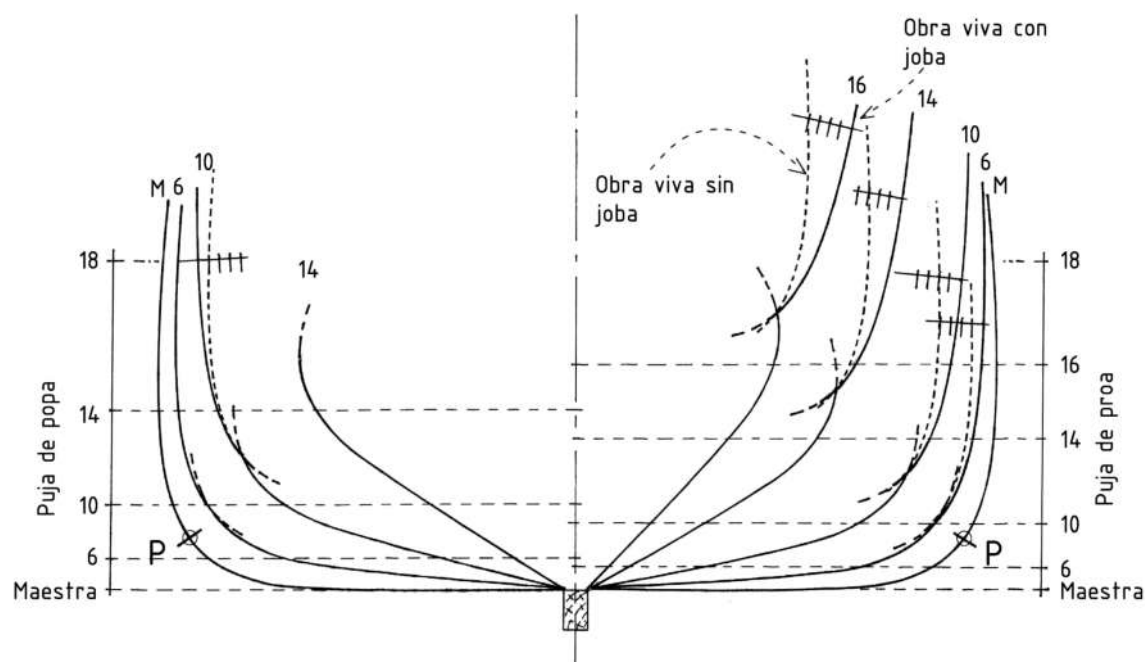


Figura 15: Caja de cuadernas obtenida.

Para mostrar las similitudes y diferencias entre ambos planos, en la Figura 16 hemos representado en trazo diferente la caja de cuadernas que hemos obtenido, y las líneas del plano original.

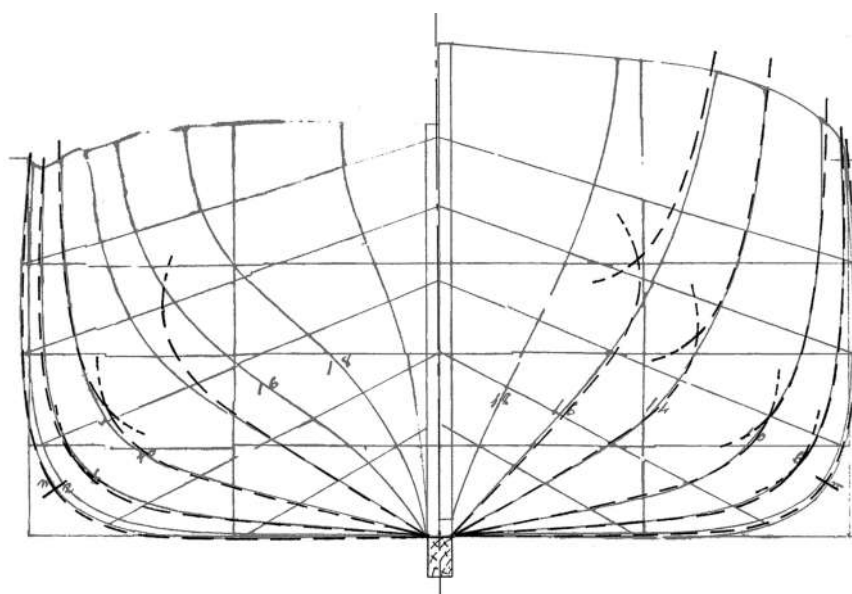


Figura 16: Montaje de las formas obtenidas de nuestro análisis sobre el plano original.

Como se aprecia la coincidencia entre la obra viva que hemos obtenido y el plano original es casi total entre las cuadernas 16 de proa a 14 de popa, es decir en aproximadamente el 75% de la eslora del barco. La no-coincidencia en las formas en los finos de proa y popa se debe a que, como ya se ha explicado, el procedimiento de diseño no-gráfico no era aplicable a estas zonas del barco.

Conviene resaltar que para el diseño de este barco, además de la plantilla de la maestra, se ha utilizado la plantilla de la roda en el perfil, como única plantilla de curvas adicional. Esta plantilla, definida también por arcos de circunferencia tangentes entre sí, se ha utilizado para, además de la roda, trazar la forma de las cuadernas 16 y 18 a popa, el genol de la cuaderna 14 a popa, la cuaderna 18 a proa, la regala en popa en la vista en planta, y se ha utilizado también para realizar el alisado de las discontinuidades que aparecen en la zona del codillo de las cuadernas de cuenta.

4. CONCLUSIONES

En este artículo hemos constatado, que, durante el s. XIX, en el astillero Mutiozabal de Orio, para la definición de las formas de algunos tipos de embarcación, se siguieron utilizando los métodos de diseño no-gráfico que permiten la definición y construcción de un barco a través de transformaciones regladas de una única plantilla de su cuaderna maestra. Estos métodos, ideados por importantes geómetras de la antigüedad (Barker, 1988: 547), se extendieron por Europa a partir del s. XV y han sido el soporte tecnológico de la construcción naval en la mayoría de los países europeos hasta la adopción de métodos de diseño basados en la ingeniería. Así, podemos constatar la utilización de estas técnicas en El Reino Unido, Francia, Grecia y la Península Ibérica.

El hecho de que los métodos de diseño no-gráfico se mantuviera en uso en el País Vasco hasta finales del S. XIX no se debe de tomar como una peculiaridad local. Podemos encontrar testimonios de una utilización similar en todo el mundo, en los que los viejos métodos, utilizados de manera generalizada en el pasado, han quedado relegados a una utilización marginal para barcos modestos de diseño tradicional contruidos con bajos recursos tecnológicos y económicos. En la actualidad estos métodos perviven en países que, como resultado de la colonización, han adoptado la tradición constructiva europea: India, Terranova, Brasil, etc. En todos ellos, los métodos de diseño no-gráfico se utilizan para el diseño de embarcaciones de tipología tradicional, destinados a la pesca y carga.

No podemos explicar con total seguridad cuáles serían los motivos por los que se siguieron utilizando estos métodos de diseño, aunque es muy probable que el motivo de este aparente atraso tecnológico en el proceso de diseño sea económico, ya que no es casualidad que ambos tipos de barco, cabotaje y pesca, sean embarcaciones modestas dedicadas a una industria de rendimiento económico limitado¹³. Los diseñadores de periodos anteriores no actuaban de manera diferente a como lo haría un diseñador actual, y utilizaban un método de diseño u otro en función de los costes asociados a dicho método (McGee, 1999: 235).

La pervivencia de tales métodos hasta etapas tan tardías se debe, entre otras razones, a que los métodos de diseño no-gráfico acumulaban el conocimiento completo del diseño y la construcción de un barco, con la evidente ventaja de que la repetición de la embarcación, tantas veces como se deseara, era posible realizarla en cualquier otro astillero, por muy lejano que estuviera, debido a que toda la información acerca del mismo se podía condensar sobre una plantilla de la cuaderna maestra en la cual se hubieran marcado unos trazos que delimitaran el módulo de las transformaciones -regletas de grúa, puja y joba- que había que aplicar a las siguientes cuadernas de cuenta. El diseño mediante los métodos tradicionales proporcionaba un método rápido de diseño y un método rápido de construcción, al facilitar la fabricación de casi todas las cuadernas con una sola plantilla. Además, proporcionaba un modelo de embarcación de prestaciones conocidas, tanto en sus características de navegación como de explotación. Por lo tanto, no asumieron, para ese tipo de embarcaciones, los riesgos que se derivarían de "inventar" algo que no estuviera ya experimentado en embarcaciones que ellos mismos conocieran. Como resultado, persistieron en la construcción de una tipología de

13. Rieth, (1996: Cap. 11) constata la utilización en el Mediterráneo francés de un método muy parecido al descrito (denominado Gabarit de Saint-Joseph), utilizado también para el diseño de embarcaciones de pesca y cabotaje, y recoge la descripción detallada que de dicho método realizó J. Vence en el s. XIX. Según Vence (Rieth, 1996: 167) el motivo de la supervivencia de dicho método para el diseño de esas embarcaciones era, entre otros, de tipo económico al reducir los costes de diseño y trazado de la embarcación

embarcación relativamente barata, pero cuya mejora y optimización estaba muy limitada por el proceso de diseño mismo.

A principios del s. XX se produjo, en la flota pesquera del País Vasco, la gran innovación de la propulsión a vapor. Esto produjo una gran transformación ya que se requerían unas formas y proporciones que se escapaban de las obtenidas por medio de los viejos métodos de diseño. Las formas de las embarcaciones tradicionales no servían para el nuevo medio de propulsión. Una forma de superar estos cambios con las máximas garantías de éxito (económico, prestaciones, etc.) fue la aplicación de la ciencia al diseño (McGee, 1999: 235), por lo que los astilleros abandonaron las viejas técnicas y adoptaron métodos de diseño libre, basados en la ingeniería, aplicados a la geometría total del barco. El diseño basado en la ingeniería se aplicó inicialmente a las embarcaciones de mayor porte, y posteriormente a otro tipo de embarcaciones menores.

En relación directa con el análisis de los planos de la Colección Mutiozabal, destacamos que la inclusión del triángulo proporcional que aparece en el plano 6223 es una muestra de la utilización a mediados del s. XIX de métodos de diseño no-gráfico. Su análisis nos ha permitido reconstruir toda la información necesaria para la construcción de ese barco en un sencillo soporte material, una lámina de plástico realizada en la misma escala que el plano, que da información completa acerca de:

- Cómo es y se construye la cuaderna maestra: Sus arcos con sus centros y radios de curvatura; el alisamiento entre sus diferentes arcos; etc.
- Cómo se construyen las respectivas plantillas de puja, grúa y joba. En el análisis que hemos realizado hemos verificado que las series utilizadas son del tipo *saltarelha*.
- Y, como resultado de la aplicación de estas plantillas a las transformaciones regladas de la maestra, cómo se construyen todas las cuadernas de cuenta, si bien las secciones en los extremos de la quadra y la mura, quedan, en parte, sometidas a la libre interpretación del proyectista.

5. BIBLIOGRAFÍA

- APESTEGUI, Cruz: "Arquitectura y Construcción Navales en la España Atlántica en el Siglo XVII y la primera Mitad del XVIII. Una nueva sistematización", *International Symposium on archaeology of medieval and modern ships of Iberian tradition*, 2000.
- BARKER, Richard: "Many May Peruse Us: Ribbands, Moulds and Models in the Dockyards", *Revista da Universidade de Coimbra*, 1988, pp. 539-559.
- CASTRO, Filipe: "Rising and Narrowing: 16th Century Geometric Algorithms used to Design the Botom of Ships in Portugal", *The International Journal of Nautical Archaeology* 36.1, 2007, pp. 148-154.
- FERNÁNDEZ GONZÁLEZ, F. APESTEGUI CARDENAL, C. MIGUELEZ GARCIA, F., *Arte de Fabricar Reales* (edición comentada del manuscrito original de Don Antonio de Gaztañeta Yturribalzaga), 1992.
- LOEWEN, Brad: "The Red Bay Vessel. An example of a 16th-century Biscayan ship", *Itsas Memoria. Revista de Estudios Marítimos del País Vasco*, 2, Untzi Museoa-Museo Naval, Donostia-San Sebastián, 1998, pp. 193-199.
- LOEWEN, Brad: *The Underwater Archaeology of Red Bay: Basque Shipbuilding and Whaling in the 16th Century. Volume 3*, 2007.
- MCGEE, David: "From Craftsmanship to Draftsmanship: Naval Architecture and the Three Traditions of Early Modern Design", *Technology and Culture*, Vol. 40, No. 2, 1999, pp. 209-236.
- MCGRAIL, Seán: "Ancient Boats in North-West Europe", *Pearson Education*, 1998.
- MCGRAIL, Seán: "Portuguese-derived ship design methods in southern India?", *Proceedings International Symposium on Archaeology of Medieval and Modern Ships of Iberian Tradition. (Trabalhos de Arqueologia nº 18)*, Lisboa, 2001, pp. 119-129.
- MORGAN, William y CREUZE, Augustine: "Article I: On Mechanical Methods of designing Ships' Bodies", *Papers on Naval Architecture and other subjects connected with Naval Science*, G.B. Whitaker, London, 1829, pp. 1-22.
- RIETH, Eric: *Le Maître-Gabarit la Tablette et le Trébuchet: essai sur la conception non-graphique des carènes, du Moyen Âge au XXe siècle*, Comité des travaux historiques et scientifiques, Paris, 1996.
- TAYLOR, David A.: *Boat Building in Winterton, Trinity Bay, Newfoundland*. Mercury series, Cultural Studies, no 80, Canadian Museum of Civilization, 2006.