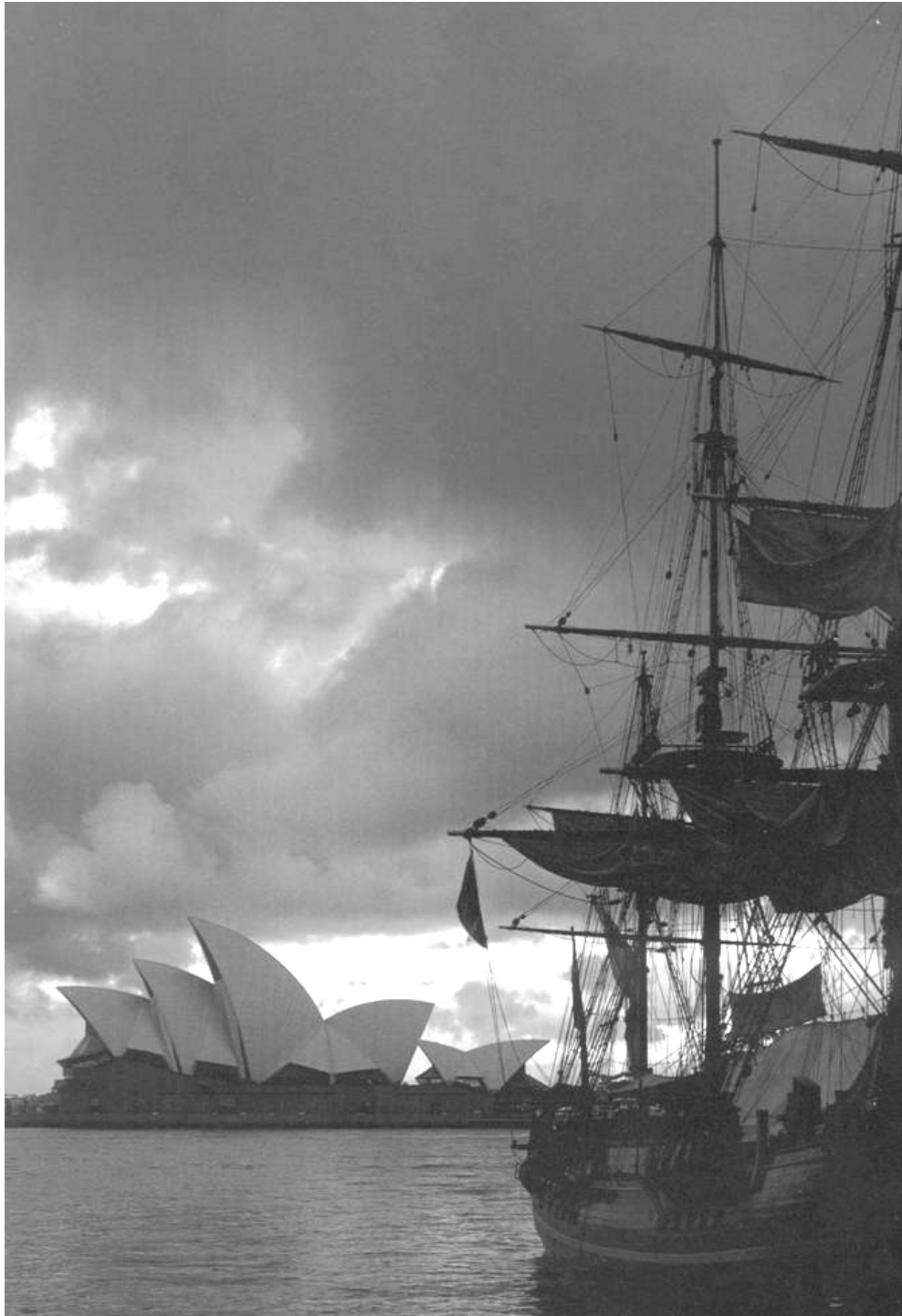


## Aproximación a la construcción de barcos: una manera de pensar la forma.



Vista de la Opera House de Sydney.

Hay muchas cosas de la arquitectura que, por evidentes o asumidas tal como son, no las podemos analizar con sentido crítico. Esto ocurre con el dibujo y la idea de que el dibujo es una herramienta de pensar para el arquitecto. Sin embargo una mirada a otras disciplinas o a otros ámbitos, nos puede dar la perspectiva necesaria para la reflexión y para averiguar por qué esto es así y cómo esto es así.

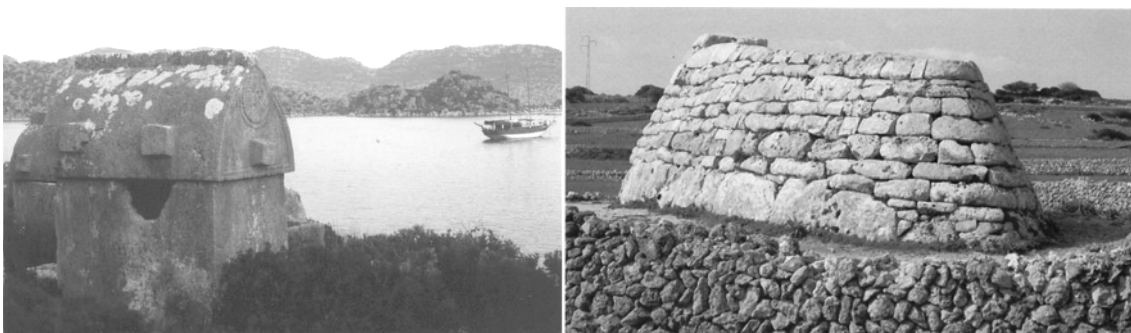
Puede ser de interés hacer este ejercicio de análisis, ahora, estudiando la construcción de barcos, puesto que en los años cincuenta y sesenta diversos ingenieros y arquitectos hicieron alguna incursión en esta disciplina. De hecho, la idea de que una mirada a la construcción de barcos puede ser interesante se empieza a suscitar porque muchos de los autores de los edificios estudiados tienen una relación con ella.

La forma de los barcos es algo que no surge del capricho del ingeniero naval, sino de sus conocimientos en los principios físicos que inciden en el diseño de los cascos. La característica principal de los cascos de barcos es la curvatura de su cáscara y la continuidad de esa superficie curva. Sin embargo no hay “composición” en ellos; sólo el rigor interviene en la definición de la silueta. Su forma tampoco se ha tomado de una figura básica, del catálogo de formas geométricas conocidas, ni es el mero resultado de la aplicación de un estado de cargas; pero la construcción de las piezas tiene un objetivo simple: conseguir una forma concreta.

La construcción naval no puede tener concesiones a componentes de orden emotivo o ideológico. No cabe hablar de conceptos artísticos o subjetivos, por lo menos en los mismos términos en que se justifica muchas veces la arquitectura. Lo atractivo de los astilleros es el sentido práctico y la exigencia técnica que se tiene sobre el diseño. Es por esto que si la construcción naval ha influido en la arquitectura ha sido en aportarle sensatez y rigor en la toma de decisiones.

Por otro lado, este estudio centra su atención en el análisis de elementos arquitectónicos definidos por superficies curvas; por lo tanto, hablar de barcos en tanto que piezas construidas no desplaza demasiado el foco de atención de su tema central.

Para la arquitectura, las superficies curvas han sido, a menudo, temas constructivos. Desde los detalles de la piedra -con sus diversas soluciones para bóvedas, capialzados o escaleras de caracol-, hasta la conformación de pechinas o cúpulas, los elementos superficiales no fueron tema compositivo principal de la obra hasta el siglo XX.



Sepultura en piedra de Teimura (Üçağız) en el mar Egeo. Naveta des Tudons en Menorca.

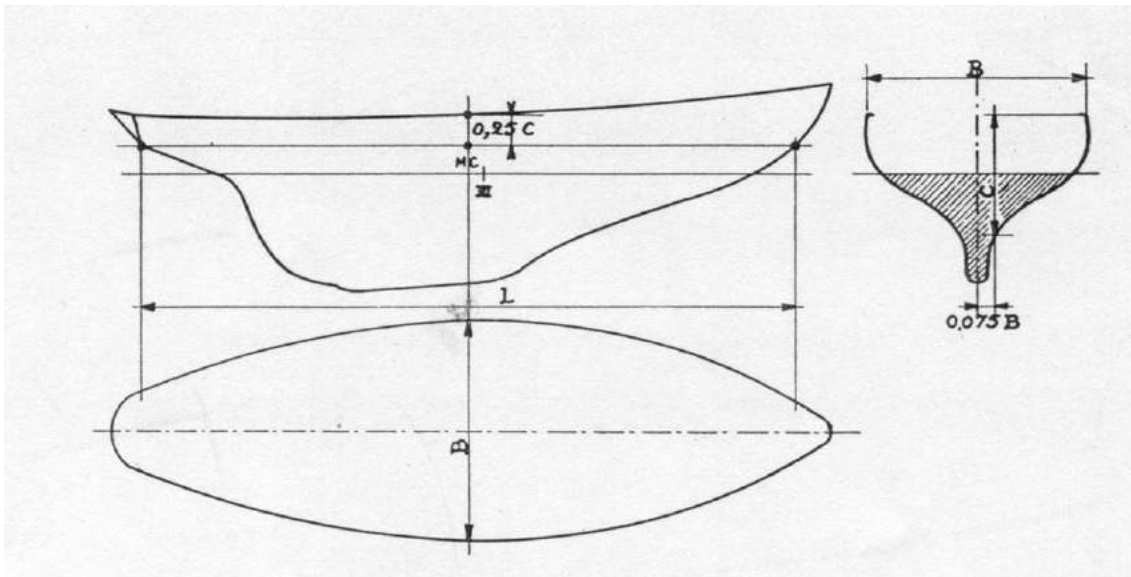
Hay muchas coincidencias entre barcos y edificios. Existen ejemplos de arquitectura vernácula en que se utilizan cascos de barcos, puestos al revés, como

cubiertas de casas. O versiones en piedra de esto mismo, en sepulturas de cementerios de pueblos pescadores del mar Egeo (como la población de Teimura o Üçađız) (Foto de la izquierda), o la misma Naveta dels Tudons de Menorca. También techos construidos en madera para los cuales se recurrió a los armadores de las atarazanas (como el techo de la escalera en el edificio del antiguo Archivo de la Corona de Aragón en Barcelona). Armadores y constructores siempre han tenido felices coincidencias en su trabajo.

### **La forma de los cascos**

Es curioso lo mucho que se parecen los cascos de los barcos entre ellos, ya sean de madera, de hierro, de cemento armado o de lona. Su silueta fusiforme resuelve la flotación y el desplazamiento desde antes de la formulación de Arquímedes. Hasta hoy en día, en que los diseños se hacen con medios gráficos informatizados, los cascos de los barcos se parecen. Las variantes dependen del uso, del tipo de navegación y del material con que se construyen pero afectan al trazo de unas curvas básicas muy parecidas.

La construcción de cascos ha variado mucho en la historia pero la forma siempre se ha ajustado a los requerimientos de la navegación que han sido más o menos parecidos. Sólo el tamaño y la velocidad han variado. Fundamentalmente, mientras el mar sea como es, los cascos se parecerán a sus precursores a pesar de construirse con materiales radicalmente distintos.



Plano de un casco de barco.

Los barcos se definen por tres medidas principales correspondientes a las tres dimensiones perpendiculares. La primera es la **eslora** (la longitud del buque), la segunda la **manga** (la mayor de las anchuras que corresponde a la anchura central) y la tercera es el **calado** que corresponde a la profundidad. La envolvente de la forma del casco de un barco sería un prisma con estas dimensiones.

Pero la forma curvada y suave del casco del barco se define, con precisión, con las curvas correspondientes a los cortes sucesivos del casco: las secciones transversales dibujan **cuadernas** (también llamadas cuadernas constructivas o de trazado). Se acostumbra a definir 21 secciones de esta familia de tal manera que el número 10 es la central y determina la manga máxima del casco.

Las secciones horizontales se llaman líneas de flotación o **líneas de agua**, que dan idea de la hidrodinámica del buque por los ángulos de incidencia en el agua con el avance. En general se hacen 6 líneas de agua desde la línea más baja o línea de base con el número 0, hasta la de flotación a plena carga que se numera con el 6; pero se puede llegar a hacer 12 cortes si el casco es de grandes dimensiones.

La **secciones longitudinales**, de simetría o de crugía, completan la información, no corresponden necesariamente a secciones equidistantes y se numeran con cifras romanas. Estas secciones dibujan los diferentes calados a lo largo del casco y la diferencia de estas profundidades también da idea de la hidrodinámica de la parte sumergida. La más importante de estas secciones es la central que corresponde al plano de simetría propiamente, puesto que de ella depende el trazado de una pieza clave para la construcción: la quilla que actúa como espina dorsal a la que las cuadernas se van sujetando a modo de costillas. Esta columna central se completa en proa con una pieza de refuerzo que rompe el agua en el avance, la roda, y otra en popa a la que se articula el timón, el codaste.

Todo este conjunto de líneas definen la superficie de la cara interior del casco, es decir que el material con que se construya hará variar sus dimensiones exteriores totales; esto quiere decir que estas formas describen las líneas exteriores de la estructura, del armazón sobre el cual se compondrá el casco propiamente dicho al que, por cierto, se llama *forro*.

### ***La construcción de cascos***

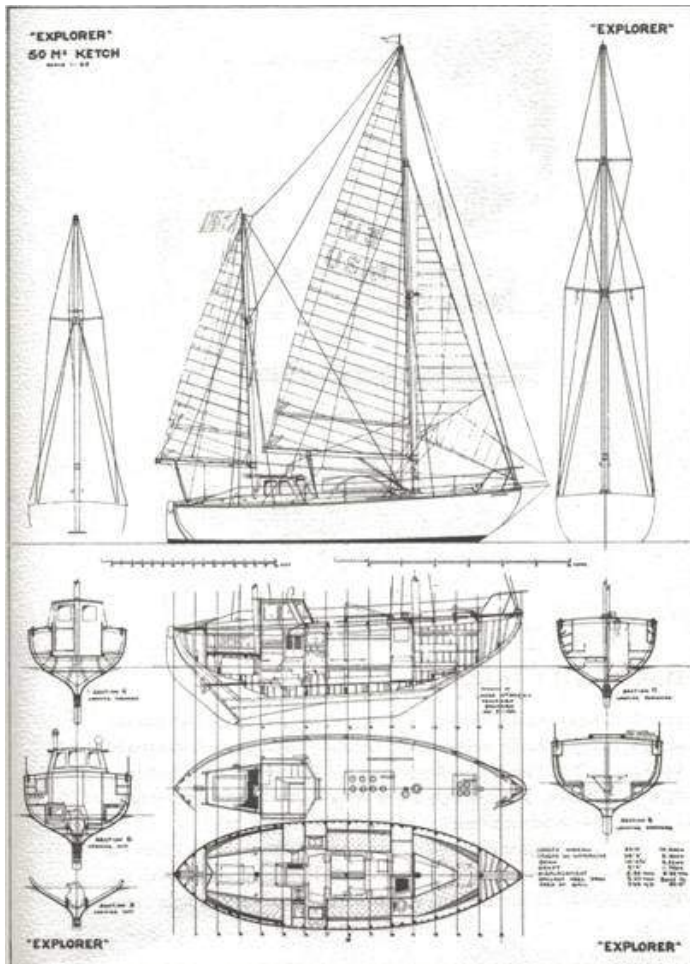


Construcción de un navio en los Astilleros Españoles.

Pero es en la construcción de cascos, especialmente, donde hay más coincidencias con la arquitectura. La formación del encofrado para construir un elemento de hormigón armado es idéntica a la formación del casco de un barco. El encofrado de un elemento arquitectónico, como el casco de un barco, define formas

que se pueden construir con tablas o con trozos de plancha. Por otro lado la superficie que envuelve esos elementos debe ser estanca al hormigón fluido, como los barcos al agua. El tipo de forma es por lo tanto parecido en concepto y habrá que ver cómo en uno y otro caso se resuelve y se controla esa superficie, con qué dibujos y con qué geometría.

A partir del estudio de la obra de Jørn Utzon en Sydney y de su biografía se hace evidente que (como en otros arquitectos de la época) hay una relación con los barcos, y específicamente con su construcción. Jørn Utzon trabajó colaborando con su padre en el astillero que tenía en Dinamarca.



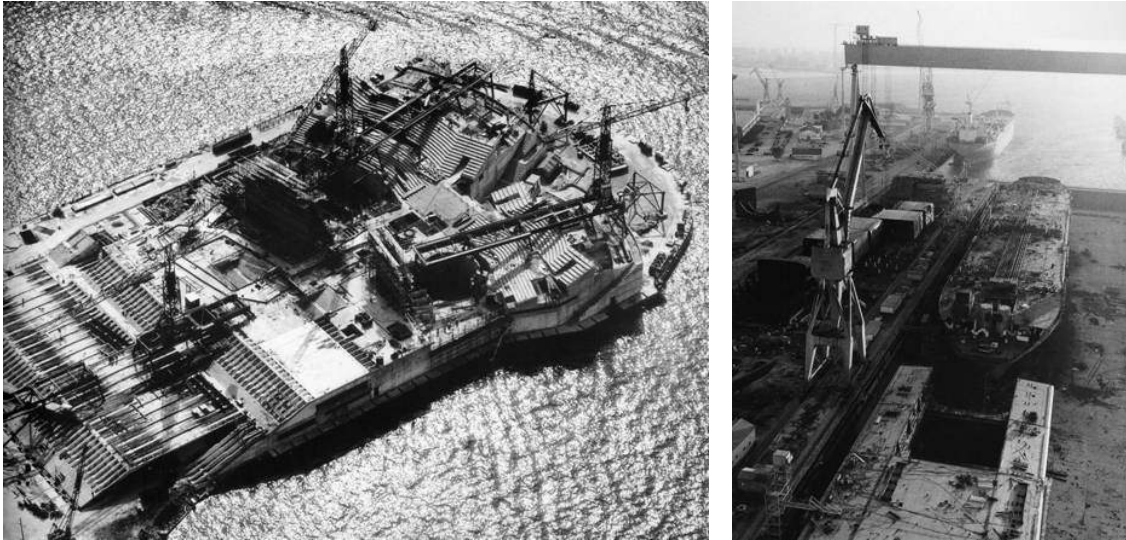
Plano de un modelo de barco diseñado por el padre de Jørn Utzon en Dinamarca.

Las similitudes y analogías entre el edificio de la Opera House y los barcos de vela son continuas y aparecen en multitud de textos sobre la obra de Utzon. Como el aspecto de cascos de canoa que tenían las vigas de la plataforma mientras se construía su encofrado, o la apariencia externa del edificio, como un *barco gótico varado* en la bahía. En la justificación del fallo del concurso, el jurado, presidido por Eero Saarinen, hizo especial mención a esa similitud formal entre los dibujos del proyecto y los barcos.<sup>1</sup>

Desde los dibujos del concurso hasta su aspecto final o el proceso de construcción del edificio de la ópera encontramos parecidos entre arquitectura y

<sup>1</sup>... velas infladas por el viento sobre un basamento masivo. Esta oposición produce un efecto extraño de los más interesantes para un edificio situado en el puerto de Sydney". Architecture d'Aujourd'hui nº 73 Pág.37.

barcos. Basta comparar la gran movilización de medios que se genera tanto en un astillero como en una obra de grandes dimensiones.



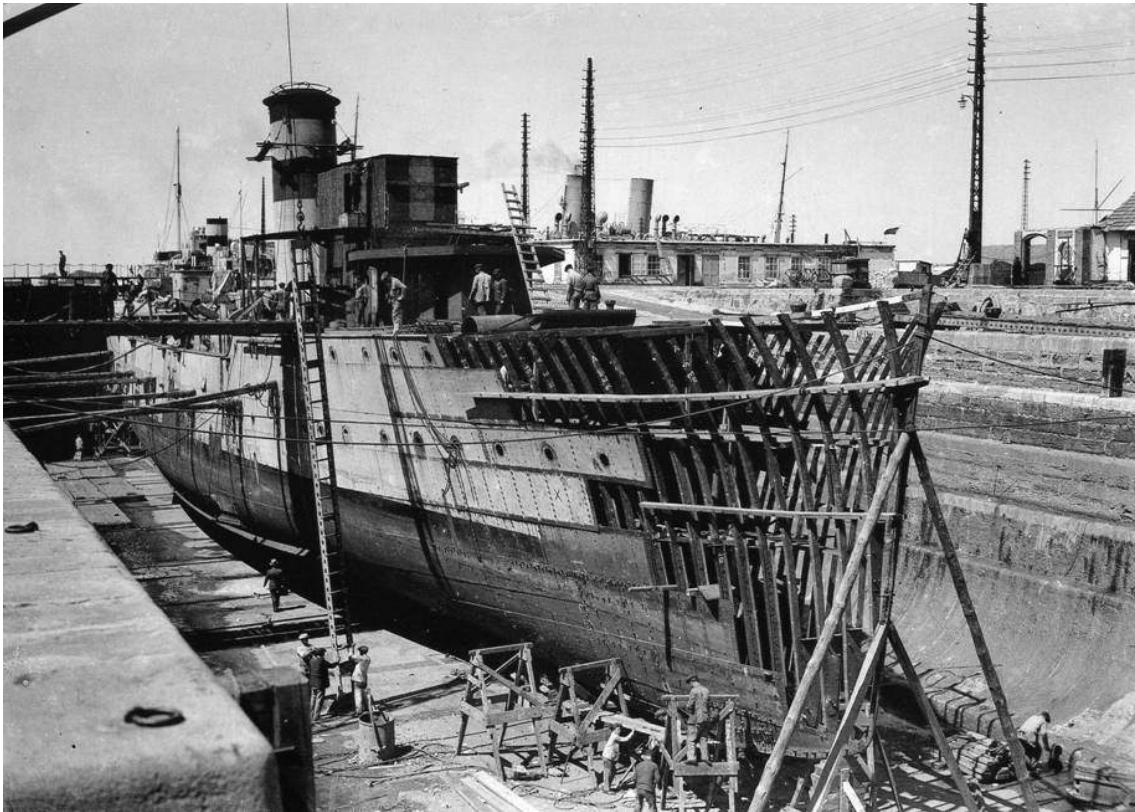
Vista aérea de la construcción de la Opera de Sydney. Imagen de un astillero donde se construye un gran navío.

Los planos de barcos, tal como los entendemos ahora, con su grado de precisión, son relativamente recientes, aunque de una u otra manera, siempre ha sido necesario tener el control sobre la forma. Aunque sólo sea para asegurar la simetría entre las dos mitades del barco, se justifica esa necesidad de control. El hidrodinamismo necesita de la simetría. Para poder reproducir una forma hay que saber exactamente como és, hay que conocer su geometría.

Dejando a parte los cascos tallados en un tronco, los barcos se han hecho casi siempre a piezas, y se han construido formando una estructura y la lámina estanca que la recubre. La capacidad de navegación dependerá de que esa lámina sea lo suficientemente grande para asegurar la flotación y lo suficientemente continua para favorecer su desplazamiento en el agua.

Hay, pues, dos partes indisolubles en el casco de un barco: la estructura o armazón y el recubrimiento o forro. Ambas son parte integrante del casco, una da forma y la otra es la forma propiamente dicha. Por lo tanto interesa no perder de vista que el armazón sostiene la superficie curva y que la necesidad de rigidez de ésta justifica el uso de ese armazón. Para entender como se tiene el control geométrico de esa forma hay que ver cómo se diseñan sus armazones, cómo se dibujan.

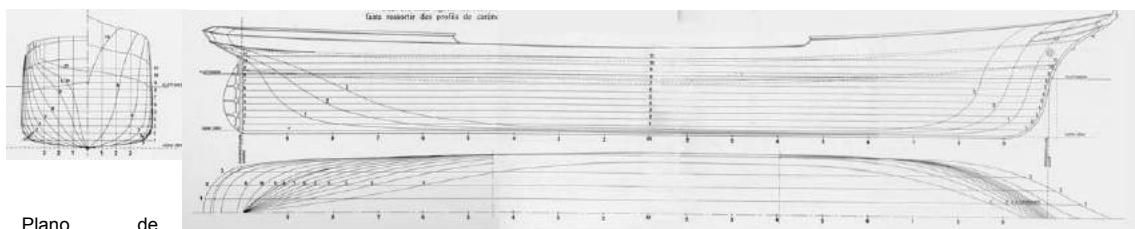




Construcción del forro y del armazón de un barco.

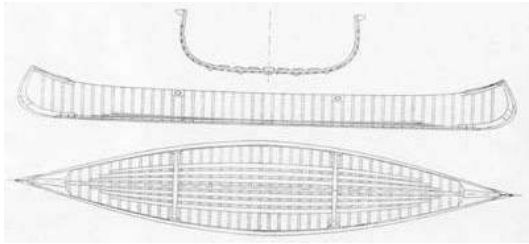
### ***Dibujo de planos de barcos***

Es importante tener un control sobre la ejecución del casco hasta el final para introducir posibles cambios de mejora y para poder detallar las piezas con las que se construirá el conjunto. Lo que permite tener este dominio de todo el proceso es el **plano de formas**.



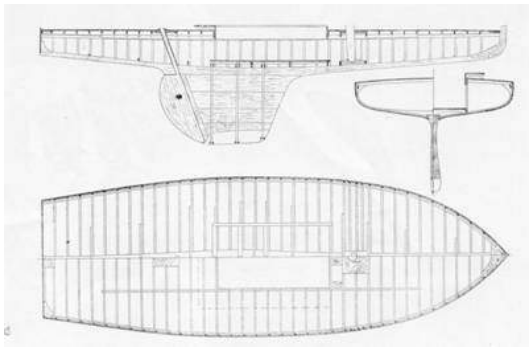
Plano de formas de un buque.

Este documento es un dibujo diédrico que describe con precisión la curva que debe seguir la forma del casco en cada sección. Y consta de tres series de curvas: una para las secciones horizontales, una para las secciones transversales y otra para las secciones longitudinales. Esta información es redundante puesto que dadas dos series, la tercera queda determinada, sin embargo la información gráfica de cada orientación es útil para los cálculos que tienen que ver con la navegación, la capacidad de carga, la velocidad, la línea de agua o de flotación, la superficie mojada, etc. Estas formas se dibujan sobrepuestas para cada orientación, como el plano topográfico de un terreno.



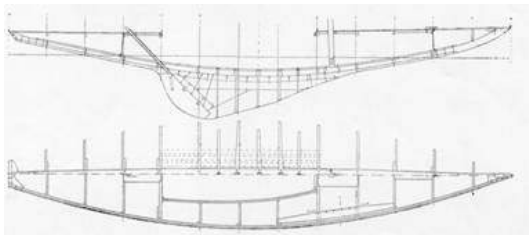
Canoa canadiense

Todos los barcos se diseñan a partir de su plano de formas, y estas siluetas son las formas sucesivas que el casco va teniendo. Pero si hacemos un salto adelante en el proceso y atendemos a la construcción de esos cascos, reconoceremos esas secciones en la construcción de las cuadernas.



Velero de regata de río.

Las cuadernas reproducen las secciones transversales. Visto desde la perspectiva de la arquitectura llama la atención esta literalidad entre plano y construcción. Y esto es lo que más interesa aquí: notar que esto ocurre en la construcción naval puede servir, en la arquitectura, para comprender las leyes de la propia disciplina.

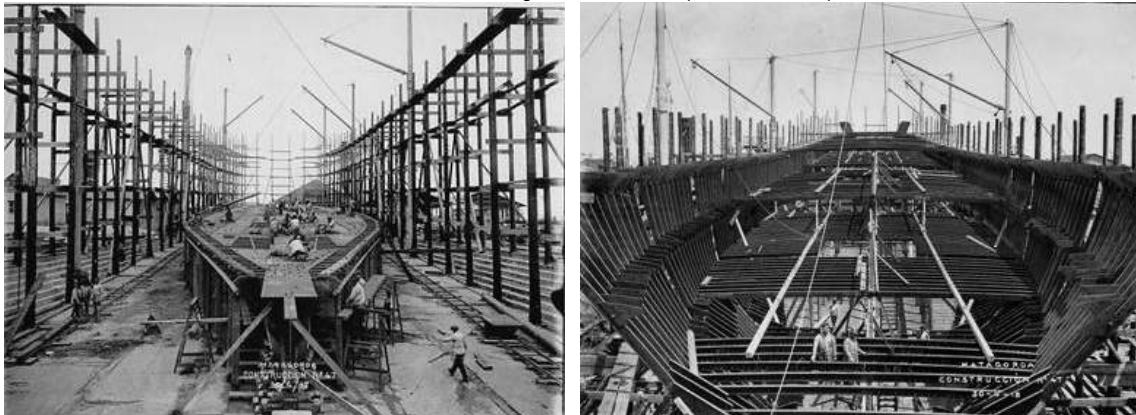


Velero de regata de mar.

Los cascos de barco se definen, se calculan y se modifican a partir de las sucesivas secciones. Su forma queda determinada por las curvas de los cortes transversales y estos cortes siguen la geometría definida por la sección longitudinal.

Es así como se concibe la forma de la superficie del casco y es así como éste se construye. La construcción de barcos consiste en la construcción de una serie de costillas (cuadernas) que puestas, a una distancia precisa, “dibujan” el esqueleto que después se cubre con tablas de madera en sentido longitudinal. Es muy importante el elemento de la quilla como gran espina dorsal que recoge cada cuaderna y a la vez materializa el perfil longitudinal característico del casco.

Dos momentos de la construcción de un barco donde se distingue las cuadernas que forman el esqueleto.



Analicemos el diseño de los cascos de barcos de manera aislada para comprender hasta el detalle cual es el proceso. El profesor de la Escuela Superior de



Ingenieros Navales de la Universidad Politécnica de Madrid, Antonio Crucelaegui, resume los criterios de diseño del casco de un barco:

*La aplicación teórica inmediata a la generación de la superficie exterior del casco del buque ha sido abordada de muy diversas formas por distintos autores, pero en esencia conlleva los siguientes pasos:*

- 1) *a partir de un conjunto de parámetros dados por el usuario, se diseñan cuatro perfiles básicos que determinan la forma. Esto es, al perfil extremo del casco, visto en planta (proyección cilíndrica enmarcada por la eslora y la manga máxima), el perfil del casco a la altura de la línea de flotación, el área transversal en función de la coordenada longitudinal y, finalmente la vista en alzado del casco.*
- 2) *El sistema genera automáticamente con esa información un conjunto de secciones transversales, que definen la forma del casco, con un proceso de interpolación mediante B-splines, alternativamente de secciones longitudinales, según los métodos basados en un entramado de cuadernas o líneas de agua.*
- 3) *Finalmente se interpola entre las secciones anteriores (...). En este paso se pueden obtener pasos indeseados, ya que el hecho de que las secciones diseñadas con b-splines sean suaves no implica que lo sea la superficie intermedia. Por ello debe utilizarse un proceso iterativo en que el usuario modifica parámetros de diseño si la superficie obtenida no es lo suficientemente suave y alisada y posee ondulaciones. Para detectar estos efectos en la superficie dos procedimientos fundamentales, a saber: se simula la iluminación, detectando cambios de color en la pantalla y se representan gráficamente las líneas con la misma curvatura gaussiana de la superficie<sup>2</sup>.*

Este texto describe el diseño de los planos de formas y parte del uso de secciones cambiantes, que el ordenador genera a partir de unos mínimos datos generales de las dimensiones clave. El uso de las secciones es, pues, la herramienta de trabajo en el diseño de los cascos de barco.

Más adelante se habla de la superficie que conforma el casco propiamente dicho, concretamente, en los casos de buques de chapa de acero, en los cuales los requerimientos del material y del proceso de construcción pesan en el diseño sobre plano de su forma:



*Además del área de la superficie, interesan otras características, como evidentemente el volumen encerrado por la misma y su distribución, pero aún más importante resultan ser las características de su forma y las que pueden ser útiles en su fabricación, pues en definitiva el forro ha de provenir de planchas de acero, por lo general, y su conformación adecuada precisa un previo análisis de las zonas del buque asimilables a superficies desarrollables, para poder cortar y unir las chapas.<sup>3</sup>*

Popa de un barco en su botadura donde se distingue el despiece del forro de plancha.

Se resalta en el texto la importancia de que la construcción se tenga en cuenta ya desde el diseño

<sup>2</sup> CRUCELAEGUI CORVINOS, Antonio: *Geometría y representación de carenas. Diseño asistido por ordenador. Vol 1. Material docente de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales de la U.P. de Madrid. Pás.110.*

<sup>3</sup> CRUCELAEGUI CORVINOS, Antonio: op. Cit. Pág. 114.

sobre plano. Si la superficie se ha de construir con planchas de acero hay que trabajar con fragmentos de superficies desarrollables; para diseñar formas que se deban construir con elementos lineales habrá que trabajar con superficies regladas, y por lo tanto hay que conocer las características geométricas de las formas que se tienen entre manos. Incluso en los casos en que se trate de fragmentos superficiales no desarrollables, las líneas de corte sobre la plancha seguirán las líneas geodésicas de la forma superficial.

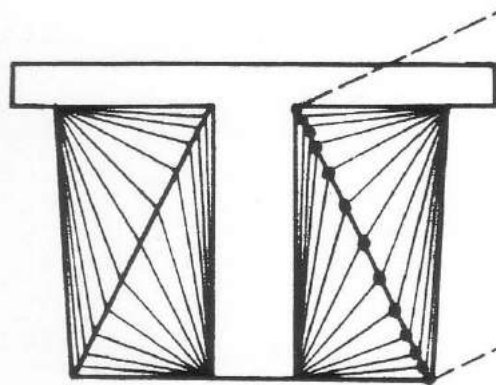
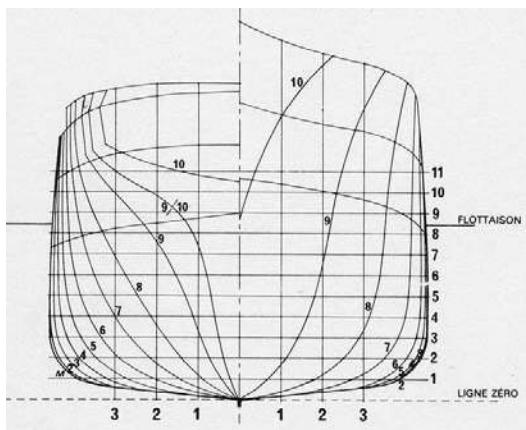
### ***Dibujar cuadernas o construir secciones***

Las imágenes de barcos en construcción y las imágenes de planos de barcos son iguales. Los cascos de barcos se construyen literalmente por secciones y el dibujo de esas secciones es como se concibe su forma. Los barcos se piensan por secciones. Como Jørn Utzon pensó los elementos de sección variable con los que resolvió problemas de arquitectura. Éste es el parecido profundo entre la construcción de barcos y el edificio de la Opera House. Más allá de su imagen y de su cercanía física.

El propio Crucelaegui más adelante, en el mismo texto docente dice que “en arquitectura naval se piensa en formas tridimensionales, pero la concepción se expresa en dibujos en dos dimensiones.” Algo que es plenamente compartido por *nuestra* arquitectura.

La manera de pensar es, pues, lo que iguala el arquitecto al armador y esa manera de pensar toma forma en los dibujos, que en uno y otro son de la misma índole, usan los mismos mecanismos de abstracción, el mismo tipo de geometría de la construcción, y se trata, por tanto, de una geometría constructiva.

Después de esta incursión en la arquitectura naval aparecen sobre la mesa dos aspectos sutilmente distintos: uno es que los elementos constituidos por superficies curvas se definen muy fácilmente por la sucesión de secciones distintas y por la ley que las relaciona, que puede ser la sección longitudinal. El otro es que esta manera de concebir los elementos curvos, y por tanto la manera de dibujarlos, es idéntica a la manera en que se construyen.



Comparación de plano de formas de un barco y plano de formas de una viga de la plataforma de la Ópera de Sydney.

Basta poner de lado el plano de formas de un buque cualquiera y el *plano de formas* que Utzon utilizó para definir la forma de las vigas de la gran explanada de acceso de su edificio en Sydney. Por tanto quizá sea en la construcción donde haya que buscar la geometría que define las formas arquitectónicas.