

## **Evolución tecnológica del timón de codaste**

Dr. D. Juan José Prieto Romero

Dr. D. Juan Carlos Fortes Garrido

Doctores Ingenieros profesores del Dpto. de Ingeniería Mecánica, Minera y Energética.

Escuela Superior de Ingeniería – Universidad de Huelva

### **Resumen**

El timón de codaste es un mecanismo móvil adjunto del navío, enlazado al codaste o prolongación de la quilla mediante un par cinemático de rotación, que aprovechando las corrientes hidrodinámicas generadas en la mar y las corrientes de expulsión que proporcionan las hélices, varía con su movimiento el rumbo del buque. No siendo el único sistema mecánico que realiza esta imprescindible función, sí es el más operativo y de rápida aplicación<sup>1</sup>.

El presente artículo, pretende contextualizar su aparición y desarrollo, desde una perspectiva ingenieril, como método de gobierno (del griego *kubernain* “pilotar un barco”) de las embarcaciones, partiendo de sus inicios. Seguidamente, se expone su expansión por las diferentes culturas de la época medieval y su evolución tecnológica en el tiempo, hasta llegar a los timones usados en nuestros días. Analizando finalmente, el diseño y funciones de diferentes sistemas de gobiernos usados en la actualidad, así como, aspectos generales de su dinámica.

---

<sup>1</sup> Ricard Marí Sagarra. Maniobra de los buques. 1995



## Abstract

The stern rudder is attached movable mechanism of the vessel, aft of the stern, taking advantage of the hydrodynamic currents generated at sea and current ejection providing propellers, varies with its movement path of the ship. Not being the only mechanical system that performs this essential function, yes it is, the more operational and rapid implementation.

This article seeks to contextualize their emergence and development from an engineering perspective, as a method of government (Greek *kubernēin* "piloting a boat") of vessels. Under study since its inception, in addition to the different systems that preceded it. Then, its expansion is exposed by the different cultures of the Middle Ages and its evolution over time, consistent with the technological evolution of engineering, reaching rudders used today. Finally analyzing the design and functions of different systems governments used today and general aspects of its dynamics.

## Palabras clave

Timón de codaste, dinámica, tecnología, sistema mecánico.

## Keywords

Stern rudder, dynamics, Technology, mechanical system.

## INTRODUCCION

El Timón es el mecanismo utilizado para maniobrar un medio de transporte que se mueve a través de un fluido. Funciona con ayuda de aparejos de cuadernales o de motones, orientando el fluido y generando un efecto de giro o de empuje. Cuando el timón está situado en línea respecto a la marcha del buque, se dice que el timón está a la vía, por tanto, su efecto es prácticamente nulo y solo ofrece la resistencia hidrodinámica debida al rozamiento. No obstante, el buque, en ocasiones, y debido a la acción del mar,



puede dar alguna guiñada y es necesario actuar ligeramente sobre el timón para conservar el rumbo. Si se actúa sobre el timón y éste forma un ángulo respecto al plano diametral o sentido de marcha, se dice que el timón se encuentra a la banda, y el ángulo que forma se llama ángulo de metida. Este ángulo de metida o ataque tiene gran importancia sobre el empuje hidrodinámico de la nave.

En cuanto al casco (buc o cuerpo) en los veleros y bajeles españoles, su estructura se forma a partir de la quilla, que es, como dice Thomé Cano<sup>2</sup>, el primer madero que hace el largo y cumplido de los veleros, sobre el cual se comienza a fabricar. A proa de la quilla se alza un madero curvado y enmechado a ella, que recibe el nombre de roda de proa o branque, y a popa otro madero también enmechado, denominado codaste. Ensambladas y perpendiculares a la quilla de proa a popa, formando el esqueleto del navío, se sitúan las cuadernas. La superestructura la componen los castillos; el de popa se conoce por el nombre de tolda.

Desde las más antiguas épocas, los navegantes han investigado y desarrollado nuevas y cada vez más avanzadas técnicas para mejorar la navegación. Esto se ha traducido en la construcción de una gran diversidad de diseños de embarcaciones y en la evolución de sus métodos de gobierno. En los primeros veleros, grandes remos dominaban la nave y la llevaban en la dirección deseada. Este primitivo y simple sistema de gobierno de embarcaciones fue de gran utilidad y estuvo vigente durante cientos de años en una inmensa variedad de sociedades y civilizaciones. Su importancia radica también en el hecho de haber sido el precursor del timón de madera.

La aparición del timón de codaste o timón axial, significó una auténtica revolución en la construcción naval, como recoge Fernando Girón en su obra sobre el Oriente Islámico Medieval<sup>3</sup>. Algo tan aparentemente sencillo y de pequeñas proporciones con respecto al volumen de los grandes veleros, como

<sup>2</sup> Thomé Cano: Arte para fabricar Naos. 1611

<sup>3</sup> Fernando Girón: Oriente Islámico Medieval. Ed. AKAL, 1994.



era la adaptación de una pala a todo lo largo del codaste<sup>4</sup>, de forma que hiciera cuerpo con la nave, tardó siglos en ser una realidad y condujo a la ruptura de un estancamiento conceptual, abriendo el camino para la innovación a gran escala. Podemos considerar evidente la superioridad tecnológica del timón de codaste, ya que su uso se hizo prácticamente universal en los barcos y buques de todo tipo, perviviendo hasta la actualidad. Sin duda, fue un factor decisivo que marcó el paso de una Era y posibilitó las grandes exploraciones oceánicas. En definitiva, puede afirmarse que junto al estribo en las sillas de montar y la collera para animales de tiro, se trata de uno de los grandes inventos de la Edad Media.

## PRIMEROS METODOS DE GOBIERNO

Los primeros métodos de gobierno no están demasiado claros, se supone que los remos a modo de timones ayudaban a cambiar el rumbo remando lateralmente con ellos. Es hacia el año 2000 a.c. cuando comienza a usarse haciendo girar esos remos, método que duraría con ligeras variantes unos 3000 años. Las representaciones de barcos con remos, haciendo las veces de espadillas de gobierno, son múltiples y se corresponden con diferentes épocas y civilizaciones.

En Hieracópolis, localidad egipcia del alto valle del Nilo, se encontró en una tumba del periodo predinástico una pintura anterior al año 3000 a.c. en la que aparecía una embarcación con un remo de gobierno a popa. También en un vaso micénico de hacia 1200 a.c. aparece la nave de Pilo en una representación similar. En tiempos de Snofru, en la IV Dinastía egipcia, ya había naves con un remo a cada costado y en tiempos de Sahure, durante la V Dinastía, se elevaba a tres el número de remos.

---

<sup>4</sup> El timón de codaste estaba formado por un tablón o una pieza de acero, articulado con goznes en el codaste o prolongación de la quilla por la parte de popa.





**Fig.1** Barco egipcio de remos con timón de dirección. Tumba de Menna (c. 1422-1411 aC).

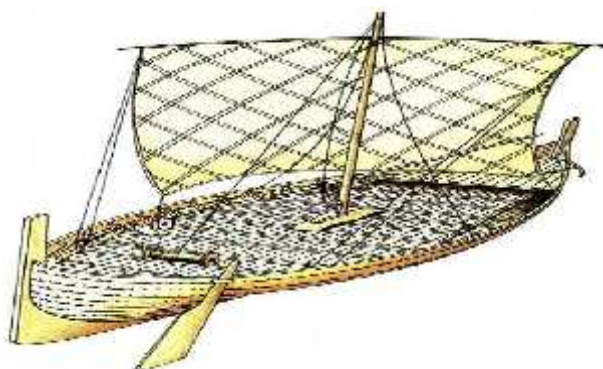
En la era de Homero, el timón, la caña y el timonel, toman particular importancia. Así, en los bajorrelieves de Ostia de finales de siglo II a.c., podemos ver representaciones de timones griegos y romanos. Estos timones estaban formados por una gruesa madre ó “asser” que sostenía la pala. Una estructura saliente situada por debajo de la cubierta, era donde se sujetaba el timón, cuya pala iba embutida en la madre, y ésta, sujeta a su vez por una retenida, que trincaba el timón a la amurada y facilitaba su movilidad. La retenida facilitaba también el desmontaje del timón cuando se debía varar la nave o se fondeaba, maniobra de desmontaje que se llevaba a cabo para evitar averías.



**Fig.2** Reconstrucción de un trirreme del siglo VII a.c. donde se puede apreciar el sistema romano de gobierno.



Los timones romanos los manejaba un solo hombre por medio de dos cañas horizontales. Durante la maniobra se mantenía uno a la vía mientras se giraba el de la banda a la que se debía caer. Se cree que el timón lateral único aparece hacia el siglo III d.c., ya que el ejemplar más antiguo, encontrado en la región de Schelswig hacia 1863, data de esa época. Aunque también se supone que se habían usado con anterioridad modelos laterales similares pero algo más rudimentarios. Los vikingos utilizaron el timón lateral y se pueden ver sus representaciones en tapices, dibujos o grabados.

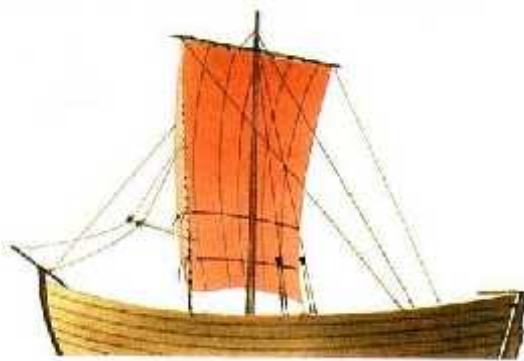


**Fig.3** Ilustración de embarcación con timón lateral.

Del uso del timón lateral, surge la regla tradicional de trazar los planos de formas con la popa a la izquierda, mostrando siempre el costado de estribor de las naves o buques. De ese hecho deriva la palabra estribor, procedente de Starboard o Steerboard traducido como costado de gobierno. El timón lateral fue útil mientras las naves surcaron los mares con vientos de popa, cosa que ocurrió durante milenios, pero surgió un inconveniente cuando los buques de vela comenzaron a navegar con vientos de través, que eran especialmente perjudiciales cuando soplaban por estribor, pues, si el viento era fuerte, la pala del timón salía parcial o totalmente del agua, haciendo que dicho timón fuera menos eficaz e incluso inútil. El inconveniente se solucionaba con timones dobles, como en las naves romanas, lo que ha hecho pensar que el timón central sea un invento nórdico. A esto se suma que su aparición y evolución van asociadas a la época en que los navegantes nórdicos comenzaron a



barloventear; sin embargo, este origen no está muy claro, como veremos más adelante.



*Fig.4 Nave sueca que comenzó a navegar a finales del siglo XII.*

## LOS INICIOS DEL TIMÓN DE CODASTE

No se sabe con certeza el momento de la aparición del timón central o a la navarresa<sup>5</sup> (antecesor del timón de codaste) en Europa; dado que como hemos visto, esta tecnología fue usada siglos antes por Egipcios, Chinos y Árabes. Pero sí podemos asegurar que pasar del timón lateral al timón central supuso, desde el punto de vista de esfuerzos mecánicos, un gran avance, dado que se optimizó el punto de aplicación de la fuerza necesaria en el extremo de la caña del timón (desde babor/estribor a popa), consiguiéndose, por tanto, reducir notablemente los esfuerzos necesarios de maniobrabilidad del timonel.

El Timón de Codaste, aunque conocido desde fines del XII y principios del XIII, se trata de una innovación que se generaliza lentamente, dado que su uso implicaba la realización de importantes cambios en la morfología de las popas y las estructuras navales. Al objeto de conseguir conformar e integrar el codaste, se debía mejorar la robustez y aerodinámica de los veleros, hasta llegar, junto con otras mejoras sobre el casco y los aparejos, a las Carabelas. Entre los varios tipos de bajeles que los musulmanes introdujeron en el

<sup>5</sup> Eugen Gelcich. Estudios sobre el desenvolvimiento histórico de la navegación: especialmente referidos á las ciencias náuticas, 1889.



Mediterráneo, uno fue la *bagra* o *bagala*, buque largo y estrecho con dos o tres mástiles con vela latina, un único castillo en popa, (el alcázar), la proa baja para la maniobra de la vela latina y la popa plana. De este vocablo, *bagala*, deriva el término bajel y, también es probable, el de carabela. Estas naves se adaptaron bien al Mediterráneo y a las costas europeas sur-atlánticas y fueron muy utilizadas por los marinos del Al Ándalus. Cuando los cristianos expandieron su dominio, la ya llamada carabela, se utilizó ampliamente para la pesca y el cabotaje.

A finales del siglo XIII, se consigue implementar éstos fundamentales avances técnicos en la popa de los veleros, consiguiéndose, de una forma sólida y segura, alojar el timón al codaste, en principio, en el tipo de embarcación denominada coca<sup>6</sup>, nave de grandes dimensiones y alto bordo con velas cuadras. Esto sentó las bases para construir barcos de más eslora, más aparejos y sobre todo, de mejor navegabilidad.

Como hemos señalado, a finales del siglo XIII el timón de codaste ya estaba ampliamente difundido por el Mediterráneo. Sin embargo, haciéndonos de nuevo eco de la discusión en torno a su aparición, cabe señalar que en la catedral de Winchester existe un bajo relieve de 1080 que representa un barco con un timón muy similar. En todo caso, la invasión de Inglaterra por Guillermo, el Duque de Normandía, pocos años antes, fue llevada a cabo por barcos dotados todavía con remo-espadilla, tal como aparecen representados en la tapicería de la reina Matilde en Bayeux.

---

<sup>6</sup>Coca deriva de la palabra latina *concha*. En alemán es nombrada como *kogge*, resultante del germánico *kok* —*concha*—; afinidad que procura su configuración de alto bordo, corta eslora y amplia manga —estructurada en una o varias cubiertas—. Para Carbonell Relat podría tener raíz semítica, pues en el islam se dio un tipo de buque de poca eslora y muy mangudo llamado *kuggi* o *kuggr*, nombre relacionado con el de *koggi* —tonel en árabe. Las noticias retrotraen a los Annales Bertiani —año 867— en los que el pueblo frisón es citado bajo el apelativo de *cokingi* (gente de coca). No obstante, las primeras alusiones como tal embarcación son del siglo XII con los vocablos *kogcho* y *kocho*. Antonio Ortega Villoslada: La coca en el intercambio mercante Atlántico-Mediterráneo. Anuario de Estudios Medievales (AEM). 38/1, enero-junio de 2008; pp. 429-444.





Bjöm Landström en su libro “El Buque<sup>7</sup>”, presenta el dibujo de un tríptico del Siglo XII de la iglesia de Skang, al sur de Suecia, en el que aparecen, sin lugar a dudas, tres barcos con timón de codaste. Las cocas hanseáticas lo utilizaban mucho antes de que fueran de uso común en el Mediterráneo. Por ello, este autor considera probable que un barco báltico lo introdujera en el “Mare Nostrum”, de manera que genoveses y venecianos lo adoptaron prontamente, aunque éstos últimos lo combinaron con el remo hasta que se convencieron de que éste no era necesario.

Las especulaciones sobre su origen no acaban aquí, porque, en una de las 99 miniaturas que hay en un manuscrito árabe de la biblioteca nacional de París, fechado en el año 634 (1237 de la era cristiana) y firmado por Yayha ibn Mohamoud, aparece una nave con timón central. Es, por tanto, posible que el timón central apareciera de un modo simultáneo en el Norte de Europa y en el Golfo Pérsico (al Hariri era natural de al-Basra, más conocida por Basora) y que de allí se difundiera hacia el Mediterráneo.



**Fig.5** Miniatura de manuscrito árabe de la biblioteca nacional de París.

<sup>7</sup> Bjöm Landström. El Buque. Editorial Juventud, 1983



Independientemente de las polémicas relacionadas con su origen, lo cierto es que los constructores navales debían tener un importante conocimiento técnico en la ubicación, sujeción y equilibrado del timón para que las embestidas de la mar no lo desenchajase. La importancia de este hecho queda patente en el primer viaje de Colón. La nao y las dos carabelas tuvieron, en su primera etapa hacia las islas Canarias, un anticiclón de las Azores que puso a prueba la solidez de sus timones de codaste. El 6 de agosto de 1492, “saltó o desenchajase el gobernalle de la carabela Pinta donde iba Martín Alonso Pinzón a lo que se creyó y sospechó por la industria de un tal Gómez de Rascón y Cristóbal Quinto<sup>8</sup>”. El timón saltó dejando al buque sin gobierno. La difícil reparación de la avería duró casi un mes, lo que da idea de la magnitud de la avería.

Para ayudarnos a comprender la complejidad que suponía el timón de codaste en el Siglo XV, se ha modelizado con el programa informático de diseño gráfico 3D “Solidworks” el timón de la Nao “Santa María”, tomándose de referencia las réplicas del Muelle de la Carabelas de Palos de la Frontera, Huelva. Hecho esto, se ha podido apreciar la dificultad de conseguir un sistema timón-codaste bien equilibrado, a la par que se concluye un ensamblaje de gran solidez estructural e importante poder dinámico. Comparado con su antecesor, el timón de codaste resulta un mecanismo muy complejo, en el que son muchos los puntos a tener en cuenta a la hora de su diseño. Esto unido al hecho de que un fallo provocaría la ingobernabilidad de la nave, nos acerca más a la idea de que este mecanismo era el punto más crítico de todo el sistema mecánico de la nave.

---

<sup>8</sup> Tomás Urzainqui Mina, Juan María de Olaizola Iguñiz. La Navarra marítima. Ed. Pamiela, 1998.



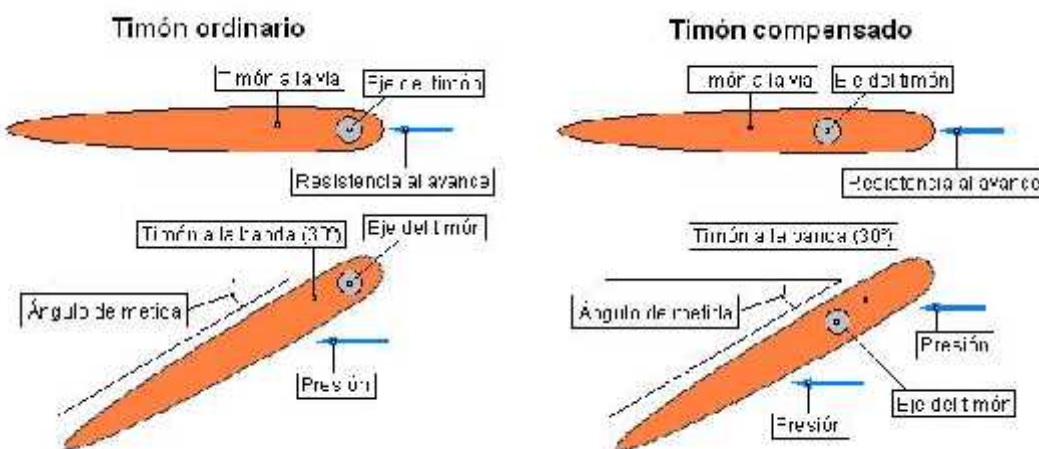




El timón ordinario de forma rectangular, estuvo en uso en la marina mercante más de un siglo y se veía parte de la pala del timón fuera del agua. En los buques de guerra hubo modificaciones pues el timón, al estar en parte sobre la superficie del agua, era muy vulnerable. Tenemos el caso de Re d' Italia, en la batalla de Lissa (1866), cuya pérdida fue debida a un impacto en el timón en la zona que estaba sobre la superficie del agua, imposibilitando el movimiento del buque. En consecuencia, los timones de los buques de guerra comenzaron a cambiar de proporciones, hasta parecerse más a un cuadrado que a un rectángulo, al objeto de conseguir dejar la limera por debajo de la línea de flotación.

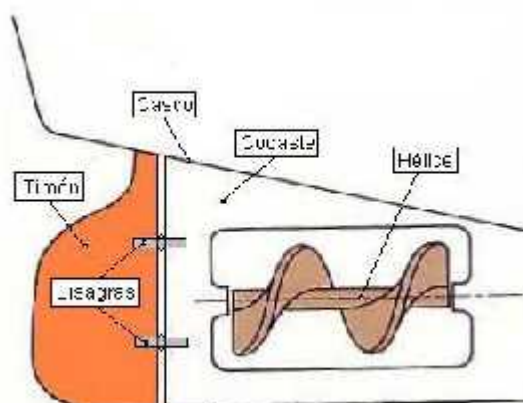
Posteriormente, el cambio de forma y los sucesivos aumentos de velocidad hicieron que fuera necesaria una mayor potencia para mover los timones y esa, a su vez, fue la consecuencia de que apareciera el timón compensado. La compensación consiste en situar el eje de rotación del timón algo retrasado respecto al borde de ataque (parte delantera del timón). De esta manera, el empuje del agua sobre la parte que queda avanzada respecto al eje de giro, reduce una parte importante del empuje sobre la parte posterior, minimizando enormemente la fuerza necesaria para manejarlo. El timón compensado nace a comienzos del s.XX y los primeros buques en llevarlo fueron las unidades italianas de la clase Regina Margherita, que proyectó Benedetto Brin.





**Fig.9** Esquema del timón compensado de Brin.

La posterior aparición de la hélice, plantea algunos problemas en el diseño y emplazamiento del timón. Siendo la solución la colocación de un vano o espacio entre el timón y su codaste, quedando éste para la hélice y colocando otro a popa de la hélice para el timón.

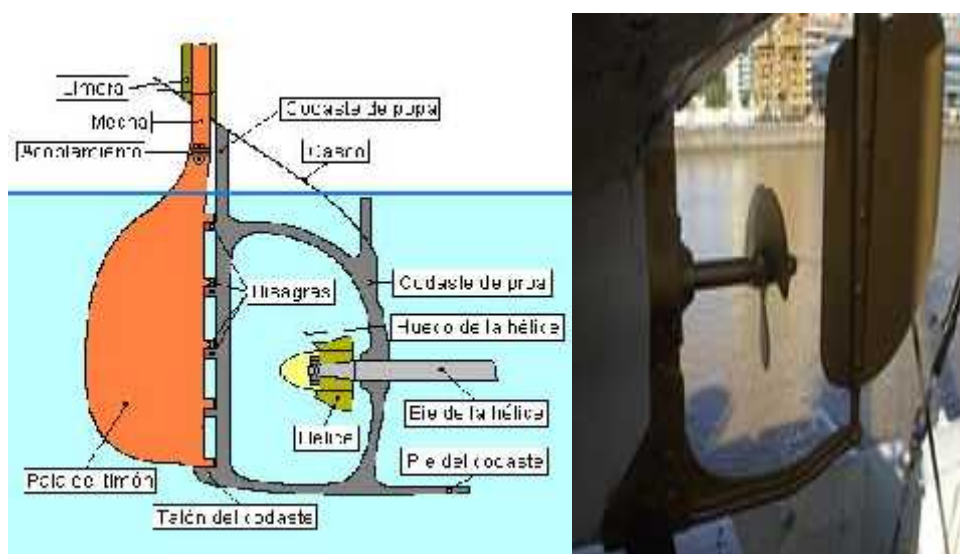


**Fig.10** Timón situado a popa de la embarcación impulsada por hélices.

Hasta entonces los buques solo disponían de un codaste para el timón, pero a partir de la era de la hélice, tal y como ya hemos dicho, se comenzaron a llevar dos, uno para la hélice y otro para el timón. Con el paso del tiempo ambos se convirtieron en una pieza única de fundición. Hacia mediados del



s.XIX, aparece la patilla o talón del codaste, que consistía en un saliente en la parte baja de popa del codaste del timón, donde se encajaba el macho más bajo de éste. La introducción de la marcha atrás en los buques tuvo, y aún tiene, repercusiones en el comportamiento del timón, pues las presiones sobre la pala son diferentes. Un ejemplo de esto se puede ver cuando invertimos la marcha, mientras adelante hay que hacer el esfuerzo para meter el timón a la banda, para ir atrás el esfuerzo se hace para devolver el timón a la vía.



**Fig.11** Esquema de Timón actual en nave a motor.

Tras la época de los descubrimientos y la navegación a vela, llega la era del vapor. Los buques cuentan ya con dos medios (alternativos o conjuntos) de propulsión que son el vapor y la vela, conllevando esto un nuevo adelanto: la cabeza del timón fue prolongada hasta dentro del casco mediante la instalación de un conducto llamado timonera, (con el tiempo sería llamado limera). Dicha prolongación sobresalía ligeramente por encima de la cubierta en la que se deseaba instalar la caña.

La propulsión por ruedas de paletas no hacía incompatible la posición del timón, ni tampoco su misma manejabilidad, dado que generalmente las paletas iban situadas en ambos costados. En los casos de paletas centrales a



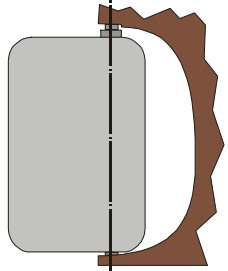
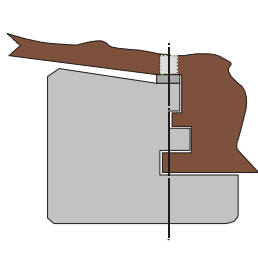
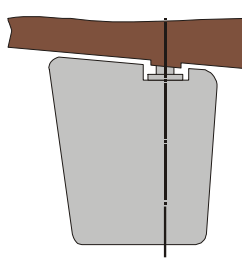
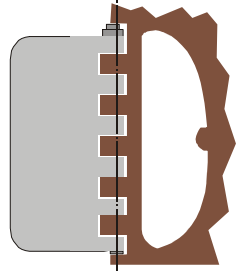
popa, se instalaba un timón a cada lado de la rueda de paletas movidos por una sola caña.



*Fig.12 Dibujo de timón doble en propulsión por rueda de paletas a popa.*

## EL TIMÓN EN EMBARCACIONES ACTUALES

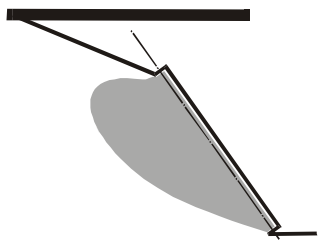
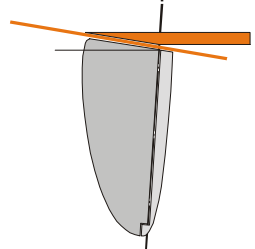
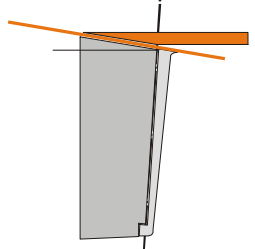
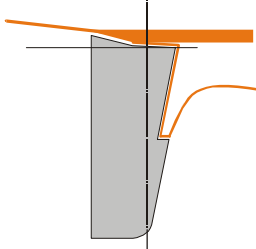
Según su estructura podemos encontrar timones de plancha sencilla, plancha doble, huecos y currentiformes. Los dos primeros los encontraremos normalmente en los buques de vela, en los mercantes hoy en día casi todos son currentiformes. De acuerdo al tipo de montaje se pueden clasificar en soportados, semisuspendidos y en los suspendidos (o colgantes). Y en lo que respecta a la distribución de su área con respecto a su eje de giro, se pueden clasificar en timones sin compensar, timones compensados y en timones semicompensados.

			
<b>Timón compensado y soportado</b>	<b>Timón compensado y con dos soportes</b>	<b>Timón compensado y colgante</b>	<b>Timón sin compensar y con varios machos</b>

*Fig.13 tipos de timones en buques mercantes.*





			
<b>Timón abisagrado a la quilla siendo una extensión a popa de la misma</b>	<b>Timón elíptico independiente de la quilla soportado</b>	<b>Timón trapezoidal independiente de la quilla y soportado</b>	<b>Timón independiente de la quilla y semicompensado</b>

*Fig.14 tipos de timones en barcos de vela.<sup>10</sup>*

Como se ve a simple vista en los esquemas anteriores, las diferencias entre los timones son notables, no en cuanto a montaje y a la distribución del área con respecto a su eje de giro, que pueden ser similares, sino a las formas, tamaños (no se observa en el esquema), ángulo que forma el eje de giro con el eje del palo y la sutileza del pie de codaste entre otras cuestiones.

Aparte de las formas del timón que se diseñan en función al resto de las formas del casco, la superficie de éste es proporcionalmente mucho mayor que la superficie del timón de un buque mercante. Las razones de esta desproporción son debidas a varios factores: menor velocidad, falta de la corriente de expulsión incidente en el timón (cuando se navega a vela) y la escora del velero (con lo que actúa la proyección del timón con respecto a la marcha).

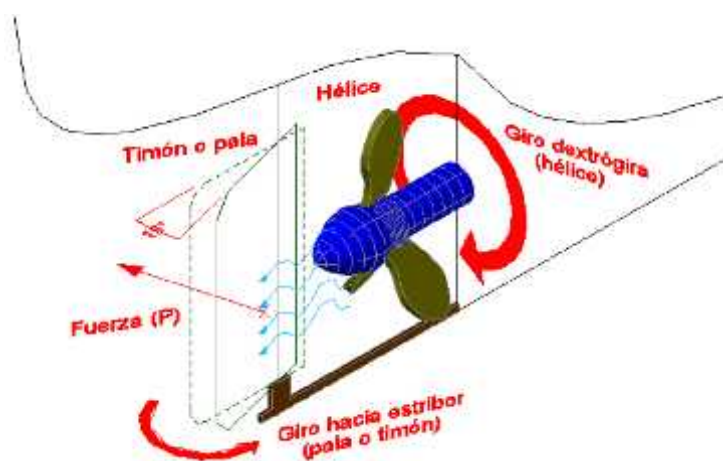
### **FUNCIONAMIENTO DEL TIMON**

El funcionamiento del gobierno de un buque esta centralizado en la acción de la pala o timón, que interactúa con el flujo de agua producido por la hélice en el empuje (mediante su área efectiva), dando la direccionalidad adecuada a la embarcación. Las palas o timones de gobierno funcionan de la siguiente manera: -Al momento en que se genera el flujo de agua de empuje

<sup>10</sup> Bjöm Landström: El Buque. Editorial. Juventud, 1983



(por parte de la hélice propulsora), interactúa con el flujo generado por el paso del casco del buque, para luego hacer mover al mismo hacia una dirección determinada. Dicha dirección se puede cambiar por medio de los timones, ya que al momento que se giran a un determinado ángulo, los filetes o flujos de empuje actúan en el área efectiva del timón, en donde la fuerza resultante perpendicular a dicha área es la que desvía a la embarcación a una banda, ya sea que el giro de las palas sea anti-horario, el buque cae en la banda de estribor, y si dicho giro es horario, cae en la banda de babor.



**Fig. 15.** Esquema de operación del timón en el rumbo hacia estribor del buque.

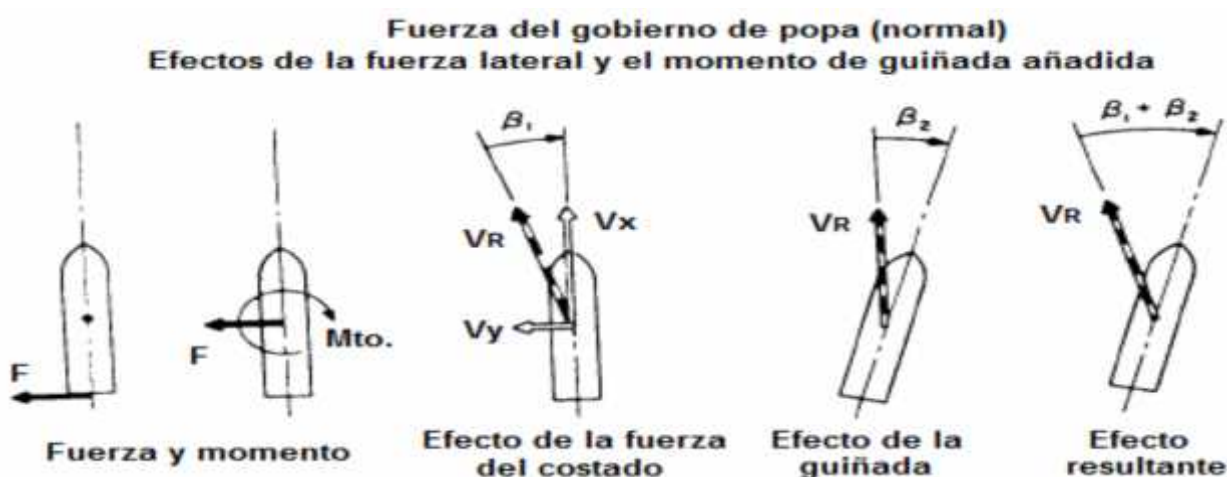
El control de giro de los timones se da mediante el funcionamiento del sistema mecánico-hidráulico de gobierno (o servomotor), el cual permite generar el torque y ángulo de palas respectivos. Se debe tener en cuenta que no se puede girar las palas por mucho tiempo ya que reducen el avance de la embarcación (por la “asimetría del casco” parcialmente generada). Se tiene en cuenta que el elemento principal del gobierno de un buque es la pala de timón, sin embargo, se hace también una consideración a los acoples, bridas, ejes de pala, etc.

Todo el conjunto será accionado por un servomotor hidráulico (*steering gear*), cuya selección se debe hacer en base a los parámetros de diseño de la pala (con su perfil hidrodinámico adecuado) y la disposición de ésta junto al



sistema propulsor (de acuerdo a normas de clasificación de buques). Ahora bien, con respecto al rumbo que toma el buque en marcha de avance o marcha atrás, se considera el efecto del mismo sistema de gobierno y el movimiento de guiñada o *yaw* (que es el movimiento rotacional del buque en el eje perpendicular a su cubierta principal, que se origina por la interacción del buque con las corrientes y olas del medio marino). El estudio de la disposición de la fuerza generada por el sistema de gobierno del buque, y sus efectos posteriores, fue realizado por Crane (1973).

En la Figura 16, se muestran los efectos de la fuerza lateral generada por el gobierno del buque y el momento de guiñada. Para la instalación del sistema de gobierno en la popa (referido a la pala), el efecto mencionado se da con la guiñada añadida en el ángulo de deriva. El ángulo de deriva se define como el ángulo de rumbo que sigue el buque cuando se controla el gobierno y su maniobrabilidad, siendo distinto del ángulo de escora o balanceo en los costados del buque, que depende más de la distribución de masas del casco que del diseño de la pala.



**Fig. 16:** Efectos de la fuerza generada por el gobierno instalado en la popa.

La mencionada velocidad del flujo que llega a las palas de gobierno, es una función del tipo del sistema propulsivo y su disposición en la embarcación, y no está relacionado directamente con el diseño de las palas del gobierno.



## SU DINÁMICA, ASPECTOS GENERALES

Desde tiempos antiguos, el hombre se vio en la necesidad de emplear a los líquidos como fuerzas motrices para desarrollar diversas actividades. Los más antiguos vestigios históricos muestran que los sistemas como las bombas y norias eran empleados en épocas más antiguas, pero la rama de la Hidráulica comenzó a desarrollarse a partir del siglo XVII, por medio de la Ley de Pascal que como sabemos, consiste en que la presión aplicada a un fluido confinado se transmite en todas las direcciones siempre y cuando dicho líquido sea prácticamente incompresible. Su aplicación notoria fue en la famosa prensa hidráulica (desarrollada por el ingeniero Joseph Bramah).

Se sabe que esta prensa desarrolla mayor fuerza sobre un área grande a partir de una fuerza y área pequeña, y este principio se puede comparar con el de la palanca mecánica. No obstante, si por principio de conservación de energía, una fuerza pequeña da origen a una fuerza grande a través de la presión, la velocidad de avance para la fuerza grande es menor que el de la fuerza pequeña, debido a que el desplazamiento o distancia recorrida es inversamente proporcional al área de contacto de cada fuerza. En pocas palabras, lo que se gana en fuerza, se pierde en velocidad (Ver Figura 17).



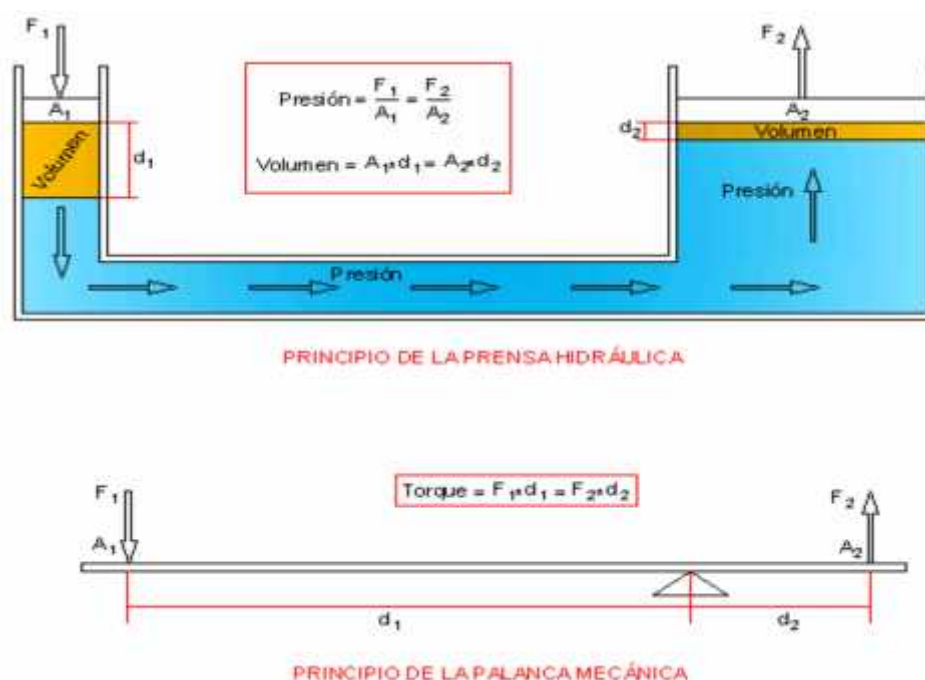


Figura 17.

Desde el punto de vista hidrodinámico, las consideraciones básicas en el diseño de la pala de gobierno son las siguientes: La pala de gobierno se puede determinar en base a una tabla de relación de compensación (que es el cociente entre el área de contra-balance y el área total de la pala) con respecto al coeficiente de bloque del buque (CB), según tabla 1. Para la navegación en zonas gélidas del planeta, se emplean las famosas palas suspendidas (llamados *rudder horn*), cuyo costo estructural es accesible según la disposición y/o forma que posean estas palas.

Coefficiente de bloque (CB)	Relación de contra-balance:
0.60	0.250 a 0.255
0.70	0.256 a 0.260
0.80	0.265 a 0.270

**Tabla 1** : Valores de relación de compensación en función al coeficiente de bloque del buque.

Una adecuada área de pala para una forma dada del casco, puede ser seleccionada para satisfacer los ángulos deseados en la estabilidad dinámica y



desempeño de la maniobrabilidad en aguas calmas. Para cascos llenos (de mayor volumen), la determinación final del área de la pala, debe reflejar el factor que relaciona a las palas largas que posean mayor desempeño sobre las condiciones adversas en la navegación, como el viento y las olas del medio marino.

Los momentos flectores, fuerzas cortantes y fuerzas de reacción de las palas de timón, ejes y acoples deben ser calculados de acuerdo al tipo de pala de timón respectivo. Los momentos y fuerzas de las palas de timón, con perfiles hidrodinámicos variados, son calculados usando métodos alternativos y deben ser especialmente considerados. A continuación se van a mostrar los cálculos realizados para los componentes del sistema de gobierno, cuya fundamentación proviene de las normas de la ABS (American Bureau of Shipping).

Fuerza cortante: La fuerza de corte lateral  $V(z)$ , en una sección horizontal de la pala a “z” metros por encima del fondo de  $IR$ , es dado por la siguiente ecuación:

$$V(z) = \frac{zC_R}{A} \left[ c_l + \frac{z}{2\ell_R} (c_u - c_l) \right] \text{ [kN]}$$

Donde:

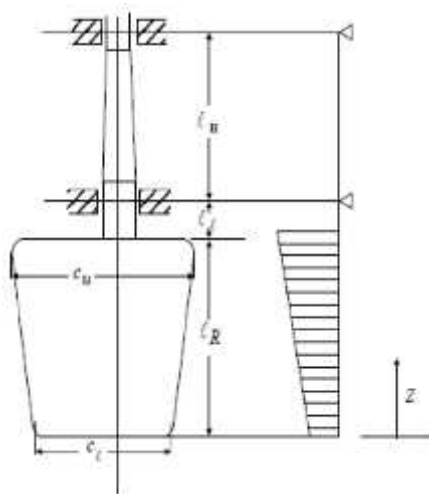
$z$  = Distancia desde el fondo de  $IR$  hacia la sección horizontal por encima (en m).

$C_R$  = Es la fuerza que actúa en la pala de timón (en kN).

$A$  = Es el área de la pala del timón (en m<sup>2</sup>).

$c_l$ ,  $c_u$  y  $IR$  son dimensiones que se definen en la Figura (en m).





**Fig. 18:** Diagrama de momentos en la pala sin zapata de timón.

La fuerza que actúa sobre el timón, depende de varias variables: Dimensionado, perfil y secciones de la pala, velocidad del buque y ángulo de metida. Otro factor influyente es la velocidad de gobierno, que se define como la velocidad mínima para que la acción del timón sea eficaz, la cual varía según las características de cada buque. Por ejemplo, los buques lentos disponen de un timón de grandes dimensiones que les permite maniobrar a muy baja velocidad, mientras que los buques rápidos llevan timones pequeños que exigen una velocidad mucho mayor para que el timón sea efectivo. La velocidad de gobierno depende también de otras circunstancias tales como intensidad y dirección de la corriente<sup>11</sup>.

Hay diferentes fórmulas para el cálculo de la fuerza del timón, pero una de las más utilizadas, que se ajusta a unidades métrica, es la de Baker and Bottomley<sup>12</sup> para timón en el centro y a popa de la hélice. La ecuación es la siguiente:

<sup>11</sup> Gabriel Sánchez Sorondo. Magallanes y Elcano: travesía al fin del mundo. Editorial: Nowtilus 2006

<sup>12</sup> Pierre Gutelle. The Design of Sailing Yachts. Editor: Intl Marine Pub Co1984



$$F = 18 \times A \times V^2 \times \quad (\text{Newtons}).$$

Siendo:

$$A = \text{Área del timón en m}^2. \quad V = \text{Velocidad en ms}^{-1}. \quad = \text{Grados de metida de timón}$$

Si pretendemos mantener la misma fuerza, podemos observar que, si reducimos la velocidad elevada al cuadrado, hay que aumentar considerablemente la superficie. En los veleros, el timonel tiene que compensar la guiñada residual con la que no haya podido la quilla. Por ello, es necesario un timón efectivo dentro de una gama de velocidades, y que la retro-respuesta sea la mínima. Hoy en día, se construyen timones compensados perfectamente proporcionados y perfilados que cumplen completamente estas exigencias. El posible efecto negativo de una retro-respuesta en un timón convencional siempre existe, siendo además muy dura en el rango de las velocidades altas. Especialmente, al correr temporales de cierta intensidad, esta circunstancia se convierte en un serio problema.

El proyectista, y a su vez el constructor, deben poner mucha atención en la resistencia del sistema debido a las descomunales fuerzas que aparecen, se acumulan y deben ser disipadas en el casco. En ocasiones se habla del skeg, o soporte perfilado anterior al timón (una especie de pié de codaste) como la panacea, aún a pesar de sus desventajas para remediar esta situación en timones compensados o semi-compensados.

Por otro lado, es cuestión importante que la pala del timón quede bien sumergida y, cuanto más a popa esté montada, de más longitud convine que sea por dos razones fundamentales: Primero, por el peligro de la inversión con mucha escora y fuerte cabeceo. Segundo, por la corriente favorable de superficie en la cresta de la ola, que desaparece a uno o dos metros de profundidad y donde la respuesta a la pala mejora<sup>13</sup>.

<sup>13</sup> R. Munro-Smith. Ship & Naval Architecture. Edition: New edition, 2004





Finalmente cabe señalar, que existe reglamentación oficial para la construcción, el comportamiento y la estabilidad del timón en el Solas<sup>14</sup> de 1974 y en las reglamentaciones de las Sociedades de Clasificación<sup>15</sup> (IACS). En particular, en la Regla 29 del Capítulo II-1 del Solas<sup>16</sup> se incluye, entre otras disposiciones, que la eficacia del timón, en cuanto a su construcción se refiere, estará en función de la totalidad del área de la pala, la ubicación respecto a las hélices del buque, el número de timones y las formas del codaste. Por su parte, en los últimos 35 años, las IACS han desarrollado unas 200 reglas unificadas que hacen referencia a muchos factores técnicos: resistencia longitudinal mínima, directrices sobre la carga y descarga, utilización de distintos tipos de acero para la construcción de un casco, etc. Esas Sociedades de Clasificación nacieron fruto de las necesidades del mercado asegurador marítimo en los siglos XVII y XVIII.

## CONCLUSION

Podemos concluir, por tanto, que están claras muchas cuestiones relacionadas con la funcionalidad, evolución, y logros del timón de codaste, aunque subsisten incógnitas por resolver. No obstante, la importancia del avance tecnológico que supuso el timón de codaste no radica en sus iniciadores, dado que pudieron ser los chinos, los árabes o los vikingos. Ese hecho no cambia sustancialmente nada. Pero sí es cierto que Occidente dio un impulso al timón de codaste en cuanto a su progreso y desarrollo tecnológico. Por ello, más allá de su origen cronológico y geográfico, cabría plantearnos los conocimientos que lo propiciaron y lo hicieron una realidad.

---

<sup>14</sup> Convenio Internacional para la Seguridad de la Vida Humana en el Mar o SOLAS (acrónimo de la denominación inglesa del convenio: "Safety of Life At Sea") es el más importante de todos los tratados internacionales sobre la seguridad de los buques.

<sup>15</sup> Las sociedades de clasificación son instituciones eminentemente técnicas, creadas para asesorar e informar a los constructores, armadores, aseguradores, cargadores, compradores de buques y, en general, a todos aquellos interesados en la navegación y el comercio marítimo, en cuanto a la construcción y condiciones de navegabilidad de un buque.

<sup>16</sup> SOLAS. Publicación de la OMI. Edición refundida de 2001



Consideramos que este logro de la humanidad puede estar basado en la observación y comprensión del movimiento y dinámica de direccionalidad, mediante su cola, de los grandes peces, como ballenas, tiburones, etc... Por lo cual, la esencia del timón de codaste estaría basada en el resultado de una observación de la naturaleza, aplicada a una necesidad, que dio resultados óptimos y sentaron las bases para el progreso y avance tecnológico. Dejamos abierto este campo de investigación, basada en la relación naturaleza-mecanismos, que el invento del timón de codaste nos hace plantear.

## BIBLIOGRAFIA

- BONILLA DE LA CORTE: *Construcción Naval y Servicios*. 1984.
- CANO, Thomé: *Arte para fabricar Naos*, 1611.
- COLON, Cristóbal: *Diario de a bordo*. 1492.
- GELCICH, Eugen: *Estudios sobre el desenvolvimiento histórico de la navegación: especialmente referidos á las ciencias náuticas*, 1889.
- GIRÓN, Fernando: *Oriente islámico medieval*. 1994.
- GUTELLE, Pierre: *The Design of Sailing Yachts*. Editor: Intl Marine Pub Co1984.
- HAEFTEN, Dietrich v.: *Cómo afrontar los temporales*. Editorial Tutor, 2006.
- LANDSTRÖM, Bjöm. *El Buque*. Editorial. Juventud, 1983.
- MARÍ SAGARRA, Ricard: *Maniobra de los buques*. 1995.
- MUNRO-SMITH, R.: *Ship & Naval Architecture*. Edition: New edition, 2004.



SÁNCHEZ SORONDO, Gabriel: *Magallanes y Elcano: travesía al fin del mundo*. Editorial: Nowtilus 2006.

SOLAS. *Publicación de la OMI*. Edición refundida de 2001.

URZAINQUI MINA, Tomás: *Juan María de Olaizola Iguiñiz. La Navarra marítima*. Editorial Pamiela, 1998.

***Historia Digital*, XVII, 30, (2017). ISSN 1695-6214**

**© Juan José Prieto Romero-Juan Carlos Fortes Garrido, 2017**

