

Diseño, funcionamiento y dinámica de los sistemas de gobierno de las embarcaciones

J. J. Prieto ¹

¹Doctor Ingeniero, Dpto. de Ingeniería Mecánica, Minera y Energética. Escuela Superior de Ingeniería – Universidad de Huelva. juan.prieto@dimme.uhu.es

Resumen: El timón 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 la más operativa y de rápida aplicación. El presente artículo, pretende explicar, desde una perspectiva ingenieril, ese método de gobierno de las embarcaciones, analizando el diseño y funciones de diferentes sistemas de gobiernos usados en la actualidad, así como, aspectos generales de su dinámica.

Palabras claves: Navegación, ingeniería, transferencia tecnológica, timón.

Title: Design, function and dynamics of governance systems of vessels

Abstract: The 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 explain, from an engineering perspective, as a method of government of vessels, analyzing the design and functions of different systems governments used today and general aspects of its dynamics.

Key words: Navigation, engineering, technology transfer, rudder.

Tipo de artículo: original

Fecha de recepción: 19 de febrero de 2016

Fecha de aceptación: 12 de junio de 2017

1. Introducción

El timón 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 la más operativa y de rápida aplicación.

Según Bjöm Landström [1], teniendo en cuenta 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 semicomensados (figuras 1 y 2).



Figura 1. Tipos de timones en buques mercantes.

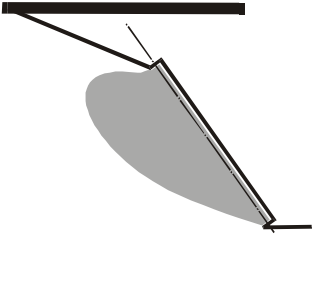
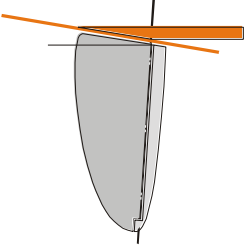
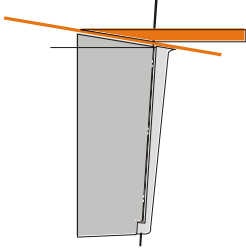
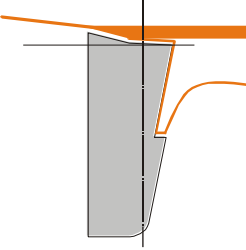
	
Timón abisagrado a la quilla siendo una extensión a popa de la misma	Timón elíptico independiente de la quilla soportado
	
Timón trapezoidal independiente de la quilla y soportado	Timón independiente de la quilla y semicompensado

Figura 2. Tipos de timones en barcos de vela.

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 este es proporcionalmente mucho mayor en los veleros que la superficie del timón en 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).

2. Funcionamiento del timón

El funcionamiento del gobierno de un buque está 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 (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.

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 [2].

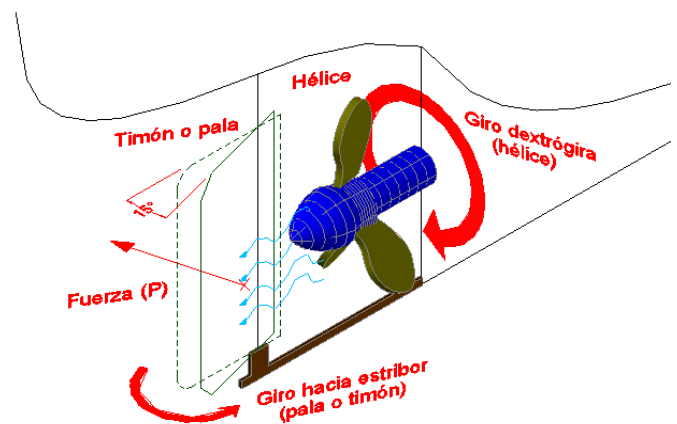


Figura 3. Esquema de operación del timón en el rumbo hacia estribor del buque.

En la figura 4, 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.

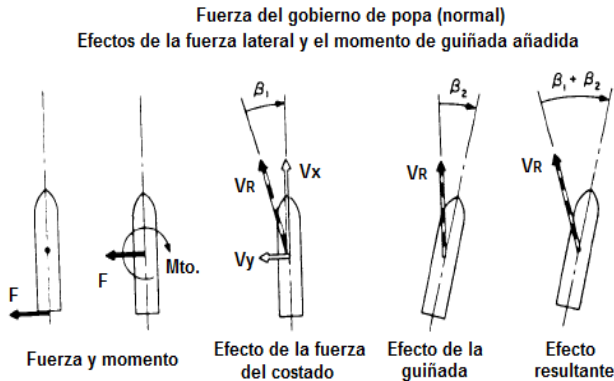


Figura 4. Efectos de la fuerza generada por el gobierno instalado en la popa.

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.

3. 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 5).

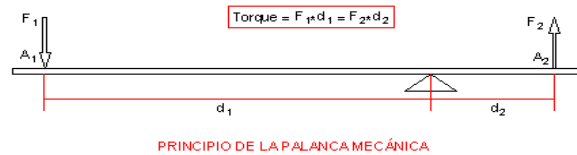
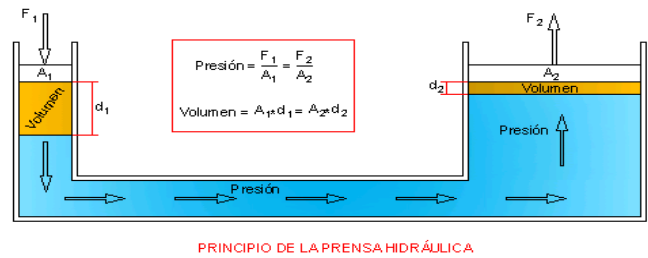


Figura 5. Principio de la palanca mecánica.

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.

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

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

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:

$$V(z) = \frac{zC_R}{A} \left[C_\ell + \frac{z}{2\ell_R} (C_\mu - C_\ell) \right] \quad [\text{kN}]$$

donde:

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

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

A = Es el área de la pala del timón (en m²).

cl, cu y IR son dimensiones que se definen en la figura 6 (en m).

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 [3].

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 [4] para timón en el centro y a popa de la hélice. La ecuación es la siguiente:

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

siendo:

A = Área del timón en m².

V = Velocidad en ms-1.

θ = Grados de metida de timón.

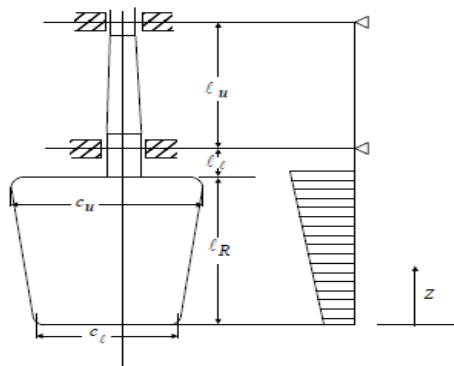


Figura 6. Diagrama de momentos en la pala sin zapata de timón.

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 conviene 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 [5].

Finalmente cabe señalar, que existe reglamentación oficial para la construcción, el comportamiento y la estabilidad del timón en el Solas de 1974 y en las reglamentaciones de las Sociedades de Clasificación (IACS). En particular, en la Regla 29 del Capítulo II-1 del Solas [6] 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.

4. Conclusión

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.

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 cetáceos y peces, como los tiburones. 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.

Referencias

- [1] Bjöm Landström: El Buque. Editorial. Juventud, 1983.
- [2] Crane, C. L., 1966, "Studies of Ship Maneuvering – Response to Propeller And Rudder Actions". In: Ship Control Systems Symposium, Annapolis, U.S.A.
- [3] Gabriel Sánchez Sorondo. Magallanes y Elcano: travesía al fin del mundo. Editorial: Nowtilus 2006.
- [4] Pierre Gutelle. The Design of Sailing Yachts. Editor: Intl Marine Pub Co1984.
- [5] R. Munro-Smith. Ship & Naval Architecture. Edition: New Edition, 2004.
- [6] 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"). Publicación de la OMI. Edición refundida de 2001.