



# TRABAJO DE FIN DE GRADO

## 2014-2015

### Hélices y timones de maniobra

**Tutor: Antonio José Poleo Mora**

**Alumno: Álvaro Manuel Álvarez Hernández**

**Grado en Náutica y Transporte Marítimo**



# Índice

Resumen.....	4
Capítulo 1: Hélices y equipo de gobierno.....	6
Capítulo 2: Factores que intervienen en la maniobra del buque y efectos producidos por las hélices.....	19
Capítulo 3: Maniobra del buque.....	31
Capítulo 4: Hélices y timones para la maniobra del buque.....	41
Conclusiones.....	65
Bibliografía.....	67

# Resumen:

La maniobra del buque la podemos considerar como la parte más compleja y vital para un buque cuando este navega en aguas restringidas o someras. Todo buque debe de estar equipado con los equipos propulsores más adecuados para la maniobra, ya sean hélices transversales en proa o equipos y sistemas como el *sistema Schilling* o el *sistema Kamewa*, este último lo destacaremos por ser uno de los primeros y más empleado, constituido por hélices de paso controlable, introducido en el mercado naval y marítimo en los años 30.

No solo las hélices, sino también los timones, y lo más importante la cohesión entre ambos instrumentos, ha dado lugar a multitud de equipos e instrumentos orientados a facilitar la maniobra del buque. Así aparece, como nombrábamos anteriormente, el *sistema Schilling* donde el trabajo de los dos timones independientes orienta el flujo que sale de una tobera.

También cabe destacar la existencia del que quizás es un sistema bastante revolucionario, como es la aparición en los buques de los propulsores azimutales.

Pero quizás la aportación más avanzada que ha aportado la hélice al campo de la maniobra haya sido su papel como hélice transversal, al ser instalada transversalmente de lado a lado de la carena en la proa de los buques.

En las siguientes líneas hago una sencilla exposición acerca de las hélices y los timones presentes en un buque, y como estos están orientados a ayudar en la maniobra de los mismos, y hacer que éstos, naveguen hasta puertos seguros. Hablaré sobre los diferentes tipos de timones y hélices que existen en el entorno marítimo, haciendo una breve explicación de su funcionamiento y constitución, empezando por las hélices más simples, orientadas únicamente a la propulsión del buque, y pasando por aquellos propulsores para la maniobra, sin olvidar los timones y su importante aportación a la navegación, puesto que no podemos entender hélice sin timón ni timón sin hélice.

# Abstract:

We can consider the manoeuvre of the vessel as the most complex and important thing when the vessel is sailing in shallow waters. All vessels must to be equipped with most appropriate propellers for the manoeuvre, wether be the transverse bow propeller or systems as Schilling system or Kamewa system. The Kamewa system is one of the first and most employed systems with controlable pitch propellers, and it began to be used in the merchant navy in 1937.

Not only the propeller, also the rudders, and the most important thing, cohesion between the two instruments, results in many equipments and systems desiged to improve the manoeuvrability of the vessel. Like the Schilling system where the work between two independents rudders direct the flow of a nozzle.

But the most important and extend system is the transverse bow propeller, and it is installed in a large number of vessels. His first appearance was in 1959 in the boom time of the ferries, this type of vessel is a kind of vessel with a high frequent of entry and output from dock. This system is formed by a propeller installed inside of a transverse nozzle in the fore of the vessel, at the bow. His purpose is to move the bow to a side or another, due to a thrust.

In the next lines, i do a simple exposition about the propellers and rudders presents in a vessel, and how they are designed to improve the manoeuvre. I will speak about the differents types of rudder and propellers that exist in the maritime sector, making a soft explanation about its work and constitution, starting with most simple propellers and also studing the important of the propellers for the manoeuvre.

Este trabajo consta de diferentes capítulos, a través de los cuales intentaré exponer la importancia de las hélices en el mundo del mar, estos son:

# Hélices y equipo de gobierno.

## Hélices y timones

Las hélices de maniobra y los timones son la esencia principal de cualquier buque, dos instrumentos de los que depende y que constituyen las dos principales armas de cualquier navío para actuar contra el mar y sus inclemencias. Las hélices y los timones abarcan un gran número de diseños, formas, dimensiones y funciones, pero la principal funcionalidad que las identifica es la aportación que ambos instrumentos desencadenan en las situaciones más esenciales y fundamentales para la maniobrabilidad del buque, pudiendo abarcar desde maniobras básicas de atraque o desatraque, maniobras de aproximación, maniobras en aguas restringidas, etc.

Cualquier propulsor, cualquier timón, cualquier efecto resultante de la combinación de ambos puede aportar una gran y significativa ayuda y mejora en el desarrollo de la maniobra de las naves. Una hélice en un buque puede actuar fácilmente como hélice propulsora, es decir, ayuda en la propulsión y desplazamiento del buque hasta un punto de la superficie tanto avante como atrás. De igual manera podemos diferenciar distintos nombres o formas de referirnos a las hélices caracterizadas por su aportación técnica a la maniobra de los buques, pudiendo ser conocidos con nombres como hélices auxiliares, hélices transversales, hélices de maniobra, hélices de proa, etc. Algunas hélices puede abarcar tanto la funcionalidad como propulsor en el desplazamiento del buque, al igual que el timón, y también desarrollar su función en la maniobra del buque, es el claro ejemplo del Sistema Azipod, que con su capacidad de rotación en 360° aporta al buque una completa y extensa capacidad de movimiento y de maniobra.

Las hélices de maniobra son un aplicación de las hélices de paso variable, pudiendo estas, estar instaladas transversalmente en la proa y en la popa del buque, con el fin de proporcionar fuerzas laterales que asistan a la acción poco relevante del timón a bajas velocidades, básicamente correspondiente con las maniobras de atraque y desatraque y navegación en aguas confinadas.

Hoy en día, junto con el timón, la hélice constituye uno de los elementos más importantes para la maniobra del buque. Por tanto, es necesario no sólo conocer sus

características bajo el punto de vista de la construcción naval y su instalación a bordo, sino especialmente los efectos que produce en el buque y en la maniobra de éste.

El timón, como habíamos establecido previamente, es junto a la hélice una herramienta fundamental y vital para el buque, su desplazamiento y su maniobra. Aunque el concepto timón como tal abarca multitud de diseños y formas, incluso distanciándose desde el proyecto que normalmente plasmamos en nuestras mentes de aquel artilugio en la popa de la nave que direcciona el flujo.

Encontramos diseños de timón que actualmente se encuentran instalados en muchas flotas y compañías navieras, por ejemplo, el Timón Schilling, el timón de cilindro giratorio o el timón Pleuger. Otra revolución sustancial en el campo de los timones son los Timones múltiples, y el sistema Voith Schneider.

La amplitud de formas y diseños del timón responde a la necesidad de encontrar la perfecta cooperación, combinación y unión entre hélice y timón para el desarrollo de una respuesta perfecta a las situaciones donde la maniobrabilidad lo es todo para la integridad del buque y su estructura en general, en aquellas situaciones de atraque o desatraque o de navegación en aguas restringidas por su calado o manga.

Las hélices de un buque pueden ser, según el paso, fijas, variables o controlables, en este trabajo las diferenciaremos y distinguiremos según su función.



Foto1: Hélice de paso fijo. Fuente:

[http://img.nauticexpo.es/images\\_ne/photo-g/helice-barco-paso-fijo-eje-helice-4-palas-21491-228793.jpg](http://img.nauticexpo.es/images_ne/photo-g/helice-barco-paso-fijo-eje-helice-4-palas-21491-228793.jpg)

Las hélices de paso variable constituyen un sistema de enormes ventajas para la maniobra, por su respuesta más rápida en el régimen de máquinas seleccionadas. No obstante, presentan ciertas desventajas, sin contar las propias de su delicada

construcción, instalación y mantenimiento, que las hace vulnerables. Por ejemplo en el núcleo, palas, línea de ejes o los sistemas de control remoto del paso. [1]

En las hélices de paso variable, cuando se reduce la velocidad del buque, el flujo de agua sobre el timón queda apreciablemente roto, a menos que se reduzca el paso gradualmente. Este efecto adverso es importante de cara a la maniobra del buque. La hélice no debe de ponerse con paso cero para reducir la velocidad mientras se requiera timón. [1]

Según los expertos, estas hélices son poco eficaces a bajas velocidades y en la marcha atrás, lo que requiere el cero de máquina atrás más dilatado para pararlo.

En el giro de las hélices de paso controlable, aun pudiendo ser en uno de los dos sentidos, es más frecuente el giro constante a la izquierda, para que en atrás el buque pueda comportarse como los buques convencionales, respecto al sentido de aplicación del empuje lateral de la hélice, es decir, empuje lateral a babor y por ello la proa a estribor, mientras que si fuera el giro de paso a la derecha, al dar atrás solo cambiará la orientación de las palas, no su giro, y por tanto, la popa caería a estribor y la proa a babor, circunstancia no esperadas a menos de ser conocidas con anterioridad.[1]



Foto 2: Hélice de paso variable con timón acoplado a popa. Fuente:  
<http://articles.maritimepropulsion.com/image.axd?picture=2011%2F6%2FPromas.jpg>

Las hélices de paso controlable están acopladas al eje de cola a través del núcleo del propulsor.

Como su nombre implica, es posible alterar el paso de este tipo de hélices para cambiar la velocidad o ajustarse a determinadas condiciones de navegación. Este cambio en el paso de la hélice se logra con la rotación de las palas de la hélice sobre su propio eje vertical, por medios hidráulicos o mecánicos. De esta forma el eje portahélices puede girar a velocidad constante permitiendo a la vez un cambio en la velocidad del buque, a través del cambio en el paso de la hélice. Mientras es posible invertir completamente el paso de la hélice, este tipo de propulsor emplea un motor unidireccional para dar empuje todo adelante o todo atrás en la maniobra. La aplicación más obvia de las hélices de paso controlable es en los ferries u otros buques que maniobran regularmente o frecuentemente dentro o fuera de los puertos. También se emplean para buques remolcadores o buques arrastreros donde las condiciones de navegación o remolque son complicadas. [2]

Uno de los propulsores de paso controlable más empleados es el Kamewa, una hélice hidráulica introducida en el mundo naval en 1937.

El mecanismo empleado para la rotación de las palas es un servomotor hidráulico. El propulsor de paso controlable permite al motor trabajar en una dirección constante de manera que los movimientos hacia popa se logran invirtiendo el paso del propulsor, en sentido contrario a la dirección normal de rotación. Es bastante adecuado para el control en el puesto de mando, así no es necesario parar y arrancar las máquinas cuando se alterna entre la orden de “todo adelante” a “atrás”. Algunos sistemas de control varían el paso y las revoluciones, de manera que, una única palanca llamada “combinador” controla el paso y las r.p.m. Gracias al “combinador” el paso de la hélice y las revoluciones se ajustan automáticamente en función de lo deseado. Otros propulsores de paso controlable mantienen el motor y la hélice a revoluciones constantes de esta forma el empuje se controla íntegramente por medio de la variación del paso. [3]

Las fuerzas requeridas para cambiar el paso de las palas limita el tamaño de la hélice lo que las hace insuficientes para la entrega de potencias superiores a 20000 kW. Además el núcleo de la hélice reduce el área de las palas y la raíz de las palas son más propensas a la cavitación que una hélice de paso fijo. [3]

Cada vez son más los buques que, con el fin de mejorar el balance entre la economía y la maniobrabilidad, han sido equipados con sistemas de propulsión o gobierno totalmente diferentes que requieren otras habilidades para su manejo.

Estos propulsores están teniendo ahora un relativo éxito, debido a los adelantos con respecto a su confiabilidad y es común encontrarlos en buques de una amplia gama de tonelajes.

La inclinación de éstas puede ser modificada todo lo necesario para lograr el paso deseado, de toda fuerza avante a toda fuerza atrás, sin cambiar el sentido de giro de la hélice. [4]

Para utilizar el control de paso, la hélice debe estar acoplada a la máquina principal, por lo que estará girando permanentemente. Esto se debe a que el motor principal tenía acoplado, en forma permanente al eje portahélices, un generador denominado de cola, que proveía la corriente que era utilizada en el buque. Por lo tanto, las rotaciones no podían variar de determinado rango. [4]

Este sistema era económico en navegaciones largas, donde se aprovechaba la potencia del motor para generar corriente sin necesidad de utilizar motores auxiliares, pero tenía grandes desventajas durante la maniobra. La principal era que la hélice debía de girar siempre a las mismas rotaciones en cualquier paso que se le aplicara. [4]

La otra desventaja era que hacía antieconómico el sistema durante los períodos de maniobra, debido al excesivo número de rotaciones que debía mantener aun cuando el empuje de la hélice no se necesitara. Esto adquiría gran importancia en los buques en los cuales la maniobra fuese permanente, como por ejemplo ferries y remolcadores. [4]

Los buques modernos dotados de este sistema poseen generadores auxiliares, capaces de soportar toda la carga eléctrica del buque en operación. Esto permite continuar con el suministro de corriente necesaria, desacoplando el generador de cola cuando se realizan maniobras. [4]

De esta forma, mediante un dispositivo denominado combinador, que regula las revoluciones de acuerdo con el paso que se aplique a las palas, se obtiene prioritariamente un incremento de la eficacia del sistema propulsor y un mejoramiento

en la maniobra y, secundariamente, una disminución en el consumo de la máquina propulsora. [4]

Las ventajas y desventajas de este equipo son:

Ventajas:

Se consigue un ajuste fino del empuje requerido, al suprimirse los cuatro regímenes de marcha en cada sentido.

Se tiene una muy rápida respuesta a las órdenes de marcha y sobre todo a los cambios de sentido de empuje.

No hay que preocuparse por el consumo del aire comprimido para arranque de la máquina propulsora.

Permite mantener el gobierno aun a muy bajas velocidades, contrariamente a lo que sucede con algunos propulsores de paso fijo que tienen avance muy despacio y revolucionario de 5 a 6 nudos, lo que exige un gobierno a chorro de hélice. [4]

Desventajas:

Cuando el buque aún conserva una gran arrancada adelante y se reducen rápidamente las revoluciones por minuto o se pone la hélice en bandera, girando permanentemente, el fluido se ve afectado y también los filetes líquidos que deberían llegar al timón para facilitar el gobierno del buque, incidiendo sobre él en forma turbulenta, por lo que el gobierno se hace incierto y errático.

Cuando el buque está amarrado a un muelle tipo paredón, y se pone en marcha la máquina, la hélice empieza a girar con sus palas en bandera. Se genera entonces una corriente de agua que fluirá hacia la banda de giro (estribor si es dextrógiro y babor si es levógiro) originando un ligero empuje si el muelle se encuentra en la banda hacia donde la misma se dirige, y separando la popa si los cabos no se encuentran tensos, con el consiguiente riesgo de provocar averías.

Es inevitable que el complejo sistema de alteración de los ángulos con que trabajan las hélices esté más expuesto a fallos que una hélice de paso fijo. [4]

Los propulsores transversales, instalados en la proa o en la popa del buque, se han convertido en un elemento esencial en el equipamiento de los buques modernos. Este equipo permite y facilita el desarrollo normal del proceso de atraque y amarre, sin la necesidad del apoyo de un remolcador, debido a que el buque a bajas velocidades y gracias al propulsor transversal tiene más maniobrabilidad. [2]

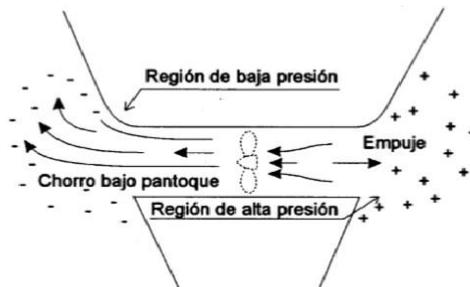


Foto3: Esquema de hélice de proa. [1]

En 1959 entró en funcionamiento la primera hélice de maniobra de paso variable en el buque de bandera danesa “Prinsesse Benedikte” y a partir de ese momento se extendió a buques de distintas maniobras y funciones, entre ellos:

- Ferries con frecuencia de atraque en zonas congestionadas y de rápida realización de maniobra.
- Remolcadores, por la elevada necesidad de evolución, potencia de tiro y maniobrabilidad.
- Buques de investigación y cableros, por su necesidad de mantener el rumbo en condiciones extremas.
- Costeros y navegación de cabotaje por cuanto les independiza del uso de remolcadores.
- Portacontenedores, pasaje y buques de alta velocidad, para reducir su elevado periodo de maniobra en puerto. [1]

Existe una aplicación de las hélices de paso variable instaladas transversalmente en una y/o dos cabezas del buque, con el fin de proporcionar fuerzas laterales que asistan la acción poco relevante del timón a bajas velocidades, en las acciones de maniobra de atraque/desatraque y navegación en aguas confinadas. Puede decirse a efectos de cuantificación, aunque solo aproximadas según la potencia aplicada, que equivalen a un tiro lateral comprendido entre 10 y 15 toneladas, calculado por un valor normal de

la relación empuje/CV, que viene a ser unos 11 Kg/CV de BHP (CV de potencia de freno). [1]

Cuando el buque emplea esta hélice de maniobra en la arrancada avante, se produce una pérdida importante de empuje y de momento de giro, debido a una extensa y profunda área de baja presión a la salida del chorro y otra, también de menor presión, entre el chorro y el casco, lo que representa una reducción del 50% en el empuje lateral cuando se navega a 2 nudos avante. [1]

Otro aspecto negativo de acción opuesta a la deseada es el llamado Efecto Coanda, por el que el chorro tiende a adherirse al pantoque produciendo una zona de presión negativa, en oposición al chorro. [1]

Las hélices de maniobra presentan una máxima eficacia lateral, por su situación en los extremos del buque. A su vez proporcionan buen control lateral lo que ayuda en el gobierno a velocidades muy pequeñas y en navegación en canales y pasos angostos. A baja velocidad, la hélice de maniobra junto con el timón proporciona un momento de giro prácticamente constante. Como contrapartida las hélices de maniobra tienen poca eficacia a determinadas velocidades, entre 2 y 5 nudos, aunque las hay que trabajan a velocidades entre 5 y 10 nudos, si bien a estas velocidades son más importantes los efectos de timón. Tampoco son eficaces con poco calado, por estar cerca de la superficie. [1]

El timón es un instrumento que, con la marcha del buque, permite su gobierno, constituyendo uno de los elementos básicos de cualquier maniobra. A altas velocidades relativas responde bien para alteraciones importantes de rumbo con un ángulo máximo de 35°. Sin embargo, buques que necesitan un muy buen gobierno por las tareas que deben realizar, pueden llevar instalados otros timones más complejos, ya que el timón convencional de 35° no es hidrodinámicamente eficiente, aunque en algunos casos el ángulo de metida puede ser llevado a 45°.

El timón de 45° tiene un diseño ligeramente superior en lo que se refiere a maniobras a bajas velocidades. Hasta es ángulo, la pala del timón conserva un flujo de agua laminar en ambas caras, creando una presión positiva en la activa pero negativa en la opuesta. Pero excediendo dicho ángulo, el agua que fluye a través del mismo

especialmente en la cara de la baja presión comienza a ser progresivamente más turbulenta hasta que pierde eficacia.

No es el único sistema con el que cuenta el buque para desplazar la proa, ya que puede conseguirse un rudimentario gobierno de los equipos propulsores y equipos auxiliares de maniobra, así como la asistencia a otros elementos del buque, como las anclas o timones de fortuna, todos ello, en caso de avería importante de los timones estructurales. [1]

En los buques actuales, la colocación del timón está casi reservada al codaste. En buques de otra época, su situación era lateral, en la zona de popa (espabilas), incluso, en los últimos años se han experimentado con sistemas de timón auxiliares situados en el mismo bulbo de la proa (Navyflux). [1]

Todos los timones que fundamentan su trabajo en el seno de las aguas, deben aprovechar los efectos hidrodinámicos de aquella y por ello necesitan la incidencia de las partículas del agua sobre el timón, lograda, bien por la marcha del buque por medio de sus medios de propulsión, bien por la acción del agua en movimiento a causa de corrientes de cualquier tipo (marea, fluvial). En la maniobra, la eficacia del timón está relacionada con el equipo propulsor. [1]

Por su construcción, la eficacia del timón dependerá de:

- La superficie total de la pala.
- Su posición respecto a los propulsores y al buque.
- Número de timones.
- Formas del codaste.

Los elementos que en su conjunto constituyen los timones de los buques comerciales, son:

Mecha: Pieza que relacionada con la cruceta del servomotor proporciona la movilidad a la pala del timón. Es de acero forjado, cuyo diámetro de diseño es obtenido por fórmula empírica en la que se relacionan la superficie de la pala, la propia longitud de la mecha, la velocidad de servicio del buque y su posición respecto a las hélices.

Palma: También llamado coper, constituye la pieza cuya superficie servirá para el ensamblaje de la mecha con la pala. El espesor es aproximadamente la cuarta parte del diámetro de la mecha. La unión con la pala se efectúa por bulones y pernos de ajuste en un número superior a 6 con chavetas. La distancia del centro del perno al borde de la palma será superior al diámetro del bulón.

Limera: Cierra en la cubierta del servomotor en chumacera de empuje, consiguiéndolo por empaquetadura y casquillo prensaestopas. En su paso la mecha lleva casquillo o forro.

Machos: Ejercen presión sobre las hembras, en función directa a la superficie de la pala y la velocidad de diseño del buque, e inversamente con el diámetro del macho y la superficie de apoyo de la hembra.

Madre: En timones de doble plancha, el eje sobre el que gira y soporta la pala.

Canto de ataque: La arista situada a proa de la pala.

Canto de salida o cierre: La que está situada a popa de la pala.

Refuerzos verticales y horizontales: Los elementos resistentes internos sobre los que se sueldan las chapas que constituyen la pala.

Lenteja: Elemento de roce en el soporte inferior en el talón del codaste.

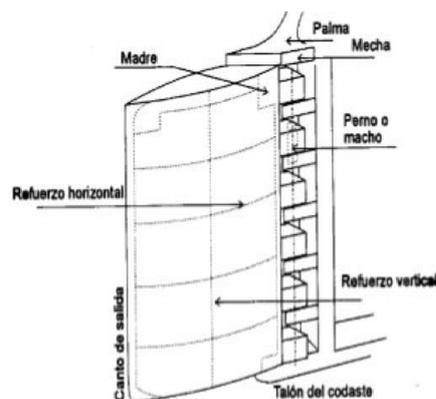


Foto 4: Esquema de un timón. [1]

Por su geometría, las definiciones más importantes son:

- Altura (h) en la dimensión del flujo.
- Cuerda © en la dimensión paralela al flujo.
- Espesor (t) en la dimensión perpendicular al plano de crujía.
- Tipo de perfil: Distribución de espesores a lo largo de la cuerda.
- Relación de espesor: Entre el máximo espesor del perfil y la cuerda.
- Alargamiento: Relación entre la altura del timón y la cuerda media.
- Área del timón: referida normalmente al área total obtenida, (h.c).
- Relación de compensación: al cociente entre el área situada a proa del eje de giro y el área total móvil. [1]

Los timones colocados en el codaste del buque se clasifican:

Por su estructura:

- De plancha simple, consistente en una plancha gruesa reforzada.
- De plancha doble, constituida por dos planchas unidas por una estructura interior, de mayor a menor escantollinado.
- Currentiformes, en las que sus chapas constituyentes desarrollan formas curvas para mejor aprovechamiento de las corrientes hidrodinámicas de los filetes líquidos cuando incidan sobre la pala.

Por su montaje:

- Soportados, cuando además del superior, tienen un soporte inferior situado en el talón del codaste.
- Semisuspendidos, cuando el soporte inferior está en una zona intermedia de la pala.
- Colgantes, cuando no disponen de otro soporte que el superior.

Por su distribución:

- Sin compensar, cuando toda la pala se encuentra a popa del eje de giro.
- Semicompensado, cuando distribuye parte de la pala a proa del eje de giro.
- Compensado, cuando la parte de la pala situada a proa del eje del giro es superior al 20% de la superficie total.

Por su movimiento:

- Pala móvil, la que se mueve en su totalidad simultáneamente.
- Pala parcialmente móvil, principalmente con pala móvil a popa del eje del giro y la parte de proa fija al codaste.
- Activos, parte móvil a proa y popa del eje del giro.
- Flap activo, a popa de la pala del timón. [1]

Si la pala del timón está en la prolongación del plano longitudinal, se dice que se encuentra a la vía, y su efecto sobre el buque es nulo.

Si se coloca la pala del timón formando un cierto ángulo se dice que el timón está  $x$   $n^\circ$  de grados a la banda, llamándose ángulo de metida al ángulo que forma la pala con el plano longitudinal. El timón en esta posición presenta una resistencia directa a la marcha, las líneas de corriente que siguen las formas del casco son lanzadas sobre la pala del timón. El punto de aplicación de la presión normal no coincide con el centro de gravedad de la superficie del timón, ya que no están distribuidas uniformemente las presiones aplicadas en su superficie.

En la parte de popa del timón, las presiones son menores que en la zona de proa del mismo, por este motivo el punto de aplicación de la presión normal está más a proa que el centro de gravedad de la pala.

Lo mismo pasa con su posición vertical, ya que la parte baja del timón está sometida a mayor presión que la zona opuesta por encontrarse a mayor profundidad y por ello el punto de aplicación de la presión normal está más bajo que el centro de gravedad de la pala.

La ejecución de determinadas maniobras impone la necesidad de maniobrar con máquina atrás. En esas circunstancias, el buque no siempre reacciona como sería deseable a los efectos del timón, sobre todo cuando parte de reposo, en que las aguas que recibe el timón no son importantes hasta que el buque adquiere una velocidad atrás y la incidencia de los filetes líquidos puede ejercer su influencia. [1]

Es evidente que partiendo de reposo los efectos de propulsión llevan las aguas hacia proa del buque sin incidencia sobre la pala del timón por lo tanto la fuerza de presión

normal será nula en los primeros instantes creciendo a medida que el buque adquiera la velocidad atrás. [1]

A su vez, aun cuando adquiera dicha velocidad, el timón deja entre su cara de proa y el codaste un vacío o una menor presión lo que constituye la aparición de la fuerza negativa de presión normal que se opone a la presión normal de la cara activa. [1]

En función de la forma y tipo de timón, y las formas de codaste del buque hacen que un buque con movimiento atrás tenga una evolución poco precisa y no siempre determinable con antelación. Por ello las maniobras que incluyan marcha atrás del buque deben considerarse con especial atención y prevención de resultados, disponiendo una máxima atención y vigilancia en especial cuando se encuentre próximo a obstáculos por popa. [1]

# **Factores que intervienen en la maniobra del buque y efectos producidos por las hélices.**

El buque es una estructura que desenvuelve y desarrolla todas sus actividades sobre el mar, pero en este campo es víctima de los caprichos de la naturaleza y de la mecánica de fluidos en general. El propulsor genera una serie de efectos que afectan al rendimiento del buque, particularmente en su maniobra, además de estar expuesto a efectos de la naturaleza como el viento o las corrientes. Cada uno de los efectos que producen los propulsores, y factores, externos o internos, que se desarrollan, tienen su impacto en el progreso de la actividad marítima del buque.

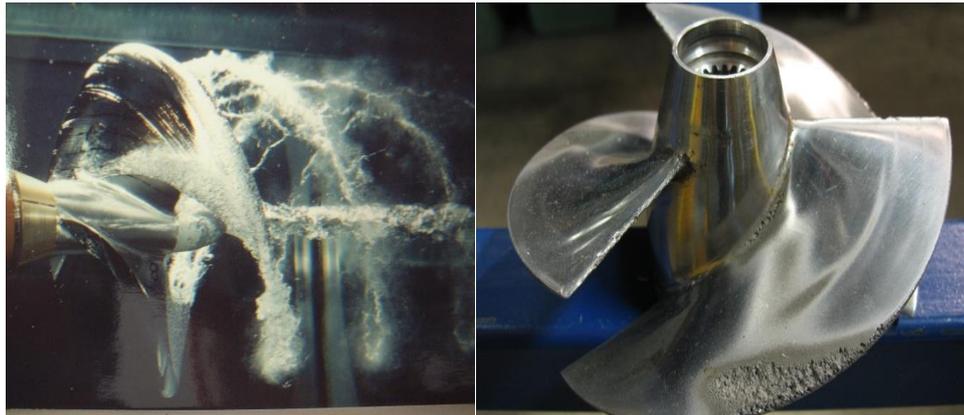
## **Vibraciones y Cavitación:**

Los problemas de robustez y cavitación se ven agravados por el campo de estela no uniforme detrás del buque, en particular en los buques de una hélice en los que la variación de la velocidad axial a la hélice puede ascender al 60-80% de la velocidad del buque. [1]

El consumo de combustible está directamente relacionado con el rendimiento propulsivo, y con el fin de conseguir el mayor rendimiento posible, el diámetro de la hélice será lo más grande posible con una velocidad óptima del eje de la hélice correspondiente. En principio, el área de la pala de la hélice debería elegirse lo más pequeña posible, con el fin de reducir las pérdidas friccionales. [1]

Las vibraciones del casco se producen principalmente por el funcionamiento de la hélice en campos de estela no uniformes, y por la pulsación de la hélice con la cavitación inducida por el fluctuante ángulo de ataque de la pala. El objeto de la hélice es producir un empuje al buque, como resultado de las altas presiones inducidas en el plano inferior de la pala. Las variaciones de flujo en las palas con fluctuaciones de carga durante la revolución crean vibraciones. Cuando la pala alta está en la vertical

superior, la presión hidrostática es baja y el empuje alto, pudiendo ocurrir que el extremo de la pala llegue a ser suficientemente baja para alcanzar la presión del vapor del agua, lo cual provoca la cavitación, con producción de ruido, erosiones, vibraciones, que se incrementan al aumentar los flujos de estela irregulares. El timón también se ve afectado por la cavitación y la vibración, debiendo mantener una separación longitudinal crítica para reducir tales efectos negativos. [1]



Fotos 5 y 6: Formación de burbujas en las palas de la hélice y daño resultante. Fuente:

<http://www.atmosferis.com/wp-content/uploads/2011/06/supercavitacion.jpg>

[http://www.fondear.org/infonautic/barco/motores\\_helices/supercavitacion/Supercavitacion\\_02.jpg](http://www.fondear.org/infonautic/barco/motores_helices/supercavitacion/Supercavitacion_02.jpg)

Se intenta buscar soluciones que reduzcan la incidencia, tanto de las vibraciones como de la cavitación, a través de las siguientes opciones: [1]

- Por el número de palas: Las hélices pueden disponer de 2 palas en embarcaciones y motores muy revolucionados, mientras que son consideradas normales las de 3,4 ó 5 palas, sin excluir hélices con un número superior.
- Por su generatriz, muy curvada de diseño, se han diseñado con el fin de reducir las vibraciones inducidas por la hélice, mediante una interacción más suave entre la hélice y la estela del buque.
- Por su situación respecto al timón: Hélices entubadas o hélices ocultas (toberas Kort) con toberas fijas, la caña del timón está fijada en el recorrido convencional, lo que representa un incremento de 1,2 a 1,5 toneladas de aumento de tiro por cada 100 BHP, debido a la aceleración de la corriente de expulsión de la hélice al pasar por la tobera, respecto a la corriente de aspiración. Más tarde evolucionó a una unidad compuesta que gira compacta (caña, hélice y tobera) del tipo SCHOTTEL (timón tobera) que permite ceñir

y empujar en la dirección prevista, además de no perder potencia, máxima capacidad de maniobra sin restricciones, la misma potencia en avante que en atrás. Por último se aplica el denominado sistema Schilling, en el que una hélice ordinaria de paso constante aporta las corrientes de expulsión a un sistema de timones que según la posición y orientación que adoptan, proporcionan el empuje al buque (avante o atrás) o actúan como timón según permitan el flujo entre las palas del sistema Schilling.

- Por la variabilidad del paso: Las hélices de paso variable constituyen un sistema de enormes ventajas para la maniobra, en principio basadas en la respuesta más rápida en el régimen de máquina seleccionado. Las hélices de paso variable presentan las siguientes características:
  - a) Cuando se reduce la velocidad del buque, el flujo del agua sobre el timón queda apreciablemente roto, a menos que el paso se reduzca gradualmente.
  - b) En marcha atrás es menos efectiva que la convencional, por los mismos problemas anteriores.
  - c) Es menos eficaz a menos velocidad.
  - d) Al estar girando siempre se crean problemas con los cabos.
  - e) Se necesitan datos de las velocidades desarrolladas en cada orden de máquinas, dispuestas visiblemente en el puente próximo al telégrafo de régimen.

## **Efecto Coanda:**

“Una corriente de fluido en movimiento, en contacto con una curva, tiende a seguir la curvatura de la superficie, en lugar de continuar recta.”

Esta sería la regla que de alguna manera resume, y brevemente explica en que consiste este efecto, que se manifiesta en el movimiento de los fluidos en las hélices de proa, y que corresponde su estudio a la mecánica de fluidos. Sus efectos causan mella en el desarrollo del funcionamiento de los propulsores transversales situados a proa de los buques.

Los propulsores transversales son única y verdaderamente efectivos, cuando el buque se encuentra detenido flotando o moviéndose a muy baja velocidad. Cuando el buque se mueve, el agua expulsada a presión a través del tubo, donde se encuentra alojado el propulsor transversal, se une a la corriente de “aguas abajo” que recorre el casco del buque a la salida del tubo, disminuyendo así el efecto del propulsor transversal. Esto es lo que se conoce como *efecto Coanda*, que solamente podría superarse y prevenir su aparición si se instalase o prolongase la longitud del túnel transversal más allá de la capa límite que rodea el caso del buque. Muchos tests de funcionalidad desarrollados con el fin de investigar y mejorar las propiedades de los propulsores transversales demuestran que su potencia y eficacia decrece en un 30% y 40% a una velocidad de dos nudos y es completamente insignificante su funcionamiento en velocidades superiores a los tres nudos.

Los propulsores transversales de proa son relativamente ineficaces cuando se gobierna un buque que se mueve hacia popa y su velocidad es superior a los tres nudos. Es mejor acoplar un timón de proa a los buques que regularmente son gobernados mientras se mueven hacia atrás a gran velocidad, como algunos ferries que regularmente hacen una larga maniobra de aproximación hacia atrás en el atraque.

La turbulencia que se desarrolla por el flujo de agua que atraviesa el túnel también significa que la resistencia del casco aumenta cuando el buque es equipado con propulsores laterales, aunque esto puede reducirse revistiendo los bordes y extremos del túnel con perfiles hidrodinámicos. [3]

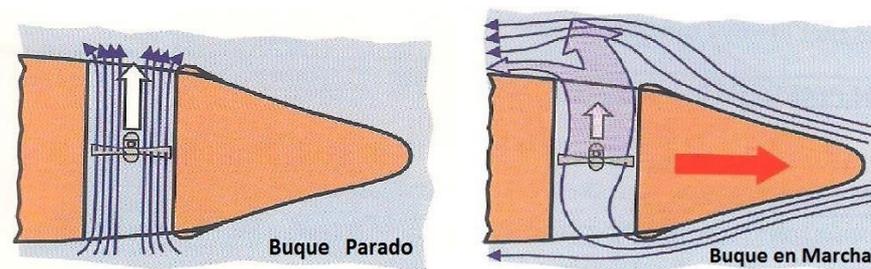


Foto 7 y 8: Esquema de un hélice de proa en funcionamiento y como se desarrolla el efecto Coanda. [3]

## **Corriente de expulsión:**

La hélice al girar aspira las aguas de proa y las expulsa hacia popa. Por la parte de proa de la hélice se forma una corriente llamada de aspiración, y por la parte de popa otra llamada de expulsión. La corriente de aspiración sigue una dirección paralela a la quilla, mientras que la corriente de expulsión sale oblicua por efecto del movimiento circular que las palas imprimen al agua.

Supongamos el timón a la vía, las palas de estribor expulsan el agua hacia la parte baja de la pala del timón, mientras que las de babor en su giro de abajo hacia arriba, las expulsan hacia la parte alta del timón. Como la pala del timón es más ancha abajo que arriba, recibirá con más fuerza la corriente de expulsión de las palas de estribor y por consiguiente, la popa caerá a babor y la proa a estribor.

Con influencia sobre la pala del timón con la marcha avante, ya que el agua expulsada por las palas según su posición representa una fuerza aplicada superior para la que tiende a ocupar posiciones altas al ser recibidas íntegramente por las palas del timón, mientras que las aguas impulsadas por las palas de la hélice que tienden a ocupar las posiciones inferiores la echan hacia la parte baja de la pala del timón con pérdida sustancial de parte de ella. En la marcha atrás, las corrientes de expulsión generadas por las palas altas de la hélice inciden sobre la bovedilla más próxima mientras que las corrientes de las inferiores tienden a perderse por debajo del codaste y quilla del buque, lo cual significará una tendencia de caída de la popa más pronunciada a la causada por la presión lateral de las palas, por ello, la caída es más significativa que en las mismas condiciones con marcha avante. [5]

## **Otros efectos generados por las hélices**

Además del empuje en el sentido de la marcha y el empuje lateral, las hélices generan corrientes de agua con efectos relativos sobre el buque tanto en su intensidad relativa como en su dirección y sentido, estas son:

- Corriente de estela: Constituida por el avance del buque, es variable con la resistencia que ofrece el buque con poca influencia por quedar a popa del buque, si bien la dirección de popa a proa llena el vacío que deja la hélice.

- Corriente de aspiración: Al mover el agua que se encuentra en el sentido de la marcha hacia el lado contrario. En la marcha avante el agua recorre ambos costados del casco del buque sin influencias significativas. En la marcha atrás no tienen ninguna influencia sobre el buque al proceder de una zona exterior y a popa de la hélice.
- Corriente friccional: es mayor en superficie, en la vertical del plano longitudinal y a popa. Se reduce hacia afuera y hacia debajo de cada costado. Los valores de la velocidad de la estela pueden darse según la posición de las palas de la hélice. La velocidad relativa del agua cerca del casco es pequeña, ya que la corriente de estela arrastra al buque. Así, para un buque que se mueve a 15 nudos y arrastra con él una corriente de estela de 3 nudos, la hélice solo avanza a 12 nudos. El máximo rendimiento de la hélice, se desarrolla a 0,7 de la longitud de la pala desde el eje, que debe ser aplicada a la fórmula para obtener la velocidad correspondiente a la de giro. No deberán confundirse los conceptos anteriores con el significado y valor del llamado resbalamiento de la hélice, cuyo valor se obtiene como diferencia entre el avance teórico proporcionado por el número de revoluciones y el paso de la hélice, con la velocidad real del buque, es decir  $R = (\text{Paso} \times \text{rpm}) - V$ . [1]

## **Diversos factores que intervienen en la maniobra del buque**

Existen multitud de factores que influyen en el transcurso y desarrollo de la maniobra del buque y que podemos clasificar como externos e internos.

Factores externos: Son el viento, la corriente o las aguas poco profundas. Tanto el viento como la corriente son variables, y en alguna ocasión pueden llegar incluso a favorecer a la maniobra y ayudar al timonel, y en otras hacerla complicadas e imposibles. [5]

En lo referente al efecto de las aguas pocas profundas sobre el buque hay que tener en cuenta que la distancia de parada es superior en este tipo de aguas que en la alta mar, por eso es muy importante conocer la velocidad de desplazamiento con respecto al fondo. [5]

Factores internos: Un buque con dos propulsores o hélices gemelas resultará más fácil de atracar y desatracar aprovechando el efecto evolutivo sobre su eje. Los buques de dos hélices combinan también un propulsor de maniobra emplazado transversalmente en proa. [5]

En cuanto al giro de la hélice, en ocasiones se puede considerar un inconveniente y en otras una ventaja, ya que sabemos que una hélice de paso a la derecha al dar atrás la popa cae a babor, y de paso a la izquierda la popa cae a estribor. Esta condición nos favorecerá o perjudicará en el momento de la maniobra. [5]

Los efectos del asiento en la maniobra de un buque son importantes en cuanto a la acción del viento y de la corriente, ya que en virtud de su asiento estos efectos actuarán con más virulencia sobre uno u otro extremo del buque. De esta manera un buque apopado tendrá tendencia a llevar la popa al viento por ofrecer este extremo más resistencia a la deriva dentro del agua. [5]

Velocidad de maniobra: El exceso de velocidad en el momento de la maniobra hace que el buque pierda maniobrabilidad al crearse una presión muy grande a proa y muchas turbulencias a popa que disminuyen el efecto del timón. A mayor velocidad del buque, menor es la maniobrabilidad. El rumbo del buque se verá afectado por las turbulencias generadas a popa por la velocidad elevada, esto obliga a actuar continuamente sobre el timón para conservar el curso y rumbos deseados. [5]

Factores externos:

#### El viento:

En las maniobras de prevención de abordajes durante la navegación en mar abierta en que la velocidad del buque es más elevada, y la deriva causada por el viento en cualquier circunstancia, el viento produce fuerzas laterales en las cabezas de maniobra, resultantes de una fuerza lateral y un momento de giro, que pueden actuar en contra o a favor de la caída de la proa por acción voluntaria del timón. [1]

Los condicionantes son las relaciones existentes entre la velocidad del viento y la del buque, la profundidad del buque y el área lateral sumergida.

De este modo, con el buque en navegación y avante, con un viento recibido por la banda de estribor, con el punto de giro bien a proa, el buque tiende a llevar la proa hacia el viento, corregido con el timón a la banda contraria de la del viento, babor, así el buque efectúa una derrota que no coincide con la línea de crujía del buque. [1]

Este comportamiento tiene especial importancia cuando el buque se encuentra navegando en canales o pasos estrechos.

En buques con grandes superficies de apantallamiento al viento, como por ejemplo car-carriers y además con asiento apopante, en las mismas condiciones de viento citadas, se necesita aplicar timón a estribor ya que el buque responde arribada. [1]

En cambio, con el buque atrás, al disponer el punto de giro a popa, la respuesta del buque es siempre de arribada, es decir, la popa siempre al viento con decisión y sin lugar a dudas.

Según la orientación del viento respecto al rumbo del buque, representará un incremento o una disminución de la velocidad del buque, manifiesta sobre todo cuando el viento se recibe por la misma popa o por la misma proa, respectivamente.

#### La corriente:

Otro de los agentes externos que condicionan la maniobra es la corriente, cuyos efectos se manifestarán sobre el buque en dos aspectos bien definidos según sea la orientación de la proa respecto a la dirección de la corriente.

El vector de dirección e intensidad de la corriente combinada con el vector de velocidad y rumbo del buque proporcionarán un resultante de rumbo y velocidad que representará el movimiento real del buque sobre el fondo.

En el caso de ser de direcciones opuestas, el buque tiene una velocidad menor en el valor de la intensidad de la corriente, mientras que coincidiendo la corriente con el mismo rumbo del buque, éste se desplazará a la velocidad resultante de la suma de las dos intensidades, en ambos casos en su referencia al fondo, ya que en superficie el buque es transportado por la masa de agua que se mueve en su dirección e intensidad. [1]

No obstante, cuando el buque no se encuentra en navegación, especialmente en la condición de fondeado, la recepción de la corriente al rumbo opuesto de la proa representa un efecto sobre la pala del timón que puede crear, de ser necesario para una acción de apartar la popa de otro, una presión normal de magnitud correspondiente a la velocidad de la corriente, en caso contrario, si bien también la recibe, la eficacia del timón es menor y por ello la respuesta evasiva esperada. [1]

La acción de la corriente genera, por tanto, una variación de la velocidad resultante y un desplazamiento total del mismo en la dirección de aquella, siendo importante su consideración cuando la influencia cesa en alguna parte de la eslora del buque, por ejemplo cuando se está pasando de una zona de corriente a otra abrigada. [1]

#### El oleaje:

Son distintos los efectos que las olas producen sobre el buque según su procedencia, de este modo las olas de mar de fondo o de mar tendida sólo provocan movimiento al buque sin desplazamiento salvo las propias por el movimiento orbital y con pequeños avances en su movimiento orbital en las olas cuyas crestas rompen.

Es decir, en el primer caso las partículas de agua oscilan entre varios límites, hacia abajo cuando se aproxima a la cresta, hacia delante cuando pasa la ola, hacia abajo cuando ha pasado y hacia atrás cuando pasa el seno de la ola. En el segundo, su movimiento orbital sigue la dirección de desplazamiento de la ola, pero con muy poco avance en dicha dirección. Sin embargo, en estas últimas, la ola que rompe representa una gran masa de agua que es proyectada a considerable fuerza hacia adelante y hacia atrás de la cresta, siendo además más alta y profunda, no obstante, la ola de fondo, si rompe sobre el casco del buque, produce casi los mismos efectos que la ola rompiente. [1]

El radio de la órbita circular decrece con la profundidad, aproximándose a cero a una profundidad de agua igual a media longitud de la ola. En aguas someras las órbitas se transforman en formas elípticas reduciendo su velocidad y con ello, al mantenerse constante el período, también disminuye la longitud de la ola, y al ser la misma energía, con olas más cortas se produce un incremento de la altura de las olas. [1]

Cuando se producen en el seno de una corriente de la misma dirección, se incrementa la longitud de la ola y disminuye su altura, y viceversa en caso contrario, llegando en casos extremos a provocar la rompiente en las crestas. La corriente oblicua a la dirección de las olas no manifiesta grandes alteraciones, mientras que una fuerte corriente perpendicular a las olas termina destruyéndolas. [1]

La longitud y la altura de la ola crecen con la velocidad del viento, pero cuando éste supera los 10 nudos, la razón de incremento de la altura es mayor que la correspondiente a la longitud, de esta manera una sucesión de olas pueden alcanzar menos altura que las correspondientes de relación altura-longitud de 1:10, sin romper la cresta. [1]

Puede decirse que los mares de período corto o mar confusa son más peligrosas para buques pequeños, mientras que mares de período largo lo son para buques de gran eslora.

El golpe de las olas sobre el buque altera la orientación de las proas en buques pequeños, y en los grandes buques la tendencia es atravesar las olas. Se deben de considerar los aspectos relacionados con la resistencia estructural del buque cuando este se encuentra con las crestas en las cabezas de maniobra o bien en sucesivos senos, con riesgo de arrufo y quebranto respectivamente, o por otro lado, con olas recibidas de costado, entrar en sincronismo con el balance producido o las olas recibidas por la proa o por la popa, pudiendo ser engullidos por ellas. [1]

La maniobra de ponerse en seguridad respecto a las olas consiste en poner la proa abierta al viento de 2 a 4 cuartas por la amura y ajustar la velocidad para mantener un mínimo de gobierno. El ángulo de abertura con el viento dependerá de la estructura longitudinal, del cabeceo que se produzca, de la naturaleza de carga y de la cubertada. La banda más adecuada para recibir el viento es la de babor.

Otra alternativa de pasar el mal tiempo es recibéndolo por el través, procedimiento válido cuando el sincronismo puede controlarse por máquina, siendo desfavorable el gran abatimiento que se produce. El balance será muy duro y casi nulo el longitudinal de cabeceo. Los buques que se han quedado en esas condiciones adoptan una posición resultante con las fuerzas del viento y la acción de las olas, en equilibrio con los

aspectos relacionados con el asiento y el calado sin sufrir grandes daños a pesar de la virulencia soportada. [1]

La maniobra de giro en mares gruesas debe hacerse en el momento adecuado. Si la situación inicial es proa a la mar se pretende caer al rumbo opuesto para correr el temporal, el punto más delicado es tener la mar de través, no sólo por la acción de las olas, sino para poder continuar la caída iniciada. Ya que las olas de mar gruesa van seguidas de otras de menor altura, para iniciar la caída es necesario esperar esos momentos de calma relativa, o por lo menos que se llegue a la posición de mar atravesada en dicho momento. En la primera fase de la evolución no debe de llevarse excesiva arrancada, dado el riesgo de fuertes pantocazos y cabezadas, sin embargo una vez iniciada debe de completarse con la mayor rapidez posible. Lograda la caída y el rumbo opuesto, se ha de navegar a velocidad reducida para evitar los peligrosos golpes sobre el timón. [1]

#### Aguas Restringidas:

Podemos distinguir el agua restringida del resto de concepciones alrededor de la forma o composición del agua marítima como sigue, entendiendo agua restringida como aquellas aguas o aquella zona de navegación marítima en la que existe una limitación espacial para la maniobra del buque, tanto en superficie como en profundidad. De esta manera son condicionantes para la maniobra la relación entre la manga del buque y la manga del canal navegable, y entre la obra viva y el fondo, de especial importancia la altura del agua disponible bajo la quilla del buque. Igualmente como agua restringida también podemos referirnos a aguas someras, pasos o canales angostos. [1]

Los dos tipos de accidentes marítimos más comunes a los que puede verse expuesto un buque que navega en aguas someras o aguas restringidas las cuales afectan y perturban el desenlace de su maniobra, son el abordaje y la varada.

En canales angostos, en aguas restringidas en general, deberán seguirse los siguientes principios de maniobra:

- Navegar a velocidad menor que la velocidad crítica.
- Navegar a menor velocidad que la máxima posible en el canal.

- Mantener en reserva una potencia de máquina para incrementar la eficacia del timón.
- Especial cuidado cuando se entra en un canal procediendo de una zona de mayor profundidad.
- Especial cuidado cuando se entra en el canal alcanzando a otro buque. [1]

# Maniobra del buque.

El buen gobierno del buque depende en gran parte del lugar donde se ha instalado el timón.

En el caso de una sola hélice, normalmente se coloca a popa de la hélice en el plano diametral. Es en ese lugar donde recibe los efectos de la corriente de expulsión de las palas de la hélice y además, es el sitio donde confluyen los filetes líquidos que van junto al casco incidiendo por último sobre la pala del timón ejerciendo una presión normal proporcional al cuadrado de la velocidad de dichos filetes líquidos.

En el caso de hélices gemelas, es costumbre colocar el timón en la línea central, ganando así en resistencia y seguridad de instalación. Sin embargo, el timón pierde efectividad cuando no está inmediatamente detrás de la hélice. En algunos barcos de hélices gemelas los timones van colgados a popa de cada hélice, aumentando así la maniobrabilidad del barco.

Teniendo en cuenta que la posición del timón respecto a la hélice influirá de una manera u otra a la maniobra, podemos aclarar que para el buque partiendo en reposo hay una clara tendencia de caída de la popa hacia la banda a la que tiene su giro.

Junto con el timón, la hélice constituye uno de los elementos más importantes para la maniobra del buque. Al moverse adelante, parte del agua fluye a popa creando la estela donde opera la hélice, acelerándola y empujando al buque. Una hélice trabaja mejor en el flujo de la estela que fuera de ella. [1]

Para el buque ya con arrancada, la influencia de la corriente de agua que recibe la hélice, en especial sus palas altas, equilibra las presiones de trabajo en relación con las bajas, llegando incluso a tener una tendencia de llevar la popa ligeramente a la banda contraria de giro. [1]

El empuje lateral de las hélices es importante desde que el buque parte de reposo hasta que se crea el flujo de la estela que equilibra las diferencias de trabajo de las palas superiores a las inferiores durante el giro de la hélice, cuyo resultado es un efecto de guiñada en la dirección del giro, es decir, caída de la popa a estribor en las hélices de

paso a la derecha, o la popa a babor en las hélices levógiras. Dicha tendencia se reduce, anula o cambia de banda al incrementarse la velocidad. [1]

Con un criterio de aplicación semejante, deberá tratarse la influencia del asiento y el calado del buque, en cuanto a la posición de la hélice respecto a la profundidad de agua en que trabaje. El resultado es un mejor equilibrio de las fuerzas cuando la hélice trabaja en aguas más profundas, correspondiendo a las condiciones de buque a plena carga o buque en cualquier condición de carga pero con un importante asiento apopante. Por el contrario para los buques en lastres, asiento aproante o fuertes cabezadas, significa que las palas superiores descubran parte de su superficie por encima de la superficie del agua, con pérdida evidente de empuje y una notable diferencia con la incidencia de las palas inferiores, por lo que todavía es más clara la caída de la popa a la banda de giro de la hélice. [1]

Si en principio uno de los objetivos del propulsor en la maniobra queda plenamente conseguido por la acción del empuje, imprimiendo en el buque un movimiento adelante o atrás según el sentido de giro de la hélice, la fuerza lateral tiene unos efectos negativos sobre el buque, ya que tenderá a llevar la popa del buque hacia una banda sin pretenderlo el maniobrista, pues, en todo caso, si fuera su voluntad, usaría el timón para conseguir dicha caída, siempre claro está que, por ser conocidos tales efectos, sean aprovechados cuando sea posible hacerlo, como de hecho se utilizan para determinadas maniobras de atraque. [1]

Salvo en casos especiales, conocidos bajo la expresión general de hélices de paso variable, las hélices son fijas y solidarias al eje de cola, girando con él en uno u otro sentido.

Cuando para conseguir la marcha adelante del buque, las hélices giran en el sentido directo, como las agujas del reloj, visto desde la popa del buque mirando hacia proa, se dicen que giran a la derecha o dextrógiras, mientras que en sentido contrario son llamadas de giro a la izquierda o levógiras. Con máquina para lograr atrás, las de giro a la derecha lo hacen a la izquierda y las de giro a la izquierda lo hacen a la derecha. [1]

Las hélices instaladas en buque son en su mayoría son de giro a la derecha en la marcha avante. Cuando las hélices del buque tienen el giro a la izquierda en la marcha avante es necesario indicarlo expresamente a los oficiales o prácticos que embarquen en el buque, ya que, los efectos sobre el buque serán distintos provocando situaciones durante la maniobra que serán condicionantes de su realización, y por tanto hay que tenerlos en cuenta en todas las situaciones en que se utilice la máquina como propulsor. [1]

En cuanto al giro de las hélices de paso controlable aun pudiendo desarrollarse en ambos sentidos, es más frecuente el giro constante a la izquierda, para que en atrás el buque pueda comportarse como los buques convencionales, respecto del sentido de aplicación del empuje lateral de la hélice, es decir la Pp a Br y por ello la Pr a Er. [1]

## **Resultado de la combinación de la hélice y el timón.**

### Buque partiendo de reposo:

Es el caso en que el buque inicia una maniobra partiendo de una velocidad por máquina igual a cero, es decir, aún bajo la influencia de los agentes externos presentes, el buque no mantiene ninguna arrancada inicial de cualquier signo.

Para su análisis se considerarán los casos de máquina avante y máquina atrás, y en cada uno de ellos con timón a la vía a Er. Y a Br. [1]

### Buque con arrancada avante:

En ésta condición pueden presentarse dos situaciones distintas, la de buque con arrancada avante, de máquina avante, y otra en la que el buque conservando una arrancada avante invierta el giro de la máquina (de atrás). También como en el caso de buque partiendo de reposo, se distinguirá la posición del timón en cada supuesto. En estas circunstancias el supuesto queda reducido a un solo caso, ya que la obediencia del timón es relevante, sea cual sea la banda a la que esté metido.



Foto 9: Arrancada avante, máquina avante. [1]

Foto 10: Arrancada avante, máquina atrás. [1]

En el caso del timón a la vía, al trabajar la hélice en un seno de agua que fluye bien a las palas, ya quedó dicho que la presión lateral por su giro queda anulada o incluso puede observarse un cambio de la tendencia de caída a la banda contraria a la de giro, todo dependerá de las circunstancias de trabajo, tanto por revoluciones, como por su profundidad en función del estado de carga o el asiento que tenga el buque en dicho momento. En resumen el buque tiene un comportamiento relativamente estable y responde bien al timón, en especial cuando, teniendo el buque arrancada avante, recibe una orden de máquina de mayor velocidad, con lo cual se genera un flujo superior a la pala del timón y asimismo una mayor presión normal con un aumento de su eficacia. [1]

Con el buque manteniendo arrancada avante y dando máquina atrás, si consideramos el comportamiento dinámico que mantiene el buque con arrancada residual o por las revoluciones de máquina, permanecerá hasta que el timón deje de recibir los filetes de agua suficientes para producir una presión normal que compense las guiñadas o tendencias del buque hasta ese momento (velocidad mínima de gobierno). Sin embargo por debajo de dicha velocidad el timón deja de ser operativo y queda a merced de los efectos y fuerzas producidas por la hélice, básicamente por la presión lateral. Esa disminución progresiva de la velocidad se crea al dar atrás y reducir el empuje hasta invertirlo de sentido. [1]

Con el timón a la vía, el buque mantendrá con cierta facilidad su proa mientras el buque tenga arrancada y la presión lateral sea poco importante o, en todo caso, la ligera caída

de la proa a Br., ya comentada para los buques con arrancada avante. Cuando la velocidad sea inferior a la de gobierno, la presión lateral de la hélice va aumentando y por ello va provocando su conocido efecto de llevar la popa a la banda de giro en la marcha atrás, ayudado además por la mayor incidencia de las corrientes de expulsión sobre la bovedilla de la banda contraria, y por tanto potenciando la caída. [1]

En el supuesto de encontrarse el timón a Er. El buque mantendría la caída a Er. Que su arrancada y grado timón metido le impusiera, que naturalmente se irá reduciendo, si bien la aparición de la presión normal, todavía mantendrá esa original caída de la proa a Er. Cuando el buque detenga toda su arrancada avante e inicie la arrancada atrás, el timón empezará a recibir plenamente la acción tanto de la zona de agua situada a popa hacia la que se dirige y además las corrientes de aspiración, ambas con clara incidencia sobre la cara activa del timón (Br). A partir de ese momento si la presión normal ( $P_n$ ) es suficiente y supera la presión lateral de la hélice, la popa tenderá a cambiar la tendencia de caída a la misma banda de metida del timón, es decir a Er. Siempre conforme al comportamiento esperado expuesto en el supuesto de buque en reposo y máquina atrás, por lo que la caída de la popa a Er. Será poco importante y clara. [1]

Con planteamiento semejante al anterior el buque mantendrá su caída a Br. Producida por la acción del timón, mientras el buque tenga arrancada avante, aunque eso sí, con una desaceleración de dicha caída por la acción de la presión lateral de la hélice que trabaja en sentido contrario. A partir del momento en que se inicie la arrancada atrás, el timón vuelve a tener su protagonismo y el buque le obedecerá, ayudado fuertemente por la presión lateral que trabaja en el mismo sentido que aquél, produciendo una caída de la popa a Br. importante y decidida. [1]

### Buque con arrancada atrás y máquina avante:

Considerando las tres posiciones del timón tendríamos:

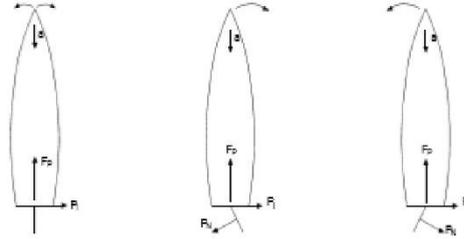


Foto 11: Arrancada atrás, máquina avante. [1]

Con el timón a la vía, el buque tendría una caída de la popa a la banda de giro de la hélice en la marcha atrás. A medida que se reduce la arrancada atrás por el empuje avante que produce la máquina avante, crece la presión lateral de la hélice que tiende a reducir la mencionada caída inicial, por lo que el buque a partir de ese momento mantendría la caída de la Pp a Br en una primera fase residual de la arrancada atrás, una segunda fase de equilibrio y otra posterior de acuerdo a la que le correspondiera como buque que parte de reposo. [1]

Con el timón a Er, la caída presumiblemente de la popa a Er mientras el buque mantenga la arrancada atrás ayudado además por la presión lateral de las palas que trabajan en el mismo sentido, pero cuando las corrientes de expulsión no se vean anuladas por los filetes de agua en contra y tengan plena incidencia sobre la pala del timón, la caída de la popa a Er irá reduciéndose se anulará y terminará obedeciendo plenamente al timón, o sea, la proa a Er. [1]

Con el timón a Br siguiendo los mismos planteamientos anteriores, la popa que caía decididamente a Br, con la acción de la presión lateral de las hélices girando en avante y las corrientes de expulsión incidiendo sobre el timón, la proa pasará de una caída rápida a Er. A fase de neutralización y finalmente a una decidida y clara caída de la proa a Br. Como pretendía la situación del timón. [1]

### Efectos combinados sobre buques de dos hélices:

Para todos los supuestos, se considerará que el timón está situado a crujía del buque, entre las dos hélices, y que estas giran hacia afuera.

En estos casos una hélice se equilibra con la otra no produciéndose alteraciones significativas por causa de su número, pasando a comportarse como si fuera un buque de una sola hélice, por lo que todo lo mencionada sobre aquellos es aplicable a los buques de dos o más hélices gemelas. [1]

#### Ciaboga en buques de una hélice:

La maniobra de ciaboga se aplica a los buques que deben cambiar su proa en un número importante de grados. En una zona de agua en que el diámetro de la curva de evolución normal del buque es superior al espacio transversal disponible. Es una de las maniobras más utilizadas con el uso exclusivo de las hélices y el timón, en dársenas de puertos comerciales, en ríos o zonas angostas, y por supuesto con obstáculos en la banda de caída. Analizamos una situación en la que decidimos emplear la maniobra de ciaboga, en dos casos, con caída inicial a estribor o a babor, pero ambos casos para un buque con hélice de giro a la derecha. [1]

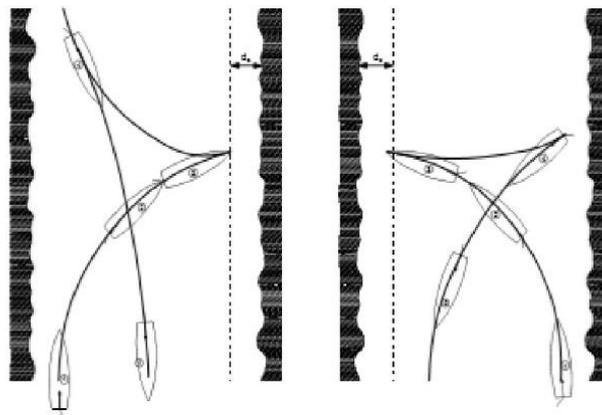


Foto 12: Ciaboga en buques de una hélice. [1]

En el primer caso procedemos con caída inicial a Er, aquí la maniobra consiste en:

El buque intentará situarse lo más próximo que le sea posible al límite (obstáculo) que tenga por su costado de Br a partir de ella meterá timón todo a Er con la máquina mínima que le permitirá efectuar la caída y controlar efectos de la corriente o viento de proa.

Cuando la distancia al límite (obstrucción) que tenga por Er, incrementada por una distancia adicional de seguridad, esté próxima a la distancia de parada necesaria para detener el buque con toda la máquina atrás y el avance que el buque consiga teniendo en cuenta la respuesta de máquina, se dará atrás toda, manteniendo todavía el timón metido a Er para aprovecharse de la existente presión normal sobre el buque mientras tenga arrancada avante. [1]

Una vez lograda la parada del buque se cambiará el timón a la banda de Br. para conseguir el efecto de la naciente presión normal del timón, cuando el buque inicie la arrancada atrás. Desde la orden de máquina atrás del punto anterior, la presión lateral de las hélices ayuda en el objetivo previsto de llevar la popa a Br. [1]

Cuando el buque tenga la proa orientada próxima o suficiente para iniciar el avance parará sus máquinas y podrá dar avante toda para retener la arrancada atrás y una vez conseguido esto pondrá el avance de máquinas que necesite para navegar en dichas circunstancias y el timón que precise para maniobrar según convenga, posiblemente a Er si todavía no alcanzaba el nuevo rumbo de salida (opuesto 180° al inicial). [1]

En el segundo caso, la maniobra de caer inicialmente a Br se ejecutará:

Como en el caso anterior se buscará una posición del buque que le proporcione la mayor distancia lateral por la banda de caída. Cuando deba iniciar la ciaboga, meterá todo el timón a Br con el régimen de máquinas que le permita controlar las necesidades de la maniobra, generalmente a velocidad reducida. [1]

Cuando el buque llegue a la distancia de parada más la distancia de seguridad por respuesta de máquina, invertirá sus medios de propulsión manteniendo el timón a Br.

A diferencia del supuesto de caída inicial a Er para la ciaboga, la presión lateral de las hélices no ayuda a la caída de la popa a Er, ni incluso con certeza cuando el buque, una vez detenida toda su arrancada avante, tenga el timón metido a Er ya que, en este caso, la respuesta atrás no es tan clara. Por tanto se podrán dar dos posibles caídas de la popa del buque, una marcadamente a Er y otra con muy poca o nula caída. [1]

El atrás continuará hasta la distancia que pueda ser controlada por la máquina avante, más una distancia de seguridad por respuesta de la máquina e imprevistos, en cuyo momento se dará avante, metiendo el timón todo a Br.

Si la caída de la popa a Er fuese considerable, el buque posiblemente el buque posiblemente pueda lograr la proa que le lleve a la salida, mientras que si la caída fuera escasa e insuficiente será necesario repetir los puntos 3 y 4 de este supuesto, con la orden de atrás toda a las máquinas y timón a Er, de forma que el buque consiga separarse del límite de obstáculos que tiene por la proa y finalmente dar avante con timón a Br. [1]

#### Ciaboga en buques de dos o más hélices:

Suponiendo un buque partiendo de reposo con giro de las hélices hacia el exterior en máquina avante, si deseamos realizar la maniobra de ciaboga, se ha de proceder de la siguiente manera:

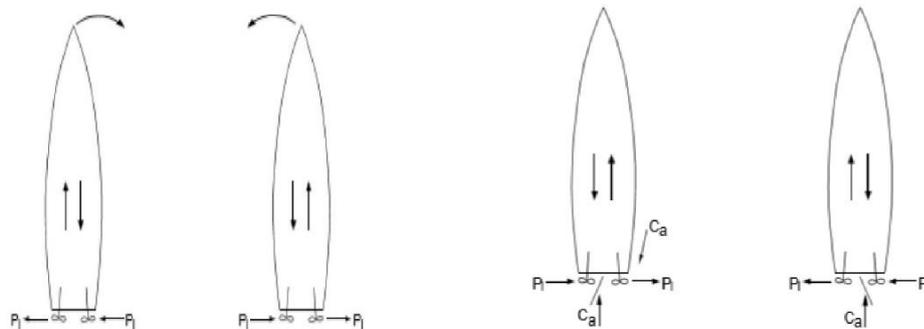


Foto 13 y foto 14: Ciaboga en buques de dos o más hélices. [1]

En los dos casos, caída a Er o Br, se aprovechará el par de giro que proporcionan las hélices girando una avante y otra atrás, según convenga para iniciar la caída a la banda seleccionada, y considerando la distancia de separación entre sus chumaceras de empuje que constituyen el brazo del par. [1]

Para caer inicialmente a Er, depondrá la de Er atrás y la de Br avante, mientras que para caer a Br, la hélice de Er irá avante y la de Br atrás.

En la ciaboga si metemos timón a una banda debemos proceder de la siguiente manera; partiendo de una situación de reposo, con timón metido a la banda por donde se quiere iniciar la caída, la corriente de aspiración de la hélice que va atrás, perturba la caída por chocar sobre el timón con caída contraria a la deseada, tanto en una banda como en otra; por ello el timón no ayuda a los objetivos de máxima eficacia, aunque en la

práctica, para disminuir la resistencia del timón con el desplazamiento lateral del buque, es conveniente meter unos  $10^\circ$  a la banda de giro. Por su parte, la presión lateral de las hélices en ambos casos, es favorable a la caída del buque hacia la banda pretendida. [1]

Con arrancada avante, la presión normal del timón correspondiente al ángulo de timón utilizado predomina sobre cualquier otro, y por tanto, resulta efectivo para aumentar la velocidad de la ciaboga. [1]

Suponiendo un buque con giro de las hélices hacia adentro en avante, con y sin timón, la maniobra a realizar consiste en iniciar la maniobra como si se pretendiera caer a la banda contraria de la deseada, y luego invertir el giro de las hélices una vez iniciada la caída, es decir, vencer la inercia inicial aprovechando la acción de la presión lateral de las hélices cuando favorece la caída deseada y luego continuarla con el par de giro de los empujes opuestos de las hélices. [1]

Mientras que otra solución consiste en considerar el buque como si fuera de una sola hélice, actuando las dos avante con timón a la banda deseada, y luego dar los 2 atrás obedeciendo siempre al timón. El inconveniente es el avante inicial que el buque consigue en la primera fase de la maniobra, lo que anula la posibilidad de hacer la ciaboga sobre su misma eslora. [1]

# Hélices y timones para la maniobra del buque.

## Hélice de proa

El tipo más común es el propulsor de túnel, que consiste en una unidad de hélice montada en el interior de un túnel transversal, en su parte media, que atraviesa la carena pudiendo estar situado dicho túnel en proa o en popa. La hélice es de paso fijo o paso variable operando en condiciones uniformes de flujo y con las puntas de las palas despejadas, de esta forma el ancho de las palas aumenta hasta los extremos de las palas y las pérdidas finales son eliminadas. La energía es suministrada por un motor eléctrico, aunque antiguamente funcionaban hidráulicamente. En el pasado, el control de la dirección y la velocidad se hacía con una alimentación de corriente continua y, mientras este sistema se hacía cada vez más impopular, las hélices fueron instaladas con un sistema de manejo de hélice de paso controlable. No obstante, a partir de los últimos años de los ochenta se desarrolló un sistema de control llamado *thyster*, que permite aplicar a los motores eléctricos de corriente alterna control sobre la velocidad y la dirección en las hélices transversales. Esto mejora la facilidad y la habilidad del propulsor para operar con igual efectos en una u otra dirección. [3]

Al accionar la hélice de proa, un motor eléctrico se pone en marcha, la hélice empieza a girar y crea una corriente de expulsión hacia una banda u otra para desplazar la proa en función de nuestra selección. Esto provoca un empuje hacia una de las bandas, similar a un remolcador empujando en la banda y a la altura donde se produce la aspiración. [5]

Las órdenes se dan considerando la banda donde se desea provocar la caída. Si deseamos trasladar la proa del buque a estribor, la corriente expulsada por nuestro propulsor transversal irá hacia babor desplazando así la proa a la banda opuesta. En caso contrario, se desear mover la proa a babor, la corriente del propulsor transversal irá direccionada a estribor.

La hélice de proa es de gran utilidad para la maniobra de atraque ganando en rapidez y especialmente en economía al evitarse el empleo de remolcadores, tanto para atracar como para desatracar.

Los buques que llevan hélices de proa, lo indican mediante un disco pintado en cada amura a la altura del túnel, en el que figura una hélice.

Se instalan propulsores (hélices) transversales en la proa o en la popa con el fin de mejorar la maniobrabilidad del buque. El propulsor transversal ubicado en la proa se le denomina hélice de proa y puede haber más de uno. Cuando está instalado próximo a la popa se le denomina hélice transversal de popa. [5]

Dependiendo del tipo de buque, el rango de aplicación para los propulsores transversales se extiende desde un uso breve y para atracar o desatracar en los puertos con un número limitado de horas de trabajo al año, hasta un funcionamiento continuado en condiciones extremas de carga y en demandas exigentes en alta mar con posicionamiento dinámico. [5]

Cuando se utilizan las hélices de paso fijo, los motores eléctricos e hidráulicos permiten que se invierta el sentido del empuje. Se requiere una caja de cambios adicional si la hélice está propulsada por un motor diésel.

Presenta estas ventajas esenciales:

- Para las condiciones extremas de trabajo, por ejemplo, en el sector off-shore
- Para servicio continuo y de tiempo limitado.
- Baja emisión de ruido
- Disponible con las hélices de paso variables o fijas
- Diseño compacto dada la disposición horizontal, vertical o inclinada de la brida de entrada de fuerza
- Combinable con motores diésel, hidráulica o eléctrica

En muchos buques la disposición está severamente restringida debido a la estrechez del lugar donde debe estar ubicada la planta propulsora.

Las limitaciones de potencia también están dadas en muchos grandes ferries debido a su escaso calado que hace que el túnel se encuentre muy cerca de la superficie.

Cuando nos referimos a la potencia de los propulsores debemos de tener en cuenta que la misma es la indicada cuando:

- a) Están sumergidos a la profundidad de diseño.
- b) La velocidad del buque sobre el agua es nula o hasta  $\frac{1}{4}$  de nudo.
- c) El buque se encuentra adrizado.

Cuando la velocidad del buque en el agua es grande se genera lo que se conoce como chorro pasivo. Sobre la banda de aspiración se generan dos zonas, una de depresión a proa del túnel y otra de presión a popa del mismo. Sobre la banda de expulsión sucede lo mismo pero al revés. Lo que implica que el chorro de expulsión no empuja sobre la pared de agua, sino que es desplazado hacia popa, convirtiéndose en un chorro pasivo que no genera ningún efecto. [4]

Podemos decir que un propulsor transversal, cuando el buque tiene una velocidad de 2 nudos, solo funcionará al 50% de su capacidad de empuje, y cuando la velocidad del buque sea superior a 4 nudos, el propulsor transversal no tendrá efecto. [4]

En los propulsores transversales de proa, por detrás del chorro de expulsión, se origina un fuerte campo local de baja presión, en tanto que por el contrario, en el chorro de entrada se forma una zona de sobrepresión de menor intensidad. [4]

La fuerza resultante de los citados campos de presiones actúa en contra de la dirección de empuje del propulsor transversal. De este modo sucede que, la potencia efectiva de empuje queda reducida y en el caso de velocidades de marcha de 4 nudos o mayor, se neutraliza totalmente. [4]



Foto 15 y foto 16: Hélice de proa y esquema de una hélice de proa. Fuente:

[http://i.dailymail.co.uk/i/pix/2008/11/23/article-1088688-028CF88D000005DC-401\\_634x433.jpg](http://i.dailymail.co.uk/i/pix/2008/11/23/article-1088688-028CF88D000005DC-401_634x433.jpg)

[http://www.ship-technology.com/contractor\\_images/ktr-kupplungstechnik/2-tunnel-thruster.jpg](http://www.ship-technology.com/contractor_images/ktr-kupplungstechnik/2-tunnel-thruster.jpg)

### Hélice de proa con túnel antisucción:

Últimamente han surgido innovaciones para este tipo de hélices, como el de la firma Schottel que posee un túnel antisucción a popa (A.S.T.: anti suction thruster). Este túnel equilibra las presiones a ambas bandas a popa de la hélice, permitiendo su utilización a mayores velocidades.

Según sus fabricantes la efectividad y rapidez de viraje del barco se puede mejorar entre un 40 a un 60% con el empleo de un A.S.T. Por tanto podrán instalarse propulsores transversales de potencias menores lo cual significará una reducción de las inversiones y de los costos de utilización.

El túnel antisucción une los campos de succión y de presión y compensa sus diferencias, es decir, la potencia de empuje del propulsor de proa se halla siempre disponible en su totalidad. Estas modificaciones permiten aumentar los rendimientos a velocidades ligeramente superiores a las de los propulsores convencionales, pudiendo tener efectos evolutivos (muy disminuidos) hasta velocidades de 6/7 nudos. [4]

### Uso de la hélice transversal de proa:

Son cuatro las posibilidades que debemos analizar:

#### 1.- Buque parado:

Cuando el buque está detenido y se aplica la hélice de proa, la proa cae hacia la dirección deseada, debido a un empuje generada por la fuerza del propulsor, multiplicada por la distancia del mismo hasta el punto pivote o punto de giro.

Pero ese movimiento de giro genera un pequeño avance de buque, producido por un flujo de agua alrededor de la roda que causa una zona de baja presión en la proa.

Si bien, dicho avance es muy pequeño, conviene tomarlo en consideración cuando se utiliza la hélice de proa para sacar la proa estando atracados a un muelle. [4]

#### 2.- Buque avanzado:

Cuando se usa la hélice de proa con el buque avanzado, la principal limitación es la velocidad sobre agua que puede estar desarrollando el buque.

Eso nos ilustra sobre la principal razón de la poca eficacia de una hélice transversal cuando se navega avante, en comparación con el ejemplo del buque que se encuentra detenido.

Mientras que el propulsor puede parecer muy útil para controlar el rumbo cuando se está avanzando a bajas velocidades, es claro que no puede cumplir eficientemente esa misión, pero, por otro lado, se convierte en una muy útil herramienta para producir, en conjunción con la máquina principal, movimientos laterales del buque. [4]

### 3.- Buque realizando un movimiento lateral:

Cuando se dispone de una hélice de proa, la maniobra resulta mucho más sencilla utilizando ambos medios. Consiste en aplicar cortas y potentes “patadas” de máquina con timón todo a la banda adecuada y empujando la proa con el propulsor transversal generando así un efectivo movimiento lateral. Esto es en particular muy efectivo en los buques grandes donde su gran inercia impide que tomen arrancada avante, permitiendo aplicar el movimiento lateral por más tiempo. [4]

En los buques monohélices es muy importante diferenciar hacia que banda se debe hacer la maniobra (si es movimiento lateral a babor o a estribor), ya que hay grandes diferencias entre ambas.

#### Desplazamiento a babor:

El movimiento lateral a babor debe ser iniciado con una potente pero corta patada avante, con todo el timón a estribor, al mismo tiempo que se aplica el propulsor transversal a babor, que contrarrestará cualquier indeseable tendencia de la proa a estribor. Es necesario saber equilibrar la fuerza de empuje de la hélice de proa con la fuerza lateral que genera el timón. [4]

#### Desplazamiento a estribor:

En el caso de tener que provocar desplazamientos del buque a estribor, lo que debe hacerse es posicionarlo inicialmente, tan próximo al muelle o sitio de atraque, como sea posible y evitar tener que dar atrás con grandes potencias y/o largos periodos. [4]

#### 4.- Buque retrocediendo:

En estas condiciones el propulsor de proa es realmente eficiente.

La hélice de proa aquí está siendo usado para gobernar el buque y lo que pueda hacer en forma muy eficiente, por lo tanto no se debe dudar en emplearlo, pero habrá que tomar en cuéntalo siguiente:

- Es aconsejable comenzar aplicando una potencia pequeña para luego ir aumentándola si fuera necesario.
- Las respuestas al gobierno serán perezosas notándose que las tendencias de caída tardarán en ser controladas.
- Es preferible aplicar el propulsor a proa con poca potencia largo tiempo, antes que grandes potencias por cortos períodos.
- Cuando con puente a popa se mira hacia tras se pierde la sensación de caída del buque, por lo que se deberá estar controlando permanentemente la proa para evitar que una caída indeseada adquiera arrancada.

A veces la demora que puede tener la hélice de proa en comenzar a actuar o su poca potencia pueden impacientarnos e incitarnos a aplicar la máxima potencia, que sólo hará enloquecer al buque dificultando su gobierno.

No es prudente dejar que el buque se aparte demasiado del curso que se desea seguir, lo aconsejable es actuar de inmediato ante una caída incipiente. En alguna etapa del retroceso será necesario aplicar la máquina atrás. En este caso, deberemos adelantarnos a la caída de la proa que seguramente se provocará, aplicando la hélice de proa antes de que se inicie. [4]

Es por ello que hay maniobras en zonas especiales que los prácticos prefieren hacerlas retrocediendo hacia el muelle en lugar de encararlas de proa.

Retroceder con un buque dentro de un canal es una maniobra que, con la utilización correcta de la hélice de proa, puede realizarse sin mayores problemas, siempre y cuando, no se permita al buque llegar a situaciones comprometidas.

Cuando el buque entra de popa al canal y se encuentra perfectamente ubicado con su proa recostada sobre babor tendrá un buen margen de caída a estribor para cuando se aplique la máquina atrás.

Cuando la hélice de proa se emplea demasiado tarde o sin la suficiente fuerza la popa terminará situándose en el centro del canal. Si el propulsor transversal siguiera aplicándose para corregir esta situación, el efecto lateral indeseado de la hélice, sumado al propio, provocaría un movimiento lateral hacia babor que debe ser absolutamente evitado.

Debemos de corregir el rumbo, y la mejor manera de corregir la mala posición es usando la hélice transversal de proa con toda su capacidad de empuje con el fin de trasladar la popa hacia el centro del canal, sobre todo si la máquina sigue dando atrás.

La combinación de la hélice de proa y el efecto lateral indeseado de la hélice, originan un desplazamiento lateral a babor, produciendo una deriva cada vez mayor hacia babor. Esta tendencia puede ser más notable en buques de gran tonelaje donde costará bastante anular la energía cinética acumulada en el movimiento lateral.

El buque podría ya estar muy próximo al borde del canal y no tener espacio suficiente en la amura de babor para mover la proa y poder direccionar la popa hacia el centro del canal.

Al haber perdido espacio de maniobra, y hallarse ya recostado sobre el borde, aparentemente, el buque estaría imposibilitado de salir de esa situación retrocediendo. Solo le quedaría separar la proa con la hélice de proa y con patadas adelante y ubicarse nuevamente en una posición más hacia estribor del eje del canal. [4]

Para no caer en esta situación se debería tener lo presente lo siguiente:

- Imprimir rápidamente una arrancada atrás y luego mantenerla permanentemente. Esto disminuirá los efectos de la deriva o movimiento lateral, los cuales se incrementan a muy bajas velocidades o cuando se permite que el buque se detenga.
- Utilizar las pequeñas patadas avante para reposicionar la popa puede hacer perder la arrancada que traía atrás y se deberán aplicar grandes potencias retrógradas para volver a lograrla, con el consiguiente desgobierno de la popa. Las patadas avante se deberían usar con mucha moderación.
- No se debería efectuar la maniobra si el viento reinante pudiera superar fácilmente el efecto del propulsor transversal.

- Una vez que el buque tomó arrancada atrás en orden de mantener muy bajo el efecto lateral indeseado de la hélice, se deberá disminuir al mínimo o parar la máquina hasta que sea necesario nuevamente su utilización.
- Llevar la popa a estribor todo lo posible para que, cuando se aplique la máquina atrás, tenga suficiente espejo de agua de babor.
- Vigilar atentamente el rumbo usando la hélice transversal energicamente para mantener el gobierno y mantener la popa en la posición y rumbos deseados. Si se logra eso, la proa la seguirá. No se puede negar que una buena medida de precaución en esta maniobra es tomar un remolcador que lo pueda asistir, posicionando la popa, mientras con el propulsor se controla la proa. [4]

Cuando queramos atracar nuestro buque retrocediendo, se debe de proceder a maniobrar de la siguiente manera:

Como el buque está yendo atrás, como resultado del empuje transversal indeseado de la hélice, la popa irá describiendo un amplio arco. Esto, en términos prácticos significa que el buque entero a proa del punto de pivote está cayendo a estribor mientras se está dando atrás.

Manteniendo la popa tan cerca del muelle como la seguridad lo permita, el rabeo de la proa irá poniendo al buque paralelo al mismo, sin alejar demasiado la popa.

Este ángulo del buque con respecto al muelle puede ser corregido con la hélice de proa. Una de las ventajas de ir al atraque por popa es la gran potencia disponible con la máquina adelante, con la cual es fácil de corregir una aproximación al muelle muy rápida o una inadecuada posición de la popa. [4]

Si la popa se ha acercado demasiado o la arrancada atrás es muy grande, saldremos fácilmente de esa situación con timón a estribor y una potente parada de máquina avante. Recuérdese lo visto anteriormente, tener la popa alejada del muelle es sumamente imprudente y debe evitarse a toda costa porque es prácticamente imposible volver arrimarla dando máquina atrás, especialmente si sopla alguna brisa desde tierra. [4]

Si la popa está en posición y la proa no está lo suficientemente cerca del muelle, un adecuado uso del hélice de proa permitirá remediar esa situación, porque si el buque

está detenido o con ligera arrancada atrás, y el propulsor de proa es usado, el buque rotará sobre el punto de pivote que estará ubicado a popa de la sección maestra, o sea que trabajará con un excelente brazo de palanca. Si esto provocara que la popa se alejara algo del muelle, ello podría contrarrestarse con los largos de popa. [4]

## **Timones y propulsores especiales para la maniobra.**

En los años sesenta, relativamente en todos los buques mercantes se comenzó con la instalación de unidades de propulsión transversal, principalmente para la asistencia en la maniobra del buque en aguas restringidas, así como para la operación de atraque o desatraque. El crecimiento de la industria petrolífera en el mar del norte hizo incrementar la necesidad de las hélices transversales para aquellos buques que tenían dificultad de mantener la posición en condiciones meteorológicas adversas, mientras se trabajaba de costado a las plataformas de extracción de petróleo.

De esta manera los buques comenzaron a ser equipados con propulsores y timones de diferentes diseños y propiedades que fueron evolucionando desde un simple propulsor transversal a sistemas y equipos más complejos que relacionaban ya no solo el concepto de la hélice sino que encontraba en sus diseños la colaboración de hélice y timón.

A continuación expongo una relación de hélices y timones especiales:

### Timón Schilling:

Es un timón con un perfil de forma especial que lleva incorporadas unas placas de cierre en los cantos superior e inferior de la placa con el objeto de evitar el paso transversal del flujo de un lado a otro. Aumentando así de esta manera la relación de alargamiento efectiva y en consecuencia la fuerza en el timón.

La forma especial del borde de salida, del tipo cola de pez, mejora la maniobrabilidad en adelante y en la ciaboga. El ángulo de caña puede llegar a ser de 75° y puede aumentar la fuerza transversal hasta en un 30% más que en los timones convencionales. El par en la mecha también incrementa y puede resultar que las características propulsivas del buque se vean algo deterioradas por el aumento de resistencia que producen el grueso del perfil y las placas de cierre.

Este sistema se caracteriza por constar de un par de timones por cada hélice, lo que conlleva una serie de importantes modificaciones en lo que respecta a diseño, operación y maniobra.

Los buques equipados con timones Schilling están dotados de hélices de paso fijo que giran siempre en un sentido, marcha adelante. En estos buques se puede detener la hélice, pero no invertir su marcha.

Para los propósitos de la maniobra, los mejores rendimientos se logran generalmente con el buque a muy baja velocidad pero con las revoluciones por minuto que corresponden a toda fuerza avante. Estas revoluciones pueden ser disminuidas para evitar indeseados remolinos, adecuando las rotaciones a la velocidad deseada dentro de un umbral mínimo.

Ubicados directamente a popa de la hélice, se encuentra el par de timones, cada uno puede girar  $145^\circ$ , desde  $35^\circ$  a una banda y hasta  $110^\circ$  hacia la otra.

Estos timones no operan independientemente, sino que lo hacen sincronizada y armónicamente, controlados mediante joystick que inclinamos hacia la dirección a la que deseamos mover el buque.

Adelante a la vía-

Se logra con el joystick totalmente inclinado hacia adelante. Si deseamos ir perdiendo arrancada avante, además de bajar las revoluciones por minuto, se puede ir levantando el joystick. A medida que hagamos esto, ambos timones comenzarán a adquirir un ángulo hacia afuera, abriendo en abanico la corriente de expulsión. De esta forma se irá reduciendo la velocidad del buque.

Virada por avante a babor-

Se coloca el joystick todo hacia adelante y a babor. El timón de estribor alcanza los  $35^\circ$  y el de babor  $70^\circ$ . Esta posición brinda un excelente diámetro evolutivo, particularmente a bajas velocidades.

Atrás-.

Se logra con el joystick inclinado totalmente hacia atrás, y equivale a máquina atrás. Los timones giran  $110^\circ$  hacia afuera, cerrando el paso de la corriente de expulsión que lanza la hélice, desviando la misma unos  $180^\circ$ .

Si en cambio se desea el “para” (stop), sin la detención de la hélice, se deberá ajustar el paso de la corriente de expulsión a través de los timones con lo que es desviada hacia proa, para permitir igualar los empujes hacia proa con los de popa.

Atrás llevando popa a babor-.

En esta ocasión, el joystick se inclina hacia la aleta de babor y la corriente de expulsión genera un empuje resultante de la popa a babor.

El sistema consiste en dos timones de movimiento independiente, colocados en la popa de una tobera fija dentro de la cual gira la hélice. Al combinar los dos timones se puede dirigir el chorro de expulsión en la dirección deseada, mientras que la hélice gira con las mismas revoluciones y siempre en el mismo sentido.

El distancia de parada con el sistema de timones gemelos Schilling es mucho menor que en los buques provistos de sistemas convencionales de gobierno y con inversión de marcha del propulsor. Esto es debido a la resistencia que ofrecen las dos palas de los timones al abrirse hacia las bandas frenando la marcha avante, a la vez que al chocar el chorro de la hélice en ambas palas, es reflejado hacia proa originando una fuerza en este sentido contrario al movimiento del buque. Al mismo tiempo que se consigue parar el buque se puede hacer caer la popa a la banda deseada accionando los timones convenientemente. [3] [4] [5] [6]

#### Turbohélice Castoldi Jet:

La turbo hélice de tipo Castoldi posee un sistema de transmisión conectada al eje del motor mediante un embrague de piñones, así transmite su giro a una turbina situada en una tobera a popa. El movimiento giratorio de la turbina aspira agua del mar a través de unas rejillas del fondo de la embarcación, acelerando el fluido e impulsando el agua a gran velocidad por la tobera, generando de esta manera empuje.

Este sistema permite evolucionar el buque sobre su eje accionando simultáneamente el brazo giratorio y el timón, formado por dos palas entre las cuales pasa un chorro de agua de expulsión, dirigiéndolo en cualquier dirección permitiendo evolucionar la embarcación en el mínimo espacio y con la mínima fuerza del motor. [5]

#### Sistema de Timón-Tobera Kort:

Consiste en una hélice suspendida de un eje vertical en sistema ángulo recto. Fijo al eje hay una tobera dentro de la cual gira la hélice y todo el conjunto puede girar 360° sobre dicho eje vertical. Con este giro se consigue dirigir el chorro de la corriente de expulsión en la dirección deseada, dando una gran maniobrabilidad al buque, pudiéndolo desplazar en todos los sentidos.

Este sistema se emplea especialmente en remolcadores de puerto, aunque también se instala en remolcadores de altura, y debido a la gran potencia que puede desarrollar unido a su gran maniobrabilidad, resulta de utilidad en las maniobras de los Very Large Crude Carrier, también conocidos como súper petroleros.

Muchos buques tienen sus hélices instaladas en el interior de toberas.

La tobera logra su objetivo debido a dos efectos:

Al ser su parte interna convergente a proa de la hélice y divergente a popa de la hélice, la corriente de aspiración se acelera produciendo una disminución de la presión, mientras que, pasando el disco de la hélice, se desacelera produciéndose un aumento de la presión, con el consiguiente incremento del rendimiento.

Debido a que la periferia de la hélice se encuentra muy próxima al interior de la tobera, se minimizan las turbulencias que allí se producen y que le restan un considerable rendimiento a las hélices.

Las toberas son más efectivas a bajas velocidades y altas cargas. Debido al incremento de la presión que se genera en la corriente de expulsión, mejora las condiciones evolutivas del buque aumentando la respuesta del timón a pequeños ángulos de metida. Consecuentemente el control del rumbo a bajas velocidades es mucho más efectivo. [4] [5]



Foto 17 y foto 18: Timón-Tobera Kort. Fuente: <http://www.fairplay-towage.com/files/fairplay-ix-dock-kort-duese.jpg> [http://img.nauticexpo.es/images\\_ne/photo-g/tobera-helices-buques-30793-178565.jpg](http://img.nauticexpo.es/images_ne/photo-g/tobera-helices-buques-30793-178565.jpg)

### Sistema Kamewa:

El sistema de hélice de paso controlable Kamewa permite hacer girar las palas sobre un eje vertical dándole el paso requerido en un sentido o en otro o dejándolo anulado girando las palas de la hélice como un disco. El motor gira siempre en el mismo sentido y permanece en marcha constantemente.

El funcionamiento, de una forma muy simplificada, consiste en un mecanismo instalado en el puente consistente en un control de velocidad. El primero acciona un circuito hidráulico haciendo mover a voluntad las palas de la hélice y el segundo, el control de velocidad actúa sobre el regulador del motor aumentando o disminuyendo las revoluciones.

Al actuar sobre la palanca de control de paso, el pistón se desplaza y abre la válvula introduciendo el aceite a mucha presión en el cilindro y desplazando el émbolo. El vástago del émbolo está unido a una palanca la cual al girar actúa haciendo desplazar el vástago, abriendo el paso del aceite de la válvula que actuará sobre el émbolo.

Al desplazarse el émbolo se introducirá el aceite a presión haciendo desplazar el émbolo y abriendo la válvula el aceite pasa al pistón al quedar abierta la galería por el movimiento del vástago.

Cuando entra el aceite a presión el pistón vence la resistencia de un resorte y se desplaza accionando sobre el bulto, lo que hace girar la pala en un sentido o en otro según el paso deseado. [5]

### Timón articulado o timón “Becker”:

Existen buques equipados con timones compensados que, montados sobre su arista de escape tienen un timón abisagrado. Este timón emplea un flap sujeto por bisagras en la popa del timón que gira en la misma dirección del timón cuando se da una orden de timonel y añade arco a la sección del timón, lo que aumenta considerablemente su empuje transversal en ángulos pequeños de timón. Es un timón compensado con el eje de giro más a popa que los timones convencionales. El flap adopta un ángulo doble del girado por el timón principal por medio de una articulación relativamente sencilla montada sobre una estructura fija al casco, lo que permite cambiar la dirección del chorro de la hélice. La variación de cantidad de movimiento se traduce en una fuerza transversal que puede llegar a ser del orden del 70 al 90% mayor que el que genera un timón convencional.

Además, el timón en su arista de ataque puede llegar a poseer un rotor vertical, al que se le aplicará un giro en un sentido u otro, de acuerdo con la banda donde haya sido cargado el timón. Este rotor se denomina rotor fletcher. El cilindro, al rotar, arrastra el fluido en la dirección de su giro, produciendo una aceleración en uno de sus lados y, de acuerdo con el principio de Bernoulli, una zona de bajas presiones, mientras que en el lado opuesto se produce una zona de alta presión. [1] [3]



Foto 19: Timón Becker (Timón articulado). Fuente: [http://img.nauticexpo.es/images\\_ne/photo-g/timon-aleta-buques-30793-178335.jpg](http://img.nauticexpo.es/images_ne/photo-g/timon-aleta-buques-30793-178335.jpg)

### Sistemas Omnidireccionales eléctricos:

El concepto se basa primariamente en la generación de energía eléctrica para alimentar motores eléctricos de corriente alterna, colocados dentro de carcazas estancas ubicadas bajo la línea de flotación y que pueden orientarse en todas las direcciones. Estos motores eléctricos están acoplados directamente a las hélices.

El sistema Azipod (azimutal, receptáculo), es un sistema que cuenta con una sola hélice ubicada a proa del receptáculo. El motor de corriente alterna mueve una hélice de paso fijo que se encuentra acoplado directamente a su eje.

El sistema Siemens-Schottel cuenta con dos hélices, una a proa y otra a popa del receptáculo, montadas sobre el mismo eje.

Estos sistemas ofrecen un gran número de ventajas:

- a) Aprovechamiento más racional de la energía generada

Los buques modernos necesitan energía para propulsar el buque en navegación y contar con los servicios básicos durante la misma, además requieren de energía en puerto para operaciones de carga y descarga, y para las maniobras de atraque y desatraque.

- b) Eliminación del timón y del servomotor

Este sistema combina la propulsión con el gobierno, ya que el buque es direccionado a través de chorro de expulsión de las hélices, que pueden posicionarse en cualquier dirección horizontal.

- c) Recuperación de espacios físicos del buque

El sistema puede ser ubicado en cualquier lugar del buque, permitiendo un mejor aprovechamiento de los espacios.

- d) Notable mejoramiento de las cualidades evolutivas

El poder direccionar el chorro de expulsión de las hélices en cualquier sentido incrementa notablemente las cualidades de maniobra del buque y reduce significativamente las distancias y tiempos de detención, mejorando sensiblemente el gobierno con máquina atrás.

e) Simplificación y estandarización de la planta propulsor

Se reduce sustancialmente la variedad de mecanismos. [4]



Foto 20: Propulsor Siemens Schottel. Fuente:

[https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c2/Siemens\\_Schottel\\_Propulsor.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c2/Siemens_Schottel_Propulsor.jpg)

#### Timón múltiple o en persiana:

Este sistema fue creado para mejorar las cualidades de maniobrabilidad asociadas con una tobera fija, las cuales son algo inferiores a las de las hélices convencionales. Este dispositivo consiste en varios timones, normalmente tres, emplazados a popa de la tobera y a veces está complementado por dos timones a proa de la tobera. Los timones son de relación de alargamiento elevada y su eficiencia conjunta es superior a la del timón cuya área sea la suma de los tres, pero con relación de alargamiento convencional. El problema del desprendimiento de flujo que surge en timones altos y estrechos desaparece debido a las interferencias mutuas entre cada timón y su adyacente. De esta forma puede alcanzarse grandes ángulos de caña con una elevada fuerza de gobierno. Los timones de proa sirven para mejorar la maniobrabilidad en la acción de ciaboga. [1] [6]



Foto 21: Timón múltiple o en persiana. Fuente: <http://www.marinelog.com/IMAGESMMIII/islmon5.jpg>

### Timón con cilindro rotatorio:

Este tipo de timón incorpora a su diseño un cilindro vertical sobre su extremo de proa que se puede girar en cualquier dirección por medio del mecanismo de gobierno y del propio movimiento de acción del timón. Cuando el timón es puesto todo a estribor el cilindro se mueve alrededor de sí mismo girando en sentido opuesto a las agujas del reloj, visto desde arriba, para acelerar el flujo en el lado de baja presión mientras se reduce el flujo en el lado puesto. El cilindro rota en el sentido de las agujas del reloj cuando el timón es puesto todo a babor, en este caso, el movimiento circulatorio del agua realza el flujo asimétrico y de esta manera incrementa la fuerza transversal inicial en pequeños ángulos de timón.

Diversos proyectos han concluido en el desarrollo de un dispositivo consistente en un cilindro giratorio acoplado al borde de entrada del timón. Dicho cilindro es accionado eléctricamente a través de un eje flexible que se conduce por el interior de una mecha hueca.

La rotación del cilindro imparte energía cinética a la capa límite, retardando el desprendimiento y en consecuencia, pudiendo alcanzar el timón ángulos de caña muy elevados sin pérdida de eficacia. Evita el desprendimiento de flujo de los laminares y corriente de expulsión de la hélice sobre la pala del timón, incluso en ángulos muy superiores a los 35°. Se acopla al timón convencional constituido por un cilindro giratorio en el borde de entrada de la pala del timón, cuya velocidad tangencial es de 0,7 a 1,5 veces la velocidad del agua que llega a la zona del timón, produciendo energía cinética a la capa límite y retardando el desprendimiento. Su objetivo es evitar el desplazamiento del fluido en ángulos de timón elevados (hasta 90°). Requiere potencias pequeñas y su hipotética avería no modifica la maniobrabilidad, pues el timón actúa como ordinario en navegación a velocidad de servicio.

Este mecanismo tiene buen comportamiento hasta en ángulos de 90°, siendo más notables estos resultados a bajas velocidades. Cuando el buque navega a velocidad de servicio el cilindro no gira y el timón opera de manera convencional. [6]

### Timones activos:

El Timón activo, consiste en una pequeña hélice en tobera accionada por un motor eléctrico sumergible que se encuentra dentro de un bulbo adosado al timón y está alineada con la principal línea de ejes en el canto de salida de la pala del timón, cuya acción provoca una corriente de aspiración que necesariamente debe circular lamiendo la estructura del timón, lo que viene a sustituir la carencia de flujos laminares de agua cuando el buque se encuentra parado o con velocidades muy bajas. La mecha debe de ser hueca para permitir el paso de los cables del motor eléctrico y el servo puede girar hasta 70°. Al meter la caña, la fuerza adicional generada por la pequeña hélice es muy efectiva para el gobierno del buque, sobre todo a bajas velocidades. Se diferencia de los timones de alto rendimiento, en que un timón activo no está diseñado para operar a máximas velocidades. Hay un límite para la potencia de salida de la hélice auxiliar y si la velocidad del flujo es excesiva, controlará la hélice propulsora, girando en otra dirección y la hélice propulsora se recargará. Esto simplemente creará una resistencia extra, disminuirá el flujo de velocidad sobre el timón y probablemente dañara el motor hidráulico de la hélice.

Un ejemplo de clase de buque equipado con uno de estos tipos de timones es el buque cablero de una sola hélice, con una velocidad máxima de 13 nudos. El equipo de control del timón activo está integrado con la corredera, de esta manera el timón se apaga cuando el buque supera los seis nudos de velocidad. El buque puede, sin embargo, mantener el rumbo de gobierno del buque a bajas velocidades inferiores a un nudo con marejada de proa si la hélice de timón está operativa. Por el contrario, sin el timón activo el gobierno del buque será complicado de mantener a velocidades inferiores a tres nudos.

Los timones activos como el del buque cablero, fueron incorporados dentro un sistema de control íntegro que combinaba la hélice de paso controlable con un azimut retráctil, que puede rotar 360°, una hélice de proa y un timón que puede rotar 90°. Si por el contrario el ángulo del timón excede de 35°, el sistema automáticamente configura el paso de la hélice a cero con el fin de prevenir la exposición del montaje del timón a la fuerza de la aceleración avante. El timón activo fue diseñado en una primera ocasión para actuar como un propulsor semiazimutal en la popa del buque para las maniobras

delicadas a baja velocidad durante las operaciones submarinas de reparación y colocación de cables.

El timón activo más conocido es el timón Pleuger, que posee una ventaja adicional respecto a otros timones; mejora no sólo la maniobrabilidad sino también el comportamiento propulsivo del buque.

La potencia suministrada a la hélice auxiliar puede ser usada también como complemento de la propulsión principal, y los fabricantes del sistema aseguran que el rendimiento del conjunto es superior al de la hélice principal sola, es decir, que se obtiene una mayor ganancia de velocidad fraccionando la potencia total entre dos propulsores. [1] [3] [6]

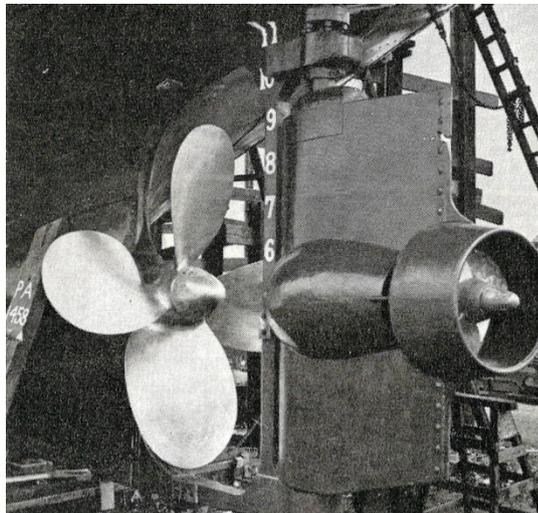


Foto 22: Timón activo. Fuente: [http://www.motorship.com/\\_\\_data/assets/image/0004/627358/pleuger.jpg](http://www.motorship.com/__data/assets/image/0004/627358/pleuger.jpg)

#### Propulsores de eje vertical o cicloidal:

El propulsor cicloidal o de eje vertical es una alternativa a la hélice convencional y al timón que otorgan propulsión, gobierno y maniobrabilidad a baja velocidad. Estos propulsores son conocidos normalmente como propulsores Voith Schneider o Kirsten Boeing y consisten en un disco con un movimiento rotacional a velocidad constante con cuatro o más palas largas verticales colocadas alrededor de una circunferencia. Cuando las palas verticales de metal se mueven alrededor de la circunferencia con el disco de rotación, también giran sobre su eje por medio de unas barras telescópicas para producir un ángulo de paso cuando el buque se mueve en la dirección deseada con el impulso generado. Las palas de la hélice son del tipo pluma para otorgarle un

ángulo de ataque cero cuando se está moviendo en línea con el empuje. Los extremos interiores de los brazos telescópicos siguen un anillo de control que puede ser desplazado desde el centro del disco para producir la dirección de empuje y la potencia requerida. Los propulsores cicloidales actúan de forma similar a los remos de un bote, moviendo y girando un solo remo atrás y adelante en la popa.

Los buques se encuentran normalmente equipados de manera que disponen de una unidad cicloidal en popa y otro en proa. La máxima velocidad de gobierno se logra cambiando la dirección del empuje de la unidad de cola, de esta manera no hay timón. Las unidades de propulsión cicloidal (Voith Schneider) pueden ser empleadas como hélices direccionales para operaciones de maniobra a baja velocidad de esta manera el sistema adquiere gran versatilidad. Su potencia y su eficiencia por el contrario están bastante limitados, ya que cada pala del propulsor produce solo un empuje equivalente a dos porciones pequeñas de su ciclo de rotación, por lo que el propulsor cicloidal no es tan eficiente como la hélice de tornillo. Los propulsores Voith Schneider son instalados y usados particularmente por remolcadores de puerto para las operaciones portuarias de remolque, y por los ferries de pasajeros, facilitándoles las maniobras de atraque y desatraque en muelle, y otorgándoles más velocidad de respuesta y acción en el servicio.

El empuje se crea por la rotación de un disco, con palas verticales instalados alrededor de su propia circunferencia. Las palas son mecánicas y giran sobre su propio eje, estando instaladas en el extremo de unos brazos rígidos y telescópicos, lo que genera un empuje cuando se mueven perpendicularmente al flujo resultante. Los extremos internos de los brazos telescópicos giran alrededor de un anillo de control que tiene un dispositivo de compensación ajustable de la longitud y ángulo de cada brazo, en el centro del disco. La dirección y el grado de esta compensación determinan la dirección del empuje y la cantidad. [3]



Foto 23: Hélice Voith Schneider (Hélice Cicloidal). Fuente:

[http://dccorp.resource.bosch.com/media/general\\_use/industries\\_2/machinery\\_applications\\_and\\_engineering/marine/products\\_and\\_solutions\\_3/voith\\_schneider\\_propeller/Voith-schneider-propellers\\_bosch-rexroth\\_w496.jpg](http://dccorp.resource.bosch.com/media/general_use/industries_2/machinery_applications_and_engineering/marine/products_and_solutions_3/voith_schneider_propeller/Voith-schneider-propellers_bosch-rexroth_w496.jpg)

### Timones-hélices o azipods:

Los timones-hélices gemelos utiliza unidades de propulsión azimutales como propulsión principal para el buque. Este tipo de propulsores ha sido empleado durante un tiempo en algunos remolcadores de altura para ayudar a buques, pero ahora ha comenzado a incrementar su uso en buque de gran eslora, como las nuevas generaciones de cruceros.

Los propulsores azimutales pueden producir empuje en cualquier dirección, siendo una alternativa a las hélices de túnel transversal. Son propulsores frecuentemente instalados en el fondo del buque que se sienta sobre el mar, en el extremo de una prolongación vertical hacia abajo que puede rotar 360°. La energía es suministrada por un motor eléctrico situado en el interior del buque, de esta manera un eje vertical que sale desde el propulsor a través de una prolongación vertical atraviesa el casco del buque y se acopla al motor eléctrico. La velocidad y la dirección que se le da al propulsor azimutal se logran gracias al empleo de una hélice de paso controlable. Actualmente algunos buques reemplazan el sistema convencional de hélice y timón con dos o tres propulsores azimutales instalados en la popa, de esta manera el gobierno del buque y la dirección se logra rotando los propulsores azimutales.

Tienen la ventaja y la capacidad de poder dirigir el empuje efectivo en cualquier ángulo a proa o popa del buque. El buque puede también desplazarse lateralmente o rotar alrededor de sí mismo, si además de los timones-hélices gemelos cuenta con la

instalación de una hélice transversal de maniobra a proa le permitiría usarlo para obtener empuje lateral.

La energía y potencia de transmisión que llega a los propulsores azimutales lo hace a través de la unidad de transmisión mecánica Z donde el eje de la máquina principal acciona un eje vertical, colocado en el interior de la estructura vertical del azimut, a través de unos engranajes cónicos mientras que un engranaje similar dispuesto en el fondo del eje vertical acciona el eje del propulsor. Este sin embargo es un sistema complejo, ya que debe permitir controlar la potencia y la dirección de empuje, así que suele ser más común que el propulsor sea accionado por un motor eléctrico de velocidad variable. Debe ser instalado en la parte superior de la unidad azimutal, dentro del casco, pero este dispositivo todavía consiste en los engranajes cónicos y en un eje vertical instalado en el interior de la estructura vertical. Es más común encontrar buques dónde el motor se encuentra instalado en un módulo carenado junto a la hélice, lo que se conoce como módulo de propulsión. Esto es a lo que llamamos azipod, que funciona con energía eléctrica transmitido al motor a través de unos anillos colectores, y que nos permite gobernar el buque rotando el azipod.

El azipod está diseñado para darle un aspecto similar al del timón convencional, lo que aportará ayuda en la fuerza de giro, y tenderá a dirigir el flujo orientándolo al disco del propulsor cuando el buque está cambiando de rumbo. La popa está diseñada con una aleta estabilizadora instalada entre los dos azipods para mejorar la estabilidad en el gobierno del buque cuando se está navegando. [3]



Foto 24: Hélice Azimutal. Fuente: [http://www.motorship.com/\\_\\_\\_data/assets/image/0009/726561/AZIPOD6\\_hi-2.jpg](http://www.motorship.com/___data/assets/image/0009/726561/AZIPOD6_hi-2.jpg)

### Propulsor a chorro tipo Gill:

El jet Gill es un propulsor azimutal que trabaja diferente, y que está instalado en el casco. Un túnel con forma de T se instala en el casco del buque, en la proa o en la línea central de la popa. Esto dirige el impulso en cualquier dirección en la que el plato de Gill desee. La corriente de impulso tiene componente descendente y dirección horizontal por lo que parte de la energía se disipa.

Este tipo de propulsor está instalado en el forro, en el fondo del casco del buque, de esta manera la succión y la descarga tiene lugar en el fondo, en la plancha del forro exterior del casco. El agua se extrae y se descarga por medio de un propulsor a través de una paleta directora estática, en el interior del túnel hay instalada una bomba que impulsa agua a alta velocidad a través del túnel horizontal-transversal (forma de T) para ser forzado a salir por las paletas en el fondo del casco del buque. La paleta directora elimina los remolinos y el agua sale al exterior en forma de chorro a través de un deflector giratorio de 360°. El deflector tiene paletas curvadas, asemejándose en su diseño a la sección de una tobera de turbina, y produciendo un chorro horizontal de agua. El deflector es accionado para la rotación, por un eje de dirección que pasa a través de un prensaestopas. A su vez es controlado y manejado desde el puente del buque.

El propulsor Gill no necesita de un diseño inverso, pensado como para las máquinas de adelante y atrás. En este sentido, el diseño es más moderno, permitiendo el empuje en cualquier dirección, siendo su accionamiento vertical u horizontal, dependiendo del diseño de la unidad propulsora instalada. [2] [3]

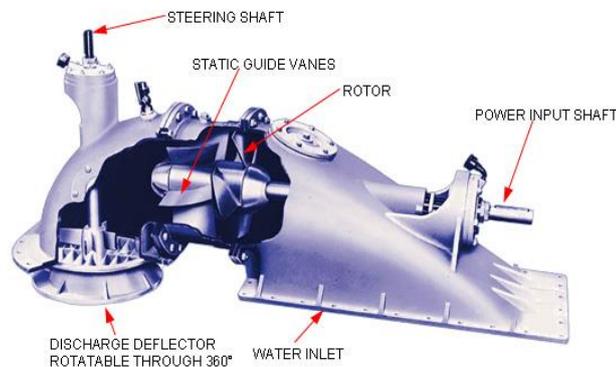


Foto 25: Propulsor Gill. Fuente: <http://www.teesgillthrusters.com/userfiles/image/hjp-cut-away.jpg>

### Otros tipos de timón:

Son diversos los tipos de timón que si bien por su aceptación en ciertos tipos de buques o por la originalidad de su diseño merecen ser considerados destacando:

- Timón Kitchen, regula el gobierno, la velocidad y la marcha atrás. Está constituido por dos conchas giratorias alrededor de un eje, con el que gira solidariamente. Actúa como tobera timón y al abrirse y cerrarse dan la marcha adelante y la marcha atrás, al mismo tiempo que, según gire el sistema, dan un empuje lateral que permite evolucionar el buque.
- Sistema Navyflux, es un sistema que actúa como timón auxiliar consistente en un túnel situado en el bulbo de proa, con salidas laterales que se cierran o abren a voluntad, cuyo flujo hace caer la proa a voluntad. Además si se abren las dos salidas provoca una resistencia adicional de freno. En situación de buque en reposo, dispone de una hélice a proa del túnel que aspira agua y la lanza por la salida abierta.
- Timón de varias palas o alerones, consistente en dos pequeñas palas de timón auxiliares, unidas al timón principal a modo de tangones. Cuando el timón está en la posición central estos alerones-timón se encuentran exactamente en la estela de las hélices.
- Timones múltiples o timón Towmaster, consistente en varios timones (normalmente tres) situados a popa de la tobera, de elevada relación de alargamiento (del orden de tres) y su eficiencia conjunta superior a la del timón cuya área sea la suma de los tres. [1]

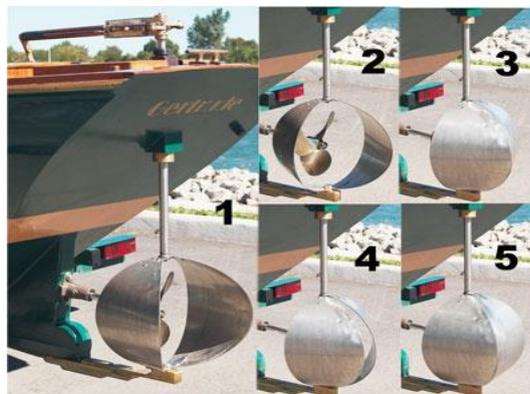


Foto 26: Timón Kitchen. Fuente: <http://www.goslowboat.com/files/kitchen-rudder-composite.jpg>

# Conclusiones

**1.** La navegación marítima de los buques es algo que depende exclusivamente de un buen propulsor diseñado para el empuje del buque y su evolución a lo ancho y pleno del mar junto a un buen timón, pero cuando la navegación se convierte en algo secundario, entramos de lleno en un escenario donde la capacidad de maniobra lo es todo, la capacidad del buque para desenvolverse en muelles, canales y en general aguas someras o restringidas es lo más importante y surge así el esfuerzo por parte del sector marítimo de dar con el equipo que reúna las características más eficaces para facilitar el desarrollo de la maniobra del buque, con equipos y hélices de maniobra como las hélices transversales a proa o las hélices azimutales.

**2.** La maniobrabilidad del buque marca la diferencia entre el éxito o el fracaso en el momento de aproximación a muelle. Un barco que esté en disposición de los mejores equipamientos de maniobra podrá realizar la operación de atraque y desatraque más rápido. Por eso las hélices y los timones de maniobra son el eslabón más importante.

**3.** Hoy en día en lo referente a la maniobra de los buques, lo más idóneo es seguir dos líneas evolutivas hacia la maniobra perfecta. Una línea evolutiva consiste en hallar un nuevo diseño de hélice que dé respuesta a todas las necesidades y dificultades que surge alrededor de la maniobra de los buques, un diseño que tenga en una sola unidad las capacidades y opciones que ofrece los equipos anteriormente expuestos. La unión de la hélice y el timón ha logrado equipos que aportan a la maniobra una gran libertad de acción y alternativa.

Otra línea evolutiva de los buques consistiría en estar equipados con multitud de unidades de propulsión y maniobra. Es por ejemplo el caso de los buques de posicionamiento dinámico, o los buques de extracción petrolífera. Este tipo de buques poseen varias unidades propulsoras, desde una hélice principal, hélices transversales para empuje lateral a proa y popa u otras unidades como propulsores tipo Gill.

En definitiva, para lograr un buque con maniobrabilidad, las opciones pasan, por encontrar el diseño perfecto que reúna, en una sola unidad, todas las capacidades del timón y la hélice, o instalar varias unidades de maniobra en un solo buque.

# Conclusions

1. The maritime navigation of the vessels depends of a good propeller, designed to propel the vessel, to thrust and to sail in the sea, all of this with a good rudder. But when the navigation is a secondary thing, we enter in the field of manoeuvre, where the vessel must to be capable to proceed in shallow waters or dangrous docks. In this way appears the most effective equipments and ystems for the manoeuvre of the vessel, like the transverse bow propellers or azimuthal propellers.

2. The vessel manoeuvrability makes the difference between the success and the disaster at the momento of approximation to the dock. A vessel with the best manoeuvre equipments can do berth operation faster. This is the reason why propellers and rudders are the most important thing in the manoeuvre.

3. In present day, i think the most suitable plan is to follow two evolutive lines for the manoeuvrability. A new evolutive line, consist to investigate a new propeller design, a design that have in one equipment the capacities and options like the previous designs. Other evolutive line is to fit the vessel with a lot of thrusters and propeller units. Is the real case of dynamic positioning vessels, or for drill ships. This type of vessel have different units, like a main propeller and a bow and stern thrusters.

Definitely, there are two options for the manoeuvrability, one perfect design or vessels with a lot of units.

# Bibliografía

- [1] Ricard Marí Sagarra, Maniobra de los buques. 3ªed, Barcelona: Ediciones UPC, 1994.
- [2] H D McGeorge, Marine Auxiliary Machinery. 7ªed, Oxford: Butterworth Heinemann, 1995.
- [3] Ian Clark, Ship Dynamics For Mariners. 1ªed, Londres: The Nautical Institute, 2005.
- [4] Eduardo O. Gilardoni, Manejo del buque en aguas restringidas. 2ªed, Buenos Aires: Instituto Iberoamericano de Derecho Marítimo, 2006.
- [5] Juan B Costa, Tratado de maniobra y Tecnología naval. 2ªed, Formentera: Estudios Náuticos Costa, 1991.
- [6] Antonio Baquero, La maniobrabilidad del buque pesquero. Canal de experiencias hidrodinámicas, El Pardo. Ministerio de Defensa, Madrid. Publicación Número 123, 1987. URL:  
[http://www.cehipar.es/\\_\\_files/users/publicaciones/123.pdf](http://www.cehipar.es/__files/users/publicaciones/123.pdf)

