



“Estudio de los Azipod como mecanismo de control de movimiento del buque.”

Autor: García Rodríguez, Fabio

Tutor: Marichal Plasencia, G. Nicolás

Grado en Náutica y Transporte Marítimo, Universidad de La Laguna

Escuela Politécnica Superior de Ingeniería Sección de Náutica, Máquinas y
Radioelectrónica Naval. S/C de Tenerife
Universidad de La Laguna

Título: “Estudio de los Azipod como mecanismo de control de movimiento del buque.”

Grado en Náutica y Transporte Marítimo, Universidad de La Laguna

Autor: Fabio García Rodríguez

Tutor: G. Nicolás Marichal Plasencia

La Laguna, junio de 2015

RESUMEN

Esta memoria corresponde al Trabajo de fin de grado, que en este caso el objetivo del mismo es el desarrollo general de la propulsión azimutal, comenzando el mismo desde el punto de vista histórico, así como de los tipos de propulsores y su utilización en determinadas maniobras, además de la realización de un estudio de algunas maniobras haciendo el uso de un simulador, para representar a grandes rasgos el uso y comportamiento de buques con azipods y otros con propulsión convencional, ante una determinada maniobra.

La memoria se divide principalmente en tres grandes capítulos, en el primero se ofrece una descripción general de la propulsión azipod, así como de su desarrollo histórico, además de los distintos tipos de propulsión azimutal, con los que nos encontramos hoy día. El segundo capítulo enumera las diferencias existentes tanto físicas como en control y comportamiento entre un buque con propulsión convencional y un buque con propulsión azipod. Por último en el tercer capítulo, se expone como se realiza una maniobra con azipods, desde cómo se dan las ordenes, pasando por la descripción de su ejecución y movimiento que realizará el buque así como su comportamiento, todo ello demostrado cuando es posible con una simulación en la que realizamos cada maniobra y establecemos unas conclusiones para cada una de ellas.

Como se percibe, esta memoria intenta introducir al lector en este tipo de propulsión que es relativamente nueva, y que con unos conceptos básicos de náutica comprenderá y tendrá una idea y visión global de lo que es la propulsión azimutal, su utilización y aplicabilidad.

ABSTRACT

This project corresponds to the end of year degree project in relation to the overall development of the azimuthal propulsion. This project starts from the historical point of view, as well as the types of propellants and their use in certain maneuvers. Moreover, there is a study of some maneuvers being done by using a simulator, to represent roughly the use and behavior of “pod” ships and other conventional powered ships, to a particular maneuver.

This project is mainly divided into three chapters. The first one is an overview of the “Azipod” propulsion, its historical development and the different types of azimuth propulsion, which we find ourselves today. The second chapter, lists the differences, both physical and behavioral control, between a conventional powered ship and a vessel with “Azipod” propulsion. Finally, in the third chapter, it is explained how the maneuver with azipods is done and how the orders are given. Through the description of its execution and movement that the ship will have and its behavior. All of this shown where possible with a simulation in which we perform each maneuver and establish conclusions for each one of them.

As seen, this report tries to introduce the reader to this type of propulsion which is relatively new with basic concepts of nautical understanding. It is included a general idea and overview of what the azimuthal propulsion is, its use and its applicability.

ÍNDICE

Pág.:

1.DEFINICIÓN BÁSICA DEL SISTEMA DE PROPULSIÓN AZIMUTAL.	1
2.HISTORIA DE LOS PROPULSORES AZIMUTALES.	4
3.TIPOS DE PROPULSORES AZIMUTALES.	7
3.1.Transmisión mecánica	
3.2.Transmisión eléctrica	
4.TIPOS DE PROPULSORES AZIMUTALES SEGÚN EL DISEÑO.	8
4.1.Propulsores tipo azipod	
4.2.Propulsión SSP	
4.3.Propulsor CRP	
5.DIFERENCIAS EN LA MANIOBRA ENTRE UN BUQUE DE PROPULSIÓN CONVENCIONAL Y UN BUQUE DE PROPULSIÓN POD.	16
5.1.Diferencia en el diseño entre buques convencionales y buques con pod	

5.1.1.Diseño del casco

5.1.2.Diseño de la unidad propulsora

5.2.Maniobras en movimiento

5.2.1.Capacidad de giro

5.2.2.Mantenimiento del rumbo

5.2.2.1.Mantenimiento del rumbo con oleaje

5.2.3.Capacidad de parada

5.2.4.Otras características

5.2.5.Conclusiones

6.DESCRIPCIÓN DE MANIOBRAS CON EL USO DE AZIPODS.26

6.1.Aspectos operativos de la maniobra con buques pod

6.1.1.Modos de control

6.2.Eficiencia de las unidades pod en determinados movimientos

6.2.1.Movimiento lateral con un pod

6.2.2.Movimiento lateral con la combinación de ambas unidades pod

6.3.Consideraciones en las maniobras con azipods

6.4.Controles

6.5.Limitaciones en cuanto al control de los azipods

6.6.Enumeración y simulación de maniobras con el uso de azipods

7.CONCLUSIÓN/CONCLUSION.54

8.BIBLIOGRAFÍA.56

1. DEFINICIÓN BÁSICA DEL SISTEMA DE PROPULSIÓN AZIMUTAL

Un sistema azimutal hace referencia a un sistema de propulsión marina cuya configuración se basa en que las hélices están situadas en pods o góndolas pudiendo rotar 360° sobre sí mismas horizontalmente sobre un eje vertical, de ahí viene el término azimutal, haciendo innecesario el uso de timón.

El azipod es una cápsula sumergida que contiene en su interior una unidad de propulsión eléctrica, que consiste en un motor eléctrico de velocidad variable, que a través de su eje interior acciona una hélice de paso fijo.^[3]

La capsula o barquilla puede girar libremente alrededor de su eje vertical para proporcionar empuje en cualquier dirección. Es decir, un solo sistema nos proporciona empuje y dirección, de este modo, el buque no precisa timones, ni hélices transversales a popa.^[3]

Estos propulsores pueden girar con un motor eléctrico acoplado perpendicularmente al propulsor en un contenedor (pod), que es alimentado por un alternador situado en la sala de máquinas. Remolcadores, buques offshore, buques de crucero, ferries y algunos otros tipos de buques, especialmente los que tienen que realizar muchas maniobras, son los que más incorporan en la actualidad ese tipo de propulsión.^[6]

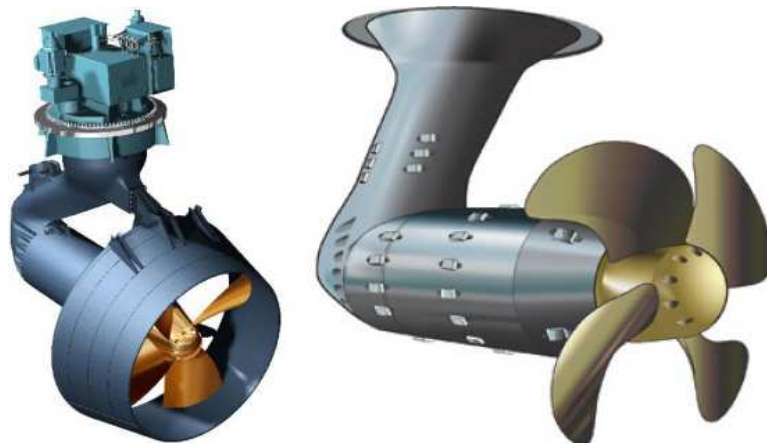


Figura 1: Ejemplos de propulsores azipod.^[7]

En comparación con las instalaciones convencionales los propulsores pods, tienen varias ventajas:

–La principal ventaja de la propulsión pod es el ajuste de la velocidad de la hélice independientemente de la rotación de la máquina principal (la que genera

la energía mecánica). El ajuste de la rotación de la hélice está determinado por la velocidad del motor eléctrico. Por lo tanto, la máquina principal funciona a una velocidad constante, que pone en marcha un generador que suministra la energía al motor eléctrico.

–Se reduce la potencia total instalada de los motores. Los dos sistemas de plantas eléctricas pueden compartir reservas de energía, habiendo siempre suficiente potencia disponible para arrancar unidades de gran consumo (como los motores propulsores), sin someter a la red eléctrica a grandes fluctuaciones de tensión.^[5]

–Especialmente en las velocidades bajas del barco puede alcanzar el círculo de giro más pequeño. Incluso realizando la ciaboga sobre el eje del barco. Los tiempos de parada y los cambios de dirección son muy cortos porque los pods no tienen más que girar y los motores no tienen que ser invertidos. Por lo tanto los buques equipados con azipods tienen una mejor maniobrabilidad.

–La integración en el barco es generalmente sencilla porque todos los componentes de la unidad provienen de un fabricante y sólo tienen que ser instalados. En los sistemas de propulsión convencionales, los fabricantes suelen ser diferentes para cada componente.^[6]

–La propulsión de Azipod está basada en el concepto de la propulsión eléctrica, donde los generadores se pueden ubicar más cómodamente dentro del buque. Además no se necesitan muchos sistemas dentro del casco, como los motores de propulsión, líneas de ejes largos, propulsores en la popa y timones. Esto le da una gran libertad en el diseño y construcción de buques. El espacio se puede optimizar en el interior del casco, el cual puede ser utilizado para la carga útil extra o incluso puede hacer que sea posible la construcción de un barco más pequeño. A partir de la construcción naval se puede ahorrar gran cantidad de tiempo en la construcción.^[5]

–Disminución de consumo, respecto a los sistemas de propulsión convencionales.

–Se propulsan mediante motores eléctricos cada vez más pequeños y compactos.

–Control suave y preciso de la velocidad del motor eléctrico y de la hélice que propulsa al buque.^[3]

–El funcionamiento suave y regular del motor, origina menos averías, con lo que se consiguen menores costes de mantenimiento.^[3]

Los pods sin embargo, también tienen algunos inconvenientes:

-La eficiencia del diseño es generalmente peor que para una planta convencional.

- La masa es mucho mayor que con los sistemas convencionales.^[6]

-El coste también es mucho mayor que para una planta convencional.^[6]

-El diámetro máximo de la hélice es menor que para los accionamientos convencionales, y esto conlleva una cierta disminución de potencia, si bien este problema se podría corregir con el añadido de nuevas unidades pod.

2.HISTORIA DE LOS PROPULSORES AZIMUTALES

La propulsión azimutal apareció como tal en 1955 con el objetivo de proporcionar una mejor maniobrabilidad para determinados tipos de buques. La primera idea de propulsión azimutal fue ideada por F.W. Pleuger y Busmann Friedrich en 1955, sin embargo, esta idea estaba demasiado adelantada a su tiempo y no se pudo llevar a cabo hasta 1960 cuando se llevaron a la realidad las primeras aplicaciones bajo el nombre de la empresa alemana Schottel.

La propulsión azimutal se engloba a nivel mundial en seis fabricantes reconocidos, a saber: ABB, Rolls-Royce, Siemens, Spay, Schottel y Volvo Penta.

El primer buque en montarlo, en 1990, fue el Seili, un pequeño rompehielos y auxiliar de mantenimiento de boyas, y en las primeras construcciones aún se llamaba Cyclopod por estar alimentado a través de un convertidor directo de frecuencia.^[1]

Este buque en cuestión, montaba en origen un motor diesel convencional con timón y hélice de paso variable con una potencia de máquina de 1600 Kw, y era capaz de romper hielo de 45 cm. de espesor. A partir de la modificación, y a pesar de haberse reducido la potencia en 100Kw, fue capaz de romper espesores de 55 cm, y además hacerlo navegando hacia popa, lo que antes era imposible debido a la disposición del timón.^[1]



Figura 2: Rompehielos Seili, primer buque con propulsión azimutal.^[1]

Este sistema lleva instalado en buques de diferentes características más de 15 años y ha dejado de ser exclusivo en rompehielos.

La consolidación definitiva del azipod, vino en 1998, con la instalación en un buque de crucero, concretamente, el Elation, de la Compañía Carnival. Como resultados operativos, produjo un aumento de la velocidad y una disminución del consumo, permitiendo ahorrar hasta 40 toneladas de combustible semanales.^[1]



Figura 3: Crucero Elation de la compañía Carnival.^[8]

Independientemente de las ventajas del sistema, cómo en cualquier proyecto en sus inicios, no se vio libre de problemas y averías de cierta consideración. Sin extendernos demasiado, el buque Millennium, de la Celebrity Cruises, presentó elevadas vibraciones en sus turbinas de gas y averías en uno de sus pods, lo que le obligó a una prolongada estancia en dique y cancelación de varios cruceros con lo que ello conlleva. El Carnival Paradise, tuvo averías importantes en los cojinetes de los azipod. Pero todo ello es hasta cierto punto previsible en todo sistema en las primeras fases de su desarrollo.^[1]



Figura 4: Azipods del crucero Elation.^[1]

El motivo de la rápida expansión de este sistema de propulsión fue debido, por un lado, al aumento de la potencia de los pod, pasando de unos pocos megavatios a tamaños de pod considerables, capaces de desarrollar más de 20 megavatios de potencia.^[3]

Y por otro lado, a la necesidad que tenía la industria naval de encontrar un sistema de propulsión eficaz, que proporcionase más maniobrabilidad a los buques, cualidades que ha demostrado el sistema de propulsión pod ampliamente.^[3]

Como pasa muy a menudo, una marca acabó dando el nombre a todo un sistema, este es el caso de la marca registrada "Azípod propulsión" del grupo ABB, líder mundial en este tipo de propulsión, cuya denominación "Azípod" acaba abarcando a todos los sistemas de pods. Incluso otras marcas, como "Mermaid" de Kamegwa/ Alstom, y "Delfin" de Atlas/Lips/STN, reciben el nombre genérico de azipod.^[3]

A lo largo de los años, el sistema de propulsión azipod ha ido demostrando su eficacia en el sector naval.^[3]

En la actualidad es conocido entre los profesionales del mar por su maniobrabilidad, respuesta inmediata, alta velocidad de crucero y operaciones en general suaves y silenciosas. No cabe duda que el sistema ha ido evolucionando hasta convertirse en la principal propulsión, de los modernos buques de cruceros y rompehielos.^[3]

3.TIPOS DE PROPULSORES AZIMUTALES SEGÚN EL TIPO DE TRANSMISIÓN

Existen dos variantes principales, basados en el tipo de transmisión lo que condiciona la localización del motor:

3.1.Transmisión mecánica, donde un motor en el interior del barco está conectado a la unidad por engranajes. El motor puede ser diesel o eléctrico. Según la configuración mecánica de la transmisión se dividen en L-drive y Z-drive. Una hélice de L-drive tiene un eje de accionamiento vertical y un eje de salida horizontal unidos por un juego de engranajes en ángulo recto. Un propulsor Z-drive tiene un eje horizontal de entrada, un eje vertical en la columna giratoria y un eje de salida horizontal con dos juegos de engranajes en ángulo recto uniendo los ejes.^[6]

3.2.Transmisión eléctrica, donde un motor eléctrico está en la misma góndola, conectado directamente a la hélice sin engranajes. La electricidad la produce un motor a bordo, generalmente diésel o turbina de gas. Inventado en 1955 por el Sr. FW Pleuger y el Sr. F. Busman. Pero fue ABB con su Azipod el primer producto con esta tecnología.^[6] Es el tipo de transmisión más utilizada, debido a su diseño más compacto.

4.TIPOS DE PROPULSORES AZIMUTALES SEGÚN EL DISEÑO

Se dará una descripción general de los tipos de propulsores azimutales que podemos encontrar hoy en día, pero el estudio en las maniobras, corresponderá únicamente a buques con propulsores tipo “Azipod”.

4.1.Propulsores tipo “Azipod”

El azipod es una cápsula sumergida que contiene en su interior una unidad de propulsión eléctrica, que consiste en un motor eléctrico de velocidad variable, que a través de su eje interior acciona una hélice de paso fijo.^[3]

La capsula o barquilla puede girar libremente alrededor de su eje vertical para proporcionar empuje en cualquier dirección. Es decir, un solo sistema nos proporciona empuje y dirección.

Los azipod se pueden diseñar de tiro o empuje, esto dependerá de la colocación de la hélice con respecto a la barquilla. Si la hélice está colocada delante de la barquilla tendremos un azipod "tractor" de tiro, si por el contrario, va instalada a popa de la barquilla el azipod será de empuje.^[3]

Un buen diseño de la barquilla; (forma, posición y ángulo en relación al casco del buque), puede llegar a reducir la resistencia al movimiento entre un 5 y un 10%, además, de aumentar la eficacia de la propulsión hasta un 15% en comparación con los sistemas de propulsión convencional en el casco.^[3]

Uno de los factores que más influyen hidrodinámicamente para proporcionar menor resistencia al movimiento y mayor eficiencia de la propulsión, es conseguir que el diámetro de la barquilla sea lo más reducido posible, e inferior al diámetro de la hélice.^[3]

Esto se está consiguiendo mediante el empleo de motores eléctricos cada vez más pequeños y compactos.^[3]

Un sistema completo de azipod consta de las siguientes partes: uno o varios generadores movidos por motores diesel o turbinas, transformadores de la corriente eléctrica, convertidores de frecuencia y un control de propulsión.^[3]

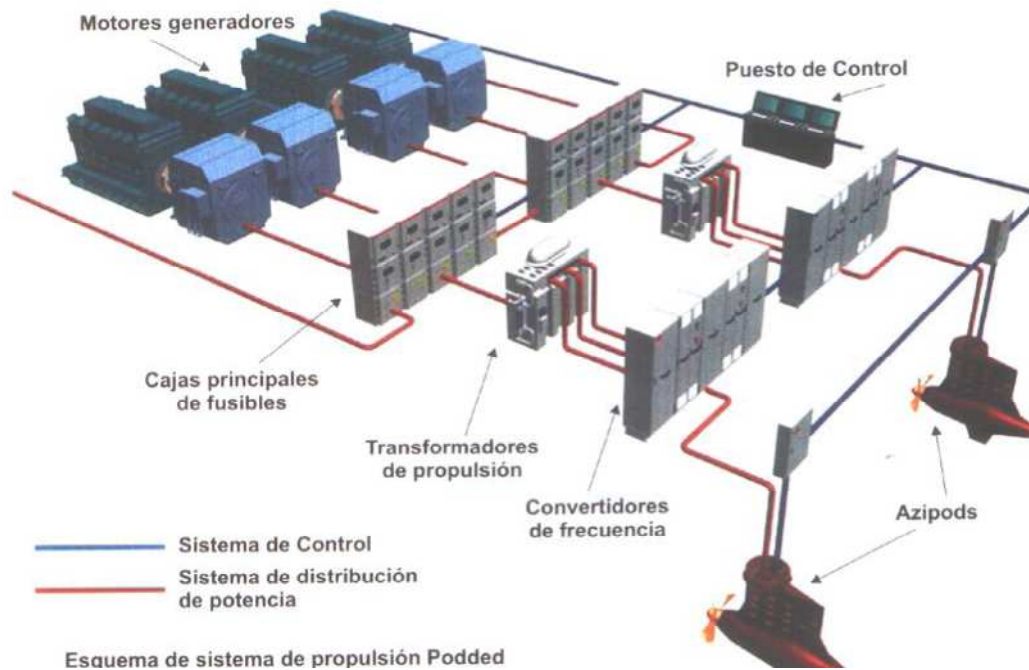


Figura 5: Esquema del sistema de propulsión Pod.^[1]

El convertidor de frecuencia es una pieza importante en este conjunto, ya que tiene por misión convertir la frecuencia constante de la red suministrada por los generadores del buque, en una salida de corriente eléctrica con frecuencia variable para alimentar el motor del azipod.^[3]

Esta corriente eléctrica con frecuencia variable permite variar la velocidad y el par del motor eléctrico colocado en la barquilla del azipod y que mueve la hélice del mismo.^[3]

Las ventajas de este tipo de sistema de control son evidentes; se obtiene un control suave y preciso de la velocidad del motor eléctrico, y de la hélice que propulsa al buque. El funcionamiento suave y regular del motor, origina menos averías, con lo que conseguiremos menores costes de mantenimiento.^[3]

Por diseño los azipod para buques mercantes tienen limitada su potencia entre 5 y 25 MW, con velocidades a máxima potencia entre 120 y 240 rpm, por lo cual cuando se quiere disponer de más potencia para alcanzar velocidades más altas se podrá conseguir instalando más unidades azipod.^[3]

La configuración varía desde un Azipod colocado a cruzía en la zona del codaste, hasta cuatro, siendo la configuración más usual la de dos azipod, situados en paralelo, uno a cada banda y a la misma distancia de la línea de

crujía. En el caso de añadir un tercer Azipod, éste será central y fijo en la línea de crujía del buque.^[3]



Figura 6: Ejemplo de disposición de tres unidades Azipod.^[9]

El motor eléctrico de la barquilla se alimenta con una tensión de aproximadamente 6.000 v., la capsula entera de los buques de mayores dimensiones tiene un peso aproximadamente de 170 toneladas, y es capaz de girar 180° sobre su eje vertical en 22,5 segundos.^[3]

Las hélices que van acopladas al eje del motor eléctrico tienen cuatro o cinco palas de paso fijo, con diámetro en torno a los 5 metros o más, el peso de la hélice sobrepasa las 20 toneladas y la velocidad nominal a máxima potencia oscila entre 120 y 170 rpm.^[3]

El módulo de propulsión y su asociado el módulo de gobierno se construyen en acero y éste último se suelda al casco como parte estructural. El módulo de propulsión sumergido incorpora el motor trifásico en un entorno estanco, moviendo directamente una hélice de paso fijo.^[1]

La hélice se construye de acuerdo a las especificaciones del cliente, según las particularidades del buque confirmadas por el astillero.^[1]

Cada azipod habitualmente consta de catorce elementos: dos módulos y doce auxiliares. Si bien en la figura 5 se muestra un esquema global del sistema azipod, seguidamente mostramos un esquema más detallado del mismo.

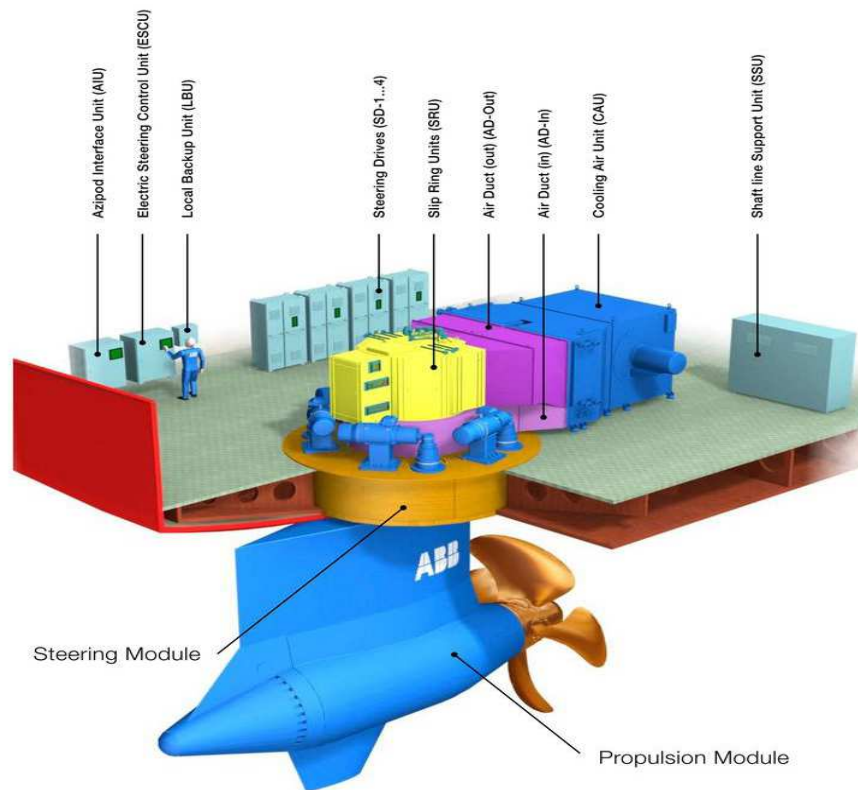


Figura 7: Módulos del sistema de propulsión azimutal.^[1]

Los sistemas de propulsión pueden constituirse de diferentes módulos separados, que terminan siendo integrados en el mismo conjunto en el astillero, los módulos habituales son los siguientes:

- Módulo de propulsión.
- Módulo de gobierno.
- Unidades de gobierno.
- Unidad eléctrica de control.
- Unidad de enfriamiento.
- Conductos de aire.
- Unidad hidráulica.
- Unidad de control del eje.
- Unidad de interface.
- Unidad local de backup.

Todos estos módulos independientes se ensamblan junto con las tuberías y el cableado que interconectan el Módulo de Propulsión y el Módulo de Gobierno.

El ámbito de aplicación del azipod se mejora mediante el IMI (Intelligent Maneuvering Interface), control remoto manual y sistema de indicación para el operador. Suministra control manual actualizado al Puente y a la Sala de Control de Máquinas, así como a los alerones y cualquier otro punto en el que se quiera instalar, ya que son consolas comerciales en el mercado de la construcción naval.^[1]

El control en el Puente se realiza mediante el Intelligent Bridge Control Interface que reviste gran importancia dado que nos permita optimizar el control de movimiento del buque.

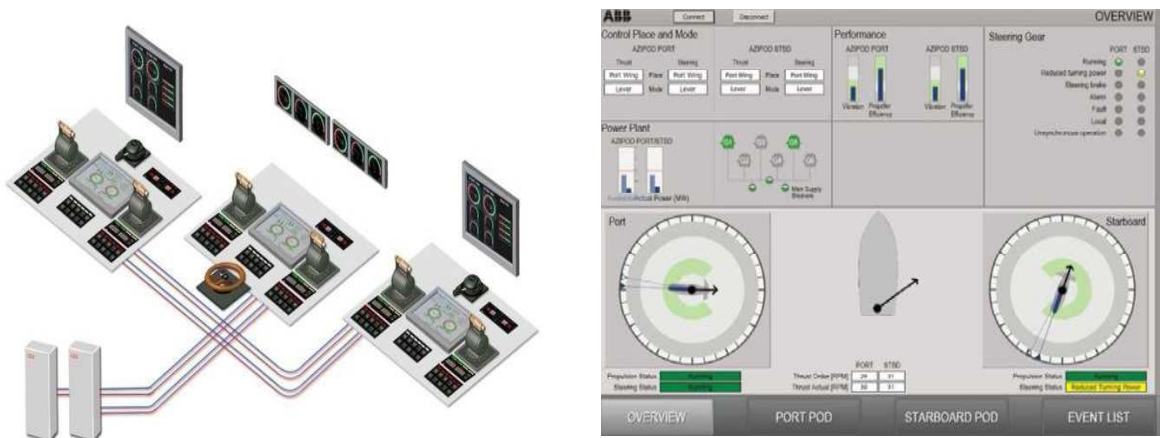


Figura 8: Controles de puente del sistema Azipod, y la interfaz de control.^[1]

4.2. Propulsión SSP (SIEMENS-SCHOTTEL)

Así como, los pods fabricados por ABB "Azipod", Rolls Royce "Mermaid" y Atlas/Lips/STN "Delfin", a grandes rasgos son muy similares por su forma y diseño, el consorcio Siemens-Shottel ha desarrollado un sistema pod de diferentes características.^[3]

El SSP consiste en dos hélices unidas al eje del motor eléctrico, girando en la misma dirección, la de proa tirando y la de popa empujando. Hacia la mitad de la barquilla, se colocan unas aletas laterales, que junto a la parte vertical de la sustentación desvía el flujo de las corrientes de agua de la hélice de popa, lo que permite reutilizar la energía de los flujos de la hélice de proa.^[1]



Figura 9: Ejemplo de propulsor SSP.^[10]

Con este sistema la potencia del motor se reparte entre las dos hélices, por lo que es posible utilizar motores con mayor potencia y hélices con menores diámetros.^[3]

Quedó demostrado, en las pruebas realizadas en canales de experiencias y en la explotación de los ferries Ro-Pax, que la "SSP" es aproximadamente un 10% más eficiente hidrodinámicamente que los sistemas de una sola hélice, lo que garantiza al armador un mejor rendimiento en la explotación del buque, proporcionando un ahorro del 10% o mayor en los gastos de explotación.^[3]

Otra de las ventajas del sistema "SSP" es el poco ruido que genera, son motores extremadamente silenciosos; esto se debe a que la potencia del motor está dividida entre las dos hélices, por lo tanto, la carga en cada pala de estas y la velocidad de rotación es menor que la producida en las palas de los pod de una sola hélice.^[3]

Al basarse en un sistema diesel - eléctrico permite gran flexibilidad para la localización de la sala de máquinas, consiguiendo con ello menores ruidos y vibraciones, así como, un aumento de la seguridad instalando sistemas redundantes.^[3]

Esta flexibilidad operativa da como resultado un menor consumo de combustible y a la vez una menor contaminación ambiental al poder trabajar los motores diesel a un régimen constante entorno a su carga óptima.^[3]

4.3. Propulsor CRP Azipods (Hélices contra-rotativas)

El azipod CRP es un concepto desarrollado por ABB en el cual una unidad orientable, se monta inmediatamente detrás de un propulsor convencional. Colocados en el mismo eje, pero sin ninguna conexión física, la hélice del pod, gira en sentido contrario a la hélice fija acoplada a un eje. Con ésta disposición se consigue una mejora en eficiencia hidrodinámica de un 10%.^[1]

En primer lugar, se recupera el componente de velocidad rotacional de marcha avante de la hélice principal; además, puesto que la potencia se reparte entre dos hélices, la carga en cada una de ellas se reduce y permite que tengan diámetros más pequeños.^[1]

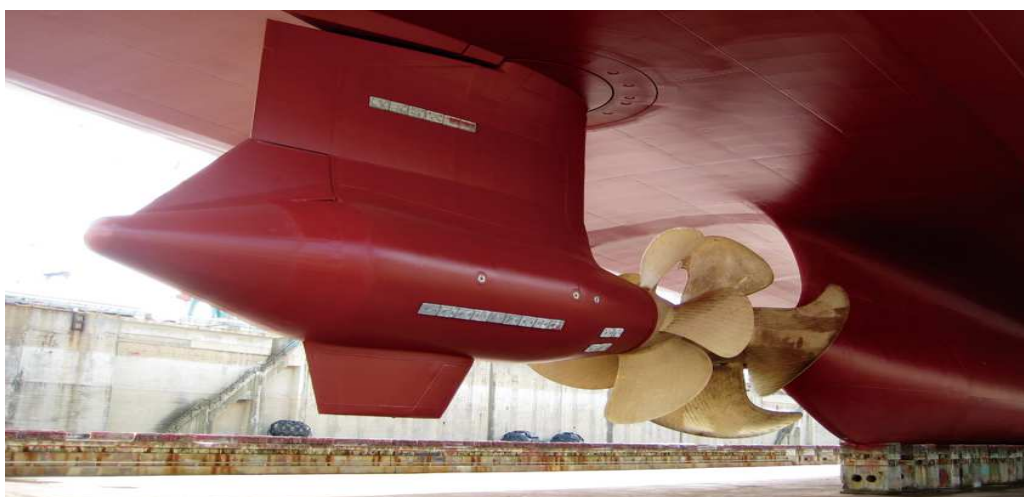


Figura 10: Ejemplo de propulsor CRP.^[12]

La relación de carga entre la hélice principal y la del azipod se puede ajustar con bastante flexibilidad. La hélice principal aporta entre el 60 y 70 por ciento de la carga y la del azipod entre el 30 y el 40 por ciento.^[1]

En el caso de buques de una sola hélice destinados a operar con cargas moderadas, el sistema CRP proporciona muy poca mejora del rendimiento de la propulsión, debido a que las hélices actuales son muy eficaces debido a su diseño optimizado.^[1]

Las ventajas residen en la capacidad de maniobra, en la redundancia de la propulsión y en el menor tamaño de las Salas de Máquinas, sin olvidar la reducción de ruido y vibraciones.^[1]

El CRP destaca sobre todo en las exigencias de propulsión con gran carga sobre la hélice en régimen de gran velocidad o cuando existan limitaciones del tamaño de las hélices. En estos casos se encuentran los buques Ro-Pax rápidos, los buques portacontenedores de gran tamaño y los barcos LNG (liquefied natural gas) para gas natural licuado. Las pruebas efectuadas en canales de experiencias hidrodinámicas reflejaban una mejora de un 5% a un 9% sobre buques parecidos y de propulsión convencional.^[1]

Todo esto, se traduce en una serie de ventajas operacionales:

- Reduce la dependencia de remolcadores en maniobras portuarias.
- Esta configuración de sistema de propulsión convencional más azipod ofrece más potencia.

5.DIFERENCIAS EN LA MANIOBRA ENTRE UN BUQUE DE PROPULSIÓN CONVENCIONAL Y UN BUQUE CON PROPULSIÓN POD

Durante los últimos diez años, se observa un aumento del uso de la propulsión pod. Esto se debe al aumento de la eficacia de la propulsión, la comodidad y mayor maniobrabilidad.

Clásicamente, los primeros cruceros equipados con pods, tenían dos unidades instaladas, sin embargo los barcos más grandes que se entregan actualmente, tienen una unidad fija y dos azimutales debido a la limitación de potencia de las unidades. Los barcos más grandes son equipados con dos pods fijos y dos azimutales. El uso de pods fijos plantea un reto especial desde el punto de vista de la maniobra ya que sólo una parte de la potencia total instalada se utilizará para la dirección. Obsérvese que los pod azimutales son los descritos, mientras que los pods fijos, tienen las mismas características, salvo que no pivotan, su función es únicamente proporcionar propulsión adicional.

5.1.Diferencias en el diseño entre buques convencionales y buques con pods

5.1.1.Diseño del casco

Las líneas del casco de los buques con propulsores azimutales son ligeramente diferentes de barcos con propulsión convencional. Para permitir que las unidades pod puedan girar 360°, estos deben montarse en una superficie plana del casco.

Además, debido a consideraciones de resistencia, los pods están actualmente posicionados verticalmente hacia abajo. Esto significa que las líneas del casco son muy planas en la popa del barco y que no existe mucha área vertical en dicha zona, en comparación a los buques convencionales. Para tener suficiente estabilidad direccional y para atracar se requiere una aleta adecuada en la línea central del buque. Las desventajas de la aplicación de estas aletas en la línea central podrían ser la interferencia con los pods en la aplicación de grandes ángulos de dirección. Esto se aprecia especialmente en la maniobra de desplazamiento lateral, en la que los pods pueden ver limitado su efecto.

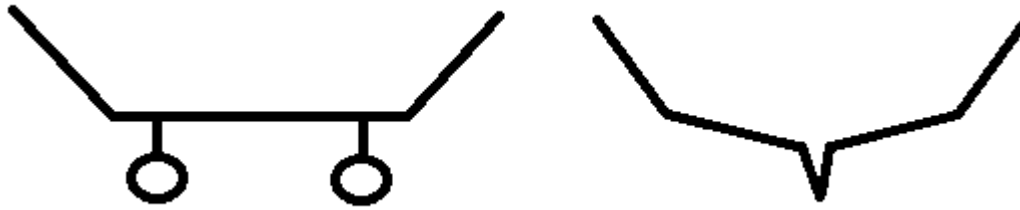


Figura 11: Formas del casco para propulsión pod (Izquierda), y para propulsión convencional (Derecha).

5.1.2. Diseño de la unidad propulsora

Hoy en día hay varios diseños de unidades pod en el mercado y todos tienen diferentes conceptos de fabricación, como desarrollamos en el apartado anterior.

Sin embargo se considera que la eficiencia de las unidades puede optimizarse aún más mediante la adaptación de las siguientes partes en la unidad:

- Cambiando el diseño de la góndola y del soporte.
- Agregando aletas a los diseños.
- Añadiendo aletas orientables que ayuden al mantenimiento del rumbo.

Las complicaciones podrían hacerse patentes en el proceso de instalación y las soluciones adecuadas deben ser encontradas a través de investigación hidrodinámica y constructiva.

Cuando se utiliza unidades pods que no pueden girar, como se hace en algunos de los diseños actuales de grandes cruceros, el arquitecto naval debe tener cuidado con el hecho de que sólo una parte de la propulsión disponible en la nave se utilizará para la dirección. Esto puede reducir la capacidad de maniobra considerablemente en comparación a los buques con todas las unidades móviles. En estos casos se requieren las evaluaciones de las maniobras en las etapas tempranas del diseño con el fin de garantizar la suficiente capacidad de maniobra de la nave.

Sin embargo, no se ha encontrado todavía la forma más óptima del casco para acomodar una propulsión azimutal. El diseño de los pods y la forma en el barco están todavía en evolución.

El uso de la propulsión azimutal en la nave anula la necesidad de propulsores laterales a popa, y además aumenta las fuerzas que pueden ser generadas durante las maniobras a baja velocidad, lo cual es una ventaja importante de la aplicación de pods. Esto deja sólo las hélices de proa como los factores limitantes en la capacidad de giro de la nave.

Para mantener el rumbo durante el giro, se requiere la aplicación de ángulos de dirección. Para un barco con pods, esto se hace mediante la rotación de una o todas de las unidades pods. La unidad pod proporciona más tensión de giro para el buque, que cuando se toma dirección con timones convencionales.

5.2.Maniobras en movimiento

Es bien sabido que las características de maniobra de los buques de propulsión pod son diferentes de los buques con sistema de propulsión convencional.

Hay tres cualidades principales en la maniobra la capacidad de giro, la capacidad de mantener el rumbo y la capacidad de parada.

5.2.1.Capacidad de giro

Generalmente se sabe que la capacidad de giro de los buques con propulsión azimutal es mucho mejor que la capacidad de giro de los buques equipados con propulsión y timón convencional. Esto se debe principalmente a las altas fuerzas de dirección creadas por las unidades pod al girar a cierto ángulo, además que también tienen la posibilidad de girar 360 grados.

La maniobra estándar de la OMI de círculo de giro identifica la capacidad de giro de un buque.

Los datos de radio de giro presentados por investigaciones sobre los propulsores azimutales muestran que el avance y el diámetro del círculo de giro se encuentran dentro de los criterios propuestos por la OMI. Siendo esta más satisfactoria que la de un buque convencional.

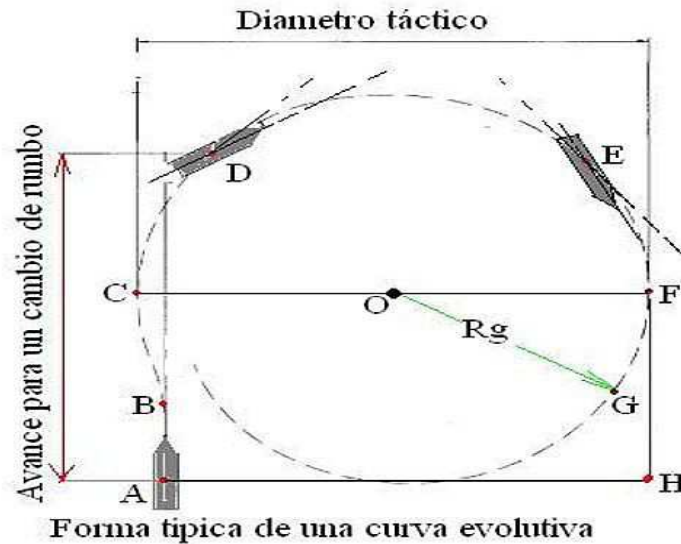


Figura 12: Círculo de giro de un buque.^[14]

Las capacidades de giro superiores se pueden atribuir a grandes fuerzas de dirección, y como resultado de estas, se producen ángulos de deriva más grandes y una mayor pérdida de velocidad en el círculo de giro.

La capacidad de giro claramente no es un problema cuando se juzga la aplicabilidad de la propulsión pod. En las investigaciones actuales, el comportamiento durante la maniobra es el centro de atención. Especialmente para buques de alta de velocidad. Y se encuentran principalmente 2 problemas:

- La alta velocidad de giro puede causar grandes fuerzas y producir grandes movimientos de balance.

- Los ángulos de escora afectan la velocidad de giro y la estabilidad de rumbo.

A altas velocidades y grandes ángulos de dirección, hacen que los ángulos de escora máximos pueden llegar hasta los 28 grados. La OMI no proporciona recomendaciones relativas a los ángulos de escora, pero tener dicho ángulos durante las maniobras siendo estos superiores a 13 grados y mientras se está girando constantemente por encima de 8 grados se consideran ángulos demasiado grandes.

A fin de evitar grandes ángulos de escora cuando se producen cambios de dirección a altas velocidades con un buque equipado con unidades de propulsión pod se deben tomar las siguientes medidas:

–Proporcionar suficiente estabilidad sin avería, ya que las grandes fuerzas generadas en los virajes a gran velocidad podrían ocasionar averías si encuentran alguna resistencia como estabilizadores.

–Restringir grandes ángulos de dirección al navegar a altas velocidades. Esto se soluciona instalando un sistema de control de dirección que sólo permite grandes ángulos de dirección durante maniobras a baja velocidad o maniobras de emergencia (Se explica en el tema siguiente).

–Aumentar la resistencia a la deriva y guiñada por efecto del viento mar o corriente mediante la adición de superficie estabilizante como la aleta en la línea central.

–Desarrollar un posicionamiento diferente de las unidades pod, que permita un diseño diferente del casco a popa, que muestre más estabilidad

Además, se propone que la OMI debe proporcionar criterios respecto a ángulos de escora aceptables durante maniobra y que debe exigir pruebas y / o ensayos para demostrar el cumplimiento de estos criterios.

5.2.2.Mantenimiento del rumbo

Para navegar de forma segura y eficaz en un buque se debe tener su buena capacidad de mantenimiento de rumbo. Ganar en eficiencia en la aplicación de la propulsión azimutal podría ser de menor importancia cuando en comportamiento del buque en el mantenimiento de rumbo se ve reducido. Podría ser necesaria una mayor potencia para navegar en una cierta trayectoria. Por lo tanto es muy importante tener en cuenta las capacidades de mantenimiento del rumbo de los buques equipados con pods y especialmente en relación con los buques de hélice-timón convencionales.

La capacidad de mantenimiento de rumbo para los buques con propulsión pod se sabe que es peor que la de los buques convencionales. La razón de este efecto puede atribuirse a las diferencias en la forma de la popa que es plana con el fin de acomodar las unidades propulsoras. Para tener estabilidad direccional suficiente hacen falta aletas en las disposiciones adecuadas, ya sea una central o en frente de cada POD.

Los parámetros derivados de las maniobras de zigzag estándar identifican el rumbo cambiante y el rumbo establecido, comprobando la capacidad de respuesta de un buque. En los buques con propulsión pod los ángulos de rebasamiento se encuentran dentro de los criterios propuestos por la OMI, pero son ligeramente peores que los buques con propulsión y timón convencional.

Se puede concluir que los buques con propulsión azimutal probados tienen un buen desempeño en cuanto a la guiñada y la capacidad de mantenimiento del rumbo, aunque tienden a tener ángulos de rebasamiento ligeramente más grandes que los que tienen las unidades de hélice-timón. Esta tendencia no puede ser atribuida a una diferencia en la unidad de propulsión solamente, puede haber otras posibles causas:

- Diferencia en la tasa de aplicación de timones o unidades pods.
- Diferencia en la potencia.
- Diferencia en la forma del casco a popa.

Sin cuestionar estos aspectos y juzgar su influencia, no hay comparación directa entre los buques con unidades de dirección pods y los buques convencionales.

De acuerdo con los requisitos de las sociedades de clasificación y SOLAS, la tasa de aplicación de rumbo de las unidades pods tiene que cumplir con los requisitos de al menos 9 grados por segundo mientras que la tasa de aplicación del rumbo de un timón convencional debe ser al menos 2,32 grados por segundo. En principio este requisito puede ser visto como una diferencia significativa entre las dos unidades de propulsión. El aumento de la tasa de aplicación del timón al pod influye en el comportamiento de la dirección, de la aceleración del cambio del rumbo, y la capacidad de mantener el rumbo.

Las diferencias en las formas del casco le dan más estabilidad al giro en movimiento en buques con timón y propulsión convencional, en el caso de una propulsión con pods debe haber un equilibrio entre una resistencia óptima, capacidad de maniobra y comportamiento en la mar dependiendo del tipo, la misión y la aplicación del buque.

Otro aspecto crítico en el comportamiento de la aplicación de los pods, es el efecto de cavitación, que produce vibraciones y deterioro, y que es diferente en

ambos sistemas de propulsión. Este problema de cavitación es de mucho interés en la evaluación de la aplicabilidad de los pods en el diseño de las naves. Pustoshny y Karprantsev (2001) realizaron observaciones de cavitación en el crucero de pasajeros Elation, sus hallazgos se pueden resumir mejor en las siguientes declaraciones:

-Las hélices de los pods están normalmente sometidas a un esfuerzo uniforme, favoreciendo las buenas características de cavitación y reduciendo las fluctuaciones de presión y las vibraciones inducidas por la hélice, mientras el buque está navegando en línea recta sin timón.

-Los ángulos de incidencia mayor que 5° - 7° , en movimiento mantenido empiezan a ser críticos respecto al efecto de cavitación.

-El riesgo de cavitación en un giro constante, por ejemplo, un radio de giro, es grande. La velocidad en giros constantes se verá reducida. El efecto de cavitación es más crítico con el aumento de la velocidad, la optimización del diseño de la hélice, así como el diseño de puntal podría prevenir o reducir la ocurrencia del efecto de cavitación.

5.2.2.1. Mantenimiento del rumbo con oleaje

La evaluación de la capacidad de mantener el rumbo bajo cargas ambientales como viento, pero en especial con olas se ha establecido mediante estudios.

Se ha realizado un estudio de comparación entre un buque de propulsión azimutal, y un buque con hélice-timón convencional y se observó que el buque con propulsión pod tenía mejor capacidad de mantenimiento del rumbo, que el buque de propulsión convencional con oleaje. Los cambios de dirección que se observaron en el 95% de los casos fueron aproximadamente 30% más pequeño para el concepto de propulsión pod. También se observó que las desviaciones del rumbo son más pequeñas con este tipo de propulsión. Sin embargo las diferencias entre ambos sistemas se consideraron pequeñas. Cabe señalar que la tasa de dirección del concepto de propulsión pod fue mayor. La unidad de dirección azimutal era, por tanto, más activa y capaz de responder más rápido.

5.2.3. Capacidad de parada

La capacidad de parada es un elemento importante de las características de maniobrabilidad del buque y la distancia de frenado de acuerdo con el criterio

de la OMI no debe superar 15 esloras cuando se realiza la prueba de parada de emergencia.

Con barcos de propulsión pod hay varios modos posibles de detener el buque:

–Maniobra de parada convencional cuando los motores están ordenados atrás todo.

–Maniobra de parada girando el sistema pod 180 grados hacia el exterior en direcciones opuestas, manteniendo par motor constante.

–Maniobra de parada girando los pods 180 grados en direcciones opuestas, y al mismo tiempo reducir 40% en el par motor.

–Maniobra de parada transversal donde las unidades pod se giran unos 60 grados hacia el exterior en direcciones opuestas mientras que ordena simultáneamente atrás toda - cuando la velocidad del buque ha reducido en un 80% las unidades pods se llevan a la posición de 180 grados.

5.2.4.Otras características de la maniobra

➤ Desplazamiento lateral:

Para buques tales como cruceros o transbordadores, la capacidad de desplazamiento lateral es de gran importancia para la operatividad y la eficacia de la nave. Cuando el barco es capaz de atracar sin ninguna ayuda exterior, no sólo se ahorra tiempo sino también dinero en términos de tasas de remolcadores.

Los buques con pods son mucho más eficientes que los buques convencionales en este tipo de maniobra. Esto se debe principalmente a la fuerte interacción en la propulsión convencional creando una fuerte corriente entre el muelle y el buque. Para los buques con pods, esta interacción no se presenta, lo que simplifica la explotación del buque durante la maniobra de desplazamiento lateral considerablemente.

Además, para el buque convencional, los mejores resultados en desplazamiento lateral se dan cuando se utiliza casi el importe total de la potencia instalada. Al utilizar pods, sólo se requiere una cantidad limitada de potencia. Para obtener aproximadamente la misma fuerza transversal, se requiere 75% de la potencia instalada para el buque convencional contra el 30% para la nave con pods, esto no sólo significa un ahorro de combustible, sino

también reduce el impacto de la nave en el medio ambiente, así como la erosión en los muelles en maniobras de atraque y desatraque.

➤ Maniobras a baja velocidad:

El uso de los pods durante las maniobras a baja velocidad difiere significativamente del uso de medios de gobierno convencionales. El timonel tiene la posibilidad de rotar las pods en todas direcciones y además, puede utilizar las hélices tanto con revoluciones positivas, como negativas. En los buques equipados con dos unidades pod, los ángulos de dirección de las unidades están desacoplados, de manera que cada una gira y se puede posicionar de manera independiente.

Las características de maniobra de baja velocidad son importantes para el funcionamiento del buque en áreas de aguas restringidas.

Las maniobras a baja velocidad se realizan por lo general llevando cada unidad pod de manera independiente, tanto en posición como en RPM.

➤ Fuerzas de dirección a velocidad cero:

Comparación entre buque convencional y buque con propulsión azimutal.

–En ambos casos, el empuje de la hélice es el mismo. Sin embargo, se observa que las fuerzas longitudinales generadas cuando se usa un timón de dirección son más grandes, lo que indica menos fuerza de empuje para la nave con timón. Esto se debe a la colocación y la configuración de los pods y del timón.

–La fuerza longitudinal es más pronunciada para el timón que para la configuración pod. Esto indica un coeficiente de resistencia mayor para el timón de dirección que para los pods.

–Las fuerzas laterales generadas por los pods son más grandes que los generados por el timón.

5.2.5. Conclusiones

La aplicación de pods en el diseño de buques aumenta potencialmente el rendimiento de la nave en varias áreas, tanto en la propulsión como en la

maniobra. Sin embargo, cuando no se toman las medidas necesarias es posible que el uso de estas unidades propulsoras no tenga éxito.

Además desde el punto de vista de la maniobra la aplicabilidad de unidades de propulsión pod no está libre de problemas, ya que se pueden producir grandes ángulos de escora debidos a las grandes fuerzas de dirección producidas por las unidades propulsoras, que son superiores a los ángulos de escora que se producen en buques convencionales. Además, debido a las formas del casco los barcos con unidades pod tienden a ser menos estables en el mantenimiento de giro, y el mantenimiento de rumbo que los buques con propulsión y timón convencional.

6. DESCRIPCIÓN DE MANIOBRA CON EL USO DE AZIPODS

Se realizará una descripción de cómo realizar las maniobras con buques equipados con un sistema de propulsión azimutal tipo “azipod”, en el caso más común, que el buque tenga dos unidades pod a popa.

6.1. Aspectos operativos de la maniobra con buques pod

6.1.1. Modos de control

Los tres modos de control para buques equipados con propulsores azimutales son:

- ❖ **Modo de maniobra crucero:** (O modo de mar abierto) Utiliza ambas unidades POD moviéndolas simultáneamente hasta el mismo ángulo, de forma similar a como se hace generalmente con buques de doble timón equipados con hélices convencionales, la potencia disponible es ilimitada, pero los ángulos de giro de los POD se limitan en gran medida (no más de 35 grados).
- ❖ **Modo de maniobra suave:** Cuando una única unidad POD (sea la de babor o estribor dependiendo de la dirección de giro) es utilizada en la maniobra, en otras palabras, que su movimiento no está sincronizado, la potencia utilizada está limitada a alrededor de 50-60% de del total, y los ángulos de giro de los pods también se limitan a 35 grados.
- ❖ **Modo de maniobra fuerte:** Cuando se utilizan ambas unidades POD en la realización de la maniobra. Es decir, cuando las unidades pod no se manejan de manera sincronizada sino que operan de manera independiente. Este modo se utiliza por ejemplo operaciones de atraque y hay que reducir automáticamente la potencia a alrededor de 50-60%, se permite el giro de 360 grados sin limitaciones.

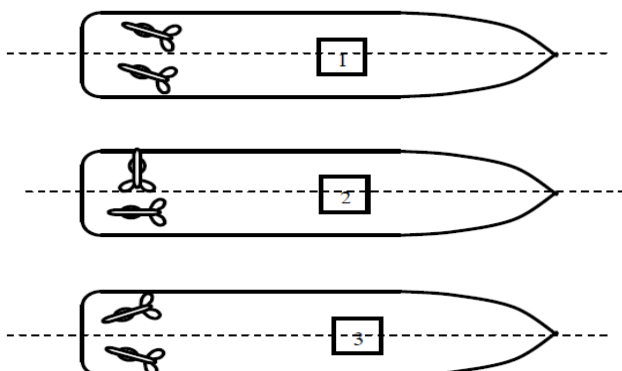


Figura 13: Ilustración de los tres modos de control. [15]

Se puede esperar una fuerte interacción cuando un POD está trabajando en la estela de la hélice de la otra y esto afecta considerablemente al empuje y al par motor. Cuando se trabaja en el modo 1 (maniobra de crucero) este efecto puede ocurrir cuando los pods son movidos a los ángulos entre aproximadamente 60 y 120 grados en ambos lados.

Del mismo modo cuando las unidades pod están trabajando en el modo 2 y 3 se puede esperar interacciones fuertes durante las maniobras si un POD entra en hélice estela del otro. Este efecto se puede dar tanto en unidades de tiro como de empuje.

6.2. Eficiencia de las unidades pod en determinados movimientos

6.2.1. Movimiento lateral con un pod

La siguiente tabla muestra los valores de eficiencia aproximados (no hay que tomarlos como referencia) para movimientos laterales, con un pod perpendicular a la línea de crujía del buque. Hay que destacar que las unidades representadas son de tiro (tractoras). Estos valores son para un crucero largo cuya velocidad inicial es 0. F_x muestra el movimiento adelante y atrás, mientras que F_y muestra el movimiento lateral.

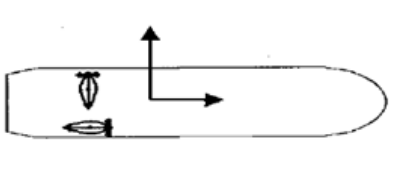
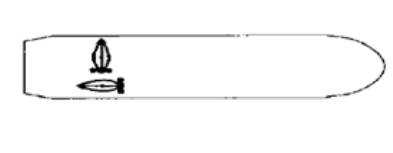
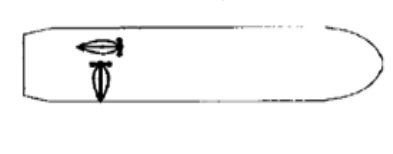
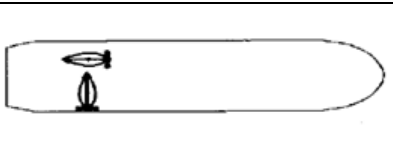
Ilustración de la posición de las unidades pod:	Posición unidad pod de babor:	Posición unidad pod de estribor:	Movimiento en Fx:	Movimiento en Fy:
	-90°	0°	100%	80%
	+90°	0°	100%	50%
	0°	-90°	100%	100%
	0°	+90°	100%	80%

Figura 14: Eficiencia de las unidades pod en movimiento lateral. ^[15]

6.2.2. Movimiento lateral con la combinación de ambas unidades pod

La siguiente tabla muestra los valores de eficiencia aproximados (no hay que tomarlos como referencia) para movimientos laterales, con el uso de ambos pods de manera individual, tanto en posición como en RPM. Hay que destacar que las unidades representadas son de tiro (tractoras). Estos valores son para un crucero largo cuya velocidad inicial es 0. Fx muestra el movimiento adelante y atrás, mientras que Fy muestra el movimiento lateral. La popa del barco se mueve hacia estribor.

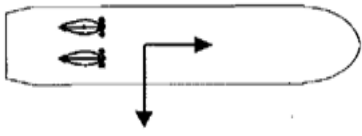



Ilustración de la posición de las unidades pod:	Posición de la unidad pod de babor:	Posición de la unidad pod de estribor:	Movimiento en Fx:	Movimiento en Fy:
	0°	0°	200%	0%
	+135°	+45°	0%	140%
	-45°	+45°	20%	120%
	+90°	+90°	0%	150%

Figura 15: Eficiencia de las unidades POD en movimiento lateral a estribor.^[15]

6.3.Consideraciones en las maniobras con azipods

–En comparación, un buque con propulsión azimutal requiere más velocidad que un buque convencional para mantener un rumbo fijo, sobre todo cuando se experimenta un mar de popa.

–La aceleración y desaceleración de un buque con pods tiende a ser mucho más rápida que en un barco convencional ya que toda la potencia de la propulsión se puede aplicar en cualquier dirección.

–Se debe confirmar siempre en qué modo se establece el sistema de propulsión azimutal, ya sea síncrono o individual. Se recomienda individual (para maniobras de atraque y paso por canales estrechos debido a una respuesta más rápida en el momento de la realización de una maniobra).

–Velocidad. No hay, órdenes deadlow, low, médium ahead, etc. en un buque de propulsión azimutal; sólo se establece la velocidad en nudos, estableciendo la velocidad deseada en cada caso.

– Hélices pequeñas significan menos capacidad de maniobra y, por tanto, más velocidad / revoluciones necesarias para mantener un giro o rumbo.

– El movimiento de las unidades propulsoras no es instantáneo y requiere un tiempo de respuesta, el más rápido puede ser de 20 segundos de rotación, pero uno de más de 30 segundos es bastante lento y por lo tanto las maniobras requieren una planificación previa a su realización.

– Al hacer pivotar la unidad azimutal 180 grados, en circunstancias normales, es práctica común configurar la unidad para cero revoluciones antes de iniciar el movimiento y a continuación cuando está en la posición deseada aplicar la propulsión. Sin embargo, en la mayoría de los buques de mayor tamaño no están equipados con propulsores de control de paso así que la mayoría de los fabricantes recomiendan mantener un pequeño empuje positivo en lugar de detenerse porque puede haber problemas de lubricación y refrigeración si las unidades de propulsión se detienen por cualquier período de tiempo. Si no se necesitan las unidades por un período de tiempo en una maniobra la recomendación es poner las unidades en modo neutro (cara cara) a muy bajas revoluciones.

– Las unidades propulsoras, hay que girarlas por el lado de borda, para que el flujo de un pod no pueda averiar, ni afectar al otro. Particularmente, cuando están en funcionamiento.

– Por construcción un azipod permite lograr un empuje negativo de dos maneras: mediante la inversión de revoluciones de la hélice, o girando la unidad 180 grados. Sin embargo, el uso de revoluciones negativas en general no se recomienda cuando la maniobra es a alta velocidad debido a la gran carga que se produciría en los rodamientos del eje, que pueden ocurrir daños. Además de eso con dispositivos de propulsión azipod es posible acelerar el buque rápidamente a cualquier dirección y esto por lo general lleva a la necesidad de utilizar altos niveles de potencia para detener el movimiento. Alta potencia a bajas velocidades por lo general conduce a fuertes vibraciones dañinas que pueden reducir el tiempo de vida de los componentes mecánicos. Por lo tanto es recomendable la limitación del uso de RPM inversas.

Maniobrar a baja velocidad, desde -2 a 4 nudos (atraque y desatraque).	Mantenimiento de la posición (anclaje, DP).	Mantenimiento de rumbo en canal o Aproximación de piloto.	Velocidad normal de servicio.
RPM negativas Permitidas.	RPM negativas Permitidas.	RPM negativas Permitidas.	RPM negativas No recomendadas.

6.4. Controles

Los controles de los buques con propulsión azipod en general son bastante diferentes de los controles en barco convencional y además no son intuitivos.

En general, las palancas de control para dispositivos de propulsión azimutal se componen de un mango giratorio con una escala circular en la base. Por lo general, una flecha o croquis de la nave situada en el mango indica la dirección de empuje de la unidad pod. El mango puede controlar las RPM empujando hacia delante, o hacia atrás para producir RPM negativas y dar atrás, etc.



Figura 16 Controles de propulsores azimutales. [16]

Hay diferentes configuraciones de dispositivos azimutales y sus controles asociados, las diferentes configuraciones de las unidades pod pueden requerir un manejo de manera especial. Como no hay una estandarización de las pantallas estas difieren unas de otras de forma sustancial. Esto puede ser confuso para el operador que aprendió a operar un buque determinado, y está a bordo de un buque con otro sistema de control.

En la fig. 16 se muestra un indicador de dirección de empuje. Este indicador muestra la posición de la unidad pod y su empuje, girando 30° a babor, pero el barco vira a estribor. (La unidad es de tiro).

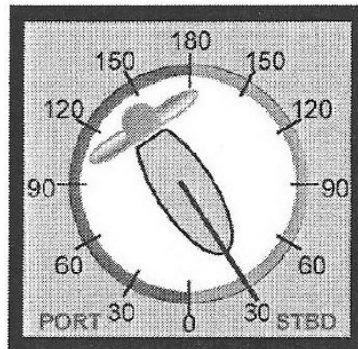


Figura 17: Indicador de dirección de empuje [15]

La siguiente figura muestra la pantalla de la interfaz de control inteligente para los dispositivos ABB Azipod. La pantalla muestra el sentido del empuje de las dos unidades pod y en la dirección de empuje media resultante. La pantalla muestra también el modo de operación, desde el lugar donde se están controlando las unidades y la información de cómo se mueven las unidades, junto con las limitaciones que se imponen a estas.

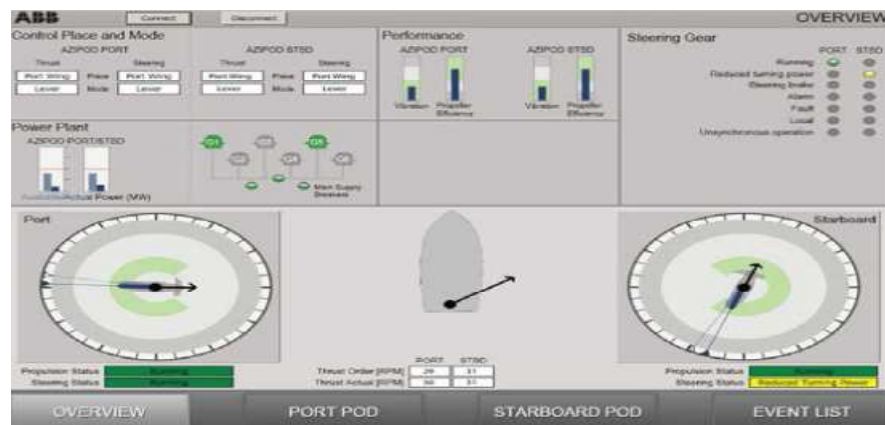


Figura 18: Pantalla de interfaz de control [15]

6.5. Comandos utilizados en buques equipados con Azipods

Los comandos utilizados para las maniobras en buques con unidades pod pueden diferir bastante de un barco a otro, pero en el siguiente cuadro se muestra un ejemplo aproximado de cómo se realizarían las órdenes para el timonel, u operador de turno: (Tabla^[15])

Termino:	Definición de comandos:	Expresado como...
Pods	Azipods	“Pods”
Dirección de giro	Interior o exterior	“Interior” o “exterior”
Grados de rotación de la unidad pod	Grados desde 0° hasta 180° (interior o exterior)	“65°”
Dirección de aplicación de la potencia	Propulsores avante o atras	“positiva” o “Negativa”
Cantidad de potencia en RPM	Cantidad de RPN dichas como un número entero	“40 RPM”
Cantidad de potencia en porcentaje	Cantidad de potencia dicha como un porcentaje	“Potencia 30%”
Cantidad de potencia en posiciones de palanca	Se indica la posición determinada en la palanca de mando	“Palanca -3”

También se muestran ejemplos de comandos para situaciones de maniobra manual:(Tabla^[15])

Identificación del pod:	Dirección de la rotación del pod	Grados de rotación de la unidad pod	Dirección de aplicación de la potencia	RPM Porcentaje o posición de palanca	Comando expresado como:
Pod de estribor	Interior	125°	Ninguna	Ninguna	“Pod de estribor interior 125° grados”
Pod de estribor	Aún en posición	Aún en posición	Positiva	40 RPM	“Pod de estribor 40 RPM positivas”
Pod de babor	Aún en posición	Aún en posición	Negativa	60RPM	“Pod de babor 60 RPM negativas”
Ambas unidades	Aún en posición	Aún en posición	Dirección previamente aplicada	0 ya sea RPM Porcentaje o posición de palanca	“Ambos pods parada”
Ambas unidades	Interior (o exterior)	0° a la vía	Dirección previamente aplicada	50 RPM	“Ambos pods a la vía”

6.5.Limitaciones en cuanto al control de azipods

La experiencia con la operación de estas unidades azipod de alta potencia, sobre todo en los buques de crucero, reveló algunas dificultades desde el punto de vista estructural, los temas críticos como temas de sellado y cojinetes pueden dar lugar a fugas, insuficiente lubricación, etc. Este es el resultado de las grandes fuerzas creadas en la carcasa de la unidad azipod cuando esta se hace girar grandes ángulos a alta velocidad. Esas fuerzas pueden ser más grandes de lo que la carcasa podría soportar. Debido a esto y teniendo en cuenta varios accidentes donde han sucedido daños en las unidades pod, los fabricantes imponen algunas limitaciones en cuanto a la explotación de buques con sistema de propulsión azipod. Esas limitaciones pueden ser:

- Operar las unidades pod tan suave como sea posible.
- Evitar potencia inversa (rpm inversa).
- Mantener rpm positivo.
- Evitar la maniobra de parada de emergencia.
- Evite el flujo de una unidad en la otra.
- Evitar la aplicación de grandes ángulos de giro.
- Mantener revoluciones mínimas.
- Evitar grandes diferencias entre RPM y la velocidad del barco.
- Evitar la rotación sin que el motor se encuentre a baja velocidad

Como se ve en la lista, la explotación de buques impulsados por unidades pod no es fácil y los capitanes y pilotos deben ser plenamente conscientes de las limitaciones, de lo contrario pueden causar daño a las unidades.

6.6.Enumeración y simulación de maniobras con el uso de azipods

Las ilustraciones ^[17] y el texto siguientes muestran cómo configurar las unidades de propulsión pod con el fin de lograr una maniobra / dirección deseada. Además, también se muestra la posición para fijar los joysticks. Tenga en mente las respuestas variarán de buque a buque y en general el más grande / más pesado / más calado, tienen menor respuesta.

Los joysticks de control del Puente generalmente se pueden girar mucho más rápido que la unidad de propulsión azimutal, por lo que siempre consulte a los medidores de indicación de posición para confirmar la posición real de la unidad propulsora, ya que estos indican la velocidad de rotación real de la unidad.

En este apartado, también se expondrán la simulación de algunas de las maniobras enumeradas el objetivo es la realización de la mayoría de las maniobras anteriormente descritas, para corroborar la información dada anteriormente, y observar las complicaciones y las limitaciones que tienen determinados buques a la hora de llevar a cabo dichas maniobras, y así poder establecer unas conclusiones. Para la realización de las maniobras se utilizará el simulador “Ship Simulator Extremes” que nos proporciona una relativa veracidad del comportamiento de determinados buques en una maniobra con azipods además de con propulsión convencional y establecer comparativas. Las imágenes de los buques que aparecen realizando la simulación de cada maniobra [18], son extraídas a través de capturas del “Ship Simulator extremes”. Los buques utilizados en las simulaciones son los siguientes:

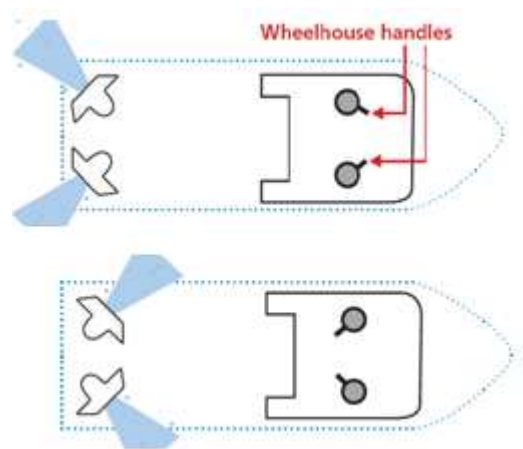
Nombre del barco:	Pride of Rotterdam
Tipo de barco:	Transbordador
Velocidad máxima:	22,00 nudos
Eslora:	215,45 m
Manga:	31,88 m
Calado:	6,05 m
Tipo de propulsión:	2 unidades de propulsión convencionales, cada una con su timón correspondiente, y una hélice lateral a proa.

Nombre del barco:	Orient Star
Tipo de barco:	Crucero de turismo
Velocidad máxima:	22,00 nudos
Eslora:	293,42 m
Manga:	33,50 m
Calado:	6,50 m
Tipo de propulsión:	2 unidades pod azimutales. Hélice transversal a proa.

Nombre del barco:	Ocean Prime
Tipo de barco:	Gasero LNG
Velocidad máxima:	19,50 nudos
Eslora:	288,00 m
Manga:	49,00 m
Calado:	12,59 m
Tipo de propulsión:	Propulsión convencional de una hélice con timón, y dos hélices transversales a proa.

1.- Maniobras a baja velocidad: slowahead, slowastern:

El uso de las unidades pod durante las maniobras a baja velocidad difiere significativamente del uso de medios de gobierno convencionales. El timonel tiene la posibilidad de rotar los pods en todas direcciones de manera independiente y puede utilizar revoluciones tanto positivas como negativas de la hélice. Para los buques con dos unidades azipod, los ángulos de dirección de las unidades están desacoplados, de manera que hay libertad de maniobra.

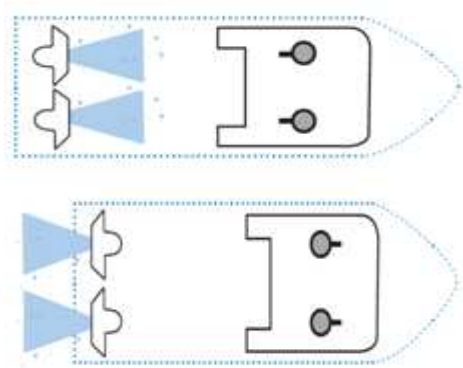


En general, la velocidad de la nave se controla mediante el mantenimiento constante de las RPM, pero cambiando el ángulo de los pods. El cabeceo se controla mediante el aumento de RPM de una unidad propulsora mientras que se reduce el de la otra.

Este enfoque proporciona un procedimiento integral, eficiente y seguro de navegar el barco a bajas velocidades en aguas confinadas.

2.-Maniobras Avante toda (Full Ahead) Atrás toda (Full Astern):

Para esta maniobra solo hay que mantener los mandos a 0° cuando se quiere ir avante, y posicionarlos a 180° cuando se quiere ir atrás, ajustando las RPM para obtener la velocidad deseada.



En este caso se navegará en modo maniobra de crucero, en la que ambas unidades se moverán simultáneamente y en las mismas RPM.

❖ Simulación de maniobras:

El buque utilizado para esta maniobra ha sido el Orient Star. La maniobra comienza con el buque completamente parado, y vamos a comprobar la velocidad que alcanza con los pods en posición de avance poca (pod estribor - 45°, y pod de babor 45° modo de maniobra fuerte), primero con toda la potencia (145 r.p.m.) y luego como sería realmente, con 50% de la potencia total. Con ello comprobaremos la velocidad máxima que alcanza el buque en ambos casos y el tiempo aproximado que tarda en alcanzarlos. Las condiciones ambientales son calma chicha y sin corriente.

–Con toda la máquina avante:



Se puede establecer que el buque navegando a máxima potencia, con los pods en esta posición (lo cual no se recomienda, ver el apartado anterior de modos de maniobra) alcanza una velocidad de 13,5 nudos, que es el 61,36% de la velocidad máxima que dicho buque alcanza, y tarda 6 minutos y 45 segundos en establecer esta velocidad, partiendo con el buque parado.

–Con el 50% de la potencia del buque:



Se observa que navegando en condiciones óptimas en dicha maniobra (50% de la potencia) a unas 72,5 r.p.m. el buque alcanza una velocidad máxima de 6,3 nudos alcanzados en 8 minutos y 10 segundos aproximadamente, las imágenes hacen referencia al inicio y final de la maniobra.

–Maniobra de atrás poca:

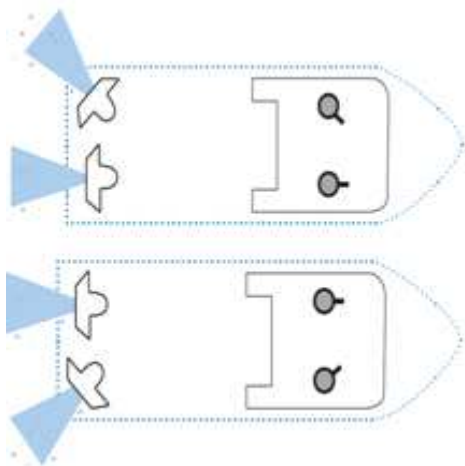
Partiendo del buque parado colocamos los pod en las posiciones de atrás poca (pod estribor -135° y pod de babor 135° modo de maniobra fuerte) estableciendo la mitad de la potencia como en el apartado anterior 72,5 r.p.m.



Con esta maniobra se alcanza una velocidad máxima atrás de 6,2 nudos en 7 minutos y 45 segundos.

Se observa que la velocidad máxima obtenida atrás es de 6,2 nudos, mientras que avante es 6,3 nudos esta pequeña diferencia se puede deber las formas con una peor hidrodinámica de la popa, aunque se observa que la diferencia de velocidad es bastante pequeña, y se debe a que la potencia avante y atrás, es la misma, ya que solo hay que girar la unidad pod, lo cual es muy ventajoso a la hora de la maniobrabilidad de un buque.

3.- Viraje a estribor o babor:



El viraje en movimiento podría ser realizado en cada una de las tres modalidades. En el modo de crucero ambas unidades son desviadas a cierto ángulo, de manera similar a la dirección con el timón convencional, con la diferencia de que la dirección que tomará el barco será la contraria a donde se dirigen las unidades propulsoras. El giro resultante es moderado. Si se compara con el viraje con timón convencional desviado hasta el mismo ángulo (digamos 35°) el diámetro de giro de la nave equipada con unidades pod es sustancialmente menor.

El viraje se podría realizar también en el modo suave, utilizando sólo una unidad propulsora como se muestra en la figura. El giro resultante puede ser gradual y suave.

❖ Simulación de maniobra:

–Maniobra de giro constante (curva evolutiva):

Para la realización de esta maniobra utilice el Orient Star, y el Pride of Rotterdam, para obtener las diferencias entre un buque de propulsión pod y un buque de propulsión convencional a la hora de desarrollar una curva evolutiva, escogí los dos buques con un tamaño parecido, aunque el objetivo es ver las

características de cada uno en la evolución de la maniobra de curva evolutiva a grandes rasgos.

Comenzamos con el Orient estar, el buque con propulsión azimutal, tenemos el barco en avance toda, navegando a una velocidad de 22,00 nudos (145 r.p.m.), giramos ambos azipods a 25,00° como se muestra en la imagen a continuación (los azipods estarían en el modo crucero), con lo cual el buque hará un giro hacia babor.



En torno a la mitad del giro el buque ha perdido velocidad hasta alcanzar 11,6 nudos, por lo tanto ha perdido un 47,28% de la velocidad total, esta reducción de velocidad se produce relativamente rápido, y en las primeras fases de la maniobra, aunque el radio de giro fue bastante corto y completó la curva de giro en 8 minutos 22 segundos.

Seguidamente realizamos la maniobra con el Pride of Rotterdam Para establecer una comparación directa.



Ponemos el buque en avance toda y cuando alcanzó su velocidad máxima de 22 nudos (145 r.p.m.), procedimos a realizar un giro constante a babor, metiendo ambos timones 8,2 grados a dicha banda.

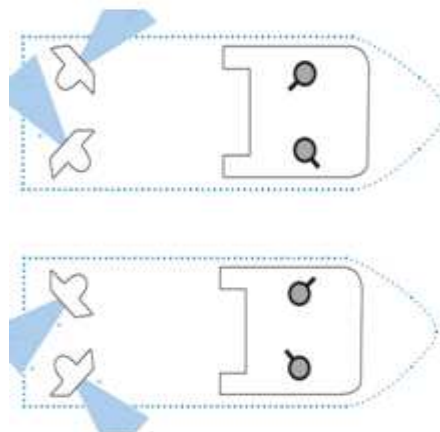


El giro se produce de una manera más suave que en el caso con pods, produciéndose un descenso de la velocidad hasta 18,8 nudos, un descenso del 14,55%, la maniobra se completo en 6 minutos 25 segundos.

Por lo tanto podemos concluir que el giro es más efectivo con el uso de azipods, aunque el tener un giro evolutivo de radio más corto conlleva una perdida súbita de velocidad, y hace que se produzcan grandes ángulos de escora y un giro más lento, mientras que en el buque de propulsión convencional el giro es más gradual, al igual que la pérdida de velocidad, y aunque tiene un radio de giro mayor la maniobra dura menos en completarse debido a que no pierde tanta velocidad, y la maniobra se realiza de manera continuada y gradual.

4.-Giro a babor o estribor a velocidad 0:

Un gran giro se puede realizar en el modo fuerte. En este caso se utilizan las dos unidades de propulsión. En la imagen superior de la figura vemos como la unidad de babor la dirigimos a babor en cierto ángulo con revoluciones más altas, la unidad de estribor también dirigimos a babor, pero más lentamente y a menos RPM.



Se produce un empuje atrás y hacia estribor de la popa, con lo que el barco caerá a babor. En consecuencia se ejecuta un giro con un diámetro de giro muy pequeño.

La gama de ángulos de las unidades propulsoras es de entre 75 y 105 grados. Cuando ambas unidades están en funcionamiento, hay que evitar que el flujo de una pase por la otra.

❖ Simulación de la maniobra:

Para la simulación de esta maniobra escogí de nuevo el Orient Star para simular la maniobra con propulsión azimutal, y el Ocean Prime para la simulación de la maniobra con propulsión convencional.

Comenzamos con el buque con propulsión pod, tenemos el buque completamente parado, y nos disponemos a la realización de un giro de 180° hacia babor, para ello colocamos la unidad pod de babor en 105,5° y la unidad de estribor a 45,4° se entiende, que se trabaja en el modo de maniobra fuerte, entonces ponemos la unidad de babor a máxima potencia (145 r.p.m.), y la unidad de estribor a menos revoluciones (99 r.p.m.).



Durante la maniobra, se observa un empuje de la proa hacia babor de 4 nudos, y un empuje de la popa hacia estribor, de 6,7 nudos máximo, también se observa un ligero empuje hacia atrás de cómo máximo 1 nudo, por lo tanto el giro se hace pivotando prácticamente en la posición inicial del buque, por lo que no es necesario un gran espacio para la realización de dicha maniobra.



La maniobra se completó en 3 minutos y 12 segundos, aunque el proceso se hubiera acelerado si se hubiese hecho uso de las hélices laterales de proa, pero en este caso no son indispensables para la realización de la maniobra.

Seguidamente realizamos la maniobra con el buque de propulsión convencional, comenzamos, con el buque completamente parado, y nos disponemos a realizar un giro de 180° hacia babor, como en el caso anterior, para ello ponemos todo el timón a babor (35°) y aplicamos toda la potencia disponible (115 r.p.m.).



Mientras se produce la maniobra se observa una caída de la proa a babor de 1,3 nudos máximo, y una caída de la popa a estribor de 3,7 nudos máximo. La diferencia entre ambas maniobras, es que en esta se observa un empuje significativo avante de hasta 7,3 nudos, con lo cual el giro no se consigue pivotando sobre la posición inicial, sino que se produce un radio de giro, que si

bien es pequeño, precisa de más espacio para la realización de esta maniobra, también el movimiento es más lento, completándose la maniobra en 7 minutos aproximadamente aunque hay que señalar la menor potencia que tiene este buque.



Ahora vamos a establecer una comparativa con el Pride of Rotterdam, que tiene dos propulsores con dos timones convencionales, ponemos ambos timones a 11,3° a babor y ponemos toda la propulsión disponible (145 r.p.m.).



Durante el giro se produce una caída de la popa a estribor de 8 nudos máximo, y una caída de la proa de 5,2 nudos. También se produce un empuje avante de 11,3 nudos, lo que como en el caso anterior produce un radio de giro, por lo que para la realización de la maniobra se necesita más espacio que cuando utilizamos el buque con propulsión azimutal.

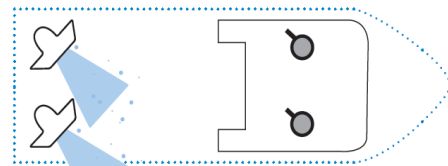


El giro se completó en 2 minutos y 5 segundos, bastante más rápido que el buque con pod, pero esto se puede deber a que el buque es más pequeño y dispone de una mayor propulsión.

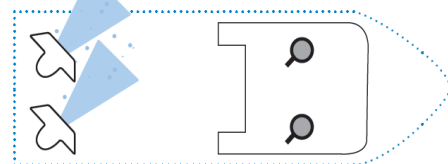
Esta diferencia en el radio de giro nos muestra la ventaja de la propulsión azimutal en este tipo de maniobras, aunque en este caso se podría haber hecho uso de las hélices laterales de proa que tiene el barco lo que hubiese acortado el tiempo de maniobra y reducido el radio de giro, pero quería que la maniobra la completasen ambos buques en las mismas condiciones.

5.-Giro de popa a babor o estribor:

El viraje en movimiento podría ser realizado en cada una de las tres modalidades. En el modo de crucero ambas unidades son desviadas a cierto ángulo



El viraje se podría realizar también en el modo suave, utilizando sólo una unidad propulsora como la maniobra número 3 pero con los propulsores invertidos 180 grados. El giro resultante puede ser gradual y suave.



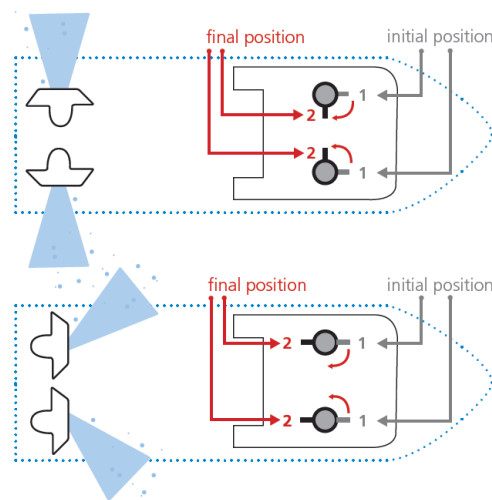
6.-Maniobra de parada y parada de emergencia:

Hay varias posibilidades para detener los buques equipados con dispositivos de propulsión azimutal.

-Detención con giro: Detención del buque utilizando haciendo giro brusco, se tiene que hacer a velocidad reducida porque podrían producirse otros movimientos. El diámetro de giro y el avance en esta maniobra son muy pequeños y la parada se produce en una distancia muy pequeña, sin embargo se requiere algo de holgura lateral.

-Para de emergencia tradicional: Tradicionalmente la parada de emergencia se realiza mediante la inversión de sentido de rotación de la hélice. Sin embargo el uso de RPM inversa en los dispositivos de control azipod, no se recomienda por lo general. Se puede realizar esta maniobra de otra manera, se podrían girar las unidades 180° como en la imagen inferior de la figura.

Se recomienda que en esta maniobra los pods se giren hacia el exterior. La maniobra se realizará de la siguiente manera:



Primero el modo crucero se cambia al modo de maniobra fuerte, el sistema reducirá automáticamente la potencia si hay límite de potencia en este modo. De lo contrario hay que reducir las RPM.

Luego las unidades Pod se giran 35°-45° hacia el exterior. Se espere hasta que la velocidad del barco sea de unos 15 nudos.

Por último cuando se alcanza la velocidad de 15 nudos, se girarán ambos pods simultáneamente hasta alcanzar los 180° grados.

-Parada de emergencia invirtiendo las RPM: Es la maniobra tradicional de parada de emergencia. Revertir RPM a alta velocidad no está recomendado por los fabricantes. Antes de invertir las RPM hay que reducirlas. O se pueden

reducir automáticamente por el sistema, cambiando el modo de maniobra, de crucero a fuerte.

-Procedimiento de detención transversal: (figura: imagen superior)

Dentro de este procedimiento los pods se mueven 90° grados a la posición opuesta entre sí. Esto da una tasa muy alta de reducción de velocidad. A medida que la velocidad cae por debajo de aproximadamente 5 nudos, podemos acelerar el proceso de reducción de velocidad creando empuje hacia atrás girando los pods hasta 180° grados.

❖ Simulación de maniobra:

–Maniobra de parada tradicional:

Volvemos a utilizar el crucero Orient Star, comenzamos con el buque navegando avante toda, a la velocidad máxima de 22 nudos, y el objetivo es la detención total del buque. Estamos navegando en modo maniobra de crucero, y para la realización de la maniobra, cambiamos este modo a maniobra fuerte, lo cual reducirá la potencia entre un 50% a un 60% por lo tanto pasamos de 145 r.p.m. a 71 r.p.m., y movemos simultáneamente ambos azipods 45,4° por el exterior.



Es en estos momentos donde se percibe un rápido descenso de velocidad, ya que el buque alcanza 15 nudos en 1 minuto y 5 segundos. A partir de este momento, se mantienen las mismas r.p.m. y se giran ambos azipods a 178,9° para proseguir con la detención total del barco.



El buque alcanza la detención total en 7 minutos y 34 segundos desde el inicio de la maniobra. Luego de girar los azipods a 178,9° el descenso de la velocidad es más gradual y suave, pasamos de perder 7 nudos aproximadamente 1 minuto y 5 segundos, a perder 15 nudos en los restantes 6 minutos y 35 segundos.

-Parada invirtiendo la RPM:

Utilizamos el Orient Star y el Pride of Rotterdam con dos hélices con propulsión convencional, que tiene unas características parecidas al Orient Start y alcanza la misma velocidad máxima.

Primero realizamos la maniobra con el Orient Star, ponemos el buque en avante toda, y cuando este alcanza la velocidad máxima de 22 nudos, invertimos completamente las r.p.m. de 145 a -145.



El buque se para completamente en 3 minutos 50 segundos, produciéndose el descenso de la velocidad de manera gradual.

Seguidamente realizamos la misma maniobra el Pride of Rotterdam, ponemos el barco en avance toda a 154 r.p.m. y cuando este alcanza la velocidad máxima de 22 nudos invertimos las revoluciones para dejarlas en -154 r.p.m.



El buque completo la maniobra deteniéndose completamente en 2 minutos y 5 segundos.

Como se puede observar la maniobra se completa antes en el buque con propulsión convencional, lo cual puede deberse a que el Pride of Rotterdam tiene un poco más de potencia en cada unidad propulsora y el tamaño del barco es menor. En ambos casos el resultado de la maniobra debería ser bastante similar.

–Procedimiento de detención transversal:

Para esta maniobra nuevamente vamos a hacer uso del Orient Star, lo pondremos avante toda, y cuando alcance su velocidad máxima de 22 nudos procederemos al inicio de la maniobra de detención transversal. Para ello reduciremos las 135 r.p.m. a la mitad aproximadamente unos 72 r.p.m. y giraremos ambos pods hacia el exterior a 89,5°.



Continuamos así hasta que el buque alcanzó los 5 nudos, los cuales tardo en alcanzar 4 minutos 8 segundos. Seguidamente continuamos girando ambos pods por el exterior hasta alcanzar 178,9°.



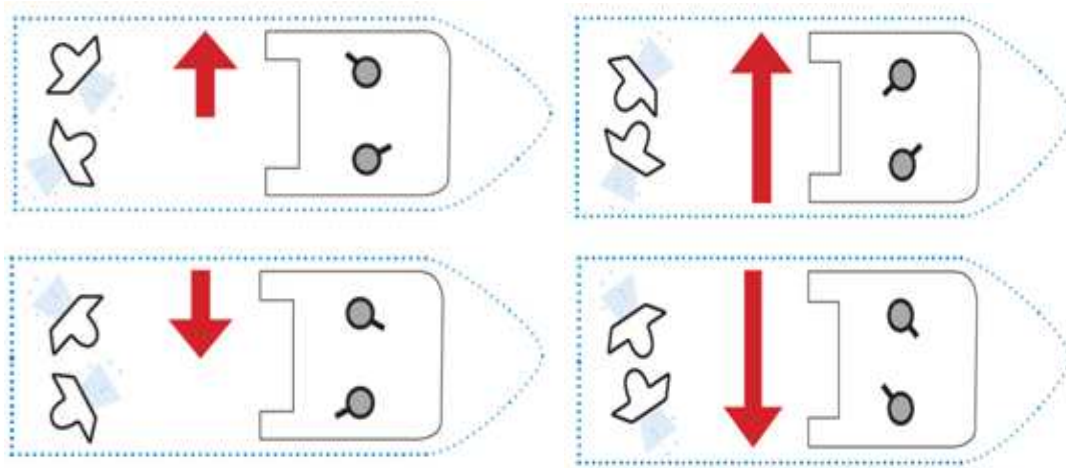
Continuamos de esta manera hasta completar la detención total del buque, la cual se produjo en 6 minutos y 17 segundos.

Como hemos podido comprobar, la maniobra más efectiva ha sido la de inversión de las revoluciones, aunque esta no está recomendada, mientras que las otras dos maniobras son bastante parecidas en cuanto a ejecución y la duración de la misma, aunque su uso es más adecuado y se hace una utilización de la máquina de manera más suave e indicada.

7.-Maniobra de desplazamiento lateral:

Para los buques tales como cruceros o transbordadores, la capacidad de desplazamiento lateral es de gran importancia para la operatividad y la eficacia de la nave. Cuando el barco es capaz de atracar sin ninguna ayuda exterior, no sólo se ahorra tiempo sino también dinero en términos de tasas de remolcadores. Por lo tanto, para este tipo de buques, la capacidad de movimiento lateral debe ser implementada en las primeras etapas del diseño de los mismos.

Se pueden distinguir dos modos de funcionamiento: atraque o desatraque. En general, se encontró que el modo de desatraque es la situación más crítica.



La unidad hacia la que se quiere realizar el movimiento, ya sea babor o estribor debe establecerse en alrededor de 40° a 45° a popa y la contraria unos 20° a 30° a proa con más empuje en la unidad de la banda hacia donde se quiere realizar el movimiento lateral. El Movimiento de proa a popa es controlado ajustando el ángulo y potencia nominal de la unidad de de la banda de movimiento.

Debe haber algo más de poder en la unidad de estribor o babor dependiendo del lado para evitar el impulso hacia adelante.

Capacidad de desplazamiento lateral, con viento:

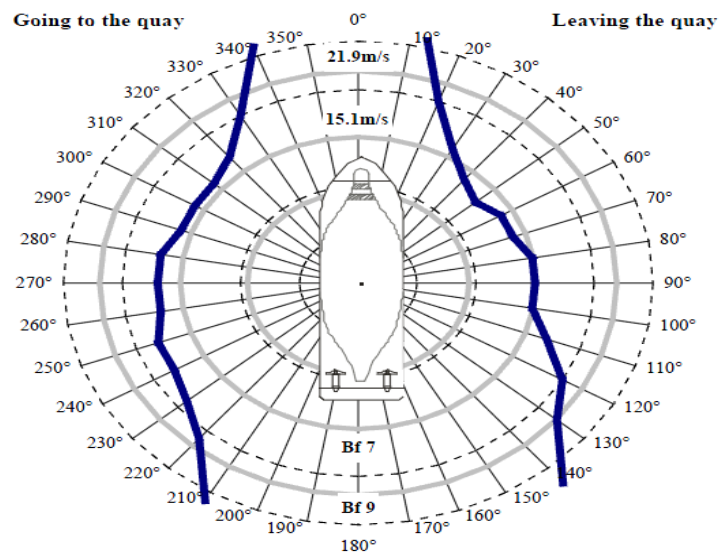


Figura 20: Capacidad de desplazamiento lateral con viento [13]

De la figura de ejemplo la capacidad de desplazamiento lateral se puede hacer las siguientes observaciones:

-El desplazamiento lateral con vientos de proa o de popa, no plantea problemas.

-La aproximación al muelle se puede realizar con vientos más fuertes que la maniobra de desatraque.

-Es posible el atraque con vientos de hasta 15,1 m/s, independientemente de la dirección del viento.

-Es posible el desatraque con vientos de hasta 15,1 m/s, a excepción de que estos vengan de proa o popa ya que no plantean problemas.

❖ Simulación de la maniobra:

La capacidad de desplazamiento lateral es fundamental, en buques como cruceros o transbordadores, como los que veremos a continuación.

Primeramente realizamos la maniobra con el Orient Star y su propulsión azimutal, vamos a realizar el desplazamiento lateral a estribor, para ello el azipod de babor lo colocamos en 45,4° y el pod de estribor lo colocamos en la posición de 160° como se muestra en la imagen.



Luego aplicamos potencia siempre aplicando más en la unidad por a la que vayamos a realizar el desplazamiento lateral, en este caso la unidad de estribor aunque esta regla, depende del buque en donde se realiza la maniobra, en buques como este hay que ir controlando la caída de la popa, y la caída de la

proa hay que realizarla con la hélice lateral de proa combinando todas las potencias de cada propulsión para igualar la caída de proa y popa.



La caída se produce en torno a 1,7 nudos, se podría producir un ligero empuje avante, pero se solventa controlando las revoluciones de ambos azipods.

Luego realizamos la misma maniobra con el Pride of Rotterdam con propulsión convencional, como vamos a realizar el desplazamiento lateral por estribor, ponemos el timón completamente a babor 45° y aplicamos propulsión avante para que la popa caiga a estribor, mientras que la caída a estribor de la proa se tendrá que realizar con la hélice lateral de proa.



La caída se produce más lentamente que en el buque con propulsión azimutal, unos 0,6 nudos de máxima, también se produce un pequeño empuje avante, lo que establece que esta maniobra es mucho menos efectiva en este tipo de buques con propulsión convencional.

7.CONCLUSIÓN/CONCLUSION

Luego de la realización de esta memoria, se puede establecer que la propulsión azimutal es en general más efectiva que la propulsión convencional, tanto desde el punto de vista de propulsión así como desde el punto de vista de la maniobra.

Desde que comenzó la utilización de este tipo de propulsión se han demostrado las múltiples ventajas que posee, tener toda la propulsión disponible para la realización de las maniobras es la principal. El hecho de que cada unidad pod se pueda mover de manera independiente a lo largo de los 360 grados, hace que la unión de dos unidades le dé maniobrabilidad total a un buque, esto unido a la inclusión de hélices laterales de proa, en el caso de buque grandes, hace que desde el punto de vista de la propulsión y la maniobra no haya ningún factor limitante a la hora de la realización de las mismas, con lo cual no se depende de remolcadores, y los factores meteorológicos como el viento y oceanográficos como la corriente son menos influyentes debido a que toda la propulsión está disponible para la realización de estas.

Pero este tipo de propulsión y gobierno, requiere una preparación especial de los pilotos, además de que hay un protocolo específico para la realización de las maniobras, dependiendo de la navegación que estemos realizando, la velocidad que se lleve, etc, además de que en determinadas maniobras no demuestra tanta estabilidad como la propulsión convencional.

El mayor inconveniente que tiene este tipo de propulsión que hace que no se expanda más en el mercado, es su alto coste de instalación, por lo que dicha instalación solo se produce dependiendo del destino de barco, su cometido, y la cantidad de maniobras que está destinado a realizar. Por lo que la decisión de su inclusión o no en los buques se lleva a cabo en las primeras etapas del diseño del mismo.

A pesar de sus inconvenientes son más las ventajas que posee, lo que demuestra que es un sistema de propulsión fusionado a la maniobra que no solo incrementa la capacidad de maniobra de los buques, sino la seguridad, debido a que el buque puede reaccionar antes ante un imprevisto, lo cual le otorga un gran valor añadido.

After complementing this memory, it can be said that an azimuth drive is generally more effective than conventional propulsion, both from the propulsion point of view as from the point of view of the maneuver.

Since we started using this type of propulsion, we have shown the many advantages it has. It is a major concern the need to have all the propulsion available for conducting maneuvers. The fact that each pod has to be moved independently along the 360 degrees, provides the union of the two units with full maneuverability of a ship. This coupled with the inclusion of bow thrusters, in the case of a large ship, makes it that, from the point of view of the propulsion and maneuvering, there is no limitation when performing the same factor. At the same time, this is not dependent on tugs, and meteorological factors such as wind or oceanographic likecurrents, which are less influential because of all the propulsion is available for performing these.

But this type of propulsion and steering requires special training of pilots. Furthermore, there's a specific protocol for conducting maneuvers, depending on the navigation we are doing, the speed you carry, etc. In addition to that, certain maneuvers do not show such a stability as conventional propulsion.

The biggest drawback of this type of propulsion that does not make it expand more in the market, is the high cost of installations. The installation is only produced depending on the destination of the ship, its mission, and the number of maneuvers requested to perform. For this reason, the decision to include or not the vessels in, is carried out in the early stages of its design.

Despite of its drawbacks there are also many advantages. Especially, the fact that it has been demonstrated the efficiency of this propulsion system. This has been fused not only to increase the maneuverability of ships, but also its safety. This is due to the fact that the ship can react earlier and faster to an unforeseen event, which gives it a great value.

8. BIBLIOGRAFÍA

- [1]<https://ingenieriasmarinas.files.wordpress.com/2013/02/azipod-nuevo-concepto-en-propulsic3b3n-naval.pdf>
[Acceso: Noviembre-Diciembre 2014]
- [2][http://www02.abb.com/global/seitp/seitp161.nsf/0/7ec3a83fa71acc1ec125702f00257383/\\$file/Azipod+technical+presentation.pdf](http://www02.abb.com/global/seitp/seitp161.nsf/0/7ec3a83fa71acc1ec125702f00257383/$file/Azipod+technical+presentation.pdf)
[Acceso: Noviembre-Diciembre 2014]
- [3]<http://www.maniobradebuques.com/pdf/tecnologias/azipod.pdf>
[Acceso: Noviembre-Diciembre 2014]
- [4] Enrique Tortosa Cerezo: “Fundamentos de construcción naval”. ARTE Comunicación Visual, S.L. Tenerife, 2001. I.S.B.N. 84-699-4846-6
- [5]http://www.academia.edu/6381859/_EVALUACION_DE_LAS_IMPPLICACIONES_DE_LOS_SISTEMAS_DE_PROPULSION_DIAGRAMA_SELECCIONADO_Y_DISEÑO_EN_UN_BUQUE_TIPO_OPV_DURANTE_SU_CICLO_DE_VIDA
[Acceso: Noviembre-Diciembre 2014]
- [6] http://es.wikipedia.org/wiki/Propulsor_azimutal
[Acceso: Noviembre-Diciembre 2014]
- [7]http://www.defesabr.com/MD/Planobrasil/Programatitan/md_projetoposseidon.htm
[Acceso: Noviembre-Diciembre 2014]
- [8]<http://www.crucerospremium.com/barco.php?id=146>
[Acceso: Noviembre-Diciembre 2014]
- [9]<http://kids-present.blogspot.com.es/2012/04/dos-estilos.html>
[Acceso: Noviembre-Diciembre 2014]
- [10]<http://www.nauticexpo.es/prod/siemens-ag-marine-solutions/pod-buque-helices-contrarrotativas-electricos-31629-225754.html>

[Acceso: Noviembre-Diciembre 2014]

- [11]<http://es.scribd.com/doc/48870578/APUNTE-propulsion-CRP#scribd>

[Acceso: Noviembre-Diciembre 2014]

- [12]<http://www.zona-militar.com/foros/threads/noticias-de-la-armada-argentina-ara.22226/page-180>

[Acceso: Noviembre-Diciembre 2014]

- [13]http://www.marin.nl/upload_mm/6/e/2/1806690851_1999999096_Manoeuving_aspects_of_fast_ships_with_pods.pdf

[Acceso: Enero 2015]

- [14]<http://naut.blogcindario.com/2009/10/00028-maniobra-de-cambio-de-rumbo-del-buque-curva-evolutiva.html>

[Acceso: Enero 2015]

- [15]http://www.transportresearch.info/Upload/Documents/201211/20121112_133832_38339_Deliverable_3.5_PUBLIC.pdf

[Acceso: Enero-Febrero 2015]

- [16]<http://www.beyondships.com/QM2-Bridge.html>

[Acceso: Enero-Febrero 2015]

- [17]<http://www.impahq.org/admin/resources/article1367420271.pdf>

[Acceso: Enero-Febrero 2015]

- [18]Simulador “Ship Simulator Extremes”

