

Sistema de propulsión *podded*(AZIPOD)

POR RAFAEL CABAL ALVAREZ
Práctico del Puerto de Barcelona
Extraído de Revista Prácticos de Puerto (España)
Diciembre 2010 Año XIV Número 64

El concepto de los propulsores *podded* deriva de las hélices azimutales, las cuales se llevaban utilizando desde hace muchos años en la industria naval. De hecho, los primeros diseños de los *podded* provenían de los conocimientos prácticos de las hélices azimutales

Fueron introducidos en la industria naval hace 20 años a principios de la década de los años 90, luego ya no podemos decir que es una tecnología de última generación. Su gran expansión se produjo a lo largo de la segunda mitad de esa década, y ha continuado durante todo el primer decenio del presente siglo. Se puede decir que el sistema de propulsión *podded* se ha consolidado dentro de la industria naval y ha venido para quedarse.

Este concepto de propulsión nació en Finlandia en el año 1990, fruto de la colaboración de *ABB Industry of Finniand* y *Kvaerner Masa Yard*, como resultado de la transformación del buque de servicio "Seifi"⁽¹⁾. En un principio esta propulsión fue diseñada para los buques rompehielos, pero rápidamente se expandió y amplió el campo de aplicación a otros tipos de buques como cruceros⁽²⁾, ferrys, tanques⁽³⁾, buques de gas, buques auxiliares, buques militares etc.



El motivo de esta rápida expansión 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.

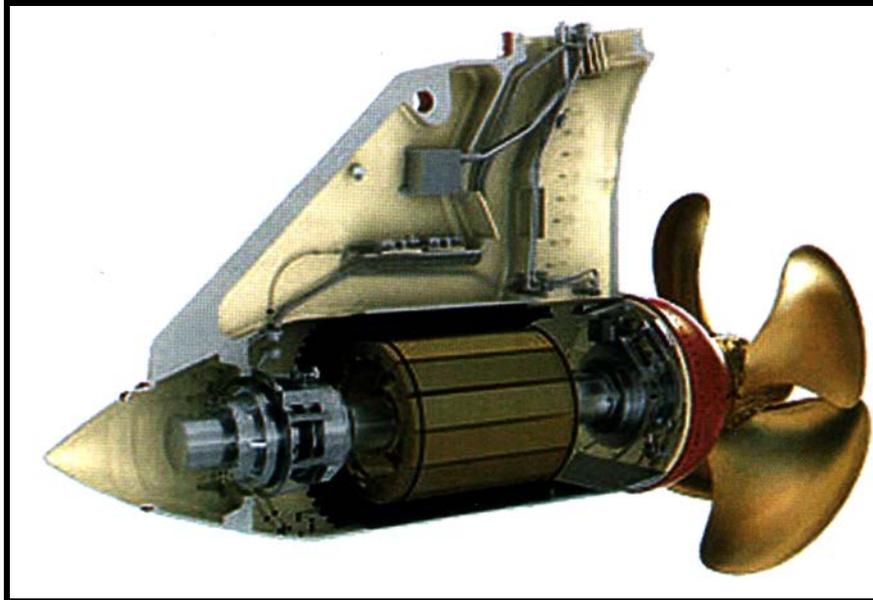
Y por otro lado, a la necesidad que tenía la industria naval de encontrar un sistema de propulsión eficaz, que proporcionase más maniobrabilidad a los buques, cualidades que ha demostrado el sistema de propulsión *pod* ampliamente.

1. Buque "Seifi" (Buoy Tender), dedicado a servicios fluviales y perteneciente a la administración Finlandesa; se convirtió en el primer buque en el mundo en instalar un Azipod. Se le transformo toda la planta propulsora; originalmente tenía instalada una máquina de 1.600 Kw., conectada mediante una línea de ejes a una hélice de paso variable, y como sistema de gobierno utilizaba un timón convencional que lo capacitaba para navegar en hielos de hasta 45 cm. de espesor. Se le incorporó un pod con un motor eléctrico síncrono de 1.500 Kw, se le suprimieron las líneas de ejes y el timón. Después de la modificación y a pesar de haber reducido la potencia propulsora 100 Kw, debido al mayor rendimiento del nuevo conjunto propulsor, podía navegar entre hielos de hasta 55 cm., y también navegar hacia popa rompiendo hielo, navegación que antes de la transformación no podía realizar debido a la disposición del timón.

2. En 1998 se constató la eficacia de los pod's al comparar este sistema y la propulsión tradicional entre buques gemelos. Ese año, los pod's se instalaron por primera vez en dos barcos de crucero; "Elation" y "Paradise" de la clase

Fantasy de la Compañía Carnival Cruises Lines (CCL). La propulsión clásica de dos ejes con timones, fue remplazada por una propulsión con azipod de 14 MW. Con los dos tipos de buque en servicio y efectuando su operativa normal, se reunieron los suficientes datos para comprobar que el sistema azipod ahorra un 8% en combustible y aumentaba la velocidad del buque en medio nudo. Carnival comprobó que en los cruceros de una semana, el sistema azipod permitía un ahorro de 40 toneladas de combustible.

3. En el buque cisterna Ulikku se instaló la primera unidad azipod de alta potencia de 11,4 MW, para navegación en las aguas árticas, demostró la mayor capacidad de maniobra y de eficacia del sistema en general.



Interior de un Pod Mermaid, fabricado por Rolls-Royce / Alstom's.

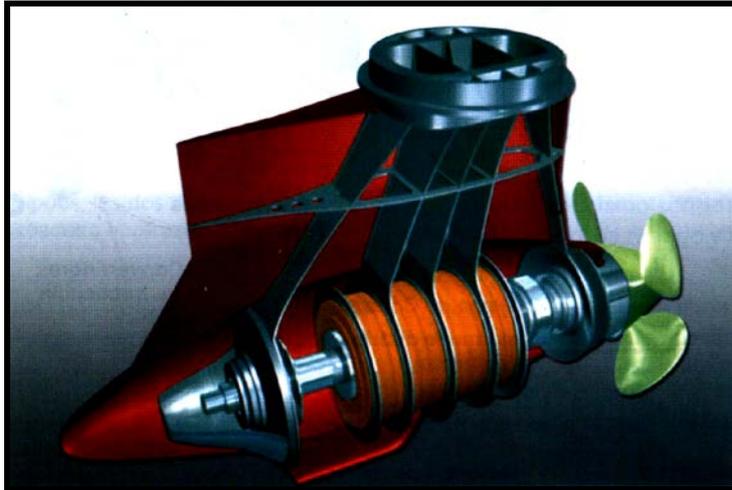
El Queen Mary 2 está equipado con cuatro Pod Mermaid, dos fijos situados a proa de los dos pod azimutales que le dan gobierno al buque.

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 *pod*'s. Incluso otras marcas, como "Mermaid" de Kamegwa/ Alstom, y "Delfín" de Atlas/Lips/STN, reciben el nombre genérico de azipod.

A lo largo de los años, el sistema de propulsión Azipod ha ido demostrando su eficacia en el sector naval.

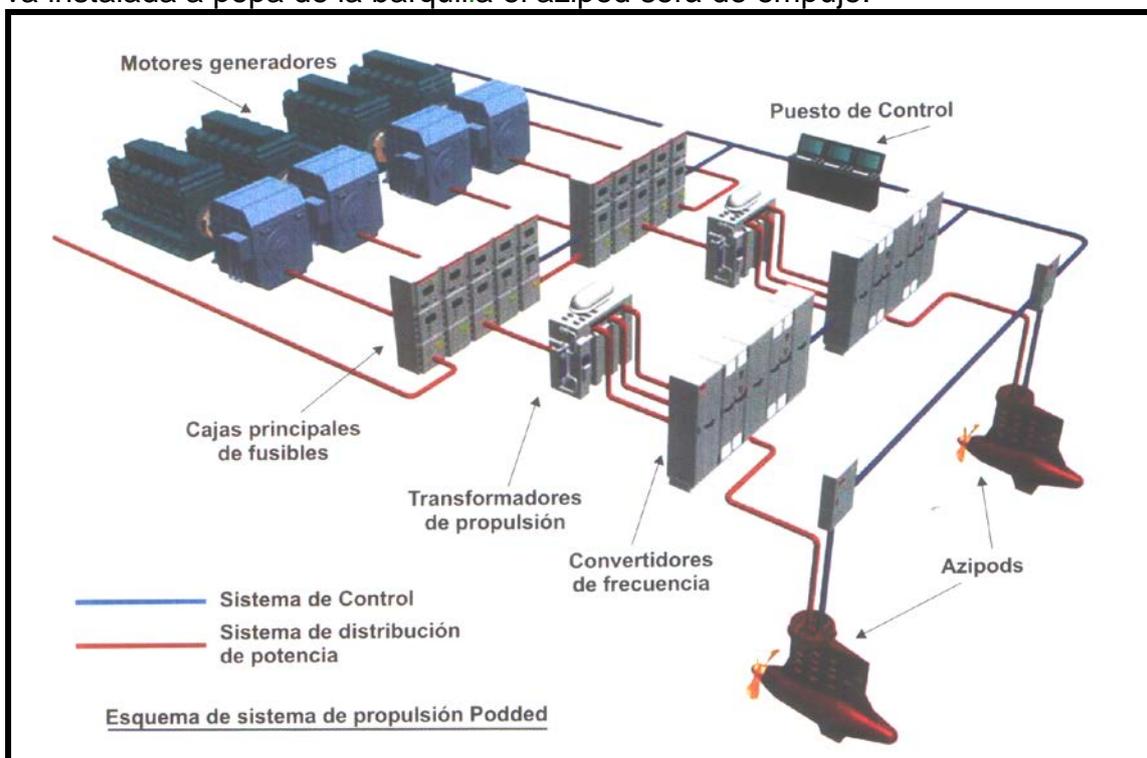
En la actualidad es conocido entre los profesionales del mar por su maniobrabilidad, respuesta inmediata, alta velocidad de crucero y operaciones en general suaves y silenciosas. No cabe duda que el sistema ha ido evolucionando hasta convertirse en la principal propulsión, de los modernos buques de cruceros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

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.



Interior del pod de empuje (tractor), donde se puede ver el motor eléctrico que da movimiento al eje de la hélice de cuatro palas y paso fijo. El eje se encuentra apoyado sobre dos cojinetes, el situado a popa de apoyo y el de proa junto al motor de excitación de empuje.

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, hélices transversales a popa o largas líneas de eje en el interior del buque. 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 esta 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.



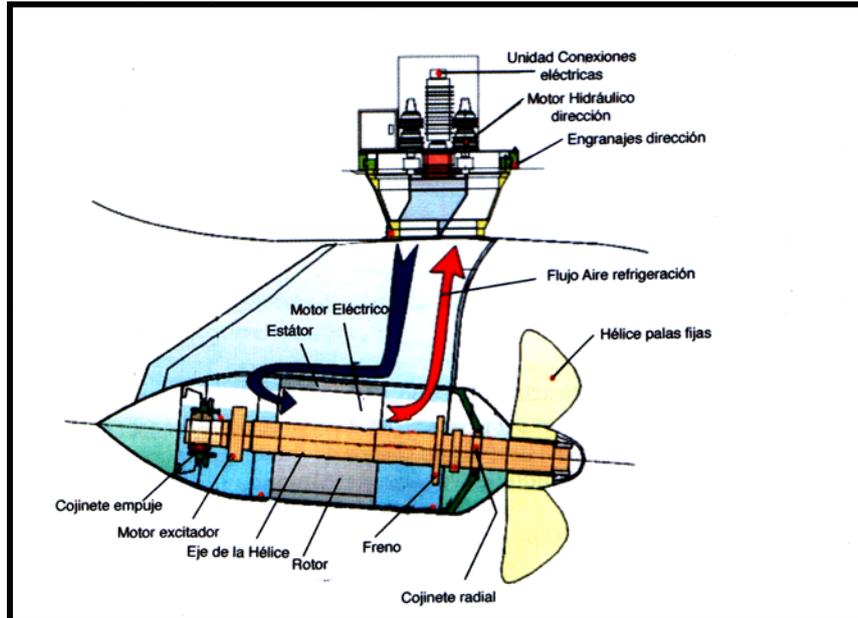
Un buen diseño de la barquilla; (forma, posición y ángulo en relación al casco del buque), puede llegar a reducir la resistencia al movimiento entre un 5 y un 10%, además, de aumentar la eficacia de la propulsión hasta un 15% en comparación con los sistemas de propulsión convencional en el casco.

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.

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

Un buen ejemplo son los motores síncrono, con superconductores de alta temperatura HTS.

Estos motores son ligeros y compactos, con un par motor tres veces mayor que los motores de similar tamaño, a la vez que son compatibles con el estándar de velocidad variable (VSD).



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.

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.

Esta corriente rectificadla utilizaremos para variar la velocidad y el par del motor eléctrico colocado en la barquilla del azipod y que mueve la hélice del mismo.

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.



Vista de los pods del "Queen Mary 2", en primer lugar los dos azimutales, al fondo y más exteriores dos fijos.

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 Azipods.

La configuración varía desde un azipod colocado a crujía en la zona del codaste, hasta cuatro, siendo la configuración más usual la de dos azipod azimutales, 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.

En la actualidad solo el "Queen Mary 2"⁽⁴⁾ dispone de una instalación con cuatro azipods, los dos de proa fijos y los situados a popa azimutales.

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.

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.

La propulsión "Siemens Shottel Propulsion"



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

La SSP propulsión consiste en una barquilla sumergida fuera del casco, en

cuyo interior contiene un motor eléctrico a cuyo eje están unidas dos hélices que giran en el mismo sentido, actuando la de proa tirando y la de popa empujando.

4. Chantiers de L'Atlantique propuso una configuración CODAG (diesel y gas combinada) basada en dos turbinas de gas. General Electric LM2500 + de 25 MW, cada una, situadas en una cámara de turbinas localizada inmediatamente detrás de la chimenea, y cuatro motores diesel Wärtsilä 16V46C, que desarrollan una potencia unitaria de 16.800 kW a 514 rpm, instalados en una única cámara de máquinas.

Con esta planta propuesta el "QM2" estaría propulsado por cuatro propulsores pod Mermaid de 21,5 MW, los dos de proa fijos y los otros dos azimutales, desarrollados conjuntamente por Kamewa y Alstom. Los pods han sido especialmente diseñados para la velocidad máxima de operación del buque, siguiendo un extenso programa de investigación. Los cuatro propulsores pod Mermaid han sido suministrados por Rolls-Royce. Los cuatro motores diesel Wärtsilä 16V46C desarrollan una potencia total de 67.200 kW con la que el Queen Mary 2 puede alcanzar una velocidad de 23,5 nudos. Los cuatro motores diesel y las dos turbinas de gas funcionando proporcionan una potencia suficiente para la carga de hotel y 86.000 kW para la planta de propulsión, que permite al buque alcanzar una velocidad de más de 29,5 nudos.

Esta combinación de turbinas de gas y motores diesel tiene otra ventaja, una buena flexibilidad operacional y redundancia para una operación normal. Al tener los grupos de motores diesel-alternadores y los de turbinas de gas -alternadores, cuadros eléctricos diferentes y estar separados una distancia considerable, JP incidente que dejase fuera de servicio a una u otra fuente de generación de energía eléctrica no dejaría inoperativo al buque

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.

La góndola lleva incorporadas unas aletas laterales horizontales, que junto con la parte vertical que sustenta el *pod* al casco, desvía el flujo de la corriente de agua procedente de la hélice de proa, y la dirige de forma axial a la hélice de popa, permitiendo reutilizar y aprovechar la energía de los remolinos generados por la hélice de proa.

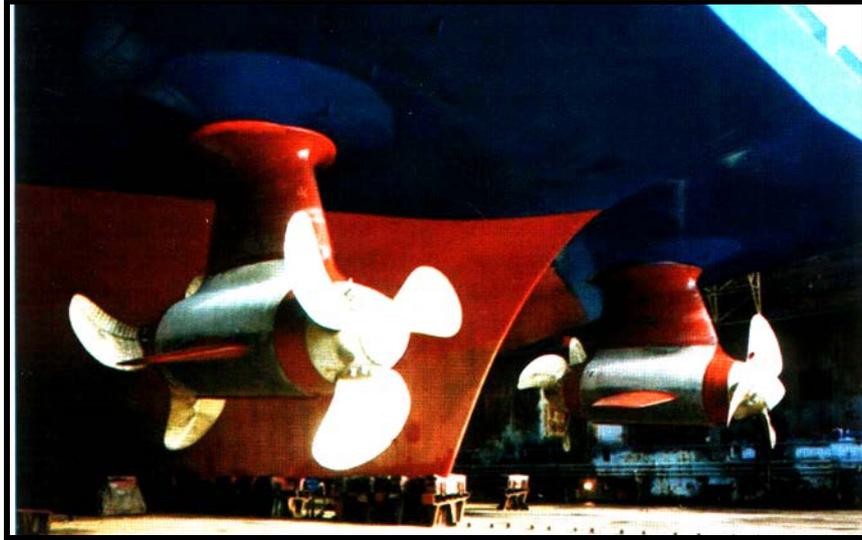
Los motores eléctricos que se instalan en la "*SSP propulsion*" pueden ser asíncronos o síncronos, excitados o de imanes permanentes.

Cuando se trata de obtener una potencia elevada a velocidades relativamente bajas, los más utilizados son los motores síncronos de imanes permanentes y flujo longitudinal.

También se pueden utilizar los motores síncronos con excitación, o motores de inducción pero estos motores son más pesados y voluminosos, por lo tanto menos eficientes.

Quedó demostrado, en las pruebas realizadas en canales de experiencias y en la explotación de los ferries *Ro-Pax*, que la "*SSP propulsion*" 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.

Otra de las ventajas del sistema "*SSP propulsion*" 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.



Por estas características de bajo nivel de ruido y vibraciones, se considera un tipo ideal de propulsión para los ferries *Ro-Pax* de mediano tamaño.

Otra característica importante para el armador del buque es el ahorro de espacio disponible para la propulsión que proporciona el sistema, puesto que todos los servicios que necesita el *pod* para su funcionamiento, están situados sobre la barquilla del propulsor ocupando un espacio muy reducido, lo que permite al buque disponer de mayor espacio para la carga.

En la actualidad cada vez son más los diferentes de tipos de buques que las instalan debido al alto rendimiento que ofrecen las hélices de menor tamaño.

Otra de las ventajas del sistema "*SSP propulsión*" 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.

En la actualidad cada vez son más los diferentes de tipos de buques que las instalan debido al alto rendimiento que ofrecen las hélices de menor tamaño.

Recientemente ha sido entregado a la armada el buque de Proyección Estratégica **BPE/LHD Juan Carlos I (5)**, propulsado por dos *pod's* del tipo *SSP propulsión* de 11 mW, que le permiten desarrollar una velocidad máxima de 21 nudos cuando se encuentra desarrollando operaciones aéreas.

De todas las ventajas que proporciona este sistema de propulsión y gobierno, sin duda, las más **inter**

5.- El LHD Juan Carlos I, es el buque de mayor dimensiones construido hasta ahora por la Armada, tiene 230,82 metros de eslora (202,3 de cubierta de vuelo), 32 de manga y más de 27.500 toneladas de desplazamiento a plena carga. Entre las innovaciones tecnológicas que incorpora destaca la propulsión de tipo CODLAG (Combined Diesel- electric And Gas turbine). En esta propulsión combinada dos motores diesel MAN de 7.860 c.v. y una turbina de gas General Electric de 19.750 c.v. producen la energía eléctrica que alimenta a los sistemas de propulsión.

1. Las excelentes características dinámicas y de maniobrabilidad, derivadas de poder disponer del máximo empuje, en cualquier dirección y sin apenas retraso. De disponer durante la navegación de cambios de rumbo con mayor rapidez y de radios de giro del buque mucho menores. En caso de emergencia poder realizar maniobra de parada de emergencia en distancias manifiestamente menores a la conseguida con la propulsión convencional.

2. La posibilidad de maniobrar el buque a muy bajas revoluciones.

Derivado del hecho de trabajar con motores eléctricos alimentados a través de convertidores de frecuencia, los cuales son capaces de proporcionar el par máximo de trabajo a cualquier velocidad del motor. Todas estas características aumentan la seguridad del propio buque y de la navegación.

3. Otras ventajas que ofrece este sistema son las eliminaciones de los timones, largas líneas de ejes, reductoras, servomotores, hélices transversales a popa y hélices de paso variable.

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.

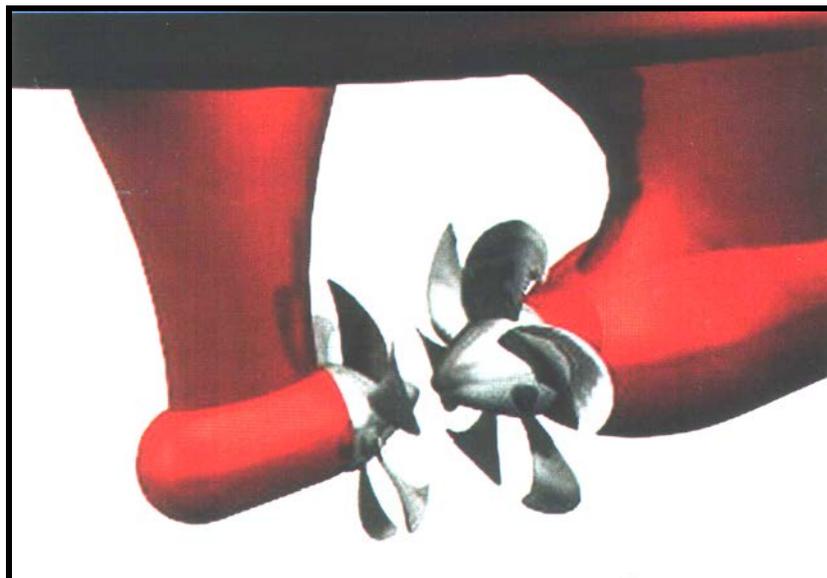
Esta flexibilidad operativa da como resultado un menor consumo de combustible y a la vez una menor contaminación ambiental al poder trabajar los motores diesel a un régimen constante entorno a su carga óptima.

Propulsión CRP Azipod (Hélices contra-rotativas)

Este tipo de propulsión combina dos sistemas diferentes de propulsión: una hélice principal accionada convencionalmente y otra hélice por detrás de esta y alineada con respecto al eje de la principal y que gira en sentido contrario, actuando como tractora tirando.

La hélice principal de paso variable está acoplada al motor o motores principales mediante los correspondientes ejes y cajas de engranajes, mientras que la segunda hélice de paso fijo y de giro contrario a la principal, está accionada por el motor eléctrico que está alojado dentro del azipod que puede girar 360 grados sobre su eje vertical.

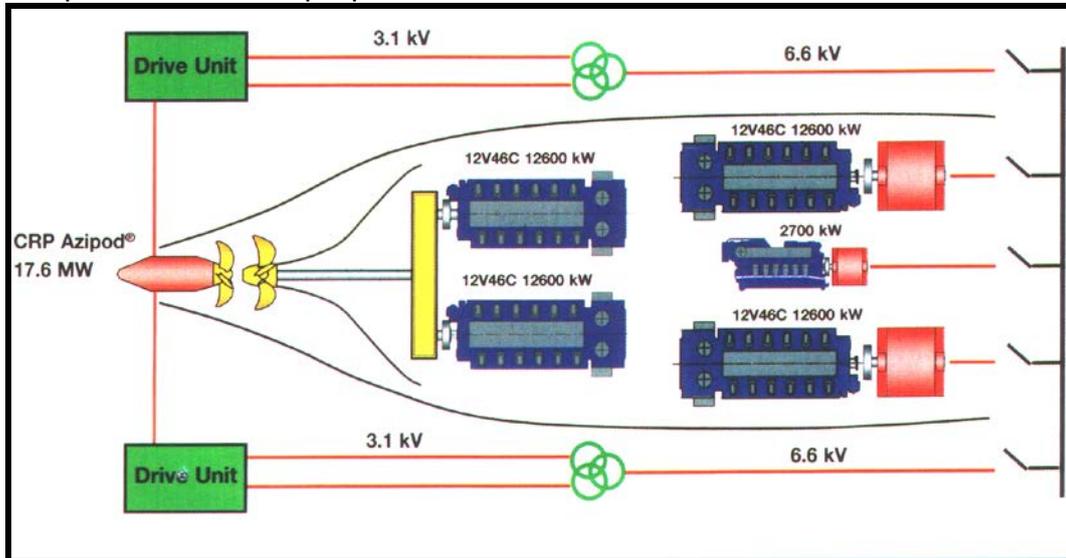
En este caso la unidad azipod se instala sustituyendo al timón convencional del barco, manteniendo las líneas de agua de la corriente de un casco mono hélice, consiguiendo un bajo nivel de resistencia al avance y un gran rendimiento del conjunto.



Para evitar cavitaciones la hélice del azipod ha de trabajar dentro de la estela de la hélice principal, por lo que debe tener menor diámetro que la principal.

La propulsión contra-rotatoria tiene algunas ventajas sobre la propulsión convencional como ser:

1. Permitir compensar la fuerza transversal producida por el giro de la hélice principal cuando el buque va adelante,
2. Repartir la potencia entre las dos hélices con lo que la carga que soporta cada una de ellas es menor y por lo tanto los diámetros de las mismas pueden ser más pequeños



El diseño de la planta de propulsión incluye dos motores Wartsila 12V46 que impulsan una hélice CP a través de una caja de engranajes de doble entrada y salida única. Otro par de motores 12V46 mueven los alternadores que suministran energía eléctrica a la unidad Azipod. La distribución de potencia es de 25,2 MW en la hélice CP y 17,6 MW en la unidad Azipod, lo que hace un total de 42,8 MW.

Este tipo de hélices más pequeñas aumentan las distancias entre la punta de la hélice y el casco del barco, con lo que reducen la transmisión de ruidos y vibraciones en el casco.

La barquilla del azipod actúa como un timón detrás de ambas hélices canalizando la estela del buque y contribuyendo al gobierno del mismo; precisamente la maniobrabilidad a baja velocidad es la mejor cualidad que aporta este sistema a los buques que lo instalan.

Además la propulsión CRP aporta otro tipo de ventajas como son: la redundancia en la propulsión; al ser totalmente independiente el sistema principal del sistema del azipod, y el menor espacio dedicado a la sala de máquinas.

Para conseguir una hidrodinámica óptima, ABB recomienda que el reparto de la potencia entre la propulsión principal y la producida por el azipod sea, como mucho, de una relación 70-30.

La hélice del azipod ha de trabajar dentro de la estela de la hélice principal, luego para evitar cavitaciones y vibraciones la hélice del azipod ha de ser ligeramente menor que la hélice principal, aproximadamente entre el 70 y el 80% del diámetro de ésta.

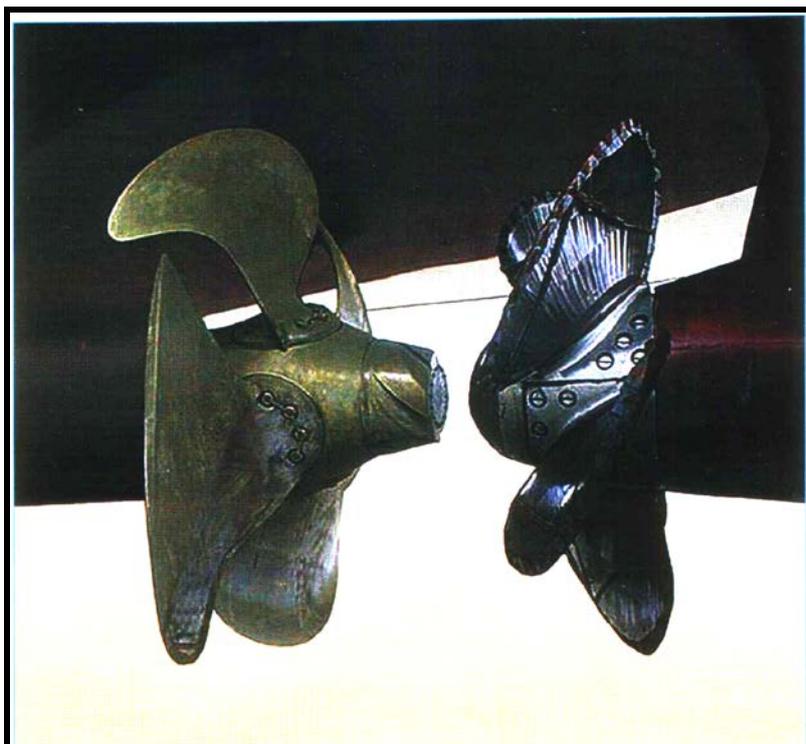
En el año 2004 se pusieron en servicio el "Akashia" y el "Hamanasu", los primeros ferrys Ro-Pax de gran tamaño y alta velocidad, construidos en Japón y propulsados por las hélices contrarrotativas CRP Azipod de ABB. Estos ferrys Ro-pax que pueden alcanzar los 31,5 nudos de velocidad gracias a una potencia total de 42,8 MW, de los cuales 17,6 MW se los proporciona el CPR Azipod y 25,2 MW la hélice principal.

La planta de propulsión esta equipada con dos motores Wärtsila 12V46 que impulsan la hélice principal de proa y de paso variable a través de una caja de engranajes de doble entrada y salida sencilla.

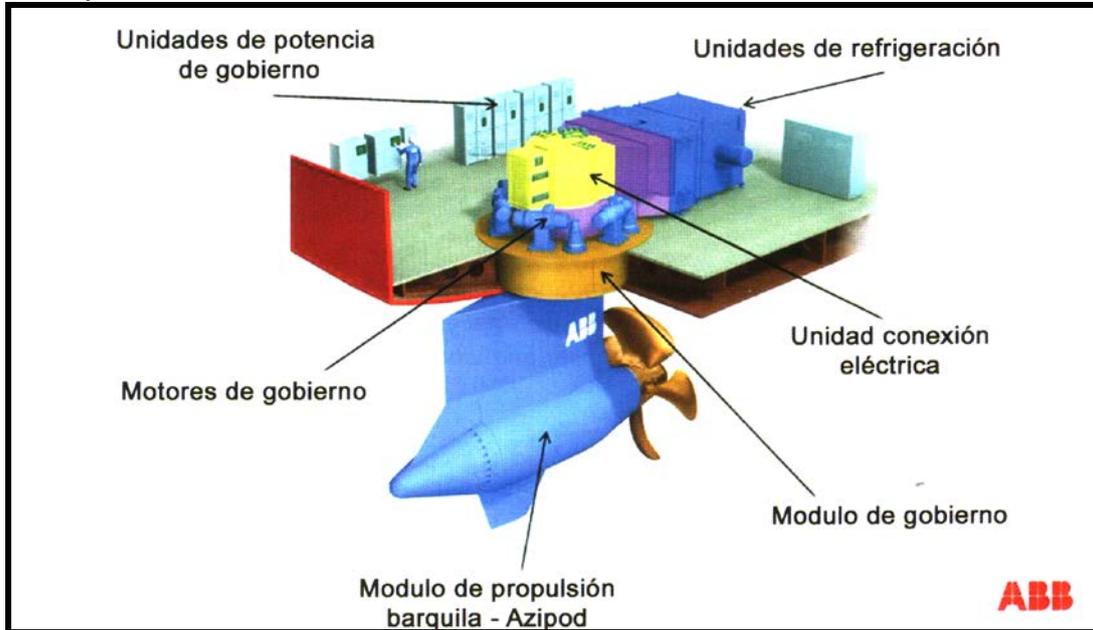
Otros dos de motores 12V46 mueve los alternadores que suministran energía eléctrica a la unidad Azipod Para alcanzar la misma velocidad de crucero, un sistema de propulsión convencional de doble eje necesitaría una potencia total aproximada de 47 MW, netamente superior a la requerida con el sistema CPR Azipod.



RoPax "Akashia" construido en los astilleros Japoneses de Mitsubishi en Nagasaki, tienen una eslora de 224,5 metros y desarrollan una velocidad de crucero de 31,5 nudos. Ha sido el primer barco en el mundo en estar equipado con ABB's contra-rotating CRP Azipod propulsión system.



Después de varios meses realizando viajes en su ruta habitual, la compañía naviera ha podido comprobar En pruebas, estos buques con la potencia de propulsión distribuida entre la hélice principal (55%) y azipod (45%), consiguieron una velocidad máxima de 32,04 nudos, un logro notable comparándolo con la velocidad máxima 29,4 nudos de los transbordadores de doble eje.



Esta reducción del consumo de combustible implica una reducción de la contaminación por la emisión de gases, un factor que ganará en relevancia a medida que la legislación medioambiental se va haciendo más estricta.

La prueba más evidente que sistema de propulsión azipod se ha ido implantando en la industria naval nos lo dan los números. A finales del año 2009 se habían instalado más de 220 *pod's* de las diferentes clases, en más de 30 astilleros diferente; más de cien buques incorporaban esta clase de sistemas, que acumulaban más de 5 millones de horas de funcionamiento.

En la actualidad más de cincuenta buques de crucero están funcionando con Azipod, así como nueve rompehielos, diez buques tanque que navegan a través del hielo y cinco buques de containers de las mismas características, además de remolcadores de apoyo a las plataformas, plataformas y yates.



Nota - Los gráficos y fotografías que ilustran el artículo han sido tomadas de la Web de los fabricantes, que a continuación se mencionan:

www.abb.com

www.sam-electronics.de/home.html

www.roll-royce.com/marine/products/propulsors/podded/index.jsp

www.shottel.de