



LA INNOVADORA PROPULSIÓN DEL LHD *JUAN CARLOS I*

Juan de Dios CASTRO CORTINA
Jefe de Energía y Propulsión del LHD *Juan Carlos I*

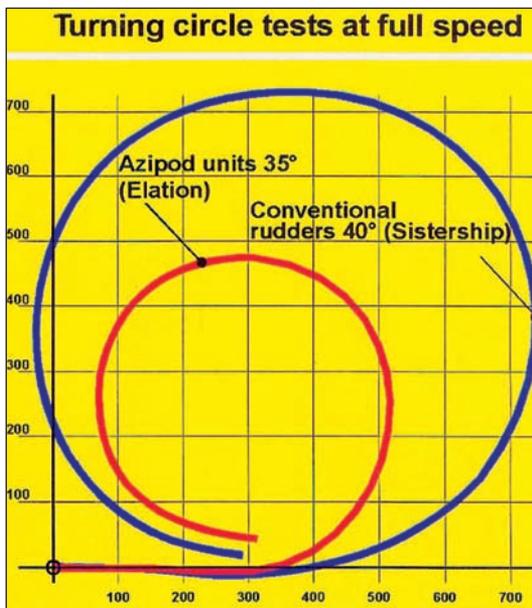


ONVIENE empezar definiendo qué es un buque con propulsión eléctrica totalmente integrada; pues bien, es un sistema de propulsión en el que los diésel-generadores y/o turbo-generadores suministran potencia eléctrica para el sistema de propulsión y para el sistema de distribución eléctrica del buque, y en el que tanto el eje de propulsión como el timón son sustituidos por un mecanismo denominado POD.

En la historia de la propulsión de buques hay unos hitos que supusieron unos saltos cualitativamente trascendentales; uno de ellos fue el POD. Es tan reciente —estamos hablando de 15 años— que todavía no se encontró la pala-



Buque con propulsión idéntica a la del LHD *Juan Carlos I*.



Comparación diámetro táctico POD-buque propulsión convencional.

bra en castellano que traduzca fielmente esta voz inglesa (propulsión AZIPOD-Azimuthing Podded Drive).

Los POD son unidades sumergidas que contienen un motor eléctrico, cuyo eje está unido directamente a la hélice o hélices, y que pueden girar libremente 360° según un eje vertical, por lo que hacen innecesario el timón y el servomotor.

El motor eléctrico, localizado dentro de la cápsula, se controla con un convertidor de frecuencia, con el máximo par posible en una u otra dirección, también a bajas velocidades sobre un rango típico de velocidad de 0 a 180 rpm.

El sistema de propulsión POD tiene más ventajas que otros sistemas convencionales de propulsión disponibles hoy en día:

- Permite elegir el lugar de instalación de los grupos generadores, utilizando espacios mucho más reducidos.
- Excelentes rasgos de funcionamiento dinámico y características de maniobrabilidad.

Dando avance con ambos POD, el sentido de giro de las hélices de babor es dextrógiro y el de las de estribor levógiro.

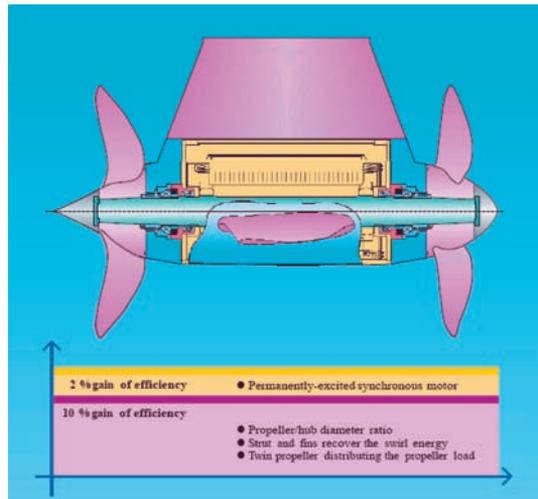
Por otra parte, con los POD se mejora la *eficiencia hidrodinámica* en torno a un 10 por 100. Esta circunstancia es debida a la eliminación del timón, lo que supone una reducción importante en la superficie mojada, causante de la Resistencia Viscosa (Reynolds), afectando en un porcentaje alto a la Resistencia Total del buque cuando éste navegue a velocidad económica, puesto que en velocidad máxima operativa tendrá mayor importancia la Resistencia por Formación de Olas (Froude).

Decir también que las hélices de cada POD son diferentes entre sí y también diferentes con las del grupo de la otra banda. Dentro de cada POD, las hélices de proa producen un efecto de tracción y las de popa un efecto de empuje, contando también con una aleta intermedia entre ellas para mejorar la entrada del flujo de agua en cada hélice. Por tanto, se producen menos turbulencias y menos posibilidades de cavitación.

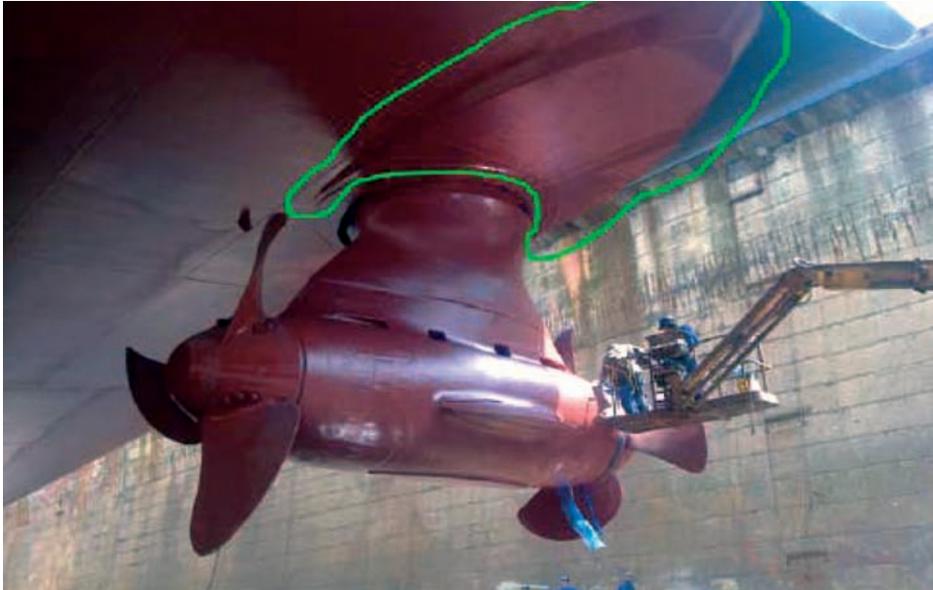
La integración hidrodinámica del flujo de agua entre el casco del buque y los POD, especialmente en el LHD con casco plano para operaciones de dique, resulta un proceso de cálculos teóricos de extremada dificultad.

Una vez hecho el estudio, para optimizar la entrada del flujo de agua en el POD se instala en la mayoría de los casos una pieza estructural soldada al casco denominada *Head-box*.

También cabe pensar que las vibraciones serán muy inferiores a las de un buque de propulsión convencional, y por tanto habrá menos ruido al carecer



Eficiencia hidrodinámica y rendimiento POD.



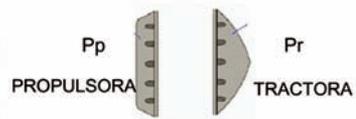
Head-box LHD.

de largas líneas de ejes, timones, impulsadores transversales de popa, hélices de paso controlable y cajas reductoras.

Ventajas de los POD

- Se ha elegido la opción (Siemens-Schottel) de dos hélices fijas por POD, pues el empuje que soporta cada hélice se reduce a la mitad y la carga soportada por cada pala es menor al reducirse el empuje que soporta, disminuyendo la posibilidad de cavitación y el par torsor.
- Reducción de la duración de las maniobras en las entradas y salidas de puerto y del número de remolcadores de apoyo.
- El empuje conseguido con los POD es muy superior al de otros propulsores de la misma potencia, reduciendo ésta a la necesaria para las maniobras.
- La flexibilidad operativa le permite un menor consumo de combustible, reducir los costes de mantenimiento preventivo, menor cantidad de emisiones al exterior y una redundancia adecuada con menos potencia instalada, ya que las fluctuaciones de potencia son distribuidas entre los distintos diésel/turbina instalados. Se eliminan las tareas

- o 6 Palas de las hélices (3 Impulsoras y 3 Tractoras)



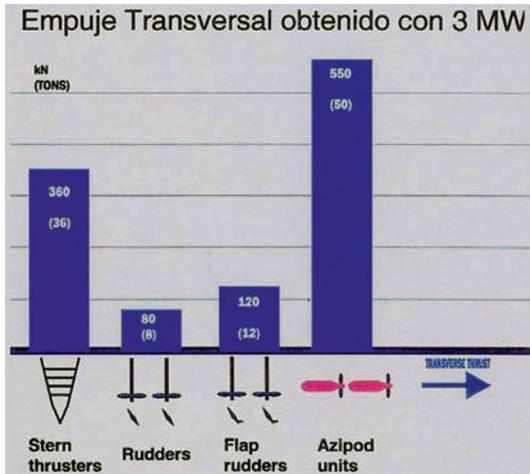
El LHD durante el montaje de las hélices.

de alineación de ejes de propulsión, flexiones, cojinetes de bocina, etcétera.

- Una de las posibilidades que ofrece este sistema es la implementación de un sistema de control por *joystick* y de un sistema de posicionamiento dinámico. Este sistema recibiría las órdenes del operador y, según las señales recibidas de los diferentes sensores (GPS, corredera, anemómetros...), manejaría convenientemente los propulsores POD y las hélices empujadoras de proa para maniobrar el barco de la forma deseada, permitiendo movimientos de traslación pura, rotación pura o ambos simultáneamente. Esta opción no está previsto implementarla.

Después de esta extensa lista de ventajas de los POD respecto de un buque de propulsión convencional, también hay que hacer especial mención a ciertas exigencias de los POD:

- Transmisión de esfuerzos a la estructura del buque al carecer de chumacera de empuje.
- El gran esfuerzo que debe soportar el cojinete de azimut del POD.
- La estanqueidad del motor eléctrico al encontrarse totalmente sumergido en el agua.
- Los repuestos de gran seguridad del sistema POD son extremadamente caros. Al llevar instaladas cuatro hélices, con sus tres palas cada una,



Comparativa del Empuje Transversal a baja potencia.

se necesitaría un mínimo de cuatro palas diferentes como repuesto de gran seguridad ante una avería o varada accidental.

La instalación eléctrica de 6,6 kW también requiere no sólo cumplir estrictamente las normas de seguridad de equipos con tensión, sino que cualquier descuido y/o accidente lleva parejo bajas personales con toda certeza, además de incendios/explosiones de grandes proporciones. En contraposición, hay que decir que la instalación de alta tensión del buque tiene tal cúmulo de

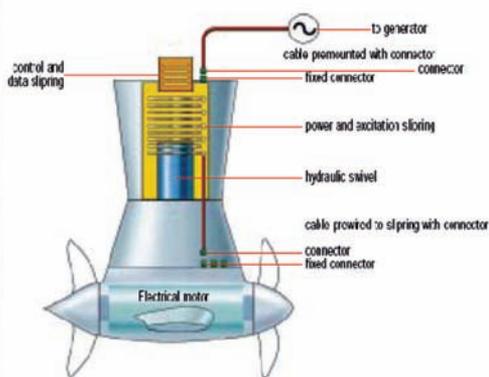
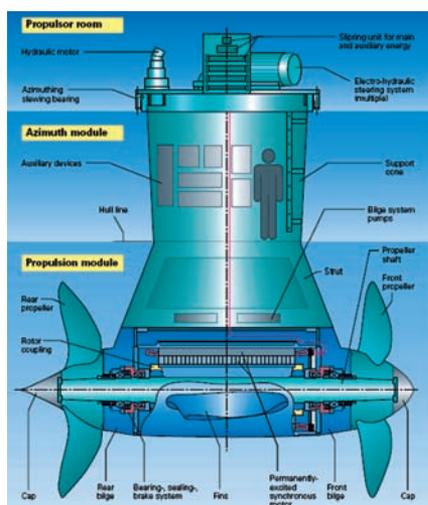
seguridad y enclavamientos que impide maniobras erróneas. Todas las maniobras de equipos con tensión requieren un vestuario nuevo hasta ahora en un buque de nuestra Armada, como son las pértigas, cascos, guantes y botas especiales adaptadas a esa tensión.

El manejo de esta tensión única en la Armada requiere unos conocimientos específicos y de una acreditación especial: el más experto electricista de la Armada no podrá tocar los elementos que trabajan con esta «alta tensión» sin un curso o una acreditación previa, que paso a enumerar:

- Disponer de un título universitario cuyo plan de estudios cubra las materias objeto del *Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en líneas eléctricas de alta tensión*.
- Disponer de un título de formación profesional o de un certificado de profesionalidad incluido en el *Catálogo Nacional de Cualificaciones Profesionales*, cuyo ámbito competencial coincida con las materias objeto del *Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en líneas eléctricas de alta tensión*.
- Tener reconocida una competencia profesional adquirida por experiencia laboral, de acuerdo con lo estipulado en el Real Decreto 1224/2009, de 17 de julio, de reconocimiento de las competencias profesionales adquiridas por experiencia laboral y/o formación, en las materias objeto del *Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en líneas eléctricas de alta tensión*.

- En el caso de experiencia laboral. Justificar al menos tres años, con un mínimo de 2.000 horas trabajadas en total, en los últimos 10 años transcurridos. Para las unidades de competencia de nivel I (1) se requerirán dos años de experiencia laboral con un mínimo de 1.200 horas trabajadas en total.
- En el caso de formación. Justificar al menos 300 horas, en los últimos 10 años transcurridos. Para las unidades de competencia de nivel I se requerirán al menos 200 horas.

En los casos en los que los módulos formativos asociados a la unidad de competencia que se pretende acreditar contemplen una duración inferior, se deberán acreditar las horas establecidas en dichos módulos.



Izquierda: cámara máquinas POD LHD. Derecha: alimentación eléctrica al motor sumergido.

La distribución de energía de 6.600 voltios del buque se lleva a cabo con cableado de aproximadamente nueve centímetros de diámetro, es decir, de un grosor fuera de lo habitual hasta ahora para nuestro personal embarcado. Estos cables se encuentran instalados por todo el buque —sobre todo en camarotes y sollados de la tercera cubierta como por muchos troncos de acceso—, ya que

(1) Nivel I: competencia en un conjunto reducido de actividades de trabajo relativamente simples correspondientes a procesos normalizados, siendo los conocimientos teóricos y las capacidades prácticas a aplicar limitados.

tiene que dar tensión tanto a los POD como a los empujadores de proa y a los transformadores reductores de 6.600/440 voltios; es un cable de un color rojo característico y se encuentra perfectamente aislado y apantallado, pudiendo tocarse sin ninguna reserva.

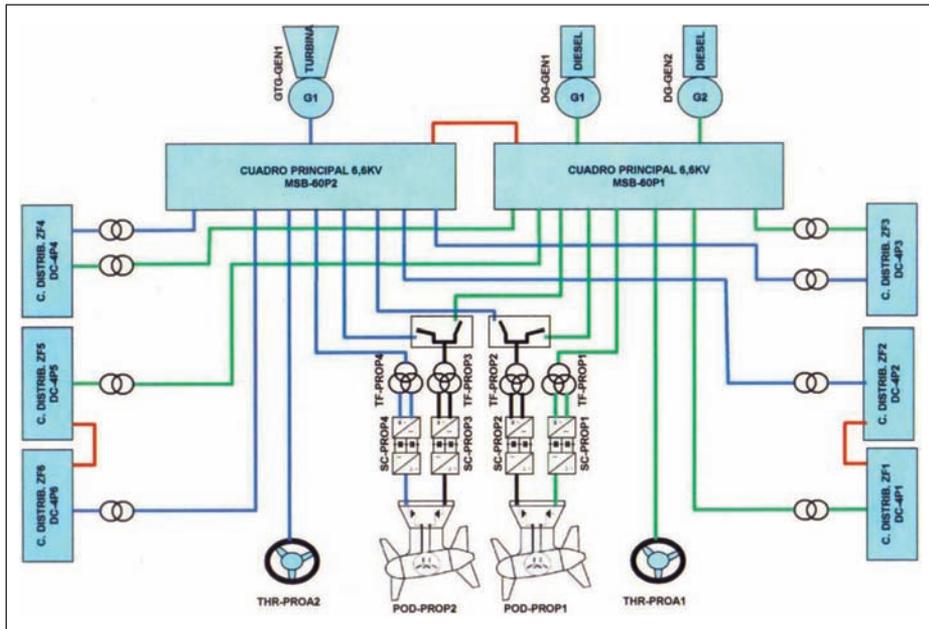
Al ser, como hemos dicho anteriormente, un buque todo eléctrico, se estima un consumo en operaciones superior a los 25 MW, consumos muy elevados en comparación a otros buques de nuestra Armada.

La planta de generación eléctrica se compone de dos diésel generadores y una turbina de gas, que accionan unos alternadores que permiten obtener una tensión de 6.600 voltios.

Para la distribución de la energía la planta está constituida por dos cuadros principales de 6.600 V interconectados, uno de ellos alimentado desde los grupos diésel generadores de 7.450 kW/6.600 V y el otro desde un grupo generador de 19.160 kW/6.600 V accionado por una turbina de gas.

Existe también un cuadro de emergencia de 440 V alimentado por un grupo diésel generador de 1200 kW.

Desde los cuadros principales de 6.600 V se alimentan directamente los dos motores propulsores (POD), dos empujadores de proa y ocho transformadores de 6.600/440 V que alimentan a seis centros de distribución de 440 V.



Esquema básico planta eléctrica LHD.

Dispone de dos estaciones de tomas de tierra, una de cuatro cables y otra de cinco cables de 400 A/440 V cada uno (total 3.600 A).

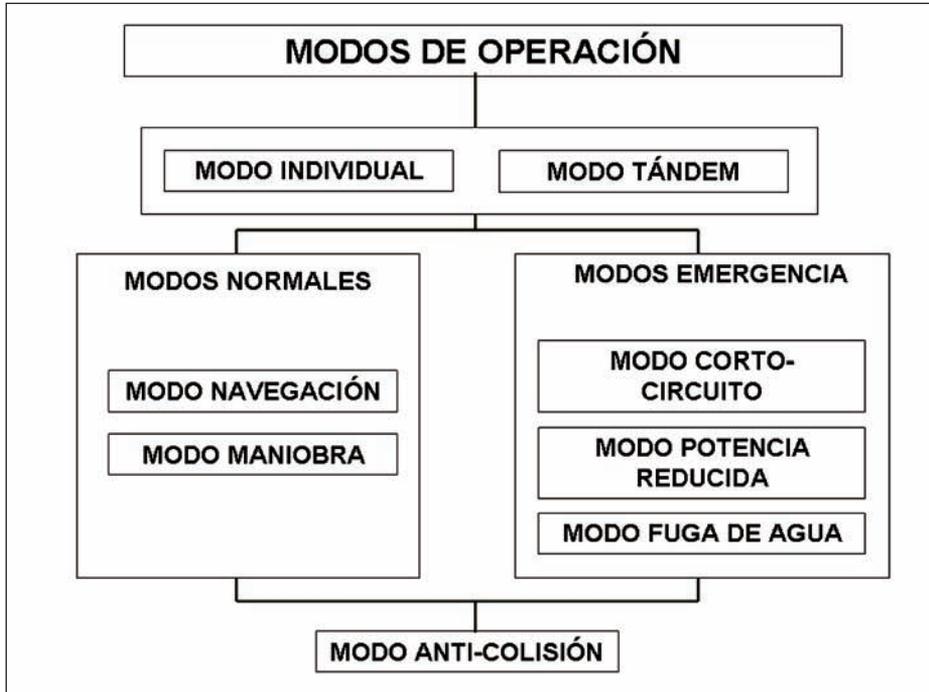
En cuanto al diseño, en la fase de proyecto de detalle y construcción se ha tomado un margen de reserva del 7 por 100 y un margen de futuro crecimiento del 20 por 100. Este aspecto es realmente interesante pensando en los consumos eléctricos de nuevas integraciones de sistemas, por ejemplo del sistema de combate.

El sistema de control de la propulsión (SSP) del LHD ha sido instalado por las empresas Schottel —el POD propiamente dicho— y Siemens, todos los periféricos necesarios para constituir un sistema independiente del resto de sistemas del buque.

El SSP se encuentra enlazado con el SICP (Sistema Integrado de Control de Plataforma) del que hablaremos posteriormente. El sistema de control de la propulsión sólo se puede controlar a través de sus propios periféricos, tanto el puente de gobierno, CCC (Cámara de Control Central), CCS (Cámara de Control Secundaria) y compartimentos POD. Aún así, se puede supervisar desde las consolas del SICP.

Modos básicos de funcionamiento del SSP

- La operación de los propulsores POD se puede hacer en modo individual o en modo tándem, según se quiera controlar cada unidad POD individualmente o se quieran controlar las dos unidades POD simultáneamente.
- Por otro lado, dependiendo de las condiciones de la navegación o del estado del sistema, se definen dos modos de operación: normal y de emergencia:
 - Modos Estandarizados (*Standard Modes*):
 - Modo Navegación (*Sea Mode*).
 - Modo Maniobra (*Harbour Mode*).
 - Modos Excepcionales (*Exceptional Modes*):
 - Modo Corto-Circuito (*Short-Circuit Mode*).
 - Modo Potencia Reducida (*Reduced Power Mode*).
 - Modo Fuga de Agua (*Water Leakage Mode*).
 - Modo Parada de Emergencia (*Crash Stop Mode*).



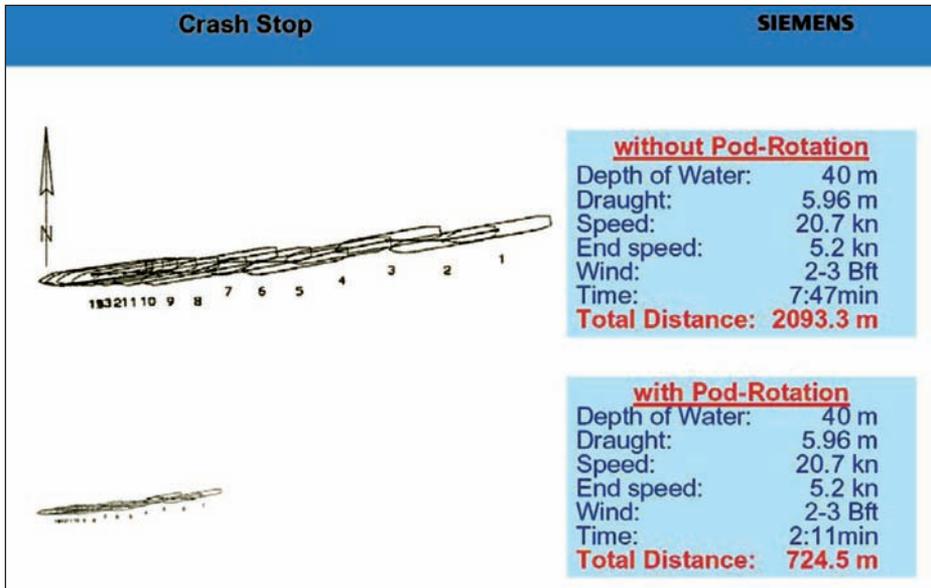
Modos de funcionamiento básicos del LHD.

Decir que la maniobra de *Crash-Stop* (maniobra de atrás toda) para parar el buque se puede hacer de dos maneras. La primera, mucho más rápida y recomendada por Siemens-Schottel, consistente en invertir los POD (marcación 180°), y la segunda, invirtiendo el sentido de giro de los motores (palancas atrás toda y marcación 0°).

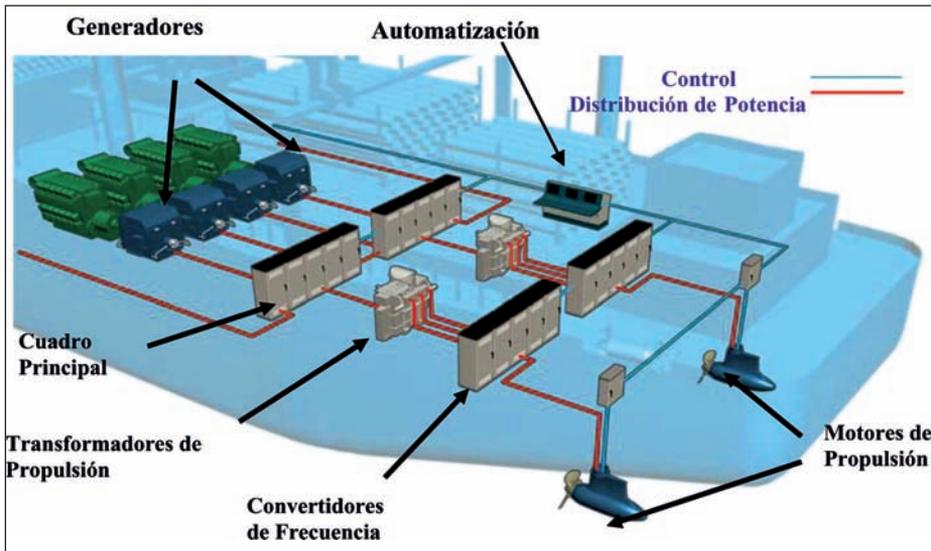
Por otra parte, el sistema de control de la planta eléctrica es también un sistema independiente del SICP, pero se ha diseñado para poder controlarlo y supervisararlo tanto desde su propio sistema independiente como a través de las consolas del SICP.

El SICP consiste en una red informática redundante encargada de monitorizar la propulsión y de controlar y monitorizar la planta eléctrica y auxiliares, tales como el trasiego de combustible, el lastre, mantenimiento de estabilidad, manejo de cargas, arranque y paradas de generadores, etcétera.

Trabaja con más de 50.000 señales, lo que puede dar una idea somera de la complejidad de su mantenimiento. Es un sistema desarrollado por Navantia Sistemas de Control en Cartagena, utilizado como SCADA (Sistema de



Comparación *Crash-Stop* con/sin inversión de los POD.



Esquema básico de un buque con POD ABB.
 (El LHD sólo lleva dos diésel-generadores, un turbo-generador, cuatro convertidores de frecuencia y dos hélices por cada POD Siemens-Schottel).

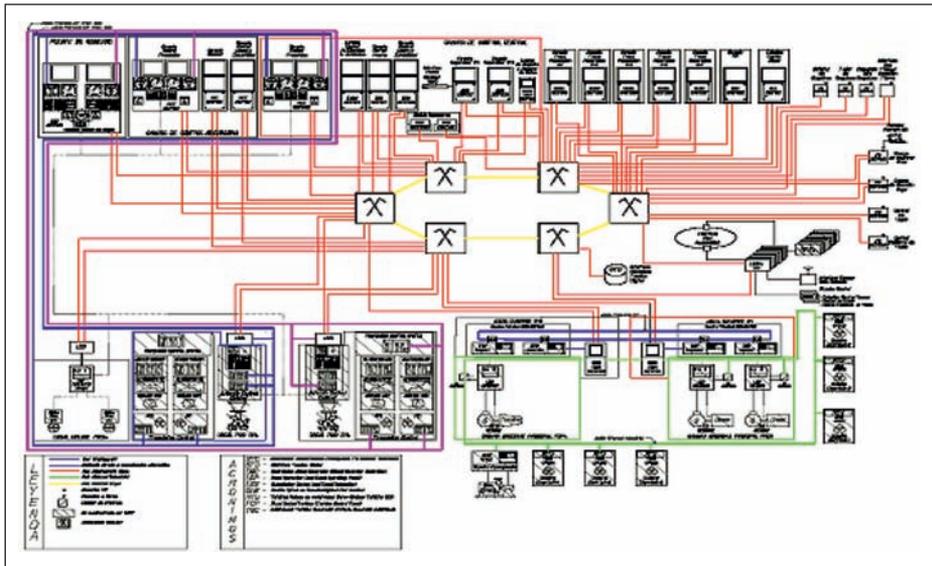
Control y Adquisición de Datos), aplicación informática «Complex», que a través de mímicos permite presentar datos sobre un sistema y controlarlo.

Este sistema sólo lo instalan los buques hidrográficos *Malaspina*, así como las nuevas construcciones LHD *Juan Carlos I*, *BAC Cantabria* y la quinta fragata *F 105 Cristóbal Colón*. La simbología de las pantallas representativas de los distintos sistemas de propulsión, electricidad y auxiliares ha sufrido un cambio drástico (posibilidades de representación no contempladas hasta la fecha), de manera que cualquier operador de los SICP anteriores a estos buques no conocerá lo que aparece delante de sus ojos.

Todo ello creará un problema de adaptación de los operadores de SICP durante los embarques, desembarques y comisiones de servicio, con la necesidad de realizar un curso previo, curso que empezó a impartir la Escuela de Especialidades «Antonio de Escaño» después de asistir a los cursos de dotación de quilla del LHD.

También conviene destacar que el SICP del LHD carece de la función de Adiestrador dentro de la aplicación, a diferencia de las fragatas *F 100*, *Patiño*, etcétera. El sistema de control de la planta eléctrica se puede manejar desde los cuadros principales, desde consolas a pie de cada cuadro principal (PMA) y desde las consolas del SICP.

Continuando con las características novedosas, el buque cuenta con las primeras aletas estabilizadores retráctiles (una por banda) en nuestra Armada

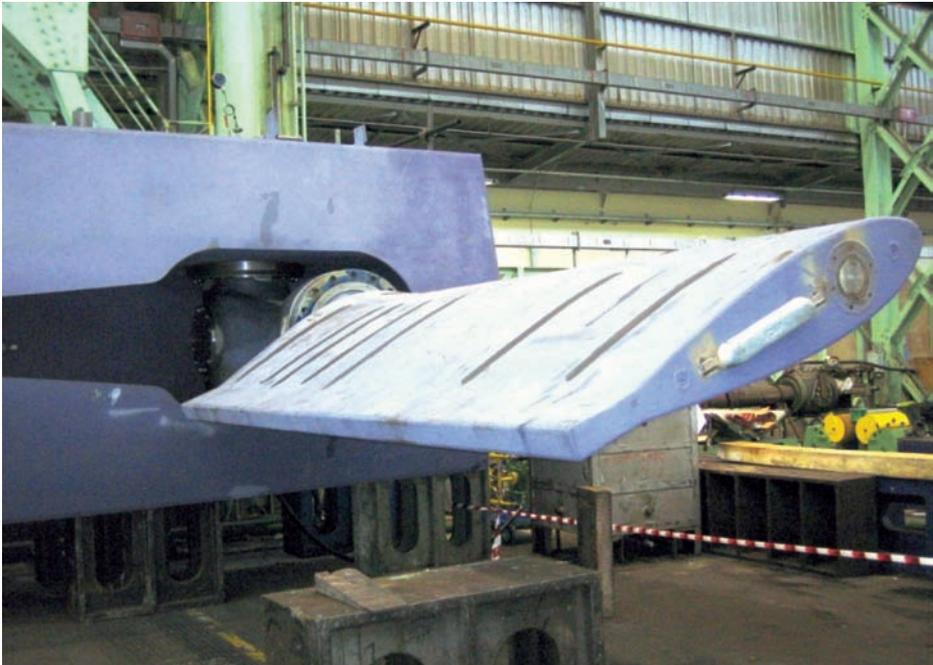


Esquema básico del SSP. Sistema control planta eléctrica y el SOCP del LHD. Color rosa/azul: SSP. Color verde: planta eléctrica. Color rojo/amarillo: SICP.

—sobresalen 5 metros del casco— y hay que prestar especial atención a retraerlas antes de entrar en puerto (cuando la velocidad se reduce a cinco nudos, las aletas se repliegan solas, siempre y cuando el puente no haya pulsado el botón de inhibición).

Estas aletas sólo compensan el balance y no la cabezada, a diferencia del *Príncipe de Asturias*, que tiene cuatro aletas estabilizadoras no retráctiles y compensa ambas variables, importantes para las operaciones aéreas.

También decir que las aletas se pueden desplegar/plegar a cualquier velocidad.



Pruebas FAT de las aletas LHD por la empresa italiana Ficantieri.

Especial mención a la turbina de gas, turbina LM2500 marinizada, que no navalizada, es decir, que consta de componentes comerciales cuyo ciclo de vida crítica cambia respecto de las turbinas de la misma serie que conocemos; es la primera turbina utilizada como generador en nuestra Armada que requiere una formación especial para los operadores y mantenedores.

El personal implicado no sólo ha realizado el curso de mantenedor de la turbina LM2500 (curso UVICOA y presencial en la Escuela de Especialidades



LHD Juan Carlos I.

Fundamentales «Antonio de Escaño»), sino uno específico con las diferencias características de esta turbina, denominada CM2500. Enumeraré sólo las más significativas: arrancador hidráulico, control de combustible electrónico, medio de extinción primario de contra incendios por agua nebulizada, refrigeración del aceite lubricante con agua dulce, existencia de un módulo auxiliar de la turbina con los sistemas de arranque hidráulico, sistema de acondicionamiento de aceite de lubricación de la turbina y sistema de lavado de la turbina, extracción de aire del módulo forzada (carece de reductor de gases de escape), así como ausencia de un tanque de combustible de emergencia (normalmente JP-5).

También consta de dos tipos de arranque aunque ambos más lentos que el resto de turbinas que conocemos. Por último, la turbina contempla dos tipos de lavado, uno de los cuales, el llamado *On Line* se realiza con la turbina arrancada.

Conclusiones

- La Armada española ha apostado por tecnología punta, eligiendo un sistema innovador de propulsión SSP (*Siemens Schottel Propulsor*) por sus prestaciones y menor peso.

- Se trata de un sistema moderno, del que se desarrollan estudios continuos de mejora.
- Buque totalmente eléctrico que consume bastante menos combustible que otro convencional de nuestra Armada que tuviera la mitad de su desplazamiento.
- En contraprestación, los repuestos de estos sistemas SSP son apreciablemente más caros que los sistemas convencionales.

Por último, decir que podría estar hablando de este buque y de sus innovaciones durante días, lo cual es imposible como es obvio; por ello he hecho un esfuerzo de síntesis al alcance de cualquier lector. Espero que haya sido de su agrado.

