CLAVES PARA LA MUDANZA TECNOLÓGICA DEL SECTOR NAVAL ESPAÑOL ANTE LOS RETOS DE LA INDUSTRIA 4.0

Autor: Fernando Miguélez García.

Resumen: El artículo expone los aspectos fundamentales sobre los que gravita la mudanza tecnológica que los nuevos retos de la industria 4.0 imponen al sector naval. Analiza los mismos bajo la óptica de su influencia, tanto sobre los procesos de producción como sobre la concepción de los buques y los servicios asociados a su ciclo de vida, definiendo las claves de un concepto de buque 4.0 producido por un sector industrial naval 4.0. Finalmente, concluye exponiendo las demandas que estos conceptos suponen para los astilleros y las exigencias que imponen a la industria auxiliar del sector naval, dibujando cómo será el panorama al que el sector deberá adaptarse a corto plazo para mantener su competitividad internacional.

1. Introducción

La industria evoluciona a pasos agigantados, arrastrada por la trepidante revolución digital que diariamente muda nuestro mundo. Los nuevos avances tecnológicos exigen a las empresas constantes actualizaciones de sus productos, que cada vez deben ofrecer a los consumidores mayores prestaciones que se adapten a esta evolución. El sector naval no es ajeno a esta dinámica, que está rediseñando las exigencias a sus productos y servicios a todos los niveles.

El concepto de industria 4.0 no afecta sólo a los astilleros. Es un proceso integral, que redefine, desde el propio software de diseño de los buques, a los servicios de apoyo que demandará durante todo su ciclo de vida, pasando por las prestaciones y concepto de sus equipos, los materiales para fabricarlos y los procesos de fabricación en sí mismos, tanto del buque como de sus componentes. Desde este punto de vista, los astilleros españoles no pueden enfrentarse en solitario a este nuevo reto tecnológico, necesitando apoyarse en una mudanza completa de todo el sector naval nacional. De no llegar a producirse esta, el sector en conjunto estaría abocado a su desaparición, pues no sería capaz de soportar la presión de la fuerte competencia internacional, que, sin duda, está absolutamente involucrada en su modernización.

Para poder adaptarse a los cambios exigidos por el mercado, las empresas del sector naval deben entender el nuevo papel que se les demanda, adaptando cada una de ellas sus productos para integrarse con eficacia en la cadena de suministro. En esencia, se trata de proveer al mercado de servicios 4.0, integrados en buques 4.0, que están fabricados con componentes 4.0, en astilleros 4.0 que consumen tecnología y diseño 4.0.

El presente artículo expone las claves que deben regir la mudanza tecnológica de las empresas del sector naval español en función de los diferentes papeles que cada una de ellas desempeña en la cadena de suministro de productos y servicios.

2. De la primera a la cuarta revolución Industrial

En apenas dos siglos, la industria ha evolucionado del 1.0 al 4.0, pasando por cuatro revoluciones industriales sucesivas.

La primera revolución industrial se produjo a finales del siglo XVIII, con la introducción en las fábricas de equipos de producción mecánicos impulsados por agua y por vapor. Como referencia de este cambio, que convirtió procesos de producción exclusivamente manuales en mecanizados, se puede citar la puesta en marcha en 1784 del primer telar mecánico, iniciando lo que sería la creación de la industria 1.0.

Tras un siglo de consolidación del vapor como principal energía motriz en la fabricación, la segunda revolución industrial se basó en dos hitos relevantes. Por un lado, desde el punto de vista tecnológico, en la introducción de la energía eléctrica en los procesos de fabricación, y, por otro lado, desde un punto de vista de gestión, en la aplicación de conceptos de división de tareas y líneas de producción para la reorganización de las fábricas. Como ejemplo del momento de cambio a esta industria 2.0 se suele citar la puesta en marcha de la cinta transportadora del matadero de Cincinnati en 1870.

No sería hasta mediados del siglo XX cuando se produce la mudanza a la industria 3.0, con la introducción de la electrónica y la automática, para automatizar y robotizar los procesos de producción. Como referencia de este cambio, se suele citar la fecha de la puesta en marcha del primer controlador lógico programable (PLC), el Modicon 084 de la empresa Bedford Associates, en 1969.

La cuarta revolución industrial supera los conceptos organizativos y de automática industrial de las anteriores, introduciendo y combinando nuevas tecnologías, absolutamente innovadoras, que se basan en la aplicación de sistemas físicos cibernéticos para mejorar, tanto los productos, como sus medios de producción.

Si se analizan los saltos tecnológicos existentes entre cada etapa industrial desde el punto de vista de su grado de complejidad, se puede ver que se trata de un crecimiento exponencial, donde cada salto duplica en complejidad al anterior. Simplemente con esta aproximación, es fácil entender que la dificultad de acometer el cambio a la industria 4.0 es muy superior al que supuso la introducción de la automatización en las fábricas. Si a ello añadimos que muchas de las empresas del sector naval no se pueden considerar adaptadas a la tercera revolución industrial, se puede afirmar que el salto que deben dar para pasar a la industria 4.0 es realmente enorme y en extremo complicado.

La Unión Europea es consciente de este reto, por lo que ha abierto una amplia gama de programas de ayuda, dotados con cuantiosas subvenciones a fondo perdido, que deberían permitir a las empresas adaptarse a este nuevo entorno tecnológico. Esta oportunidad se convierte, de hecho, también así en un riesgo añadido, pues las empresas que no acudan a estas ayudas se verán perjudicadas doblemente, por un lado, por no adaptar su tecnología mientras que su competencia sí lo hace y, por otro lado, por no beneficiarse de un considerable apoyo financiero que si llegará a sus competidores. Bajo esta perspectiva, se puede decir que las políticas de la UE priman, tanto la transformación de la industria hacía la industria 4.0, como la rápida desaparición de las empresas que no sigan esta tendencia.

3. Impacto de las sucesivas revoluciones industriales en la empresa

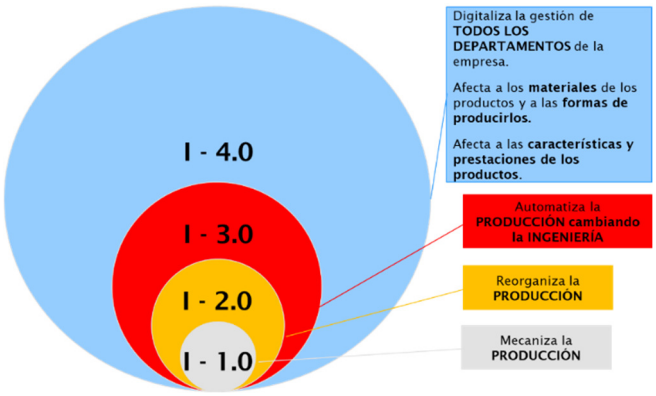

Fig. 1. Comparativa del impacto de las diferentes revoluciones industriales en la empresa

Quizá una de las mejores maneras de visualizar el impacto sobre la empresa de las diferentes revoluciones industriales sea analizar cómo afecta a sus diferentes funciones y departamentos. Desde este punto de vista, podemos destacar los siguientes conceptos, que se visualizan en la figura anexa.

La primera revolución industrial afectó solamente a la maquinaria, buscando mejorar la productividad mediante la mera eliminación del trabajo manual.

La segunda revolución industrial tuvo, sin embargo, un objetivo diferente. Buscó reorganizar y optimizar

los procesos de producción. No sólo mecanizó el trabajo manual, sino también los movimientos de las piezas en proceso entre las máquinas, creando así las cadenas de producción.

La tercera revolución industrial volvió a afectar a la producción, pero en este caso necesitaba ya cambiar la propia ingeniería de diseño de las piezas. Se trataba, por tanto, de un proceso más amplio, con más departamentos implicados y, en consecuencia, de mayor calado para la definición conceptual de la empresa.

La cuarta revolución industrial digitaliza la gestión de todos los departamentos de la empresa, afectando, tanto a las características y prestaciones de los productos que fabrica, como a los materiales en los que se elaboran, a la manera de producirlos y al servicio postventa a los mismos. Es, por tanto, un cambio radical, de mucho mayor calado que los anteriores, que afecta a todos los departamentos de la empresa sin excepción y que amplía la interacción del fabricante con sus proveedores y clientes.

4. Las claves de la cuarta revolución industrial

La industria 4.0 debe ser entendida como la aplicación industrial de todas las nuevas posibilidades que ofrece la digitalización de los procesos de producción, las cuales no se limitan a las nuevas posibilidades de aplicación de la robótica o de la fabricación aditiva. En el nuevo universo que se abre ante los fabricantes, se requieren productos inteligentes, capaces de comunicarse con el usuario para ofrecerle información de su estado, operación o mantenimiento. Estos productos están formados a su vez por componentes que son también inteligentes, lo cual permite optimizar, tanto sus procesos de fabricación como su trazabilidad durante el mismo, ofreciendo en consecuencia, no sólo incrementos notables de calidad y productividad, sino amplias posibilidades de personalización de los mismos a demanda. Estos productos 4.0 son producidos por fábricas totalmente automatizadas, donde las máquinas informan de su situación y colaboran en la optimización de la planificación y mantenimiento de los procesos de producción, y en las que la utilización de grandes bases de datos, en combinación con la inteligencia artificial, permite además que se apliquen cada vez más extensivamente los conceptos de autonomía, tanto en la producción como en la logística interna y externa a la misma.

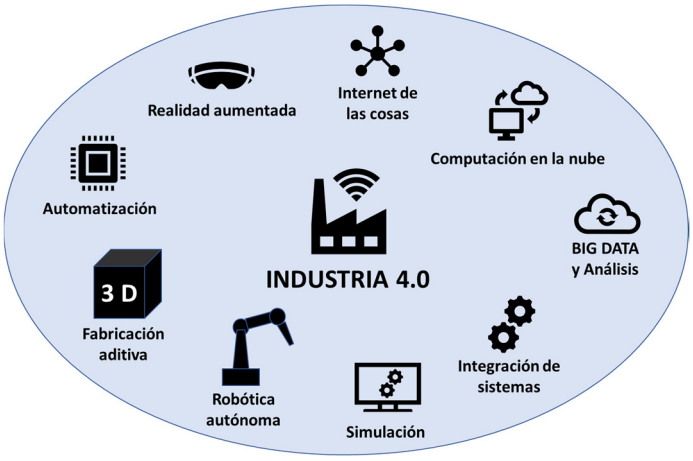

Fig. 2. Tecnologías directoras de la Industria 4.0

En la industria 4.0 las prestaciones de los productos confunden y combinan los conceptos de operación, mantenimiento y servicio, abriendo un amplio abanico de posibilidades al usuario que obligan al fabricante a mantener relación permanente con los productos que ha fabricado, diluyendo el concepto de garantía dentro de uno de apoyo al ciclo de vida.

En definitiva, no hablamos de una única cosa. La industria 4.0 combina sobre la producción y los productos una gran cantidad de tecnologías diferentes, que, en conjunto, afectan radicalmente, tanto a la manera de entender los procesos de fabricación, como a las prestaciones de lo que se produce y a los servicios que el fabricante debe prestar durante el ciclo de vida completo del producto que fabrica.

5. El sector naval y la cuarta revolución industrial

La gran variedad de industrias integradas dentro del sector naval obliga a plantear este análisis bajo la óptica de los puntos que tienen en común. Para ello, en los apartados siguientes se desgranarán las demandas que el mercado exige al sector, empezando por su principal producto de consumo: el buque; para pasar después a analizar, tanto la fabricación de este como la de sus componentes.

Siguiendo este esquema, se analizarán en primer lugar las necesidades de las empresas navieras, entendiéndolas como flotas que buscan definirse como 4.0, aplicando en su gestión los conceptos de "smart shipping", a las que sus nuevos objetivos empresariales abocan a demandar buques 4.0, servicios y puertos 4.0.

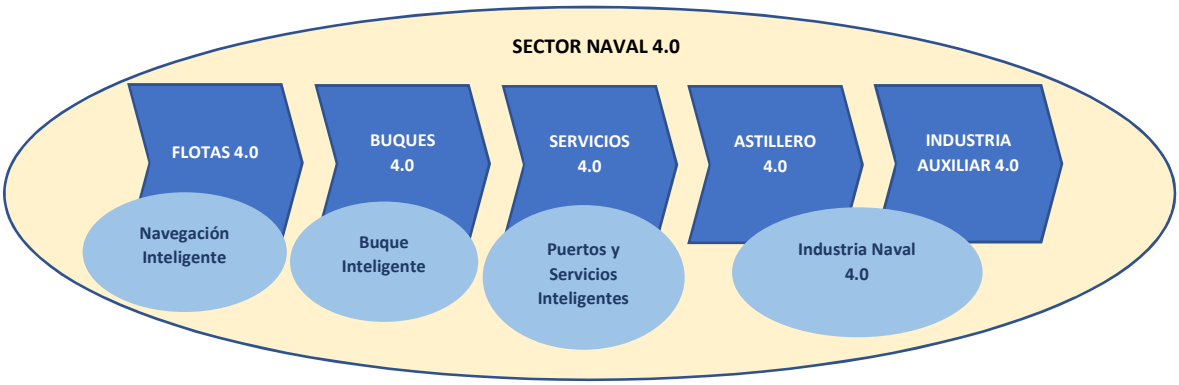

Fig. 3. Generación de la necesidad de una industria naval 4.0 como soporte a flotas, buques y servicios inteligentes

Se pasará después a analizar cómo deberán ser los astilleros 4.0 que fabriquen estos buques inteligentes, comprobando cómo se verán abocados a integrar en su cadena de producción productos 4.0, los cuales, para ser competitivos, deberán estar fabricados también en instalaciones 4.0, extendiendo así la demanda de mudanza tecnológica a toda su red de empresas colaboradoras, tradicionalmente denominadas como industrias auxiliares.

Como se puede ver, se trata de una cadena en la que no es posible ofrecer un servicio completo sin la participación de todas las empresas involucradas. Debido a ello, el problema de la mudanza a la industria 4.0 no puede ser visto como particular de los astilleros, sino como un problema sectorial donde la demanda fuerza a todos los participantes a evolucionar en la misma dirección.

6. Flotas 4.0. Concepto de navegación inteligente. La "Smart Shipping"

A finales del 2018 aproximadamente la mitad de la flota SOLAS, unos 50.000 buques, ya tenían instalado el ECDIS (Electronic Chart Display and Information System) a bordo como sistema de auxilio a la navegación, consolidando en menos de diez años la migración de la flota hacia la e-navegación.

Estos sistemas muestran en pantalla la posición del buque en cartas de navegación electrónica o digitales, integrando además gran cantidad de información de auxilio a la navegación, proveniente de diferentes sistemas y sensores del buque, como pueden ser la sonda, la corredera, el radar, el navtex (Navigational Telex), el GMDSS (Global Maritime Distress Safety System) o el AIS (Automatic Identification System). Esto permite al piloto conocer en todo momento su posición, rumbo y velocidad, con completa información sobre alertas de seguridad a la navegación o previsiones meteorológicas, así como del entorno geográfico, el calado y la posición de otros buques en su entorno. El sistema permite además programar la navegación, pudiéndose combinar con un piloto automático, capaz de controlar rumbo, velocidad, y demandas cambiantes, tanto de fuerza al motor como de paso a las hélices en función del estado de la mar. El cambio es tan radical, que se espera que prácticamente todos los buques afectados por la normativa IMO lo acaben por incorporar.

Pese a que su aplicación haya estado en su origen vinculada a la seguridad marítima, la introducción del ECDIS es uno más de los muchos pasos que están dando las compañías navieras para digitalizar sus flotas. Esta potencialidad abre las puertas a la navegación autónoma y se combina con conceptos de teleasistencia, permitiendo la optimización de las tripulaciones o, incluso, su eliminación en un futuro, quizá ya no tan lejano.

Fig. 4. Geoposicionamiento e interconexión vía satélite, claves de la e-navegación

La capacidad de conectar el buque a una central de operaciones en tierra permite optimizar la gestión de la flota, optimizando sus rutas de navegación en función de las fluctuaciones del mercado o incluso de las circunstancias meteorológicas, y monitorizando a distancia el estado tanto los equipos del buque como su carga. Debido a ello, esto es ya tendencia común en todas las compañías, que empiezan a demandar buques y servicios acorde con sus nuevas necesidades.

El nuevo concepto de gestión de flota implica además nuevos problemas hasta ahora no planteados para los buques, como son la estabilidad en la conectividad o la ciberseguridad, que demandan soluciones específicas, tanto a los constructores navales, como a los puertos y a las empresas de servicios marítimos. Es por tanto evidente que el sector naval se mueve arrastrado por la necesidad de dar respuesta a estas demandas, que lo abocan a su completa reconfiguración.

En función de los servicios de los que se quiere disponer, que no son más que extender todas las posibilidades de la digitalización al sector marítimo, se busca apoyar la e-navegación con el desarrollo de una "Maritime Cloud" a la que puedan conectarse los buques. El concepto de Maritime Cloud está en desarrollo por la UE dentro del proyecto ACCSEAS, iniciado en 2015. Se trata de una plataforma IT en la que se desarrollan estándares de comunicación y gobernanza para facilitar de manera segura el intercambio de información entre los operadores marítimos. La Maritime Cloud se basa en tres infraestructuras clave, a través de las que facilita su red de servicios:

- **Catálogo de servicios marítimos.** Se incluyen aquí todo tipo de servicios, tanto de ayuda a la navegación, como meteorológicos, de alertas de seguridad en la navegación, informaciones portuarias, etc.
- **Servicio de mensajería.** Garantiza la posibilidad de operar un servicio de mensajería con independencia de la localización del buque en el mundo y de las restricciones asociadas a la misma en cada momento, como pueden ser los protocolos de conexión de cada región, las variaciones del ancho de banda utilizado, etc.

Fig. 5. Concepto del proyecto EFFICIENSEA de la UE para el desarrollo de una e-cloud como soporte de la e-navigation. El proyecto se inició en el año 2015, liderado por Dinamarca, con un presupuesto de 85 M €

- **Servicio de registro e identificación.** Facilita a los operadores marítimos, tanto una "identidad marítima", como un sistema de autentificación, garantizando la integridad y confidencialidad de la información transmitida mediante la aplicación de certificados digitales en una PKI (Public-Key Infrastructure).

Las actuaciones de digitalización del sector redundan, tanto en la rentabilidad y eficiencia de las operaciones marítimas, como en su seguridad, siendo identificados por la UE evidentes beneficios asociados a ella, como pueden ser: la rápida identificación y monitorización de buques peligrosos, el control del tráfico marítimo, la difusión de alertas a la navegación o la mejora en la respuesta ante emergencias.

Estas actuaciones se resumen en el programa SafeSeaNet de la UE, orientado a la mejora de la seguridad marítima con base en la digitalización 4.0 del sector naval.

7. Transporte Marítimo. Concepto de "e-Maritime"

El transporte marítimo no deja de ser una parte más de la red de transportes, que integra los transportes por carretera, ferrocarril, aéreo y fluvial. Para toda esta red de transportes se está desarrollando el concepto de "e-transport", que busca digitalizar la red logística, combinando diferentes tipos de transportes para una misma mercancía.

Para desarrollar el concepto de e-transport, se deben desarrollar los de: e-maritime, e-road, e-train y e-river, de cuya combinación e interacción depende el éxito de la red global.

El e-maritime engloba los esfuerzos para la digitalización de los servicios marítimos, de guardacostas, las aduanas, los puertos, los servicios intermodales, los faros, así como su interconexión con las otras redes de transportes y los usuarios. Desde este punto de vista, el e-maritime engloba a la e-navigation, integrando la digitalización de las flotas en la de una red de logística marítima que interactúa con la red global de logística de transportes.

8. Buques 4.0. Concepto de buque inteligente. El "Smart Ship"

Fig. 6. Ejemplo de proyecto conceptual de buque autónomo de Rolls Royce en el que se ha prescindido de la superestructura.

La tecnología actual encamina el sector hacia la navegación autónoma. Los pasos previos ya se están dando, y progresan de manera acelerada, dejando entrever que esta posibilidad será una realidad en un futuro no muy lejano. Las claves para esta mudanza tecnológica están en la total automatización de los buques, sus comunicaciones y su capacidad para integrar un sistema de e-navigation, con la posibilidad de que el buque sea controlado por un capitán virtual, que lo maneje desde una central de control en tierra.

Los buques autónomos no llevarán tripulación, lo cual eliminará la necesidad de la superestructura y de todos los servicios de habilitación del buque (aire acondicionado, agua potable, gambuzas, …), reduciendo en consecuencia su peso y mejorando su rendimiento por tonelada de carga transportada. La ausencia de tripulación permitirá además plantear diseños más aerodinámicos e hidrodinámicos, donde no hay que considerar accesos para la tripulación en las cubiertas, y que redundan por tanto también en la optimización de los rendimientos del buque.

En suma, se estima que un buque autónomo podría llegar a recortar hasta en un 20% los costes de operación de un buque tradicional.

Los buques 4.0 son la transición del buque tradicional al autónomo, integrando al buque como parte de una flota gestionada a distancia, en la que su posición, navegación y la totalidad de sus equipos son monitorizados desde tierra. Esto permite a las navieras optimizar los costes de gestión y de mantenimiento, mejorando en suma sus rendimientos operacionales.

Fig. 7. Simulador NAVANTIS de Navantia en maniobra virtual del LHD Camberra

En esencia, los buques 4.0, incorporan:

- **Interconexión con una amplia red de servicios marítimos y portuarios.**

El concepto de internet de las cosas aplicado al buque conduce a una plataforma inteligente, conectada con servicios de navegación que permiten monitorizar su posición y ofrecer servicios de información, aviso, socorro, asistencia en caso de accidentes, optimización de ruta en función de obstáculos costeros o embarcaciones fondeadas o faenando. La recepción de esta información es básica para que el buque pueda optimizar su operación y esencial para poder plantear un objetivo de navegación autónoma.

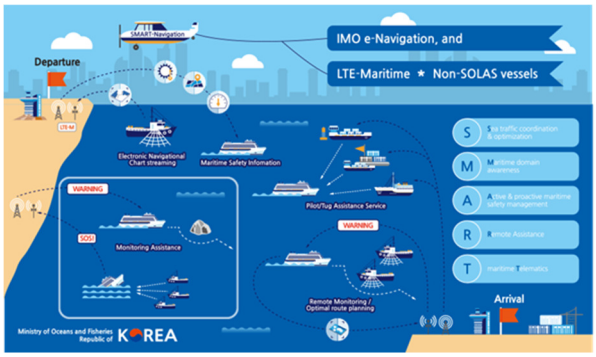

Fig. 8. Ejemplo del proyecto SMART del Ministerio de Marina y Pesca de la República de Corea, en el que se extiende y generaliza el concepto de SMART NAVIGATION, aplicándolo tanto a buques SOLAS como no SOLAS.

Esta interconexión se extiende a la operación del buque en puerto, donde la gestión de la carga cobra especial importancia. La tendencia es a que los buques se dirijan a puertos 4.0, digitalizados, que faciliten su localización y guiado desde tierra sin necesidad de tripulación ni práctico a bordo. Las operaciones de carga y descarga también deben estar integradas con los sistemas de los operadores portuarios y logísticos, donde empiezan ya a utilizarse también medios de descarga autónomos, que por tanto deben poder identificar al buque y a su carga de manera inteligente.

- **Automatización integral de todos los sistemas del buque.**

Es básico para poder después progresar con cualquier otra versatilidad. Implica que todos los equipos del buque incluyen la posibilidad de ser operados en remoto y están conectados a un sistema de control de plataforma automatizado. A partir de ahí, las propias posibilidades de la automatización se abren infinitamente, pues el buque puede programarse para combinar modos de operación o incluso para reaccionar sólo ante eventos. De este modo, se pueden establecer, por ejemplo, sistemas de posicionamiento dinámico, combinando la actuación del paso variable de las palas de la hélice con la potencia del motor y las hélices de maniobra, o establecer complejas rutinas automáticas de reacción ante averías o accidentes, como cortes de ventilación, aislamiento de zonas y activación de rociadores en caso de incendios. En esencia, todas estas automatizaciones simplifican la operación del buque, reduciendo la necesidad de tripulación, al tiempo que mejoran su seguridad y su rendimiento. Son pasos previos necesarios en el camino hacia el buque autónomo, que de otro modo no llegaría a ser posible.

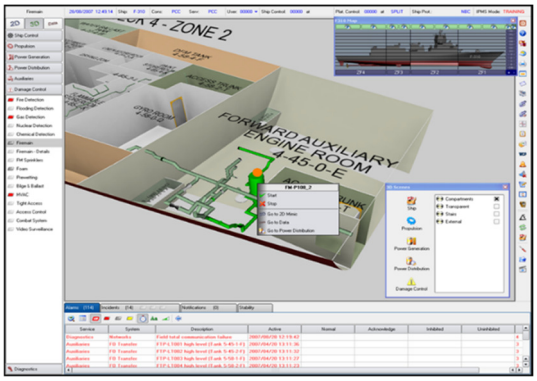

Fig. 9. Ejemplo de pantalla del sistema integrado de control de plataforma, SICP, de una fragata de NAVANTIA. En él se puede ver cómo cualquiera de los servicios del buque puede ser visualizados y operado en 3D

En este sentido, el know-how de automatización se está convirtiendo hoy en día en parte esencial del acervo tecnológico de los astilleros, y, muy probablemente, se convertirá en su principal seña de distinción en el futuro. Cuanto más sofisticado y menos estandarizado sea el buque, más importancia tendrá este know-how. Para buques convencionales, existirán numerosas compañías capaces de suministrar este tipo de software de gestión, pero para buques especiales, que requieran gran cantidad de conocimientos específicos para su proyecto, no. Esto genera un nicho de mercado importante para las empresas que estén capacitadas para explotarlo, en el que se puede crear un producto diferencial que sea valorizado por el mercado recurriendo a la automatización.

Esta nueva aproximación al negocio de la construcción naval ya es un hecho en hoy en día para los buques de guerra, en los que los tiempos de reacción son vitales para su supervivencia en combate. Las características especiales de misión de estos buques hacen que las armadas valoren en ellos las capacidades de automatización y el grado de integración de sistemas como una de sus principales características, poniéndolas ya en muchos casos al mismo nivel que las propias armas.

- **La realidad virtual como herramienta de apoyo al mantenimiento abordo.**

Fig. 10. Imagen de realidad virtual de un buque de Navantia

La automatización no se usa sólo para operar el buque, sino también para mejorar su mantenimiento. En este sentido, la mejora pretendida se puede conseguir desde dos puntos de vista diferentes. Por un lado, reduciendo los tiempos de mantenimiento a bordo y, por otro lado, reduciendo las averías y, por tanto, los tiempos de parada del buque.

Los mantenimientos convencionales dividen las tareas entre el mantenimiento preventivo y el correctivo. El mantenimiento correctivo es el que repara una vez producida la avería. Para optimizarlo, el buque se dota de repuestos y de talleres a bordo que le permitan realizar estas reparaciones en ruta. El mantenimiento preventivo, por su parte, busca realizar operaciones de limpieza o cambio de piezas periódicas de partes de los equipos, para evitar así que se produzcan averías.

Fig. 11. Mantenimiento con apoyo en la realidad virtual. Imagen del Centro de Formación Profesional Dual Andra Mari en Vizcaya.

Es evidente que, cuanto más complejo sea el buque, más complejas serán las operaciones de mantenimiento. Según esta premisa, teniendo en cuenta que los buques evolucionan hacia una creciente automatización, que lleva aparejada la integración de equipos de creciente sofisticación, cada vez se demandarán dotaciones más expertas y mejor formadas para operarlos. Esto se está convirtiendo en un problema de difícil gestión para las empresas navieras, que, además, buscan simultáneamente aprovechar las posibilidades de la automatización para reducir al máximo las tripulaciones.

Sin entrar por el momento en análisis sobre las posibilidades de optimizar las operaciones de mantenimiento, sobre todo desde el punto de vista de evitar realizarlas, se puede encontrar una solución a este problema a través de la digitalización, que permite mejorar sensiblemente las capacidades de la tripulación para realizar estas operaciones, sin necesidad de incrementarlas o mejorar su cualificación. Para ello, se busca desarrollar un sistema de ayuda virtual para el mantenimiento que se apoye en las posibilidades que ofrece la realidad virtual. En esencia, se trata de que, cuando el tripulante encargado de realizar la operación de mantenimiento mire al equipo sobre el que debe actuar, no sólo vea ese equipo, sino también toda la información inherente y relacionada con el mismo, incluyendo las instrucciones detalladas sobre cómo debe actuar. La realidad virtual ofrece una solución ideal a este problema, que permite incluso que el técnico abordo sea asesorado desde tierra por un experto, que estará viendo lo mismo que él e indicándole cómo actuar en cada caso.

Fig. 12. NAVANTIA aplica tecnologías de gemelo digital en las aplicaciones de mantenimiento y formación de tripulaciones de sus buques.

Para poder aplicar estas posibilidades, el buque debe haber sido concebido desde origen como un producto 4.0, una de cuyas principales características es contar con un gemelo digital. Cuanto más detallado sea el gemelo digital, con mayor profundidad se podrá aplicar como apoyo en las labores de mantenimiento. No se trata por tanto de tener sólo un gemelo del buque, cuestión muy útil para formación y operación, sino de todos los equipos que lleva abordo.

- **Monitorización integral de los equipos del buque para optimizar su mantenimiento.**

Un buen mantenimiento preventivo debería evitar en gran medida el correctivo, aunque no siempre es así. También ocurre frecuentemente que los mantenimientos preventivos se hacen por exceso, cambiando piezas que en realidad no necesitaban ser cambiadas. Esta circunstancia es aún más dramática cuando se trata de equipos electrónicos, pues la tasa de avería en los mismos es mayor durante el periodo de puesta en marcha que durante su operación, por lo que los cambios generan periodos de pérdida de fiabilidad importantes, resultando en muchos casos contraproducentes.

Fig. 13. Sala de formación con el sistema NAVANTIS de NAVANTIA, integrando realidad virtual en el control del buque y Sistema Integrado de Control de Plataforma, SICP.

En definitiva, resulta difícil encontrar un equilibrio entre el riesgo de que se genere una avería grave y el coste que supone evitar que suceda a toda costa, pues lo que resulta evidente es que el mantenimiento siempre será un coste, y, cuanto menor sea, mejor será el rendimiento operacional del buque. Es por tanto un objetivo reducirlo sin perjudicar la seguridad y las prestaciones del buque. Para conseguirlo, la solución es diseñar desde el origen pensando en la posibilidad de averías y en el mantenimiento, diseñando bajo un análisis previo de la fiabilidad de cada equipo y cada componente, y exigiendo a los suministradores de los equipos estos mismos análisis. Se trata, en esencia, de exigir una fiabilidad mayor a los equipos cuyo fallo puede redundar en una pérdida del buque, solicitando a su vez a sus fabricantes que estén fabricados con componentes con mayor grado de fiabilidad. Esta exigencia se complementa con la monitorización de las partes esenciales de los equipos, de modo que se puedan anticipar actuaciones de mantenimiento a la generación de averías.

En definitiva, como actuación complementaria al diseño orientado a la reducción de averías y a la optimización del mantenimiento, los equipos se pueden sensorizar para monitorizar continuamente su situación. Se puede hablar así de buques que incorporan sistemas de mantenimiento basado en la condición, SMBC, y, como evolución de estos sistemas, los que aprovechan esta información para aplicarlas mediante un sistema de mantenimiento predictivo integrado, SMPI.

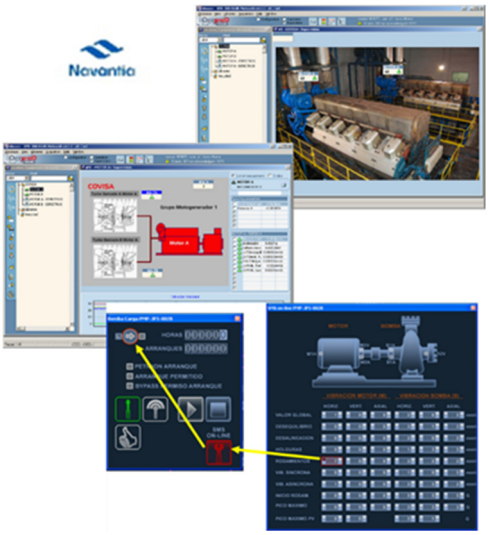

Fig. 14. Sistema de telediagnóstico y teleasistencia de NAVANTIA.

Los sistemas de mantenimiento basado en la condición instalan sensores en los equipos del buque, recogiendo información continua sobre sus vibraciones, presiones, revoluciones, temperaturas o ruidos, o incluso analizando en línea la composición de aceites o gases. En definitiva, recogiendo información relevante para determinar el óptimo funcionamiento del equipo. Esta información se analiza por el sistema, que interpreta las anomalías como necesidades de intervención para mantenimiento. La experiencia en el análisis de este tipo de información y el conocimiento del comportamiento de los equipos, permiten evolucionar los sistemas SMBC a SMPI. En definitiva, se trata de dotarse de un software que recoge los datos de los sensores y los analiza para prever averías. Cuanto mejor sea este software, mejor será la predicción de averías y menor será el coste por paradas del buque.

Los sistemas de mantenimiento basado en la condición, al margen de contribuir a reducir los costes de mantenimiento, eliminan totalmente la posibilidad de averías catastróficas en los equipos, aumentando con ello el grado de fiabilidad del buque.

- **La digitalización como apoyo para la formación de las tripulaciones.**

Fig. 15. Sistema de teleasistencia de NAVANTIA.

Una de las grandes posibilidades que abre la digitalización es la de mejorar la formación de las tripulaciones. Para ello, se aprovechan los sistemas de control de plataforma, combate o navegación, para reproducir en tierra el control del buque en salas de formación que incluyen realidad virtual. De este modo, sin riesgo para ellos ni para el buque, las tripulaciones pueden vivir las consecuencias de sus decisiones, mejorando su formación en operación. Cuanto más integrados sean estos sistemas, tanto más efectivos serán.

Nuevamente, siempre que esté en manos del propio astillero, la automatización aparece como oportunidad de negocio y de diferenciación de marca también por esta vía, abriendo el abanico de servicios asociados al producto a ofrecer.

- **Monitorización del buque desde una central de control de flota en tierra.**

Una de las grandes posibilidades que se abren a través de la automatización del buque y la monitorización de sus equipos es la de crear una central de control de flota en tierra. Esta central tiene una doble función. Por un lado, se dedica a controlar las operaciones de todos los buques de la flota, monitorizando cualquier aspecto relevante de las mismas. Por otro lado, permite centralizar el mantenimiento predictivo y dar teleasistencia de

mantenimiento a los buques, realizándolo desde una sala en la que se cuenta con expertos en las diferentes áreas tecnológicas del buque. Estos expertos se aprovechan para dar su servicio al conjunto de toda la flota, organizando las actuaciones preventivas de mantenimiento y avisando a los capitanes de los riesgos que vean en los equipos de sus buques. Desde la sala de mantenimiento en tierra, se identifican las posibilidades de avería, se deciden las actuaciones preventivas a efectuar y se coordina en qué puerto de la ruta del buque serán llevadas a cabo, descargando así a la tripulación de la responsabilidad de organizarlas.

Fig. 16. NAVANTIA. Simulador y sala de control de flota

En el caso de los buques militares, esta potencialidad se amplía con la creación de salas de guerra, en las que se integran también las comunicaciones, la información de los sensores de los buques y la gestión en remoto de sus armas.

- **Ciberseguridad.**

Por último, cabe citar aquí la ciberseguridad como un nuevo aspecto esencial a considerar en el diseño de los buques. La creciente automatización y la capacidad de control a distancia del buque y de los elementos que lleva a bordo, exigen garantizar la seguridad de estas funcionalidades, para evitar que terceros puedan tomar el control del buque. Este aspecto es tanto más importante en los buques de guerra, donde la guerra cibernética se integra ya como un arma más dentro de su sistema de combate.

9. Servicios 4.0

El buque evoluciona para convertirse en una plataforma operada y mantenida a distancia, con capacidad de integrarse en redes logísticas y de servicios, y que, en consecuencia, requiere también de servicios a la medida de estas necesidades. Estos nuevos conceptos alteran la concepción tradicional de los negocios, impactando de manera importante en todos ellos, desde el propio astillero constructor o los fabricantes de equipos navales, hasta los puertos y las empresas de servicios marítimos.

- **Demanda de puertos 4.0**

Parte de estos servicios los obtendrá en un puerto, al que el buque demandará que sea también “4.0”, es decir, digitalizado. El buque debe conectarse con el puerto, que ofrecerá servicios de interconexión y logísticos, en buena medida estos últimos también autónomos. Es evidente que, a medida que los buques evolucionan hacia el 4.0, tenderán a primar para sus operaciones a los puertos 4.0 frente a los que no lo son.

- **Integración con redes logísticas 4.0**

La red de servicios demandada por el buque y el puerto también evolucionará en el mismo sentido. Los servicios de apoyo a la digitalización, como soporte a la interconexión del buque con su central de flota y con su cadena logística, requerirán de empresas especializadas. Del mismo modo, las empresas de logística demandadas deberán estar también digitalizadas.

- **Actualización y resolución de obsolescencias como parte esencial de los servicios de apoyo al ciclo de vida.**

La actualización de los equipos para resolver obsolescencias cobra especial importancia como consecuencia de la migración hacia el 4.0. La alta velocidad a la que evoluciona la tecnología hace que los equipos instalados abordo queden rápidamente obsoletos, cuestión que un buque interconectado no puede permitirse, ya que afecta a su operatividad.

El problema de la digitalización es que el buque deja de ser un ente aislado, como lo era en el pasado. La necesidad de conectarse, integrándose como parte de una red de gestión y logística, obliga al buque a mantenerse permanentemente actualizado para poder operar. Esto requiere de la aplicación de nuevos conceptos de apoyo al ciclo de vida, donde la resolución de obsolescencias ya no se considera un mero medio de actualización de prestaciones, sino de mantenimiento de las capacidades operacionales.

Como consecuencia de esta realidad, el concepto tradicional de mantenimiento debe evolucionar hacia uno más integral de apoyo al ciclo de vida, donde la relación del astillero con el buque no se extingue tras el final del periodo de garantía, sino que se prolonga en el tiempo hasta el final de su vida útil. El astillero pasa así, de ser un simple constructor, a ofrecer un servicio de soporte integral al armador, en el que el plan de mantenimiento y las capacidades de interconexión con los equipos del buque cobran especial importancia.

Habida cuenta de que el coste de mantenimiento durante toda la vida del buque es del orden del coste del propio buque, y que resulta aún mayor si se incluye el coste de renovaciones o resolución de obsolescencias, la nueva perspectiva del negocio implica también la necesidad de una revisión del esquema financiero de soporte al mismo.

10. Astilleros 4.0

En coherencia con la demanda del mercado, los astilleros están abocados a producir buques inteligentes, 4.0, y a ofrecer para ellos servicios postventa inteligentes, también 4.0.

Ya por sí solos, estos requisitos obligan a hacer un replanteamiento de la propia orientación del negocio de construcción naval, que implicará una profunda revisión además de los procesos de ingeniería y compras. Pero los cambios a los que nos arrastra la digitalización no acaban ahí. Los incrementos de calidad y productividad que pueden alcanzarse de la mano de una producción digitalizada precisan de la realización de mudanzas importantes en los procesos de producción, que será inevitable abordar para garantizar la competitividad de los astilleros. Esta reconfiguración de plantas y procesos de producción en lo que hemos venido a denominar como “astilleros 4.0”, deberá considerar además la posibilidad de aplicar nuevas tecnologías de fabricación avanzada, que obligarán a una redefinición completa, tanto del producto como de los materiales en los que se fabrica.

En definitiva, estos conceptos se pueden resumir diciendo que la digitalización conduce a la industria de construcción naval hacia una completa reorientación de su negocio y sus productos, que sólo puede conseguirse produciendo buques 4.0, en astilleros 4.0 que ofrezcan servicios postventa 4.0 a sus clientes.

10.1. Nuevas tecnologías de fabricación avanzada y su influencia en el proyecto del buque

Las tecnologías de fabricación evolucionan a pasos agigantados. En el ámbito concreto de la construcción naval, los procesos de producción están siendo totalmente transformados, fundamentalmente por vía de la aplicación de las siguientes tecnologías:

10.1.1. Soldadura láser.

La importancia de la soldadura láser en los procesos de fabricación de acero de los buques varía según la tipología de estos, cuestión que debe ser tenida en cuanta antes de tomar la decisión de acometer este tipo de inversión, pues no siempre resulta rentable.

En general, se puede decir que cuanto más fina sea la chapa a soldar, mayor será la rentabilidad que se obtenga con la introducción de la soldadura láser. Esto es debido a que los beneficios por la aplicación de este tipo de soladura están más en la ausencia de deformaciones durante el proceso de unión que en el incremento de productividad derivado de la mayor velocidad a la que indudablemente se ejecuta.

La soldadura láser tiene un input térmico muy bajo, por lo que apenas deforma el acero al soldar. Esta característica es especialmente importante cuando se sueldan espesores inferiores a los 10 mm, pues, en esos casos, los costes de enderezado de la estructura tras un proceso convencional de soldadura al arco GMAW son casi del mismo orden de magnitud que las horas empleadas en soldarla.

En la actualidad, la soldadura láser está siendo empleada de manera generalizada para la soldadura de la estructura primaria y secundaria de buques de pasaje y de guerra, no considerándose de momento su aplicación en otros tipos de buques ni en más elementos estructurales (estructura terciaria, calderería de armamento, …) hasta que no baje más su coste.

La introducción de la soldadura láser altera totalmente los procesos de producción, pues varían las necesidades de chaflanes y entrehierros. Las tolerancias requeridas por los procesos láser, aunque varían según el tipo de tecnología empleado, son siempre muy altas, requiriéndose entrehierros del orden de los 0,5 mm entre las piezas a soldar. Esto implica realizar una revisión completa de los medios de corte, transporte y montaje de las piezas, así como de los procesos de control dimensional aplicados durante su fabricación, que lleva los costes de inversión asociados al cambio de proceso muy por encima de lo que simplemente sería sustituir un equipo de soldadura GMAW convencional por uno láser.

Además de los requisitos técnicos inherentes al proceso productivo, en el caso de la soldadura láser, deberán considerarse también los necesarios para garantizar la seguridad de los trabajadores, los cuales condicionarán en gran medida el diseño y el coste de las nuevas líneas de producción.

10.1.2. Robotización y automatización de procesos de fabricación.

La introducción de la robótica en construcción naval está considerablemente más atrasada que en otros sectores industriales. De hecho, y de manera bastante generalizada, se puede afirmar que este atraso obliga a los astilleros a pasar de ser una industria 2.0 a una 4.0, multiplicando enormemente el esfuerzo de actualización tecnológica que se ha de realizar en comparación con el requerido en el caso de otras industrias.

El retraso en la introducción de la robótica en la construcción naval es debido a la falta de calidad dimensional inherente a los procesos de fabricación de las estructuras de los buques, en los que la acumulación de las contracciones y deformaciones generadas por la soldadura provoca que los productos intermedios ensamblados en esos procesos de fabricación difieran sensiblemente del diseño original. Es decir, si el robot se programa usando exclusivamente la información recibida del diseño, con seguridad acabará soldando en el punto equivocado.

Para evitar que eso ocurra, es necesario que el robot sea inteligente y use algún tipo de visión artificial que le ayude a adaptarse a la realidad. Esto, que tan sólo hace poco más de una década era una dificultad casi insalvable, hoy en día está totalmente superado técnicamente, lo que ya permite aplicar con profusión la robótica en casi todos los procesos de fabricación de estructuras navales.

Refiriéndonos al diseño como CAD y a la programación de los robots o instalaciones automatizadas de producción como CAM, podemos encontrar diferentes soluciones de robótica o automática en función de la relación CAD-CAM empleada en cada caso, las cuales se deberán seleccionar en función de la calidad dimensional del proceso al que se vayan a aplicar.

En general, el robot recibirá el CAD y lo usará para preparar su programación de trabajo, CAM. El CAM copia el CAD y le añade la información necesaria para que el robot haga su trabajo, que, en esencia, consiste en definir cómo acceder hasta la junta a soldar sin colisionar con la estructura y qué movimientos debe hacer el brazo robot en cada parte de la junta a soldar. Estos movimientos son preprogramados y archivados previamente en una librería de macros, a la que el CAM recurre según demanda del diseño. Como diseño y realidad no coinciden, el robot debe tomar las referencias recibidas del CAD como orientativas, usándolas sólo para encontrar la posición real de la junta a soldar con ayuda de visión artificial.

Fig. 17. Proyecto Astillero 4.0 de NAVANTIA.

La necesidad actual de programar este tipo de interfaces CAD-CAM conlleva nuevas exigencias al software de diseño que antes no se planteaban, pero que ahora resultan inevitables. La información del CAD ya no debe servir sólo para dibujar un plano, sino que se va a usar para orientar un robot, por lo que soluciones matemáticas tradicionales, como pudiera ser definir un plano mediante el cruce de dos rectas, ahora ya no sirven. El robot necesita que el plano representado matemáticamente sea sólido, pues de otro modo se perdería al buscarlo, lo atravesaría. Estos requisitos complican el software de diseño, del que, en términos generales, podemos decir deberá ser más sofisticado para poder soportar la robótica. Esta misma reflexión puede ser usada para cuestionar si el software de diseño que emplea un astillero es el más adecuado para abordar su proceso de robotización, pues puede ocurrir que sea necesario cambiarlo como requisito previo a la modernización de la planta.

Actualmente, se puede hablar de procesos en los que se emplean robots convencionales, aunque adaptados a las características particulares de cada uno de ellos, y otros para los que se desarrollan instalaciones automatizadas específicas.

Las instalaciones automatizadas específicas se aplican generalmente para combinar montajes con procesos de soldadura mecanizada, o también, simplemente para montar las piezas que posteriormente suelda un robot. Son inevitables en el caso de aplicar soldadura láser, pues la calidad dimensional exigida al proceso obliga a combinar en una misma instalación automatizada el corte, montaje y soldadura de las piezas. Sería el caso de los paneles planos o del montaje de los perfiles sobre los mismos.

De manera general, se puede decir que la mecanización en soldadura se aplica siempre que esta sea exclusivamente lineal, dejando su robotización para las aplicaciones en las que se requiere variación continua de la posición de la torcha de soldadura.

10.1.2.1. Tipos de robótica aplicados en construcción naval.

En cuanto a los tipos de robótica que se aplican en construcción naval, podemos clasificarlos en los siguientes tipos:

- **Robots auxiliares y exoesqueletos:** Son auxilios para el operador que, pese a no prescindir de él, le facilitan realizar en solitario operaciones para las que serían necesarios varios hombres, redundando así en un aumento de la productividad.

- **Robots autónomos:** Trabajan sobre una librería de macros preprogramada. El robot debe situarse frente a la estructura a soldar manualmente. Una vez en posición, el operador le indica el tipo de estructura de qué se trata y los detalles estructurales que debe buscar para soldar. A partir de aquí el robot actúa sólo. Analiza en primer lugar la estructura, identificando las juntas a soldar, y asigna a cada una después él mismo la solución de soldadura más adecuada entre todas las que tiene en su librería. Una vez realizado este proceso de autoprogramación, procede autónomamente a ejecutar la soldadura de la estructura.

Los robots autónomos están pensados para que un operario pueda mantener activos entre 4 y 6 simultáneamente.

- **Robots de programación on-line:** En estos robots el operador programa el robot directamente en la estación de trabajo prescindiendo del CAD.

- **Robots de programación off-line:** En ellos la programación del robot se realiza fuera de la estación del trabajo, usando como referencia el CAD de la pieza que posteriormente se pretende soldar.

10.1.2.2. Procesos típicamente robotizados en construcción naval

Desde el punto de vista de los procesos en los que estos robots pueden ser aplicados, se puede hablar de diferentes tipos de aplicaciones robotizadas ya consolidados para la fabricación de estructuras de buques:

- **Robots de corte:** Usados para el corte de llantas y perfiles en combinación con líneas automatizadas que mueven estos elementos y los clasifican para su entrega posterior a la etapa de producción correspondiente. Este tipo de robots trabajan sobre macros de programación preprogramadas para los diferentes detalles estructurales del diseño, que se aplican con programación on-line en el propio puesto de trabajo.

- **Robots de montaje de piezas:** Empleados hasta ahora fundamentalmente en la fabricación de previas, aunque actualmente también empiezan a usarse en etapas posteriores, para montajes en las líneas de fabricación de bloques. Se pueden encontrar soluciones tanto on-line como off-line para robots programables, además de otras que recurren al empleo de robots auxiliares comandados a distancia o exoesqueletos.

Los robots programables de montaje generalmente operan en tándem. Su función es coger la pieza y montarla en la posición adecuada sin intervención de ningún operador. Para ello requieren de la combinación de dos

robots realizando las operaciones de montaje y punteo de las piezas. Las características de ambos robots son en este caso diferentes. El robot de montaje debe ser de gran potencia, para poder presionar las piezas mientras el otro robot, que puede ser más ligero, las puntea.

Actualmente el mercado ofrece también la posibilidad de usar robots auxiliares de gran potencia comandados directamente a distancia por el operario. Son en realidad soluciones de manipulación inteligente de piezas pesadas, que en el caso de la construcción naval pueden ser empleados para evitar volteos de bloques. Estos robots permiten realizar montajes de precisión de grandes piezas en vertical.

En cuanto a los exoesqueletos, se emplean para multiplicar la fuerza del operario y evitar la necesidad de trabajar por parejas o grupos. También evitan la necesidad de usar grúas, eliminando los tiempos de espera para las operaciones de montaje en los talleres.

- **Robots para soldadura a filete de programación on-line:** Se usan en instalaciones capaces de escanear la estructura a soldar, prescindiendo así de la necesidad de transmitir el diseño a los robots. Se trata de escanear directamente la pieza y usar esa imagen para alimentar el CAM del robot y programar la soldadura.

En general, esta solución es válida para soldar estructuras abiertas sólo hasta los 500 mm de altura, pues para tamaños mayores se generan muchos errores debidos a las sombras de las piezas frente al haz del escáner.

- **Robots para soldadura a filete de programación off-line:** Es la solución tradicional CAD-CAM. El robot recibe el CAD y prepara su programa de soldadura para cada estructura a soldar. En este caso, existen diferentes soluciones para resolver las diferencias entre el CAD y la realidad de la estructura a soldar.

La más empleada, y también más conservadora, pues permite absorber mayores errores dimensionales, es la de combinar un escaneado previo de la estructura con la lectura del CAD. El robot compara la imagen del escáner con el CAD y la corrige en función de la realidad que está viendo. La imagen corregida es la que se emplea para la programación CAM del robot.

Para casos en los que se puedan garantizar errores dimensionales inferiores a los 2 mm (cosa complicada, pues debe considerarse que son acumulativos), se puede confiar en soluciones en las que el robot se sitúa en la junta mediante visión artificial o palpando la estructura.

- **Robots para soldadura volumétrica:** Se emplean para la soldadura de topes de chapa de altos espesores, generalmente curvas y con chaflán. En estos casos la dificultad estriba en la lectura previa del perfil de soldadura a realizar y la programación secuencial de los cordones a ejecutar. Para ello, el robot usa primero un escáner de precisión para conocer el perfil de la junta, cambiándolo después por una torcha de soldadura para soldarla.

Esta aplicación puede ser usada montándola sobre un pórtico autónomo en las líneas de fabricación, en cuyo caso es generalmente operada con programación off-line, que se encarga de dirigir secuencialmente al robot a cada tope de soldadura a realizar.

- **Robots de soldadura autónomos:** Se usan en estaciones de fabricación fuera de línea, colgados de pescantes auxiliares que facilitan su posicionamiento sobre el bloque.

10.1.3. Fabricación aditiva

La tecnología de fabricación aditiva está revolucionando el mundo de la producción. Las tecnologías en este sector evolucionan a gran velocidad y hacen prever que en un futuro próximo su aplicación va a comandar el mercado, arrojando del mismo a otras tecnologías más tradicionales.

La impresión 3D es capaz de fabricar piezas impensables de obtener mediante otras tecnologías, fabricando simultáneamente las partes interiores y exteriores de la misma. Además, es capaz de dotar a las piezas de innumerables soluciones de estructura interna, lo que permite reforzarlas sin añadirles peso. Por último, hay que destacar también que la fabricación la hace una máquina, de forma casi autónoma, con lo que el coste de mano de obra es residual, eliminándose además muchas partes del proceso productivo convencional.

Fig. 18. NAVANTIA. Módulo de aseo fabricado mediante impresión 3D.

Aunque en el mercado se ofrecen actualmente ocho tecnologías de fabricación aditiva diferentes, para construcción naval sólo resultan adecuadas dos: el FDM (Fused Deposition Modelling) y el WAAM (Welding Arc Additive Manufacturing). La diferencia fundamental entre ellas radica en que, mientras la tecnología FDM fabrica las piezas por deposición de hilos de material polimérico, la WAAM lo hace mediante la acumulación de sucesivas pasadas de soldadura con un brazo robotizado. En definitiva, esto ofrece dos posibilidades de fabricación de piezas por impresión 3D, una para materiales poliméricos y otra metálica.

Las aplicaciones más inmediatas de la fabricación aditiva en construcción naval se centran en elementos de calderería y de habilitación, aunque su implantación será necesariamente progresiva, sobre todo debido a la necesidad y dificultad de certificar las nuevas piezas diseñada. A tal efecto, el astillero deberá definir una estrategia adecuada de implantación que siga los siguientes pasos:

- Seleccionar productos a producir con fabricación aditiva. Esta selección se puede hacer en base a criterios de firma electromagnética, peso, corrosión o coste de producción.
- Seleccionar Materiales y/o desarrollar nuevos materiales que cumplan requisitos. Hay que tener en cuenta que sustituir un elemento metálico por otro fabricado con materiales compuestos va a requerir de una homologación y, muy probablemente del diseño específico del material a usar en la fabricación.
- Cambiar la ingeniería para integrar en ella estos productos. Reingeniería que incluye una migración de software de diseño hacia uno específico de impresión 3D.
- Certificar los nuevos productos diseñados.
- Producir los nuevos productos.

10.2. Nuevas plantas de producción inteligentes

La planta de producción inteligente busca alcanzar los siguientes objetivos a través de la digitalización de los procesos:

- Reducción de costes de inmovilizado, optimizando la cadena logística a través de su digitalización.
    - Reducción del número de operarios empleados en la fabricación, eliminando operaciones manuales en los procesos de producción.
    - Reducción de costes de administración, digitalizando los procesos administrativos.

- Optimización del control y la planificación de la producción, con la consecuente reducción de los tiempos de ciclo y optimización de la productividad, mediante la sensorización de la planta y de las piezas en curso.
- Mejora y estandarización de la calidad del producto, sistematizando y automatizando la fabricación y los controles de calidad en cada proceso de producción.
- Reducción de los tiempos de parada por averías y de los costes de mantenimiento, sensorizando y monitorizando el comportamiento de las máquinas y las líneas de producción.

10.2.1. Digitalización de la cadena logística.

La digitalización de la cadena logística es un paso previo y necesario para la optimización de la gestión de la producción, que afecta tanto a los suministros externos, como a los internos de material en curso y su red de transportes.

La tecnología actual permite identificar perfectamente cada pieza del buque con códigos inteligentes que reflejen su situación en el proceso de producción. La información almacenada en estos códigos variará en función de las situaciones por las que pase la pieza, facilitando así la perfecta trazabilidad de la misma.

Las identificaciones podrán ser activas o pasivas, según la importancia que se otorgue a cada pieza en el proceso productivo, de modo que se pueda geolocalizar en todo momento la situación de las más importantes. Permiten facilitar así, tanto la optimización de la planificación y los stocks de material en curso, como la automatización de los transportes, facilitando el uso de medios de transporte autónomos que, previa lectura de las mismas, identifiquen qué deben hacer con cada pieza, cargándola y transportándola hasta el punto de consumo sin intervención de ningún operador.

10.2.2. Automatización de la planta de producción.

La planta inteligente combina actuaciones para la automatización y robotización de las estaciones de trabajo con la automatización de los movimientos de las piezas entre las mismas. En esencia, se trata de reducir el número de operarios empleados en la fabricación, considerando por igual tanto a los que realizan funciones directas como indirectas.

En el caso de la construcción naval, no es posible plantear en la actualidad la automatización integral de la construcción de un buque, tal y como ya se hace en otros sectores, como, por ejemplo, el del automóvil. La dualidad del buque, a caballo entre un producto fabricado y un proyecto construido, dificulta notablemente alcanzar este objetivo, obligando a plantearse soluciones diferentes a las aplicadas en otros sectores industriales. De este modo, se divide el proceso de producción del buque entre etapas de fabricación, a ser realizadas en talleres, y etapas de construcción, ejecutadas entre el dique de montaje y los muelles de armamento a flote, centrando los esfuerzos de automatización en las primeras.

Según esto, tomando como referencia el proceso de fabricación tradicional de un buque, podemos considerar que las nuevas tecnologías permitirán alcanzar porcentajes de automatización máximos que afectarán a lo sumo a entre el 30% y el 40% de sus actividades de producción. Los porcentajes variarán en función de la complejidad del buque o, más concretamente, de la proporción existente entre trabajos de acero y armamento en el mismo, pero en cualquier caso resultan significativos para condicionar la competitividad de los astilleros que no aborden con decisión su modernización.

Para automatizar la producción de un buque es necesario definir una estrategia constructiva orientada a la automatización, donde el diseño facilite la aplicación de la robótica en producción. Esta estrategia debe estar basada en la descomposición del buque en productos intermedios de fabricación automatizable. Cuanto mejor sea esa esta estrategia constructiva, mayores niveles de automatización se alcanzarán en los procesos productivos.

Los productos intermedios agrupan las partes estructurales del buque que comparten un mismo proceso de fabricación. Bajo este concepto, dos estructuras diferentes pueden corresponder a un mismo producto intermedio siempre que su proceso de fabricación pueda ser descompuesto en las mismas etapas, ejecutables además con las mismas instalaciones.

La automatización de una planta de fabricación de un producto intermedio precisa considerar, por este orden, las siguientes actuaciones:

- Definición de un proceso de producción compacto y autónomo, integrado con sus puntos de stock y alimentaciones, dentro de un flujo de general de producción que lo relacione con los procesos de producción del resto de productos intermedios que conforman el buque.
- Automatización de procesos en cada estación de trabajo de las líneas de producción.
- Automatización de movimientos en las líneas de fabricación.
- Automatización de alimentaciones de material desde los puntos de stock.
- Sensores que permitan identificar la posición de cada pieza en las líneas de proceso.
- Transportes autónomos entre almacenes y diferentes talleres de la planta.

Hasta el momento, los astilleros más avanzados han conseguido ya automatizar en un alto grado sus procesos de fabricación de estructuras de acero. El reto tecnológico actual está centrado en conseguir la automatización de la incorporación del armamento en las líneas de fabricación de subbloques.

10.2.3. Digitalización de la administración.

Un astillero 4.0 debe tener gestión digital. El objetivo es hacer desaparecer totalmente el papel de los procesos de gestión, pues su eliminación conlleva una reducción automática de personal y, con ello, de costes.

Todos los departamentos del astillero se verán afectados por esta actividad, que contempla tanto la administración, gestión de recursos humanos, compras, ingeniería e incluso la emisión de planos para producción, que debe ser sustituida por su consulta en medios electrónicos.

En este aspecto, el astillero puede ser gestionado exactamente igual que cualquier otra industria 4.0 de un sector diferente, lo que abre un amplio abanico de soluciones para abordar la transformación digital de la planta.

10.2.4. Automatización de los controles de calidad.

La automatización de los procesos de fabricación permite automatizar también los controles de calidad de los productos en curso, que pueden ser realizados sistemáticamente sin intervención de ningún operador.

La combinación de fabricación y control de calidad automatizado facilita y garantiza alcanzar mayores y más estables niveles de calidad en los productos fabricados.

Para conseguir este objetivo, los procesos automatizados deben definirse y dotarse con sensores que informen de la calidad de la operación ejecutada. Estos son fundamentalmente: inspecciones de soldadura por

ultrasonidos, registro continuo de temperaturas, registro continuo de parámetros de soldadura, escáner de control dimensional e inspección de la calidad de pintura.

10.2.5. Monitorización de la planta.

La digitalización permite realizar una monitorización total de la planta, facilitando su operación, control y mantenimiento. En esencia, consiste en disponer sensores en todas las máquinas, equipos y vehículos operativos en la instalación y recoger sus señales en una cámara de control centralizada en la que se opera sobre un gemelo digital de la planta.

La monitorización de la planta permite conectar o desconectar servicios a demanda, mostrando en todo momento la situación operacional de la misma. Facilita además sustituir los conceptos tradicionales de mantenimiento por sistemas de mantenimiento basado en la condición y de mantenimiento predictivo, en los que los sensores dispuestos en las máquinas informan de su situación y emiten alarmas en caso de producirse desviaciones anormales en su comportamiento, permitiendo de este modo evitar la generación de averías.

Nuevamente, la consecuencia de estas actuaciones redunda en la reducción de costes, en este caso de mantenimiento y servicios.

10.2.6. Sistemas de gestión de planta MES y MOM.

La automatización de la planta permite incorporar en la misma sensores que nos faciliten información para su correcto control y gestión. Estos sensores se integran en sistemas de gestión que normalmente se agrupan en dos categorías:

- **MES (Manufacturing Execution System):** Consiste en un sistema de gestión de información conectado a los equipos y líneas de fabricación, que monitoriza, controla los procesos y gestiona el flujo de datos de planta, intercambiando información en tiempo real con un sistema de planificación de recursos empresariales, ERP (enterprise resource planning).

El MES centraliza y distribuye información en tiempo real sobre la productividad de cada estación de trabajo de la planta, los fichajes y control del personal, el control de suministros de materiales y stocks, la calidad de los productos en curso, las incidencias de mantenimiento y el cumplimiento de la programación en cada puesto de trabajo así como de la planificación general.

- **MOM (Manufacturing Operation Management):** Se trata de un sistema de visualización del proceso completo de fabricación, realizada con el objetivo de optimizar su eficiencia mediante la ejecución eficiente de las operaciones de fabricación y la mejora global de la productividad. Este tipo de sistemas se basa en la utilización de un gemelo digital de la planta como receptor de las señales de indicación de posición del producto en curso en la planta. Estas señales pueden proceder, bien de etiquetas activas, fijadas a los productos y medios de transporte, o bien de pasivas, que son leídas a su paso por determinados puntos de control de flujo.

10.3. Requisitos de arquitectura digital

Como se ha podido ir viendo a lo largo de los puntos anteriores, la reconversión de la planta en un astillero 4.0 llevará asociada la necesidad de realizar un replanteamiento de la arquitectura digital de los sistemas usados en la empresa, garantizando la posibilidad de interconexión entre los diferentes sistemas usados por cada departamento. En general, podemos hablar de definir una visión digital que compatibilice la generación de productos y servicios inteligentes, con la fabricación en una fábrica inteligente dotada de sistemas MES y MOM,

un software de diseño, un software de gestión de operaciones que gestione compras y contabilidad en coordinación con un ERP, además de integrar todo esto con el resto de procesos corporativos de gestión de la empresa (recursos humanos, calidad, prevención, ...). Como una parte más de esta arquitectura digital, y no la de menor importancia, habrá que considerar la ciberseguridad, que deberá garantizar que la planta, su ingeniería y productos, no son accesibles a ciberataques.

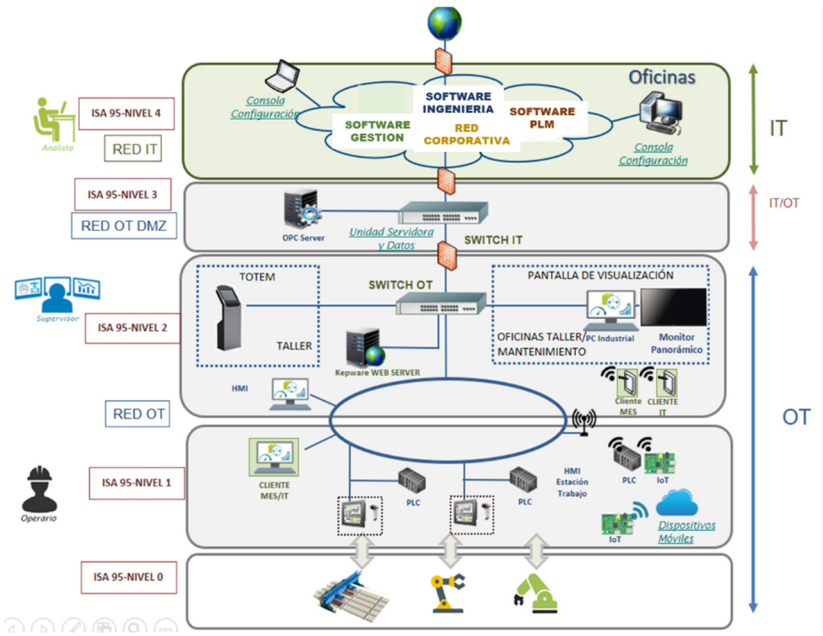

Fig. 19. Ejemplo de arquitectura IT/OT para un astillero.

Además de analizar las compatibilidades de software, diseñando la adecuada arquitectura digital para el conjunto de todos ellos, deberá prestarse especial atención a las transferencias de información entre las redes de tecnologías operativas, OT, y las redes de tecnologías de la información, IT, definiendo el adecuado sistema de interfaz entre ambas, así como los niveles operacionales necesarios para cada una.

La red IT integrará los softwares de ingeniería, de gestión y de PLM (Product Lifecicle Management), utilizados en las oficinas para gestionar la administración, las compras, o la contabilidad, así como realizar los proyectos y lanzarlos a producción. Además, todo ello lo coordinará, caso de existir, con la red corporativa que integre esa planta con otras de la compañía. Esta información deberá estar disponible en planta, para lo cual será recolectada y distribuida a través de un sistema de intercambio de información IT/OT, que también servirá de red perimetral o conexión DMZ con la red externa, permitiendo a través de ella conectar de manera segura la red interna con clientes externos a la planta, tanto para transmitir información, como para recibirla.

En general, dada la arquitectura de sistemas definida, se necesitarán establecer diferentes niveles de gestión en la red OT, que combinarán cableados con buses de comunicación con redes inalámbricas que permitan conectar y transmitir información a vehículos u operarios en cualquier punto de la planta.

El primer nivel de red OT se encargará de recoger las señales de los equipos de cada estación de trabajo, para lo cual deberá tener un puesto de control local con una pantalla HMI de interface hombre-máquina, de manera que el operador pueda acceder directamente a la información de la máquina. El puesto de control deberá indicar información en tiempo real sobre el trabajo que está realizando, aportando datos de trazabilidad relativos al proceso y el estado de la estación según su operatividad, junto con otros relativos al mantenimiento y el consumo eléctrico en la misma.

El segundo nivel de red OT lo integran los puestos de control para visualización del estado completo de los procesos llevados a cabo en el taller. Desde estos puestos se tendrá la posibilidad de representar cualquier tipo de información, pero estarán fundamentalmente destinados a presentar el flujo programado para los talleres y el estado de elaboración de cada uno de los productos intermedios a su paso por cada etapa del proceso de

producción. En este nivel se sitúa también el puesto de control de mantenimiento y planta, que recoge y analiza los datos de funcionamiento de las diferentes máquinas e instalaciones de la planta.

Además de los puestos de control centralizados para los mandos, se deben aprovechar las posibilidades que ofrece la digitalización para distribuir la información y llevarla lo más cerca posible de sus últimos usuarios. En este sentido, por un lado, se debe contar con instalar pantallas o puestos tipo totem repartidos por la planta, donde los operarios puedan consultar tanto datos globales de funcionamiento del taller como la información técnica necesaria para la realización de su trabajo. Por otro lado, la difusión de la información deberá complementarse con transmisiones inalámbricas, que serán las que permitan distribuir los datos de gestión entre los gestores del taller, conformando con ello una de las herramientas claves de difusión del MES.

11. La industria auxiliar del sector naval en un entorno industrial 4.0

Fig. 20. Empresas colaboradoras especializadas y Astillero 4.0 como empresa tractora.

Como se ha podido comprobar en los apartados anteriores, el proceso de migración de una industria tradicional a una 4.0 es muy complejo que afecta a todas las actividades realizadas por la empresa, tanto en la propia concepción de sus productos, como en la manera de producirlos, mudando totalmente sus sistemas de gestión, diseño, fabricación, mantenimiento y servicios postventa.

Al ser los astilleros son una industria de síntesis, será muy difícil que un astillero tradicional pueda convertirse en un astillero 4.0 sin que su red de empresas colaboradoras evolucione también en el mismo sentido. Esto supone un nuevo reto para un sector industrial muy tradicional, que deberá adaptarse a las nuevas tecnologías para evitar ser sustituido por otros proveedores que sí estén dispuestos a ofrecer los nuevos servicios demandados. No obstante lo anterior, es evidente que el concepto de industria 4.0 abre el sector naval a una gran cantidad de nuevas empresas que se incorporarán a la red de proveedores, ofreciendo servicios y productos hasta ahora no consumidos. Podemos citar aquí, a modo de ejemplo, la creciente demanda de servicios informáticos, instalaciones automatizadas, productos realizados con impresión 3D, mantenimientos especializados o diseños con realidad virtual.

Con ánimo de concretar un poco más estos cambios, a continuación, se recorre someramente el sector, indicando los retos que deberá afrontar cada una de sus especialidades industriales.

11.1. Industria auxiliar metalmecánica.

Tradicionalmente, los astilleros españoles subcontratan un alto porcentaje de su producción de acero, encargando la fabricación de subbloques o bloques completos en talleres externos, que realizan estos trabajos de manera bastante artesanal. Las posibilidades de la industria 4.0 obligan al astillero a replantearse la manera de realizar estas subcontrataciones como medida para reducir sus costes, ya que, de otro modo, no serían competitivos frente a su competencia, que, en general, ya está automatizando totalmente sus procesos de producción.

Buscando dar respuesta a esta necesidad, la nueva tendencia en las subcontrataciones de acero será la de subcontratar productos intermedios a empresas especializadas en cada uno de ellos. De este modo se potencia

la posibilidad de que el subcontratista invierta en maquinaria y especialice su planta de producción, incrementándose la productividad y la calidad, al tiempo que se disminuyen los costes.

Otro de los cambios que deberá asumir este tipo de empresas, que, en general, operan con sistemas de gestión muy tradicionales, será el de integrar sus sistemas de información con los del astillero. La tendencia es a que la información sea transmitida informáticamente, y los controles sobre las piezas fabricadas se registrarán del mismo modo. También será necesario que el subcontratista se integre en el sistema MES, tanto recibiendo de información como emitiéndola. A tal efecto, sus líneas de producción y sus productos deberán sensorizarse, emitiendo información sobre cantidades de producción y situación de piezas y stocks de material en curso y fabricado.

Además de su especialización y digitalización, este tipo de empresas también deberán prepararse para asumir que parte de lo que hasta ahora ha venido siendo su producción tradicional pase a ser realizada con otras tecnologías y materiales. Esta tendencia es evidente sobre todo en los buques militares, donde ya se empiezan a diseñar grandes partes del buque en materiales compuestos. Es inevitable considerar que, en el futuro, parte del volumen de subcontratación metálica migrará a los materiales compuestos y la fabricación aditiva, que entrarán a formar parte de la red habitual de proveedores de los astilleros.

11.2. Fabricación de equipos navales.

El astillero debe ofrecer una serie de servicios 4.0 a sus clientes que obligan a que los equipos que instale estén especialmente adaptados para ello. En esencia, el astillero va a pedir que estos equipos tengan:

- Sensores y automatismos que permitan integrarlos en una red de control.
- Sensores que faciliten integrarlos en una red de mantenimiento basado en la condición.
- Información sobre la fiabilidad de cada componente del equipo, para facilitar la realización de un plan de mantenimiento RCM del buque y la previsión de repuestos óptima para el mismo.
- Proyecto digitalizado del equipo, para facilitar su integración en los programas de realidad virtual de mantenimiento y formación del buque.
- Servicio de apoyo al ciclo de vida, ACV, al equipo durante toda la vida del producto.
- Servicio de resolución de obsolescencias durante toda la vida del producto.
- Teleasistencia y telediagnóstico al funcionamiento del equipo, para integrarlos en la red de teleasistencia que el astillero ofrece al buque.

11.3. Ingeniería.

Los astilleros realizan una abundante y creciente subcontratación de ingeniería. Las nuevas tendencias y necesidades de la industria 4.0 también van a afectar a estas empresas, tanto en la manera en la que deberán ofrecer sus servicios, como en la concepción misma de estos, que aumenta en alcance y complejidad.

No son descartables migraciones de licencia de software, que se deriven del intento de resolver problemas en la arquitectura digital del astillero, aunque no tengan nada que ver específicamente con el diseño. Esto es debido a que los requisitos al software de diseño son cada vez mayores, exigiéndose de él, no sólo que facilite la realización del proyecto del buque, sino la gestión de las compras, el aprovisionamiento y la automatización de la producción. Desde este punto de vista, el efecto sobre las empresas proveedoras de ingeniería es evidente, pues afecta a la formación de sus recursos y a las inversiones y contratos de licencia que tengan realizados.

Se van a demandar a la ingeniería nuevos servicios, que requerirán de la contratación y formación de nuevos especialistas, así como de la adquisición de nuevas licencias de software específicas. Es el caso, por ejemplo,

del diseño de piezas para ser fabricadas con impresión 3D, mediante fabricación aditiva. Este tipo de diseño exige conocer las nuevas técnicas de fabricación, las particularidades de los materiales empleados y aplicar software de diseño específicos.

Hay que considerar también, que los nuevos servicios demandados por los clientes del astillero abocan a las empresas de ingeniería a abordar nuevos desafíos, como son las programaciones de los sistemas de automatización de los buques, sus cada vez más ambiciosos y complejos planes de apoyo logístico integrado, PALI, o la combinación de estos con servicios de formación o mantenimiento basados en la realidad virtual, tecnología que, sin duda, se convertirá en un área en expansión, con creciente demanda en el futuro.

11.4. Fabricación y montaje de habilitación.

En este campo, las nuevas tecnologías afectarán decididamente a la manera de ejecutar los trabajos de habilitación. Por un lado, se debe hablar de la aparición de nuevos materiales compuestos, capaces de ofrecer un aspecto similar al de los acabados tradicionales, pero con un peso muy inferior. Estos nuevos materiales, que ya se usan habitualmente en aeronáutica, llegarán al sector naval para quedarse, ya que permiten reducir notablemente el peso de las acomodaciones. Paneles y muebles pueden ser realizados con estos nuevos materiales, que deberán ser adoptados por los fabricantes habituales del sector naval español ante el riesgo de perder cuotas de mercado frente a nuevos competidores extranjeros que ya planean hacerlo.

Además de los cambios de materiales, el sector se enfrenta también a la aparición en escena de la fabricación aditiva, con las enormes posibilidades que la misma ofrece. Navantia ya ha demostrado cómo se pueden fabricar cabinas de aseo y modulares con impresión 3D, lo que permite adaptar su diseño a cualquier parte del buque, mejorando el aprovechamiento del espacio, y reduciendo el peso y el coste de fabricación. Estas nuevas posibilidades forzarán a los fabricantes del sector a plantearse la incorporación de la fabricación aditiva en sus procesos de producción, mudando totalmente la configuración actual de sus plantas de producción.

Al margen de estos cambios, del mismo modo que se ha comentado para las industrias del ramo metalmecánico, las empresas de habilitación deberán adaptar sus sistemas para que puedan integrarse con los sistemas de gestión del astillero.

11.5. Fabricación aditiva.

La fabricación aditiva ha ido apareciendo como un nuevo actor de creciente importancia a lo largo de este texto. Es evidente que su utilización será cada vez más habitual, lo que llevará a que numerosas piezas del buque que hoy son metálicas se realicen mediante impresión 3D en el futuro. El primer paso se dará con las piezas de calderería. Puertas, tecles, escotillas, rejillas de ventilación, barandillas o escalas, son ejemplos de elementos que migrarán en primer lugar a la fabricación aditiva, pero les seguirán más. El cambio comenzará seleccionando aquellos que consuman más horas de soldadura en su fabricación, para continuar después con elementos en los que la migración facilite obtener un beneficio de peso notable sin perder características de resistencia.

El siguiente paso en la introducción de la fabricación aditiva se dará para la fabricación de grandes piezas, tanto en materiales compuestos, como en acero. Muy probablemente sean los apéndices del buque los mejores candidatos a iniciar esta migración, pero, sin duda, en un futuro próximo le seguirán partes cada vez mayores del mismo.

En definitiva, podemos concluir que la fabricación aditiva aparece como una oportunidad de negocio creciente dentro del sector, aunque su aparición irá indefectiblemente asociada a una merma en los volúmenes de negocio de los proveedores tradicionales de carpintería y prefabricaciones de acero de los astilleros.

11.6. Montajes y pruebas a bordo.

La digitalización también afecta a este tipo de trabajos, aunque en este caso la adaptación a los cambios requeridos es bastante sencilla. Lo fundamental que se requiere de estas empresas es que se integren en el MES y que contribuyan a alimentarlo de información. Además de esto, los operarios de estas empresas se podrán beneficiar de las aplicaciones de etiquetado inteligente y realidad virtual que les ayudarán en su trabajo. Unas sencillas gafas, de un coste inferior a los 20 € permiten leer los códigos QR adheridos a cables y piezas, ofreciendo a los operarios una visión virtual 3D de la instalación que deben realizar.

En el caso de las pruebas, los técnicos de puesta en marcha se pueden beneficiar también de los servicios de teleasistencia que suministre cada equipo instalado en el buque, que pueden combinarse con gafas de visión artificial, que permitan al operador de teleasistencia ver lo mismo que el técnico que está a bordo y hablar al tiempo con él.

11.7. Mantenimiento y servicios.

La automatización de las instalaciones de producción cambia inevitablemente el perfil de personal y de empresas necesarias para su mantenimiento y operación de planta. La esperada profusión de robots y autómatas, así como la interrelación entre los procesos, cada vez más sensibles a las paradas de producción, hacen indispensable contar con personal muy experto para garantizar la operatividad de la planta.

La automatización permite adoptar también en la planta sistemas de mantenimiento basado en la condición, así como diseñar el servicio de mantenimiento integrando los servicios de telediagnóstico y teleasistencia de los proveedores de maquinaria, que deberán integrarse en la red OT como una parte más de la misma.

12. Conclusiones

El mundo cambia arrastrado por la digitalización. Armadores y administraciones exigen nuevos productos que incorporen y aprovechen las posibilidades tecnológicas actuales. Inevitablemente, su demanda arrastra tras de sí a todo el sector naval, donde cada empresa se ve obligada a ofrecer los productos y servicios solicitados por su cliente, abocando en conjunto a integrar un sector naval 4.0.

Esta mudanza tecnológica ofrece nuevas oportunidades de negocio, incorporando nuevos tipos de empresas al sector, pero también supone un reto para las empresas tradicionales del mismo, que deberán realizar un gran esfuerzo por adaptarse a estos nuevos cambios. No es aventurado afirmar que las empresas que no cambien desaparecerán, pues es evidente que sus clientes se verán forzados a sustituirlas por otras que les den el servicio demandado.

En este complicado proceso, donde el abanico de posibles actuaciones es tan grande y los costes de inversión tan elevados, es vital que cada empresa dé sus pasos entendiendo bien las necesidades de su cliente, cuestión que le evitará incurrir en costes innecesarios. El presente artículo ofrece las claves que dirigen este proceso, presentando un panorama general del sector que debe ayudar a que cada empresa pueda entender qué es lo que se espera de ella en este nuevo escenario industrial.