

CONSTRUCCIÓN NAVAL E INDUSTRIA 4.0

MÓDULO 3

CONSTRUCCIÓN NAVAL 4.0



Este documento forma parte del material de consulta y ampliación del curso MOOC “Construcción naval e industria 4.0”, desarrollado por el equipo docente de la Universidade da Coruña: Vicente Díaz Casás, Lucía Santiago Caamaño, Marcos Míguez González, Alicia Munín Doce, Sara Ferreño González, Tiago Manuel Fernández Caramés; y el equipo docente de CT Ingenieros: Almudena Casanova Díaz, Juan Oliveira, Laura Alonso García, Yanai Vieites Legarreta.

Autoría de la publicación: Alicia Munín Doce, Marcos Míguez González, Vicente Díaz Casás, Sara Ferreño González.

Handle para citar: <http://hdl.handle.net/2183/27607>

Publica: Servizo de Publicacións Universidade da Coruña.

Coordinación del MOOC: Unidade de Teleformación, CUFIE. Universidade da Coruña. CT Ingenieros.

Diseño gráfico y producción de vídeo: Ingenyus.

Este documento está bajo una licencia Creative Commons:



Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual CC BY-NC-SA

Contenido

Contenido	3
Astillero 4.0.....	4
Tecnologías aplicables	4
Ciberseguridad.....	6
Referencias	7
Gemelos digitales en el sector naval	8
¿Qué es un gemelo digital?	8
Aplicaciones al sector naval.....	10
Referencias	11
INDUSTRIAL INTERNET OF THINGS (IIOT)	13
Resumen	13
Introducción.....	13
¿Qué es la IIOT en el astillero?	13
Integración de la IIoT en la construcción naval	15
Conclusiones	16
Ejemplos	17
Referencias bibliográficas.....	17
ROBÓTICA EN LA CONSTRUCCIÓN NAVAL.....	18
Introducción.....	18
Robótica Industrial.....	18
Robótica en el Sector Naval.....	18
Robots para automatización de procesos de construcción naval.....	19
Robots de ayuda al operario.....	22
Transporte automatizado	25

ASTILLERO 4.0

Tecnologías aplicables

Todas las tecnologías habilitadoras definidas para la Industria 4.0 pueden ser de aplicación en la construcción naval o a los buques. Sin embargo, algunas se están incorporando más rápidamente que otras. Es el caso del internet de las cosas, simulación, impresión 3D o la robotización, y hay otras que en un futuro inmediato estarán incorporadas en el proceso constructivo de un astillero como son gemelo digital, realidad aumentada, big data y cloud computing o la ciberseguridad. Es por esto que existe un déficit claro en la madurez digital de la industria de la construcción y la reparación naval.

Industrial Internet of Things. IIoT

El IIoT se refiere al uso de la tecnología IoT en el ámbito industrial. Esta tecnología permite la conexión de dispositivos mediante sistemas embebidos para comunicarse entre ellos o con dispositivos centralizados. Esta capacidad de comunicación y computación básica hace que a estas máquinas se les llame Sistemas Ciberfísicos, y permitan controlar uno o más procesos físicos. La conexión entre ellos con la red global es a través de internet. La aplicación del IIoT en un astillero permite recoger información sobre el uso de máquinas como las de soldadura, corte por plasma y similares. Aunque, de momento, son aplicaciones puntuales y no está incorporado todo el proceso productivo, se llegará a una recopilación masiva de datos procedentes de producción que permitirá tener una fotografía precisa de cómo ha sido construido un buque y qué partes del proceso constructivo son susceptibles de mejora, además de toda la información útil que se puede obtener para el mantenimiento de las instalaciones.

Big Data, Data Analytics y Data Mining

El gran volumen de datos generados por las nuevas tecnologías basadas en el IIoT y los Sistemas Ciberfísicos es usado con el propósito de mejorar y optimizar los procesos (productivos y logísticos) y servicios (gestión del ciclo de vida del buque), y por otro lado nos puede proporcionar una herramienta predictiva capaz de avanzarse a problemas que puedan derivarse de los procesos industriales mediante el cálculo de probabilidades de fallo según el comportamiento de la maquinaria o descubriendo patrones ocultos, correlaciones desconocidas, etc.

Estas técnicas de análisis de grandes volúmenes de datos serán cada vez más importantes en el sector naval debido a la necesidad de gestionar la variedad de nuevas fuentes de datos que irán apareciendo, cada vez habrá más máquinas conectadas generando información. Además, al volumen de datos y la variedad de su procedencia, se unen la velocidad a la que es necesario procesar esos datos y la fiabilidad y precisión que deben tener. Por todo ello, la aplicación del big data y sus herramientas asociadas constituye un gran reto.

Cloud computing o la nube

Para poder manejar grandes volúmenes de datos (big data) y realizar análisis y minería de datos a partir de ellos, se necesita una capacidad computacional importante, que es la que ofrece el Cloud Computing, es decir, la computación en la nube. Esta tecnología se basa en la utilización de servicios (software y de almacenamiento) en la red sin disponer físicamente de infraestructuras propias para ofrecer estos servicios, lo cual significa que se hace uso de otras infraestructuras que dan estos servicios desde otra ubicación geográfica. Esto elimina la inversión inicial en grandes servidores y externaliza un servicio que no es propio de un astillero.

Simulación 3D

La simulación 3D de las líneas productivas u operaciones logísticas ya se está utilizando hoy en día como herramienta de diseño y análisis de resultados en muchas empresas que desean abrir nuevos centros de producción o logística, o bien pretenden ampliar u optimizar las operaciones de los centros existentes. Estos softwares de simulación son de

aplicación directa en un astillero y permiten analizar la secuenciación del proceso productivo y los posibles cuellos de botella. Estas herramientas van a ser fundamentales para el diseño y optimización del astillero del futuro ya que serán capaces de proyectar el mundo físico sobre un mundo virtual a partir de datos en tiempo real. Esos datos procederán de los sistemas ciberfísicos.

Gemelo Digital

Lo que hemos visto hasta ahora de IIoT, Big Data, Cloud computing y Simulación 3D nos conduce al concepto de Digital Twin, de Gemelo Digital. Esta tecnología posibilita la creación de modelos virtuales de productos y procesos hiperconectados, que permite optimizarlos a través de la información extraída y su posterior análisis. Un claro ejemplo de aplicación de esta tecnología es el mantenimiento predictivo, que es muy útil tanto en la planta del astillero como en el buque.

Realidad aumentada y realidad mixta

A diferencia de la Realidad Virtual donde tanto el entorno como la información que se nos muestra son gráficos procesados por un ordenador, la Realidad Aumentada o la Mixta utiliza el entorno físico real para proporcionarnos datos e información en tiempo real. Esta tecnología es una herramienta muy potente que puede ser usada para dar soporte a los procesos productivos y que mejora la toma de decisiones a partir de la información que nos proporciona, como por ejemplo, la proyección de un modelo 3D de un mamparo sobre un bloque en construcción, para observar la posición del mamparo en el bloque sin necesidad de un plano. Las aplicaciones que hay ahora mismo están orientadas al soporte a las operaciones de mantenimiento y reparación de equipos.

Impresión 3D o fabricación aditiva.

La fabricación por adición mediante impresoras 3D permite fabricar piezas complejas en un tiempo récord a un coste competitivo ya que se reducen los costes logísticos, y por otro lado facilita la producción de pequeñas series o prototipos.

La impresión tridimensional se está utilizando cada vez más para fabricar productos provisionales, perfiles de micropaneles, etc. Una ventaja importante es que proporciona la capacidad de fabricar piezas de acero únicas o piezas más pequeñas y complejas sin tener que mecanizarlos. Esta tecnología tiene un impacto importante en la industria de la reparación de buques y en la cadena logística asociada al ciclo de vida del mismo, ya que ofrece la posibilidad de imprimir una pieza de repuesto en caso de avería sin poner en marcha la cadena de suministro. Piezas como juntas tóricas o válvulas ya se están imprimiendo, lo que está proporcionando reparaciones rápidas tanto en tierra como a bordo. De momento, los buques militares más nuevos son los que están siendo equipados con impresoras 3D, mientras que los mercantes esperan a su llegada al puerto de destino para recibir la pieza impresa.

Cobots y exoesqueletos

Aunque los robots industriales ya llevan años realizando tareas complejas y repetitivas en las líneas de producción, éstos han evolucionado de forma espectacular durante los últimos años, llegando a ser mucho más autónomos y flexibles, pero sin duda lo que va a marcar tendencia en el ámbito de la robótica industrial es la inserción de Robots Colaborativos en las cadenas de producción. Estos robots de nueva generación son capaces de interactuar entre ellos y de cooperar con los humanos sin necesidad de que existan las restricciones de seguridad que se han aplicado hasta ahora. En la industria naval el número de robots aún es pequeño, comparado con otras industrias, pero sí se aprecia un aumento. La adquisición de robots se enfoca a la realización de tareas en entornos de trabajo severos. Debido a esto, a que un astillero puede ser un entorno de trabajo complejo desde el punto de vista de la seguridad y la ergonomía, empiezan a surgir aplicaciones de exoesqueletos a determinadas tareas muy exigentes físicamente. Los exoesqueletos permiten aumentar la capacidad de izado de un operario de un 10 a un 20% más, a través de transferir parte del peso al suelo.

Pero sobre todo son interesantes para aliviar las posturas poco ergonómicas en determinados trabajos como soldadura a techo, montaje, etc.

Ciberseguridad

Debido a la introducción de nuevas tecnologías en el entorno industrial basadas en el uso de Internet y de software open source, se requieren sistemas de información y comunicación (ICT) más fiables y robustos que aseguren la protección, privacidad y seguridad de las empresas. Es por ello que las empresas y grandes multinacionales están interesadas en la ciberseguridad.

En la actualidad se está investigando y desarrollando el uso de nuevas tecnologías como la **Encriptación Cuántica** o **Blockchain** como alternativa a la tecnología actual que se usa en Ciberseguridad, la cual ha demostrado en más de una ocasión que no es impenetrable. Se puede decir que este es uno de los puntos que más preocupa a las empresas y a las grandes multinacionales a la hora de emprender el camino hacia la transformación digital.

Éxitos

Estas tecnologías pueden resultar bastante disruptivas en el sector naval, pero su aplicación cobra fuerza cada vez más debido a las ventajas que suponen en cuanto a optimización y eficiencia. Algunos de ejemplos de estas primeras aproximaciones son Navantia en España o BAE Systems en Australia con la transformación digital de sus astilleros. Damen en Holanda ha conseguido homologar una hélice construida íntegramente a través de fabricación aditiva. Newport New Shipbuilding en EEUU está inmerso en un proyecto para captar, empleando Inteligencia Artificial el conocimiento crítico, como son los requisitos del cliente, los estándares y el conocimiento del astillero, que permita la integración de la cadena de suministro y la aplicación de la Realidad Aumentada directamente en el flujo de trabajo en la reparación de buques.

Integración

En este nuevo panorama digital los sistemas informáticos van a tener que estar más integrados y conectados de lo que están actualmente, lo que quiere decir que todas las áreas del negocio desde la producción, la ingeniería pasando por la cadena de suministro hasta llegar al cliente final, van a requerir de una integración y vinculación total para poder ofrecer un mejor servicio y calidad durante el ciclo de vida de los productos.

Esta integración también se deberá extrapolar a los diferentes departamentos que componen la estructura interna de los astilleros con la finalidad de buscar una mayor cohesión que pueda aportar un alto valor al negocio.

No se debe subestimar el desafío que supone implementar el cambio tecnológico en nuestra industria. Una razón de la complejidad es que cada departamento tiene silos de información que tendrían que armonizarse. El número de fuentes diversas de información no es el único desafío, aunque el número de bases de datos separadas en un astillero podría ser un orden de magnitud mayor que lo que es común en otras industrias. El mayor problema es la cantidad de conexiones entre todos estos silos de datos. En nuestra industria, existe una enorme cantidad de conexiones entre diferentes bases de datos porque, a diferencia de casi cualquier otra industria, estamos diseñando, construyendo y adquiriendo al mismo tiempo. Es todo un desafío integrar las bases de datos con respecto a todas esas funciones.

Luego, está el problema de los sistemas y datos heredados. Incluso si una empresa decide aprovechar al máximo las nuevas capacidades, todavía está vinculada a su pasado. Esto es particularmente un desafío en la construcción naval porque los astilleros con frecuencia tienen la obligación contractual de poder acceder a información antigua que a menudo se encuentra en sistemas heredados que utilizan hardware y software antiguo. Actualizar esto y migrar datos sería

costoso y, en muchos casos, estos sistemas antiguos carecen de la capacidad para adaptarse a la nueva tecnología. Arreglar esto requiere más dinero, por lo que existe la tentación de intentar usar dos sistemas a la vez, lo que crea sus propios problemas.

Por otro lado, elegir la plataforma de software adecuada, sobre la cual basar toda esta tecnología innovadora, tampoco es fácil. Este es un desafío por varias razones. En primer lugar, hay pocas plataformas de software específicas para la construcción naval, por lo que se requiere una costosa personalización. De hecho, la realidad es que la construcción naval es tan compleja que ninguna plataforma de software será capaz de hacer todo lo que se necesita. No existe un software que pueda cubrir todos los aspectos desde el IIoT hasta el Digital Twin, pasando por la ciberseguridad, etc.

Por tanto, se tendrá que usar múltiples plataformas de software. Esto hará que la implementación de nuevas tecnologías sea un poco más difícil.

Por último, no se debe olvidar que el centro de la transformación digital debe ser siempre las personas, no será posible la transformación digital sin la participación activa y el convencimiento de la gente que trabaja en el sector.

Referencias

- Aiello, Giuseppe, Antonio Giallanza, and Giuseppe Mascarella. 2020. "Towards Shipping 4.0. A Preliminary Gap Analysis." *Procedia Manufacturing* 42 (2019): 24–29. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.02.019>.
- Caniëls, Marjolein C.J., Eugène Cleophas, and Janjaap Semeijn. 2016. "Implementing Green Supply Chain Practices: An Empirical Investigation in the Shipbuilding Industry." *Maritime Policy and Management* 43 (8): 1005–20. <https://doi.org/10.1080/03088839.2016.1182654>.
- Jha, S. K. 2016. "Emerging Technologies: Impact on Shipbuilding." *Maritime Affairs* 12 (2): 78–88. <https://doi.org/10.1080/09733159.2016.1239359>.
- Pimenidis, Elias. 2020. *Artificial Intelligence Applications and Innovations. AIAI 2020 IFIP WG 12.5 International Workshops*. Vol. 585. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-49190-1>.
- Sullivan, Brendan P., Shantanoo Desai, Jordi Sole, Monica Rossi, Lucia Ramundo, and Sergio Terzi. 2020. "Maritime 4.0 - Opportunities in Digitalization and Advanced Manufacturing for Vessel Development." *Procedia Manufacturing* 42: 246–53. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.02.078>.

GEMELOS DIGITALES EN EL SECTOR NAVAL

¿Qué es un gemelo digital?

El concepto de gemelo digital es relativamente reciente. Sus orígenes se remontan a 2002, cuando el Dr. Michael Grieves, en aquel momento en la Universidad de Michigan, incluyó durante una presentación sobre sistemas PLM (Product Lifecycle Management) una diapositiva ilustrando el esquema básico del gemelo digital [1]. Así, dentro de un gemelo digital debemos encontrarnos con el sistema real objeto de estudio, con una representación virtual del mismo, con un medio para la transferencia de datos entre el sistema real y su representación virtual, un medio para la transferencia de información de la representación virtual hacia el sistema real, y varios sub – sistemas virtuales. Según palabras del Dr. Grieves, un gemelo digital es “una construcción de información digital sobre un sistema físico, creada como una entidad en sí misma y que está conectada con el sistema físico en cuestión”.

Historia del gemelo digital

Los pilares en los que se basa la 4ª revolución industrial [2] son la digitalización, la flexibilidad y adaptación de la producción, la logística, la simulación y el uso eficiente de la energía y los materiales. Para conseguir esto es necesario aplicar una serie de tecnologías como son el Big Data, la robótica, la integración de los sistemas de información, el Internet of Things (IoT), la ciber-seguridad, la nube, la fabricación aditiva, la realidad aumentada y virtual, la simulación y el gemelo digital.

Como ya se ha mencionado, el término Gemelo digital fue utilizado inicialmente por Michael Grieves [1] en un trabajo académico sobre ciclo de vida en sistemas complejos, donde se planteaba que los futuros problemas operativos comenzaban, en realidad, en las fases de diseño y producción, y que se incrementaban con la interacción humana. Para mitigar esto propuso el concepto de gemelo digital que conectase el sistema físico con su virtual equivalente. De la colaboración con Grieves parte el planteamiento de la NASA de utilizar el concepto de gemelo digital [3] como un nuevo paradigma a aplicar a sus futuros transbordadores. El reto al que se enfrentaban era que los nuevos vehículos debían ser más ligeros, pero, al mismo tiempo, se enfrentarían a condiciones más extremas de funcionamiento en periodos más largos. Las soluciones hasta ese momento se basaban en distribuciones estadísticas o pruebas físicas que permitiesen asumir que había similitud entre lo que se experimentaba y la operativa real. Ante la limitada fiabilidad de esta aproximación, propusieron un cambio de paradigma, el Gemelo digital, de forma que integrase una simulación fiable de los vehículos a través de un sistema de gestión de la integridad del mismo, históricos de mantenimiento y de toda la información disponible de la flota. Esto permitiría crear un espejo del vehículo real en el mundo digital y aumentar los niveles de seguridad y fiabilidad.

Por tanto, se puede decir que el gemelo digital es una tecnología facilitadora que tiene todavía un carácter incipiente en la denominada Industria 4.0, y especialmente en lo que se refiere al sector naval.

Tal y como se describe en [4] o en [5], pueden derivarse cinco puntos principales que recogen las características y capacidades que tienen los gemelos digitales. Estas características incluyen la unicidad (el hecho de que una observación del gemelo se corresponde únicamente con una realidad del sistema físico que representa), la capacidad de representación gráfica del sistema físico real en un entorno digital, la capacidad de obtener, en tiempo real, el estado del sistema físico y de reproducir el comportamiento del mismo.

- Unicidad – un gemelo digital debe caracterizar el sistema físico, o un conjunto de sub-sistemas del mismo, de forma única y con la remisa de representar al mismo en su estado de construcción.
- Capacidad de representación gráfica del sistema real- debe poder representar en un entorno CAD realista el sistema físico que está reproduciendo y que incluye además los metadatos que se corresponden con cada uno de los equipos, sistemas o servicios que componen el sistema físico a analizar.
- Capacidad de obtener el estado del sistema real - el gemelo digital debe poder obtener toda la información del sistema físico a partir de una serie de sensores desplegados en el mismo, y que le deben permitir obtener su situación en tiempo real.
- Capacidad de reproducir el estado del sistema real - respecto a la capacidad del gemelo digital de reproducir el comportamiento del sistema físico, es necesario mencionar que esta es una de las funcionalidades básicas y de mayor importancia de un gemelo digital. Así, el gemelo debe disponer de una serie de modelos que sean capaces de simular el comportamiento del sistema físico y que permitan al usuario (o al propio gemelo) determinar si el comportamiento del sistema físico se ajusta a su perfil teórico (obtenido mediante los modelos matemáticos antes mencionados a partir de los datos reales adquiridos por los sensores), o si se está desviando del mismo. (ajustarse y/o aprender en tiempo real utilizando los datos de operación del sistema físico, y que la capacidad de simulación que estos modelos proporcionan, pueda aplicarse para la realización de estimaciones, predicciones de funcionamiento futuro o mantenimiento del sistema físico real.

En la Tabla 1 se incluye la evolución temporal de las capacidades de los gemelos digitales, principalmente relacionada con el procesado que se hace con los datos capturados mediante los sensores y que va desde gemelos digitales basados en Big Data, hasta modelos basados en datos, que explotan los datos obtenidos en tiempo real y que permiten tanto la predicción del comportamiento del sistema físico como el control del mismo. En la actualidad, el estado del arte de los gemelos digitales se extiende hasta aquellos sistemas basados en datos en tiempo real y que aplican técnicas de aprendizaje basadas en Inteligencia Artificial o Machine Learning para reproducir el sistema físico.

PERÍODO	TIPO	CARACTERÍSTICAS
1990 - 2000	Modelos de producto	Una sola fuente de información estructurada del elemento a reproducir.
2000 - 2015	Captura de datos mediante sensores	Big data.
2015 - 2018	Gemelos digitales	Modelos basados en datos (data-driven) en tiempo quasi-real.
2018 - 2020	Gemelos digitales con capacidad de aprendizaje	Modelos basados en datos en tiempo real, que incluyen técnicas de Inteligencia artificial y/o machine learning para reproducir el sistema físico.
2020 – 2022	Gemelos digitales predictivos	Modelos basados en datos en tiempo real, que reproducen completamente el sistema físico.
2022- 2024	Gemelos digitales autónomos	Modelos basados en datos en tiempo real, con capacidad de predicción y control sobre el sistema físico.

Tabla 1. Evolución temporal de las diferentes tipologías de gemelos digitales. Adaptada de [4].

Aplicaciones al sector naval

Aunque la aplicación del concepto de gemelo digital a la industria marítima es muy limitada existen, sin embargo, algunas aproximaciones prácticas y, principalmente y de modo importante, un gran impulso del sector hacia el desarrollo y aplicación de este tipo de sistemas.

Una de estos casos es el de la Open Simulation Platform (OSP) [6,7]. La Rolls-Royce Marine, la Norwegian University of Science and Technology (NTNU), SINTEF Ocean y DNV GL firmaron un acuerdo de colaboración para desarrollar una plataforma digital para su uso en buques. El prototipo que se creó simula un barco con un sistema de posicionamiento dinámico. La plataforma está basada en la nube y facilita el trabajo en equipo para conseguir mejoras en el diseño del sistema de posicionamiento automático y verificar el impacto en la operatividad del buque.

Al respecto, cabe mencionar la implicación de esta sociedad de clasificación (DNV GL), en la aplicación de los gemelos digitales en el sector naval. Según se puede apreciar en [8], DNV GL entiende que la aplicación de los gemelos digitales es un gran activo para el sector naval en el futuro, y en su campo de trabajo serán fundamentales para verificar el cumplimiento con reglamentaciones y estándares internacionales y nacionales y durante el proceso de verificación y certificación. Asimismo, indican que el desarrollo de los gemelos digitales será también fundamental para la evaluación de la seguridad, fiabilidad y disponibilidad de los sistemas ciberfísicos en que estarán basados los futuros buques autónomos o no tripulados.

Otro ejemplo claro de interés de todos los actores del sector, es el de la Autoridad Marítima Danesa [9], que ha decidido impulsar el concepto de gemelo digital dentro de su clúster marítimo “Blue Denmark”, bajo la premisa que la aplicación de gemelos digitales puede reportar beneficios a todos los actores involucrados (armadores, fabricantes de equipos, autoridades, universidades y consultorías técnicas).

Finalmente, existen también aplicaciones más específicas de aproximaciones mediante gemelos digitales, como las descritas en [10] y [11] para la evaluación de la fatiga estructural en buques durante su operación.

Otro ejemplo representativo en este sentido es el del centro tecnológico marino y offshore de Singapur (TCOMS), que junto con MPA Singapore y Keppel Offshore & Marine, se encuentran involucrados en un proyecto para el desarrollo de un gemelo digital de un remolcador que permita optimizar las operaciones del mismo a través de la analítica de datos y de herramientas de visualización. Esto implica crear modelos numéricos que representen la parte física y emplear la simulación para predecir y controlar el comportamiento y la respuesta del buque.

Dentro del sector naval nacional, los trabajos del astillero Navantia orientados a su digitalización e implementación de los principios de la Industria 4.0, han llevado aparejados el desarrollo de gemelos digitales que deberían englobar no sólo los productos de la empresa (buques), sino también de sus procesos (construcción en planta y externalizada), de manera que en un futuro próximo pueda desarrollarse, totalmente en paralelo con un producto, su gemelo digital, que será entregado al cliente junto con el buque y que permanecerá junto a él, en permanente funcionamiento y actualización, durante todo su ciclo de vida [12].

Los anteriores ejemplos demuestran que un gemelo digital es más que una mera copia digital de un barco real o un sistema del mismo, sino que conforma un entorno digital que aglutina toda la información existente y la dota de coherencia y estructura para conformar un conjunto con capacidades superiores a la agregación de cada parte individual.

Como se describe en [13], para el desarrollo de un gemelo digital de un buque, deben incluirse todos sus elementos componentes, tales como sus sistemas, equipos, estructura, etc., agrupando la información disponible sobre el buque en un mundo digital. De esta forma puede contener modelos digitales e información relacionada con el buque, como, por ejemplo:

- Modelos analíticos para estructuras e hidrodinámica.
- Modelos de simulación.
- Modelos de información para sistemas y componentes.
- Modelos de visualización 3D de componentes y estructuras.
- Modelos de componentes y sistemas en el dominio del tiempo.
- Datos de sensores y de estado del barco en tiempo real.
- Algoritmos de control impulsados por software.
- Redes de comunicación virtualizadas.
- Información digital como documentación e informes.
- Documentación / procedimientos relativos a la certificación / clasificación del buque.

Un gemelo digital iría más allá del diseño asistido por ordenador tradicional (CAD) y es más completo que una integración de sistemas. Esto se debe a que el gemelo digital combina medidas de entorno, CAD e Internet de las cosas (IoT) y capacidades de análisis, agregando a ellas las interacciones entre los componentes y los procesos de ciclo de vida. Esta combinación permite conectar toda la información disponible y los modelos del buque, lo que conduce a que cualquier aspecto de un activo sea explorado a través de una interfaz digital, creando un banco de pruebas virtual para evaluar la seguridad y el rendimiento de un buque y sus sistemas, tanto antes de su construcción como a lo largo de su ciclo de vida.

Así, en el entorno gemelo digital, se puede llevar a cabo una gran cantidad de operaciones, que incluyen:

- Diseño de sistemas.
- Servicios de verificación.
- Pruebas basadas en simulador.
- Integración de sistemas virtual.
- Generación de profundos conocimientos y predicciones.

Un punto importante en el funcionamiento del gemelo digital es que se puede alimentar con datos de la sensórica existente ya a bordo del buque y emplear técnicas de Big Data para permitir la toma de decisiones de forma más rápida y eficiente. Además, a medida que el modelo obtiene y almacena más información sobre la operación en el mundo real, se vuelve más predictivo, lo que permite una mayor proactividad para evitar riesgos y maximizar la rentabilidad.

Hasta hace poco, el gemelo digital y la enorme cantidad de datos que procesa a menudo no se utilizaban debido a las limitaciones en las capacidades de la tecnología digital, así como los costos prohibitivos de computación, almacenamiento y ancho de banda. Tales obstáculos, sin embargo, han disminuido dramáticamente en los últimos años. Por lo tanto, en este momento es posible combinar la tecnología de la información (TI) y la tecnología de operaciones (OT) para permitir la creación y el uso de un gemelo digital en el campo marino.

Referencias

- [1] Grieves, M., Vickers, J. 2017. "Digital Twin: Mitigating Unpredictable, Undesirable Emergent Behavior in Complex Systems". *Transdisciplinary Perspectives on Complex Systems: New Findings and Approaches*, Springer International Publishing. pp. 85–113.
- [2] Gerbert, P., Lorenz, M., Rüßmann, M., Waldner, M., Justus, J., Engel, P., Harnisch, M. 2015. "Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries". Boston Consulting Group.

- [3] Glaessgen, E. H., Stargel, D. S. 2012. "The Digital Twin Paradigm for Future NASA and U.S. Air Force Vehicles." Collection of Technical Papers - AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics and Materials Conference. pp. 1–14.
- [4] Erikstad, S. O. 2018. "Design Patterns for Digital Twin Solutions in Marine Systems Design and Operations". Proceedings of the 2018 Conference on Computer Applications and Information Technology in the Maritime Industries (COMPIT).
- [5] Cabos, C., Rostock, C. 2018. "Digital Model or Digital Twin?". Proceedings of the 2018 Conference on Computer Applications and Information Technology in the Maritime Industries (COMPIT).
- [6] OSP. 2019. Open Simulation Platform. Joint Industry Project for the Maritime Industry. www.opensimulationplatform.com
- [7] Perabo, F., Park, D., Zadeh, M. K., Smogeli, Ø., Jamt, L. 2020. "Digital Twin Modelling of Ship Power and Propulsion Systems: Application of the Open Simulation Platform (OSP)". 2020 IEEE 29th International Symposium on Industrial Electronics (ISIE). pp. 1265-1270.
- [8] Smogeli, Ø. 2017. The Internet of Big Things. Digital Twins at work in maritime and energy. DNV - GL.
- [9] DNV GL. 2018. "Digital Twin Report for DMA: Digital Twins for Blue Denmark".
- [10] Schirmann, M.L., Collette, M.D., Gose, J.W. 2019. "Ship motion and fatigue damage estimation via a digital twin". Life-Cycle Analysis and Assessment in Civil Engineering: towards an Integrated Vision, Taylor & Francis Group. pp. 2075-2082.
- [11] Hulkkonen, T., Manderbacka, T., Sugimoto, K. 2019. "Digital twin for monitoring remaining fatigue life of critical hull structures". Proceedings of the 2019 Conference on Computer Applications and Information Technology in the Maritime Industries (COMPIT).
- [12] Navantia. 2020. Guía para orientación sobre Gemelo digital. Navantia S.A. www.navantia.es/navantia-4-0/
- [13] Trueba Martínez, P., Ferreño González, S., Munín Doce, A., Míguez González, M., Silvera Vez, J. I., García San Gabino, C., Parente de Castro, S. 2020. "Análisis de la implementación de un gemelo digital a bordo de un buque". Ingeniería Naval. Asociación de Ingenieros Navales y Oceánicos de España (AINE). 988. pp. 69 -74.

INDUSTRIAL INTERNET OF THINGS (IIOT)

Resumen

En el camino de la transformación del sector de la construcción naval en el entorno de la denominada Industria 4.0 nos encontramos con un elemento clave en la digitalización del sector: Industrial Internet of Things. El principal objetivo de esta tecnología es optimizar la producción industrial y la eficiencia operativa mediante la recopilación, integración y análisis del conjunto de todo lo que involucra la construcción del buque.

Así el Internet of Things (IoT) es un concepto que implica la interconexión de diferentes dispositivos, que, debido a esta capacidad de recibir y transferir datos, pasan a ser dispositivos conectados e inteligentes. El IoT está presente en muchos contextos como por ejemplo en la domótica, para realizar casas inteligentes, pero también en el ámbito industrial se denomina el Industrial Internet of Things (IIoT) y supone una oportunidad para las empresas de adaptarse al mundo digital y mejorar debido a la fabricación conectada.

Introducción

La tecnología conocida como “Internet de las cosas” (IoT por sus siglas en inglés) es un nuevo paradigma que abarca, a su vez, diferentes tecnologías la computación ubicua, sensores cableados o no (Wireless), tarjetas RFID, redes, sistemas embebidos y dispositivos móviles. De forma que el mundo físico y los recursos disponibles tienen su réplica en el mundo digital.

Así el sector de la IoT es un sector que está en un importante auge y demanda y debido a su carácter transversal e integrador ha propiciado la aparición de centenares de plataformas de IoT y se espera que este número siga creciendo, pero muchas de estas soluciones son específicas para cada empresa.

Recientemente, el IoT Industrial (IIoT) ha surgido como un sub-paradigma del anterior, pero conectando máquinas en una fábrica. En este tipo de comunicación tiene gran importancia la capa de software versátil que caracteriza al IoT, y que lo hace aplicable a todo tipo de sectores. Por tanto, un entorno IIoT consiste en varias capas de hardware y software, que lleva a instalar sensores en las fábricas, que combinados con una gran capacidad computacional, conduce a sentar las bases de una nueva generación de fábricas inteligentes.

¿Qué es la IIOT en el astillero?

Existe una laguna en cuanto a aplicación de tecnologías IoT en el sector de la construcción naval, es decir, la aplicación de estas nuevas herramientas al propio astillero y sus métodos productivos.

Existen fundamentalmente tres perspectivas (Atzori et al. 2010) en la adopción de estas tecnologías en la industria:

1. La orientada a objetos, que se centra en la visibilidad de las máquinas.
2. La orientada a internet, que busca mejorar los protocolos de la red.
3. La orientada a la semántica de comunicación, que se centra en temas de cómo representar, almacenar, interconectar, buscar y organizar toda la información generada por los “objetos inteligentes”, cada vez más numerosos.

En nuestro acercamiento a la introducción del IIoT en un astillero hemos optado por esta última perspectiva. En un primer análisis se detectó la diversidad de fuentes de información existentes en el astillero y, en segundo análisis centrado en un taller, se constató la complejidad que podía existir para acceder a información orientada que facilitase el trabajo diario y la planificación del taller.

La aplicación de la IIOT en el astillero supone un cambio de paradigma respecto a la gestión de la información en el astillero. Este cambio implica la expansión que lo que se entiende tradicionalmente como astillero ya que supone la concepción del proceso de la construcción naval desde un punto de vista holístico, englobando no solo los procesos que se realizan en el propio astillero sino todos y cada una de las acciones / procesos que lleva a la consecución del producto final, el buque.

Así el objetivo en el astillero de esta tecnología es conseguir una fabricación conectada, compartiendo la información generada a lo largo del proceso para crear un entorno colaborativo, de forma que diferentes procesos puedan sincronizarse para una optimización global del proceso constructivo.

Este cambio de visión supone un cambio conceptual en la gestión de toda la información inherente al proceso constructivo, de tal forma que toda la información se interconecta y está disponible en tiempo real para cada puesto toda la información necesaria. Así, tanto el personal externo de proveedores y subcontratas como interno, desde el operario hasta el director del astillero tiene acceso a la información del sistema.

En la Figura 2 se muestra como se sitúa la capa de IIoT dentro del sistema de información en planta ligadas directamente al proceso productivo y los sistemas corporativos de diseño, gestión y planificación. Situándose como el nexo de unión que posibilita la interconexión de ambos campos.

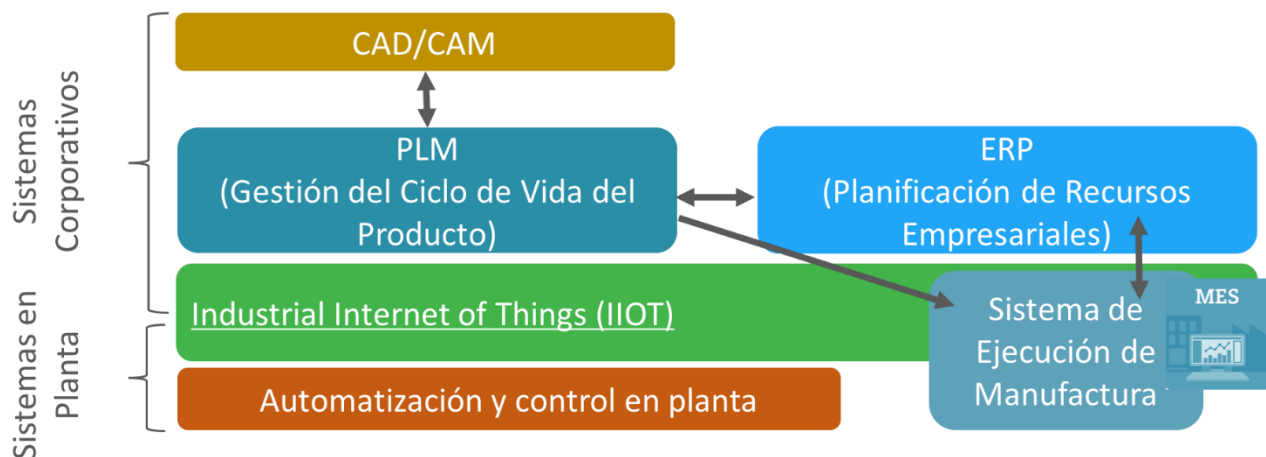


Figura 1: Estructura de la información en el astillero.

La implementación de esta tecnología lleva implícito el uso de herramientas de movilidad. De tal forma que tiene que adaptarse a cada puesto de trabajo y, como en el caso de la construcción naval, el operario no tiene un puesto fijo, sino que se trabaja dentro de un bloque o buque, el sistema debe acompañarlo de una forma transparente para el usuario.

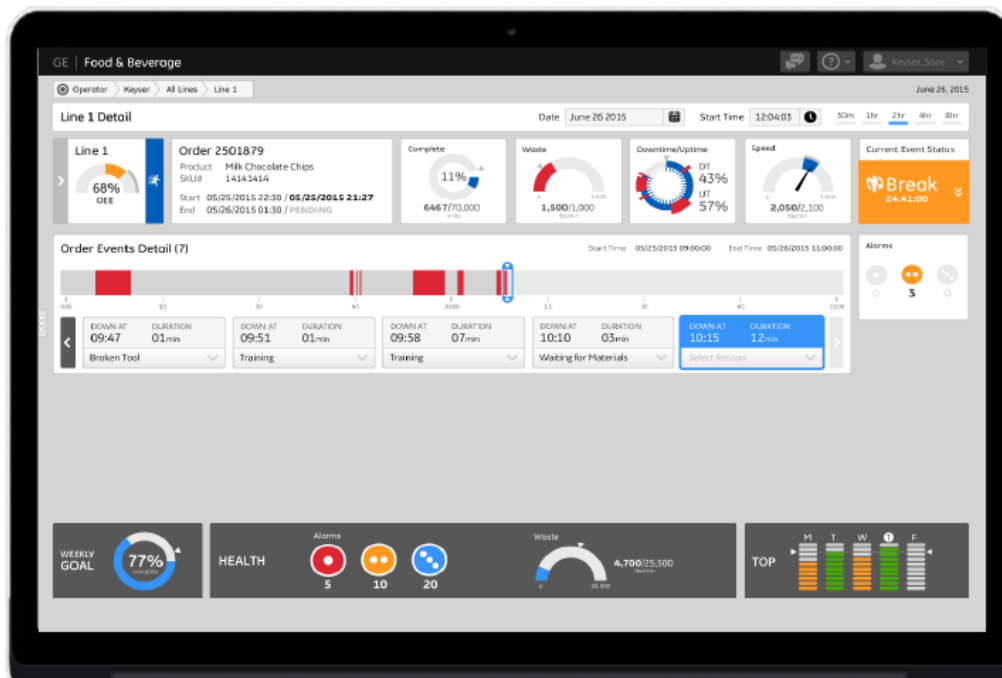


Figura 2: Visualización en dispositivo móvil de una aplicación de IIoT.

Integración de la IIoT en la construcción naval

Por tanto, el objetivo inicial es encontrar una plataforma que permita generar una aplicación viable en un astillero, y que dé respuesta a la problemática de los diferentes talleres, ofreciendo los servicios y funcionalidades que cada uno requiere. Dicha plataforma debe permitir la conectividad con el resto de sistemas de información ya implantados en el astillero (ERP, PLM, MES, etc.). El acceso a la información y su tratamiento de forma orientada según el usuario (operario, gestor, responsable, director) resulta en un ahorro de tiempo, una disminución de errores y una identificación más rápida de posibles problemas (cuellos de botella, desajustes, etc.). Además, una plataforma de IoT aplicada a la Industria (IIoT) permite gestionar una instalación “sensorizada” que aporta información sobre consumos, movimientos de productos, etc.

Todo este flujo de datos puede aportar conclusiones muy valiosas para la gestión de cualquier industria o talleres, en este caso.

La plataforma de IoT se tiene que conectar necesariamente con el ERP puesto que es ahí donde se almacena toda la información relativa a los productos que se van a fabricar. Puesto que el acceso y el volcado de la información en ERP puede ser una distinta según lo que se quiera consultar, resulta laborioso y costoso en tiempo obtener los datos buscados. Por eso se define la primera funcionalidad como la consulta de información sobre MBOM en el ERP y la disponibilidad de materiales en el almacén.

La consulta de las Órdenes de Fabricación (OdF) del propio taller permitiría obtener información acerca de las operaciones a realizar, el status de la orden, puesto de trabajo asignado, materiales asociados, fecha de inicio y fin del trabajo, etc.

El acceso a las OdF's de los talleres proveedores del taller va a permitir conocer el estado del material pendiente. Es decir, su grado de avance, las notificaciones realizadas, las fechas previstas del fin de los trabajos, etc.

Lo mismo ocurre con el acceso a las transacciones del almacén ya que permitiría saber qué materiales están dados de alta, pendientes del visto bueno de Calidad o listos para ser entregados.

Estas dos últimas acciones supondrían iniciar la operación de trazabilidad de los productos intermedios, equipos u otros elementos que va a necesitar el taller en próximas fechas.

La extracción de información de todas estas consultas resulta necesaria para el control de los trabajos en el taller, y el cruce de datos que se puede realizar con ella, fundamental para organizar la programación del taller no solo día a día, sino prácticamente en tiempo real.

Otra de las funcionalidades básicas de la aplicación es la de notificación del trabajo terminado. Esto puede significar dar por terminado el trabajo de montaje de un equipo (o instalación de un elemento) y, por tanto, dar un cierto grado de avance dentro de la Orden de Fabricación, o bien dar por cerrada la totalidad de la Orden de fabricación.

Estas notificaciones las haría el propio operario al terminar el trabajo desde un dispositivo móvil. El hacerlo así agiliza la actualización de la información, sin menoscabo de que un gestor compruebe que el trabajo se ha finalizado correctamente y rectifique, si es necesario, el grado de avance de la OdF o su cierre.

Esta información actualizada sobre el grado de avance de los trabajos se puede incorporar al PLM con el que se trabaje en el astillero. Es decir, en el CAD 3D, por ejemplo, almacenado en el PLM se podría visualizar qué está instalado o fabricado y qué no. La diferenciación se haría a través de colores. Por tanto, la aplicación de IoT permitiría la actualización en tiempo real de lo que está ya montado/instalado y la visualización 3D de un bloque, donde se apreciaría gráficamente cuál es la situación de dicho bloque en cuanto a trabajos pendientes, posibles interferencias, etc.

Conclusiones

La posibilidad de incorporar las nuevas tecnologías a los procesos productivos convierte en presente algo que parecía un reto para el futuro. Esto supone una nueva revolución industrial (la cuarta) ya que implica un cambio cualitativo importante en la forma de realizar, controlar y obtener puntos de mejora en la cadena productiva. El acceso y el manejo de la información relevante se simplifica y orienta para obtener una herramienta de apoyo a las decisiones más eficaz.

El abanico de posibilidades que ofrece el IoT en sectores como la construcción naval, aún sin explorar, es muy interesante. En un entorno de trabajo donde el flujo de información es complicado y la información se encuentra desagregada en diferentes puntos, la agregación de la información y conectividad entre sistemas, puestos de trabajo, proveedores, etc., van a permitir mejorar la eficiencia de los trabajos de fabricación dentro de un astillero.

Uno de los problemas de la industria que no es 4.0, es que existe gran cantidad de información sobre las máquinas, los procesos, pero la información es difícilmente accesible, se almacena en diferentes puntos aislados y no se obtiene ningún rendimiento de los datos. Lo que ofrece una plataforma de IoT, es que cada tipo de usuario podrá ver de forma rápida e intuitiva la información que corresponde a la realización de su trabajo en una interfaz web accesible desde el navegador de cualquier dispositivo, incluyendo ordenadores personales, tabletas o móviles. La plataforma agrega diferentes fuentes de información (ERP, PLM, máquinas) en un único punto para poder tomar decisiones y obtener rendimiento a partir de los datos. De esta forma, el usuario no tiene que gastar tiempo en buscar la información en ningún tipo de aplicación, sino que la tiene disponible en un vistazo.

Para analizar las posibilidades que ofrece una plataforma de IoT se ha planteado una prueba de concepto en un taller específico, el taller de Prearmamento, que es el punto en el que confluyen flujos de trabajo desde los otros talleres y

que para su trabajo día a día depende de más información que el resto de talleres. La selección de este taller se basó en las particularidades de sistema de trabajo que lo hacían más adecuado para testear las capacidades (conectividad, gestión de la información, diferenciación de usuarios, usos de formatos web, etc.) que este tipo de plataformas ofrece. Dentro de este taller, la plataforma es accesible por diferentes roles de usuario con su correspondiente información. Para un operario, la plataforma debe detallar el trabajo a realizar, mostrando detalles de las ordenes de fabricación. Por otro lado, la información presentada a un responsable de taller debe ofrecer una visión general del estado del taller y del progreso de las órdenes de fabricación respecto a las planificaciones.

En definitiva, la plataforma de IoT ofrece la oportunidad de convertir los datos en conocimiento útil para el funcionamiento del taller, de forma que se puedan tomar decisiones para evitar problemas, retrasos, y mejorar el proceso productivo.

Ejemplos

En el sector marítimo no son muchos los ejemplos de aplicación de este tipo de tecnologías. Hyundai Heavy Industries inició en 2015 (MarineLog, 2015) un proyecto para incorporar una plataforma de IoT en sus buques de nueva construcción. Se trata de conseguir buques “inteligentes y conectados” que permitan a los armadores gestionar mejor sus flotas y mejorar su eficiencia. El proyecto consiste en instalar una red de sensores en los buques que capturen información durante la navegación del mismo del tipo localización, corrientes marinas, estado del tiempo, así como, datos de los equipos instalados a bordo. Haciendo uso de la capacidad de análisis en tiempo real que tienen las plataformas de IoT, las navieras pueden monitorizar el estado de sus barcos en tiempo real y tomar las decisiones para una operatividad más eficiente.

Otro ejemplo es la aplicación de IoT realizada en el clúster de Møre (Noruega). Este clúster incluye a 200 empresas dedicadas a dar servicios de apoyo a plataformas offshore. Su negocio abarca desde la construcción de los buques hasta la gestión del servicio de estos buques (Wang et al., 2016). En este caso han optado por una combinación de Big Data e IoT. Debido a que el análisis de grandes volúmenes de datos requiere de una gran capacidad computacional, en el buque OSV se instalaría una plataforma CPU híbrida con capacidad para realizar un análisis descriptivo y predictivo en tiempo real de los equipos críticos del barco. Los datos para este análisis procederían de la parte IoT, cuyos componentes incluirían lectores RFID, sensores, actuadores, cámaras y GPS. El análisis de los datos con la metodología Big Data permite realizar un mantenimiento ad hoc a los buques y obtener información para mejorar diseños futuros.

Referencias bibliográficas

- [1] H. Wang, O. Osen, L. Guoyuan, H-N. Dai, “Big Data and Industrial Internet of Things for the Maritime Industry in Northwestern Norway”. IIEE Region Ten Conference (TENCON) November 2015.
- [2] L. Atzori, A. Iera, and G. Morabito, “The Internet of Things: A survey”, *Computer Networks*, vol. 54, no. 15, pp. 2787–2805, 2010.
- [3] S. Gierej, “The framework of business model in the context of Industrial Internet of Things”. 7th International Conference on Engineering, Project and Production Management, September 2016
- [4] Revista MarineLog, “Hyundai Heavy to put ships on "Internet of Things". July 2015

ROBÓTICA EN LA CONSTRUCCIÓN NAVAL

Introducción

De forma genérica, podemos decir que un robot es una máquina automática programable capaz de realizar determinadas operaciones de manera autónoma y sustituir a los seres humanos en algunas tareas, en especial aquellas que son pesadas, repetitivas o peligrosas; puede estar dotada de sensores, que le permiten adaptarse a nuevas situaciones.

A menudo, al referirse a la evolución de la robótica en el tiempo, se suele hablar de 5 generaciones de robots:

- **PRIMERA GENERACIÓN:** La primera generación engloba los robots manipuladores los cuales simplemente repiten una tarea programada secuencialmente. No tienen en cuenta las posibles alteraciones de su entorno.
- **SEGUNDA GENERACIÓN:** La segunda, la componen robots de aprendizaje. Estos robots sí son capaces de adquirir información de su entorno, por ejemplo: pueden localizar objetos y adaptar sus movimientos en consecuencia.
- **TERCERA GENERACIÓN:** La tercera generación se compone de robots con control sensorizado. El robot dispone de un controlador que es quien ejecuta las órdenes de un programa y las envía al manipulador para que realice los movimientos necesarios. Estos robots a menudo emplean visión artificial para el guiado
- **CUARTA GENERACIÓN:** La cuarta generación la componen los denominados robots inteligentes. Al igual que los anteriores tienen un controlador para ejecutar órdenes, pero además poseen sensores que envían información al controlador sobre el estado del proceso que está realizando, lo cual permite la toma de decisiones en tiempo real y además dota al robot de mayor autonomía de movimiento.
- **QUINTA GENERACIÓN:** Se trata de la evolución futura de los robots. Pasa por utilizar las últimas técnicas de inteligencia artificial y sensores inteligentes para implementar robots que perciben, razonan y actúan en entornos dinámicos, desconocidos e imprevisibles.

Robótica Industrial

La robótica autónoma se ha definido como una de las tecnologías digitalizadoras clave dentro del entorno de la Industria 4.0

En la actualidad, los robots ya forman parte del día a día de muchas industrias. En algunas, como es el caso del sector de la automoción, desde hace muchos años.

La robótica permite llevar a cabo la automatización de tareas que de por sí tienen un carácter repetitivo, por ello, en las industrias en las que existe una fabricación en línea la implantación de robots ha sido relativamente sencilla y ha propiciado un notable aumento de productividad.

Robótica en el Sector Naval

En el caso de la construcción naval han tardado más en aparecer soluciones robotizadas y son menos las tareas “robotizables” en gran parte debido a la gran heterogeneidad de los procesos, a veces únicos.

Aún así, a día de hoy, y especialmente después de los avances que se han producido en los últimos años en cuanto a mejora en la autonomía de la robótica industrial, existen muchos robots de aplicación a las tareas de construcción naval, especialmente en los astilleros Coreanos, quienes han demostrado ir un paso por delante en estos desarrollos, por ejemplo: Hyundai Heavy Industries, Samsung Heavy Industries y Daewoo Shipbuilding & Marine Engineering (DSME).

Se han agrupado algunas de las tareas en las que se están empleando robots en construcción naval en 3 grupos principales:

1. Robots empleados en automatización de procesos de construcción naval. En este grupo se engloban aquellos robots que se emplean exclusivamente para automatizar una tarea concreta del proceso de construcción naval, por ejemplo:
 - El corte de chapas y de perfiles.
 - Soldadura: de paneles (forros del casco, cubiertas o mamparos), de elementos para fabricación de bloques
 - Conformado de chapas: Curvado de las chapas de acero que forman el casco del buque.
 - Fabricación de tuberías
 - Chorreado y pintado de bloques, del casco del buque o del interior de tanques o bodegas.
2. Robots que sirven como para apoyo al operario, donde básicamente nos encontraríamos:
 - Robot colaborativos.
 - Exoequeletos.
3. Transporte automatizado:
 - Grúas autónomas.
 - AGVs.

Robots para automatización de procesos de construcción naval

Robots de corte

El corte de acero puede que sea la tarea más fácilmente automatizable. Desde hace muchos años, en casi todos los astilleros se cuenta con máquinas para el corte de chapas de acero, para el corte de perfiles e incluso para el corte de tubos.

Se trata de robots muy básicos con programación offline, y que apenas cuentan con sensórica para percibir su entorno. Están en celdas aislados de los operarios.



Dichas máquinas o robots de corte pueden emplear tecnología de oxiacorte, corte por plasma y láser.

Normalmente la programación de estos robots se hace de forma offline.

Robots de soldadura

Si hablamos de soldadura robotizada puede que nos encontremos en el área estrella de robotización en el sector naval.

La implantación de robots de soldadura ha implicado un salto de enorme magnitud

La totalidad de los grandes astilleros del mundo cuentan con robots para la soldadura de los elementos que componen el buque.

La tecnología disponible hoy en día permite automatizar la soldadura de:

- Las chapas de acero que componen el casco, las cubiertas o los mamparos del buque.
- Soldadura de los refuerzos de los elementos anteriores (longitudinales y transversales)
- Soldadura de elementos mayores (mamparos) para la fabricación de bloques

Normalmente se dispone de uno o varios robots de soldadura, situados en un pórtico, como el que veis en la imagen.



Ilustración 1: Robots de soldadura de PEMAMEK montados en un pórtico. <https://pemamek.com/>.

Empresas como PEMAMEKⁱ, KRANENDOCKⁱⁱ o INROTECHⁱⁱⁱ ofrecen soluciones robóticas de aplicación al sector naval.

Estas soluciones suelen basarse en sistemas de visión artificial.

- En el caso de PEMAMEK, una cámara inspecciona la zona a soldar y el operario indica sobre la pantalla los elementos a soldar (y el orden).
- En el caso de INROTECH, mediante una cámara o escáner se inspecciona la zona y se identifican los elementos a soldar de las librerías de macros que el software tiene previamente instaladas, con la ventaja de que se minimiza el trabajo para el operario, pero con la desventaja de que es necesario incluir nuevas librerías cada vez que aparezca un elemento diferente a soldar.

Robots para conformado de chapas

Con menor grado de implementación en astilleros nos encontramos, por ejemplo, robots para el conformado de chapas (dar al acero la curvatura necesaria para fabricar las planchas de acero que forman el casco del buque).

Se trata de una tarea tradicionalmente manual (casi artesanal) para la que se suelen emplear medios mecánicos (cilindros, prensas, etc) o mecánicos y térmicos (aportar calor de forma puntual antes de llevar a cabo el conformado del acero de forma mecánica).

En este punto es necesario señalar el desarrollo del Astillero coreano de Hyundai, pionero en avances relacionados con la robótica, que ha desarrollado un robot con cuatro cabezales que aportan calor al acero en los puntos exactos para generar la deformación necesaria en el acero. ^{iv}

Además, en el proyecto de investigación Conforship^v se llevó a cabo el desarrollo de un robot de este tipo.

Robots para chorreado y pintado

Otra tarea, dentro de la construcción naval en la que se están empezando a emplear robots es el chorreado y pintado.

El uso de robots en estas tareas puede implicar grandes ahorros de tiempo y de coste, principalmente por el ahorro que se produce en el montaje de andamios.

Una de las principales empresas que están desarrollando robots para este fin es Hubert Palfinger ^{vi}.

Podemos empezar a ver este tipo de robots empleándose en el chorreado y pintado de cascos de buques, pero también en el interior de tanques y bodegas.

Soluciones robóticas para Fabricación de tuberías

La fabricación de tuberías puede verse beneficiada por el uso de robots para el corte, curvado y soldadura de estas.

Existen empresas que ofrecen soluciones completas para todas estas tareas e incluso para el almacenamiento de los tubos. Algunas de ellas son: Pipeworks ^{vii}, Kranendonk, ICH Piping, entre otras.

Es importante señalar, que la fabricación de tubería no está muy estandarizada, por lo que es complicado alcanzar una automatización completa, y robotizar estas tareas y en una elevada proporción siguen siendo manuales.

Robots de ayuda al operario

Robots Colaborativos: COBOTS

Los cobots son robots creados para interactuar con los humanos en un entorno de trabajo. El término se utilizó por primera vez en 1999 y surge de la unión de las palabras “colaboración” y “robot”. ¿Cuáles son sus principales características?

- **Colaboración:** los cobots fueron creados para ayudar a las personas, por lo tanto la interacción con los operarios es fundamental.
- **Automatización:** un cobot es capaz de realizar tareas de automatización inimaginables para un robot, logrando impulsar la productividad a otros niveles.



Ilustración 2: Cobot de Universal Robot. La pantalla táctil, permite su programación "in-situ". <https://www.universal-robots.com/>.

A día de hoy y debido a un crecimiento anual del 60%, la robótica colaborativa tiene cada vez mayor relevancia, y se ha convertido en una herramienta clave para optimizar los procesos de producción y revalorizar las tareas de los operarios. Pero, ¿cuáles son las principales diferencias entre un cobot y un robot industrial?"

- **FÁCILES DE PROGRAMAR**, no es necesario poseer grandes conocimientos de programación para programar un cobot. Suelen tener interfaces gráficas sencillas de usar.
- **INSTALACIÓN RÁPIDA**, en comparación con un robot tradicional
- **FLEXIBLES**. Son muy versátiles a la hora de realizar tareas.
- **COLABORATIVOS Y SEGUROS**

MÓDULO 3

Muchas empresas se han lanzado al desarrollo de cobots, si bien, entre ellas destacan especialmente algunas como: Universal Robots ^{viii}, Kuka, ABB, COMAU.

Los cobots ya están implementados en muchas industrias, si bien, el Sector Naval se ha quedado un poco atrás en este avance, debido principalmente, que hasta la fecha, la capacidad de carga de estos robots está bastante limitada, y no es suficiente para dar servicio a los astilleros.

Aunque es cierto, que están empezando a surgir cobots con mayor capacidad de carga, por ejemplo el modelo AURA de COMAU ¹, que tiene una capacidad de carga de 1T, y que además puede trabajar sobre un AGV, y desplazarse dentro de un taller, lo cual le ofrece una versatilidad importante.



Ilustración 3: Cobot "Aura" y AGV "Agile" <https://www.comau.com/>.

En las siguientes imágenes podemos ver las pruebas que se llevaron a cabo en un astillero con un cobot:

¹ <https://www.comau.com/>

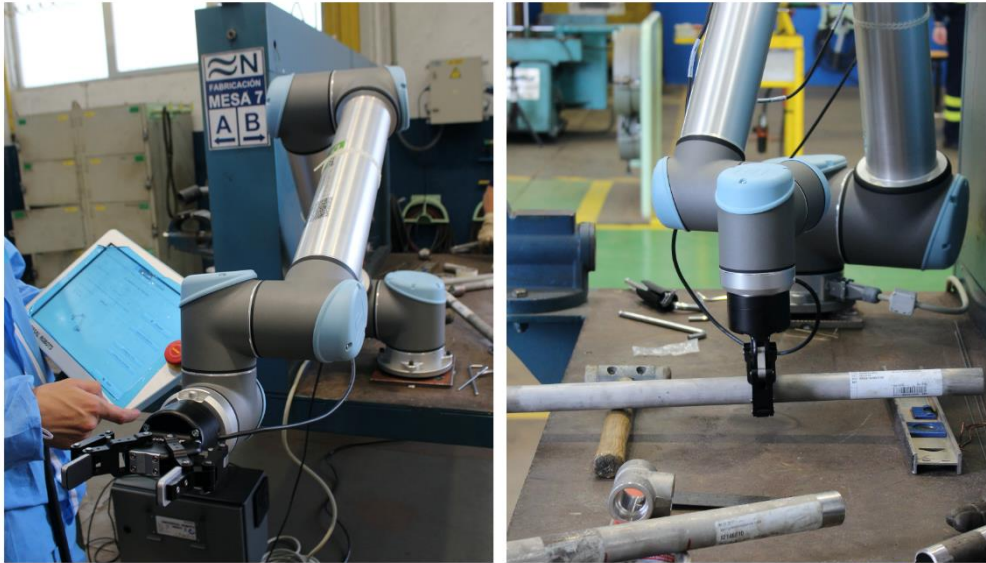


Ilustración 4: Pruebas con cobot para la fabricación de un tubo.

En la primera prueba que se realizó, se empleó un cobot para ayudar a un operario a la fabricación de un tubo. El cobot se encargaba de coger cada uno de los componentes que formaban el tubo y colocarlo en su posición para que el operario pudiera llevar a cabo el “punteado”² del tubo.

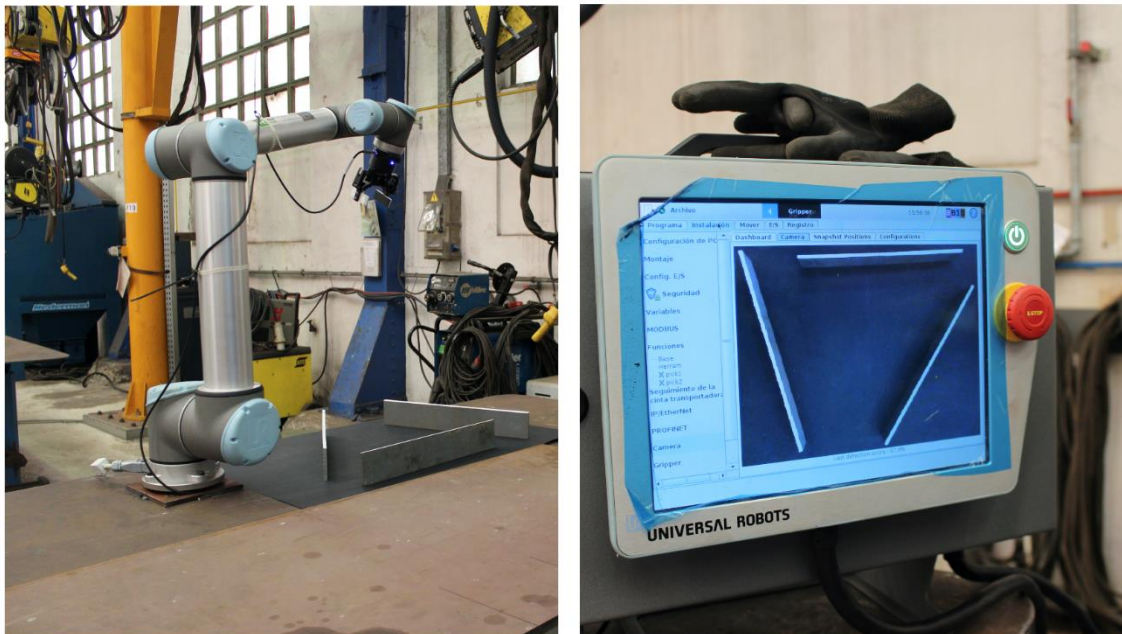


Ilustración 5: Pruebas con cobot para posicionado de elementos

² Punteado: Acción de dar puntos de soldadura, previo a la soldadura final de un elemento

En la segunda prueba se dotó al cobot con una cámara de visión, la cual le permitía detectar las piezas que tenía que seleccionar.

Una vez identificadas, las seleccionaba y las colocaba en su posición final.

Exoesqueletos

Un exoesqueleto es un armazón similar al exoesqueleto de un insecto, que se puede adherir a la espalda, brazos y piernas del usuario.

Su uso nació pensando en ayudar a personas mayores o discapacitadas a caminar, y de hecho es uno de sus principales usos, con gran éxito, hoy en día.

Pero en entornos de trabajo su uso se orienta principalmente a la mejora de la ergonomía, en trabajos repetitivos o en posiciones que pueden generar lesiones) y a permitir el manejo de cargas con un peso mayor del habitual.

Pueden estar fabricadas con fibra de carbono, titanio que las hacen ligeras y resistentes. No dan calor, y pueden ser activas (con motores o hidráulicos), o pasivas.

Sarcos Robotics, Ekso Bionics, SuitX son algunos de los principales desarrolladores de esta tecnología.

Transporte automatizado

Otra tarea que se está empezando a automatizar en los astilleros es el transporte de elementos constructivos.

Grúas autónomas

Podemos encontrarnos, por un lado, con grúas autónomas, que incorporen sensores y sistemas de visión, que les permita actuar de forma autónoma.

Permitirá la automatización del transporte de materiales, equipos y productos, en talleres o en almacenes dentro del astillero.

Vehículos de Guiado Automático

Por otro lado tenemos el amplio sector de AGVs (vehículos de guiado automático) que permiten transportar elementos dentro de un taller del astillero o incluso entre talleres sin necesitar un conductor.

Si nos centramos en el método de guiado que emplean, podemos hablar:

- **Filoguiado.** El AGV se desplaza siguiendo un hilo conductor que está instalado bajo el suelo. Este método de guiado es muy sencillo pero no permite una gran versatilidad en las rutas, ya que estas se limitan a las rutas que tienen el hilo instalado.
- **Magnético:** utilización de banda o tags magnéticos en el trazado de rutas.
- **Optoguiado.** El AGV se desplaza guiándose por una tira de espejo que se extiende por los recorridos del AGV. Para detectar la guía el AGV cuenta con un catadióptrico que detecta la guía. En este caso, la instalación no es tan compleja como en el caso del filoguiado, y además podremos modificar o añadir rutas de forma sencilla.
- **Visión Artificial.** El AGV emplea visión artificial para detectar una tira de espejo catadióptrico, calculando y corrigiendo en cada instante la desviación existente entre el AGV y la ruta.

- Láser: sistema de guiado por láser que mediante la instalación de reflectores en planta en lugares estratégicos se garantiza que en todos los puntos del recorrido se detecten tres reflejos del haz de luz emitido por el láser de tal forma que se conoce con precisión milimétrica su posición exacta.
- Natural / por contornos: utilización de la disposición de la planta para el diseño de mapas virtuales y el trazado de rutas.
- Mapeado 2D-3D. Esta tecnología permite que no sea necesaria la instalación de ningún elemento externo al AGV, sino que este emplea la sensórica que tiene embarcada (cámaras, LIDAR, ultrasonidos, ...) y con ello generan un mapa virtual del entorno en el que están trabajando.
- Combinados: porque hay situaciones en las que los recorridos atraviesan zonas muy diversas es necesario combinar distintos sistemas de navegación con el fin de proporcionar en todo momento el sistema de navegación óptimo para cada tramo. Estos sistemas pueden funcionar de manera conjunta en forma de sistemas duales de guiado, entrando a funcionar alternativamente en función del tramo de ruta que esté atravesando el vehículo.

ASTI, Mobile Industrial Robots o COMAU son algunas de las empresas que desarrollan AGVs.



Ilustración 6: AGVs.

ⁱ <https://pemamek.com/welding-solutions/ship-building/>

ⁱⁱ <https://www.kranendonk.com/shipyard-automation>

ⁱⁱⁱ <https://www.inrotech.com/>

^{iv} <https://sectormaritimo.es/robots-para-la-construccion-naval>

^v <https://www.coremain.com/proyecto-conforship/>

^{vi} <https://www.hubertpalfinger.com/>

^{vii} <https://www.pipeworks.es/en/shipbuilding-offshore>

^{viii} <https://www.universal-robots.com/> <https://robotplus.es/>