

LA UMI UDC-NAVANTIA “EL ASTILLERO DEL FUTURO”. PRESENTE Y FUTURO

Carlos Merino (*)

Director de Tecnologías Digitales / Centro Tecnológico
Director de la UMI UDC-Navantia “el Astillero del Futuro”

1. INTRODUCCIÓN



UMI UDC-Navantia

Después de una ronda de visitas realizadas, entre 2014 y principios de 2015, a astilleros de referencia en todo el mundo y a empresas españolas líderes de otros sectores industriales, se comprobó que Navantia seguía disponiendo de los *mejores productos*, pero no de los mejores procesos. Por ello y mientras Navantia comenzaba en 2015 a desbrozar los conceptos de Industria 4.0 y Astillero 4.0 y teniendo en cuenta que los conocimientos internos en procesos no estaban a la altura de los existentes sobre temas de producto (buque y sus sistemas), se decidió no perder más tiempo y acudir simultáneamente a la “academia” en busca de conocimiento y ayuda para avanzar en el mundo de la *ingeniería de procesos*. El contacto fue con la Universidade da Coruña (UDC) y cuando se estaba analizando la mejor y más productiva forma de colaboración entre empresa y universidad, surgió la Xunta de Galicia, a través de GAIN (Agencia Gallega para la Innovación) y de una convocatoria, dentro del marco de ayudas a la fabricación inteligente, para ayudas a un tipo especial de colaboración *entre una empresa y un centro de investigación* (universidad o centro tecnológico), que se denominaba Unidad Mixta de Investigación (UMI). De este modo, Navantia y la UDC enfocaron esta colaboración creando una UMI, denominada “el Astillero del Futuro”.

El proceso comenzó con la publicación por parte de GAIN de una convocatoria en febrero de 2015 estableciendo las bases reguladoras para la concesión, en régimen de concurrencia competitiva, de las subvenciones a organismos de investigación de Galicia para la creación, puesta en marcha e impulso de Unidades Mixtas de Investigación (UMIs). Una vez presentada la solicitud por parte de la UDC y Navantia (marzo de 2015), GAIN concedió la ayuda solicitada mediante resolución en mayo de 2015, adjudicando las ayudas a organismos de investigación de Galicia para la creación, puesta en marcha e impulso de unidades mixtas de investigación. A partir de entonces, la UMI se constituyó en junio de 2015 (firma del Acuerdo UDC-Navantia) y se puso en marcha en Octubre de 2015.

(*) En la preparación de este artículo participaron las ingenieras navales y oceánicas Alicia Munín y Sara Ferreño, ambas contratadas por la UMI.

El objetivo principal de la creación de la UMI UDC-Navantia “Astillero del Futuro” fue el desarrollo de nuevas técnicas y tecnologías que permitieran aumentar la competitividad del astillero de Navantia en la Ría de Ferrol, mediante la mejora de los procesos productivos existentes y el desarrollo de otros nuevos, de tal forma que se incrementase la productividad y se redujesen tiempos de fabricación y costes (en especial, para afrontar el desafío técnico-industrial del programa de fragatas F-110 para la Armada). Ello significa que en los objetivos de la presente UMI, se conjugaban tres conceptos: *mejora de procesos, acercamiento de TICs al puesto de trabajo y programa de fragatas F-110*, que han constituido los vértices o vectores del desarrollo de sus actividades.

De acuerdo con lo anterior, se establecieron inicialmente dos líneas de investigación, una relativa a *optimización de procesos* y la otra, relacionada con *acercar las nuevas tecnologías de información y comunicaciones (TICs) a la fabricación*. Posteriormente y a lo largo de los tres años de duración de esta UMI, se desarrollaron otras tres líneas de investigación: una relacionada directamente con *tecnologías disruptivas* (de producto) orientadas al programa de fragatas F-110, otra con la *ciberseguridad* y una última sobre *vehículos autónomos* (UAVs). *En resumen, en la UMI “el Astillero del Futuro” se han desarrollado cinco líneas de investigación y quince actuaciones o proyectos.*

La línea de Optimización de Procesos, que englobó casi la mitad de las actuaciones que se desarrollaron en la etapa de creación/puesta en marcha de esta UMI (6 de 15), trató de aprender de industrias más avanzadas (como la automoción), resolver algunos problemas históricos en los astilleros (tubos de cierre y control dimensional-fabricación con creces) y utilizar la tecnología del Modelado y Simulación (M&S) de procesos discretos para evaluar la eficiencia actual de la planta del astillero de Ferrol construyendo fragatas y de la planta del astillero de Fene construyendo productos de eólica marina, con el fin de poder proponer mejoras tanto globales a nivel de planta, como específicas para los talleres y procesos y proporcionar recomendaciones y guía para la definición de la planta de un nuevo astillero sostenible en Ferrol. Esta línea de investigación incluyó seis actuaciones en el tiempo: M&S de procesos de construcción de buques, M&S de procesos de productos de eólica marina, robótica y automatización, problemática del “tubo de cierre”, lecciones aprendidas de la experiencia del sector de automoción y control estadístico de procesos.

La línea de investigación de Nuevas Tecnologías, que englobó tres actuaciones, trató de acercar conceptos como realidad aumentada, conectividad a través del internet de las cosas, big data y otras tecnologías a los procesos de fabricación de buques. Esta línea de investigación incluyó tres actuaciones: Información en planta y realidad aumentada, Gestión de sistemas integrados e Internet industrial de las cosas y Trazabilidad y tratamiento de productos inteligentes.

Después de comenzar con las dos líneas de investigación anteriores, a lo largo de 2016 se puso en marcha una tercera *línea de investigación* relacionada con *Tecnologías novedosas o Disruptivas, de “producto”, relacionadas con el proyecto de la fragata F-110*, para facilitar desde la UMI una oportunidad para introducir algunos avances tecnológicos que sería difícil incorporarlos dentro de las fases o actividades establecidas del programa. Esta línea de investigación incluyó tres actuaciones: el llamado inicialmente proyecto “buque sin cables”, el proyecto “adhesivos” y el proyecto de “sistemas auto-reconfigurables”.

Finalmente, y a comienzos de 2017, se abrieron *dos nuevas líneas de investigación*, dotadas cada una con una actuación, para investigar en la aplicabilidad de *Vehículos Autónomos* (UAVs) y en *Ciberseguridad*.

La UMI la componen la UDC y Navantia, gestionando la Universidad el día a día y dirigiendo la empresa el Comité de Dirección. La duración establecida fue de tres años (hasta octubre de 2018), pudiendo ser prorrogable y se ubicó en el CIT del Campus de Ferrol. En este tiempo, la UMI contrató hasta diecisiete ingenieros a tiempo total y ejecutó algunos subcontratos con empresas y centros de investigación como Siemens, Universidad de Vigo, Centro de Automoción de Galicia (CTAG), Avansig, Stgo, SCIO, Emetel, SAP, etc. La aportación de Navantia fue de un millón de euros y el trabajo de aprox. cincuenta personas a tiempo parcial, mientras que la de la UDC fue de 0,2 millones de euros y el trabajo de más de 30 profesores/investigadores a tiempo parcial, aportando la Xunta aproximadamente el 30% del presupuesto total. En total, en la UMI han venido trabajando algo más de cien personas, que es, realmente, uno de los valores más importante conseguido en los tres años de trabajo, además de ayudar en la consolidación y estabilización de la relación entre Navantia y la “academia”.

En el período 2015-2018, se realizaron tres Jornadas anuales de revisión del avance conseguido. La primera de ellas, realizada en 2016 tuvo carácter abierto y en ella se expuso el progreso alcanzado después de un año de trabajo. La segunda, realizada en 2017, tuvo también carácter abierto y en ella participaron expertos a nivel nacional de temas afines a lo que se trabajaban en la UMI. Por último, la Jornada de 2018 tuvo carácter interno y sirvió para que Navantia y la UDC aprobasen el trabajo realizado y validasen la presentación de la solicitud de “consolidación” de la UMI.



3ª Jornada “Astillero 4.0 – el Astillero del Futuro”

Es cierto que con frecuencia se dice que las personas son lo más importante y en este caso de la UMI “el Astillero del Futuro” también ha sido el caso.

A lo largo del período 2015-2018, han trabajado en el ámbito de la UMI más de cien personas de la UDC (más de 30), de Navantia (más de 50) y de empresas y organizaciones colaboradoras (más de 20). Sin el trabajo e ilusión de todo este equipo, no se habrían conseguido los logros descritos en el punto 2.

En el día a día, las quince actuaciones, que se desarrollan en el punto 2, se organizaron mediante equipos de trabajo que contaban con un responsable por parte de la UDC, un contacto o responsable por parte de Navantia, algunos colaboradores de UDC y Navantia y algunos ingenieros contratados en el ámbito de la UMI. En aquellas actuaciones en las que se subcontrataron algunas actividades, los equipos se vieron incrementados con personas de las empresas/organismos colaboradores. Estos equipos se reunieron semanalmente a lo largo del período de trabajo para analizar el progreso de las actividades y planificar las actuaciones.

En esta introducción y antes de comenzar a describir los logros conseguidos en el período 2015-2018 (punto 2) y los objetivos establecidos para el período 2018-2021 (punto 3), quisiera aprovechar para agradecer el esfuerzo de todos los integrantes de ese equipo centenario, destacando la labor de los protagonistas más importantes.

Así y a nivel de Dirección, quiero resaltar la brillantez y visión estratégica de los responsables principales de la puesta en marcha de la UMI en 2015, tanto por parte de la UDC (el vicerrector Ricardo Cao), como de Navantia (Angel Recamán), así como el apoyo continuo recibido a lo largo de estos años del vicerrector Salvador Naya y de los directores del Astillero de Fene-Ferrol, Julio Martín, primero y Rafael Suárez, en la actualidad. También quisiera dedicar una mención muy especial al Investigador Principal de la UDC, Daniel Pena, que fue un gran pilar en el tejido de esa relación construida entre la empresa y la “academia” y que siempre supo encontrar la inspiración necesaria en los objetivos últimos de la empresa.

En el plano del trabajo, siento la necesidad de nombrar a los responsables de las quince actuaciones, así como algunas otras personas que contribuyeron de forma muy eficaz al desarrollo de esta unidad mixta de investigación.

En las actuaciones de Modelado y Simulación y Optimización de Procesos, contamos con la inestimable experiencia del catedrático Alejandro García del Valle y el buen hacer de los profesores Diego Crespo y Adolfo Lamas (este último también ingeniero de Navantia) y del empuje y buen hacer de los ingenieros de Navantia Rafael Morgade, Rubén Miguel y el propio Adolfo Lamas. En estos equipos de trabajo participaron muy activamente varios ingenieros/as contratados/as por la UMI y también varios ingenieros de Navantia, entre los que cabe destacar el trabajo realizado por Ángeles García Mouriz.

En las actuaciones relacionadas con TICs, quiero destacar el importantísimo trabajo realizado por el profesor Tiago Fernández, la colaboración continuada del profesor Vicente Díaz y el importante papel realizado por los ingenieros de Navantia, Manel Díaz Bouza y Miguel Vilar, para tratar de llevar a buen puerto la “industrialización” de los logros realizados en las diversas actuaciones. En estas actuaciones, también hay que destacar el trabajo de los ingenieros contratados por la UMI y, en especial, el de Paula Fraga y Alma Mallo, así como la colaboración de Sergio Ballesteros, de Siemens.

En los temas de Robótica y Automatización y Tubo de Cierre, quiero destacar la colaboración del profesor Benigno Rodríguez, la iniciativa constante de José Antonio Patiño y la templanza y altas miras de Rafael Morgade, quien jugó un papel muy importante en la vertebración de actuaciones e implicación de los diversos departamentos del astillero. También quiero destacar el esfuerzo del profesor Francisco Bellas y el empuje de Javier Vilar y el resto de colaboradores de Navantia.

En las actuaciones de Tecnologías Disruptivas, la primera mención tiene que ser para Carlos Blanco (ideólogo del proyecto “sin cables”) y también para los profesores de la Universidad de Vigo (el catedrático Fernando Obelleiro y el profesor Jesús Doval) que desarrollaron gran parte de los trabajos, así como para el catedrático de la UDC, Luis Castedo, que supo gestionar el trabajo realizado por la empresa y las dos universidades. En estos trabajos destaca también el apoyo continuado de Alberto Crego, así como de los ingenieros contratados por la UdeV para el proyecto. En la actuación de sistemas auto-reconfigurables, destaca el buen hacer del profesor Vicente Díaz, así como de las ingenieras contratadas por la UMI Alicia Munín y Sara Ferreño y de la Autoridad Técnica de Ingeniería Mecánica de Navantia, Carlos García. En la actuación de “adhesivos”, destacar

el empuje y trabajo de la Autoridad Técnica de Equipo y Habilitación de Navantia, Antonio Tejedor y la colaboración continua del profesor Ramón Artiaga y del personal colaborador de Navantia y de la UMI.

En la actuación de Control Estadístico de procesos, quiero destacar el bien sincronizado equipo formado por el catedrático de la UDC Ricardo Cao y el responsable de Navantia, Alberto Brage, así como el trabajo de los otros integrantes del equipo.

En la actuación de ciberseguridad, destaca el buen entendimiento entre el profesor Francisco Novoa y el responsable de Navantia, José María Pazos y finalmente, en la actuación de UAVs, destaca el buen entendimiento de los profesores Álvaro Deibe y Richard Duro con el responsable de Navantia, Rubén Ferreiroa.

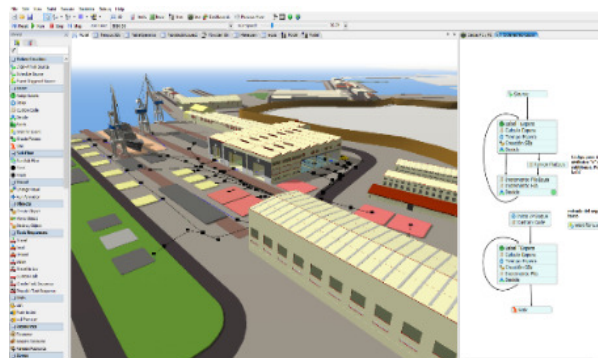
Por último y en tareas de apoyo a la UMI y de control económico, quiero destacar la ayuda de Francisco Montero de la UDC y de Ana Rodríguez, José Manuel Lamas y Marta Cuartero, por parte de Navantia.

2. TRABAJO REALIZADO. LOGROS UMI 2015-2018

Se describen a continuación los resultados conseguidos en cada una de las quince actuaciones o proyectos que conformaron la etapa de creación y puesta en marcha de la UMI UDC-Navantia “el Astillero del Futuro”:

2.1. MODELADO Y SIMULACIÓN DE PROCESOS EN EL ASTILLERO

El trabajo de esta actuación se centró en el desarrollo de modelos de simulación de los procesos del astillero de Navantia en Ferrol con dos objetivos: por un lado, mejorar la productividad de la planta actual y por otro, diseñar la mejor distribución para la planta futura. Se trataba de crear un modelo virtual “Astillero Virtual” que representase fielmente la realidad del astillero, para posteriormente llevar a cabo todas las pruebas y experimentos que se considerasen oportunos, sin interferir en el astillero real y sin la enorme inversión que eso supondría.



Modelo de Simulación 3D FlexSim

Inicialmente, se desarrolló un modelo de simulación de eventos discretos del astillero actual (a un nivel agregado y otro desagregado, con mucho más detalle y por talleres) con el software de simulación 2D ExtendSim. Posteriormente se hizo la migración al software de simulación 3D FlexSim.

Los modelos desarrollados, especialmente el 3D, han resultado una eficaz herramienta de análisis y de ayuda a la toma de decisiones, dotando al proceso de una mayor credibilidad propiciada por su fácil visualización y comprensión.

El impacto de los resultados de esta actuación en el funcionamiento del astillero “*fue más que palpable*”. El modelo de simulación desarrollado sirvió de apoyo a la toma de decisiones en la configuración del astillero, por ejemplo: se incrementó el número de cabinas de chorro/pintura (cuello de botella detectado en las primeras fases de trabajo de la línea de M&S).

Se consiguió alcanzar casi la totalidad de los objetivos iniciales, ya que se completó el estudio de la productividad de la planta actual y se empezó a trabajar de forma significativa en el diseño de la planta del futuro; trabajo que se ha hecho de forma cooperativa e integrada entre el personal de la UMI y el equipo Nueva Planta del Astillero de Ferrol de Navantia.

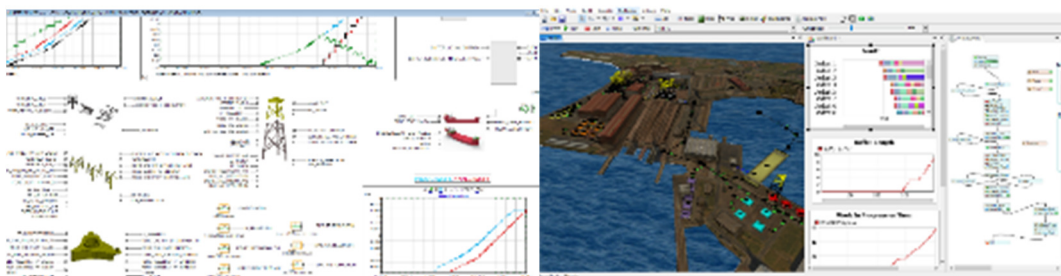
2.2. MODELADO Y SIMULACIÓN DE PROCESOS DE EÓLICA MARINA

El objetivo principal de la actuación fue el desarrollo de modelos de simulación para procesos de eólica marina. Los resultados conseguidos por esta actuación dentro de la UMI aportaron valor a los productos fabricados por Navantia en sus instalaciones de Fene (fabricación de estructuras tipo Jackets para sostener aerogeneradores en alta mar).

La actividad de esta actuación se centró en el proyecto East Anglia One (EAOne), donde los modelos de simulación de eventos discretos (DES) se utilizaron tanto en la fase comercial del mismo (dimensionamiento de celdas, cálculo de costes, tiempos de trabajo, etc.) como en la etapa de desarrollo y seguimiento del proyecto (planes de mitigación, riesgo, etc.). A su vez, esta actuación está comenzando a centrarse en los nuevos proyectos de eólica marina que están previstos en las instalaciones del astillero de Navantia en Fene.

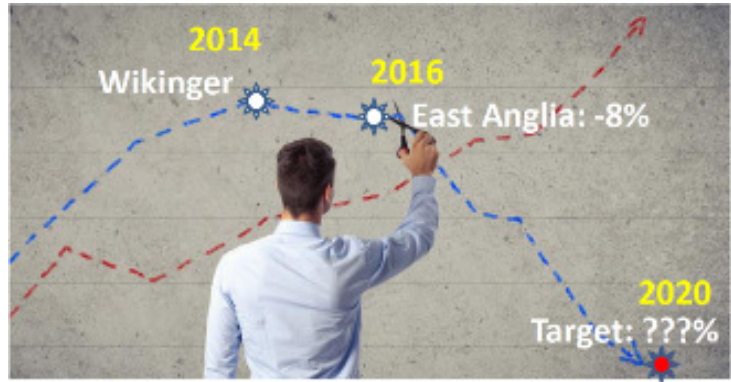
Inicialmente, se desarrolló un modelo de simulación de eventos discretos en 2D (ExtendSim). Con este modelo fue posible estudiar diferentes escenarios que se plantearon desde el equipo de proyecto de EAOne. Desde el comienzo, esta actuación estuvo “*enfocada al proyecto*”, es decir, cuenta con una aplicación real en los problemas diarios de la compañía. Por este motivo, los objetivos de la línea a corto, medio y largo plazo se fueron adaptando a las necesidades reales de la empresa y fueron surgiendo nuevos problemas y objetivos, como:

- Realización de modelos de simulación 3D.
- Integración de los modelos de simulación con el ERP utilizado en Navantia (SAP), así como, con el software de planificación que se está actualmente implantando en la empresa (SAFRAN).
- Utilización de técnicas de realidad virtual y realidad aumentada para la visualización de los modelos de simulación.



Modelo DES 2D inicial (izqda.) y modelo DES 3D actual (drcha.)

Se considera importante destacar la utilidad del modelo de simulación como soporte para la toma de decisiones, que resulta muy útil a la Dirección de Proyectos de Eólica Marina en su problemática diaria, y se estima que su aplicación e implantación en la empresa será todavía mayor en los próximos años debido a la necesidad de reducción de costes y plazos de entrega previstos, lo que se traduce en una necesidad imperiosa de mejora de la eficiencia.



Reducción de costes en proyectos de Eólica Marina

De hecho, han surgido por parte de Navantia varias necesidades/propuestas para continuar con el trabajo de esta línea. La mayoría de estas propuestas van orientadas hacia la reducción de tiempo de trabajo y optimización de los recursos de la empresa, tanto humanos (integración de los modelos con otros programas, automatización de procesos, etc.) como materiales (estudio de diferentes estrategias, reducción del espacio de almacenamiento, etc.).

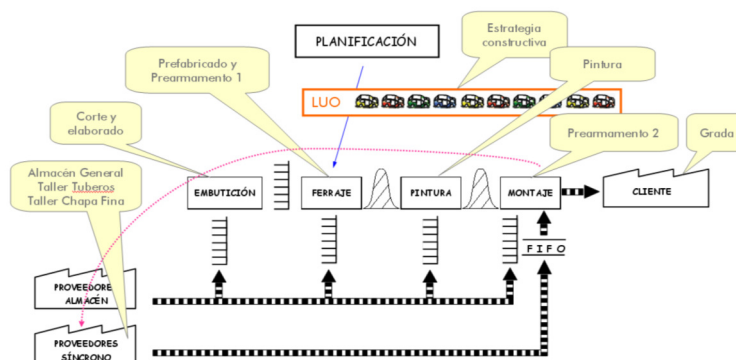
2.3. LECCIONES APRENDIDAS DE LA AUTOMOCIÓN

El objetivo de esta actuación fue aproximar las realidades industriales del sector naval y del sector de la automoción para crear una base conceptual y un marco metodológico que permitiese la transversalización de conocimientos y mejorar los procesos en el astillero.

A través de las diferentes fases de la colaboración, se fueron identificando aspectos clave y profundizando en aquellos que se identificaron como de mayor potencial por su impacto en Navantia.

Los resultados/conclusiones de la actuación resultaron de gran interés para la empresa, destacando:

- Análisis comparativo del proceso de construcción naval y automoción, el cual permitió crear un lenguaje común para el intercambio de tecnología en la dirección de operaciones.

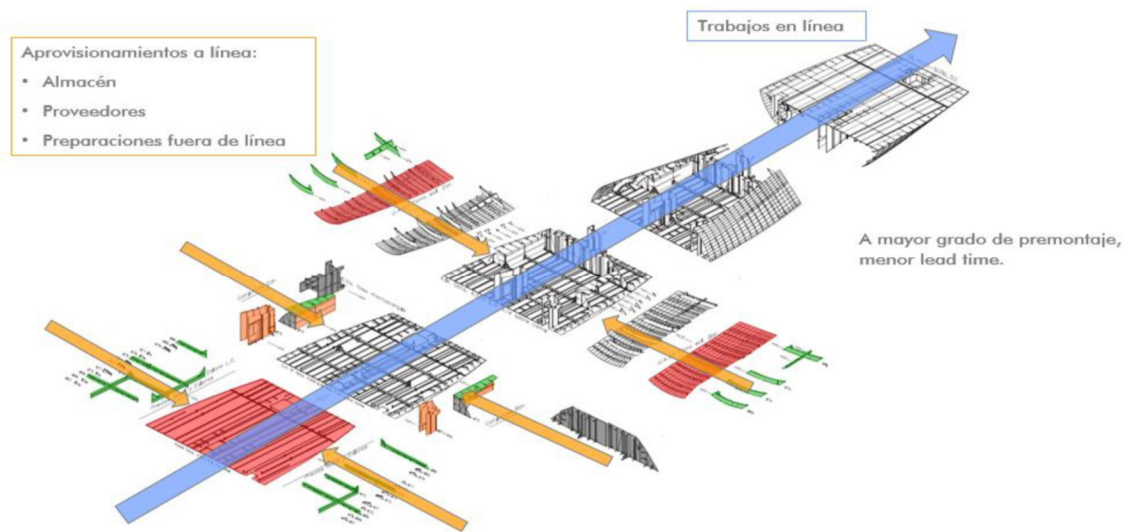


Esquema comparativo construcción naval vs automoción

Se identificaron paralelismos en los procesos productivos que, a su vez, permitieron identificar oportunidades de mejora y transversalización en los procesos de construcción naval.

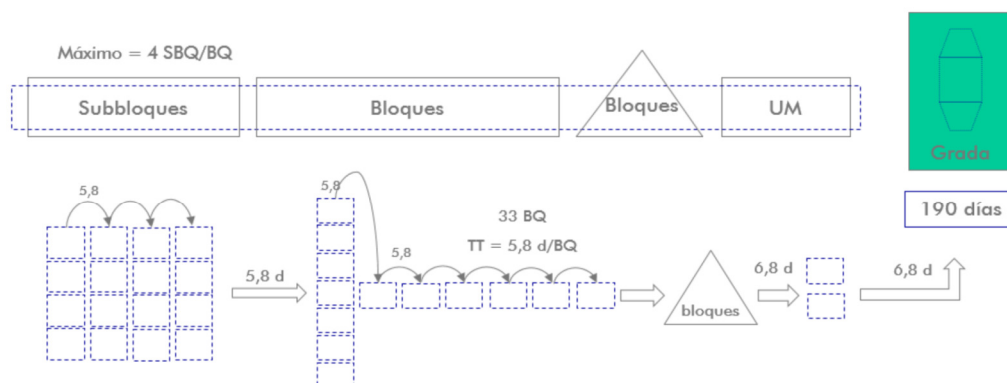
- Definición de un modelo productivo de fabricación de bloques basado en la fabricación en línea

Aunque los productos, así como los mercados, de ambos sectores son distintos, se identificaron posibilidades de desarrollar un modelo de fabricación en línea (típico de las cadenas de montaje de la industria del automóvil) apoyándose en las líneas de procesos de la construcción naval y en las herramientas de sincronización de flujos de la automoción.



Esquema de trabajos en línea y aprovisionamientos a la línea

Una vez establecida una propuesta de organización de los procesos de fabricación de un bloque que siguiese el modelo de fabricación en línea, se desarrollaron los cálculos y herramientas para establecer el ritmo de fabricación (takt time) basado en una secuenciación de los trabajos.



Esquema del funcionamiento de la línea al ritmo de bloques

- Análisis comparativo de los modelos logísticos: se desarrolló un estudio comparativo del modelo de relación de Navantia con sus proveedores, de los flujos

logísticos internos y externos, con la automoción, que tuvo como resultado una propuesta de reconfiguración de la logística del astillero.

Repercusión de los resultados en los procesos de Navantia

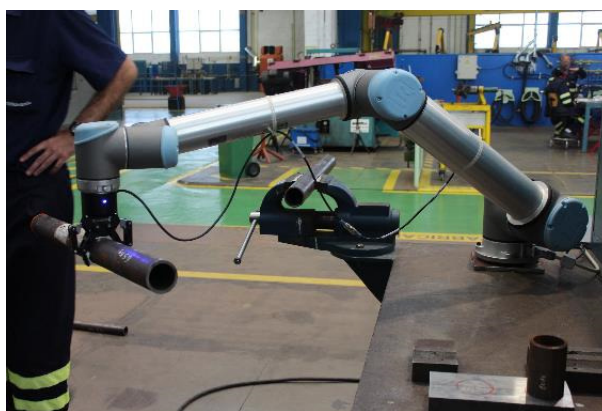
- Desarrollo de una metodología simplificada de cálculo del takt time orientado al dimensionado de la nueva planta del astillero y a un análisis de alto nivel de los ritmos y espacios de fabricación necesarios para conseguir una producción nivelada.
- Sensibilización organizativa sobre la sincronización de las operaciones.
- Desarrollo de un sistema de información, planificación y gestión de la planificación habilitado para trabajar en línea.

2.4. OBSERVATORIO DE ROBÓTICA Y AUTOMATIZACIÓN

Esta actuación nació con el objetivo de elaborar un conjunto de propuestas de mejora 4.0 para los procesos productivos que actualmente se llevan a cabo dentro del astillero de Navantia-Ferrol, mediante la implementación de nuevas soluciones robóticas y la automatización de dichos procesos. Para ello, el equipo de trabajo realizó continuamente una labor importante de vigilancia tecnológica en este campo, así como un análisis de la situación actual del astillero, identificando aquellos puntos de mejora en el layout actual y que debían tenerse en cuenta a la hora de proponer futuras soluciones.

Se desarrollaron propuestas concretas en el astillero, entre las que destacan:

- Propuestas para la automatización del taller de prefabricado (en colaboración con las empresas PEMA e INROTECH) para la implementación de una línea de fabricación de sub-bloques y de una línea de fabricación de paneles curvos.
- Análisis de cuellos de botella en línea de paneles planos (en colaboración con la línea de M&S de procesos en el astillero), buscando a través de PEMA la solución para el desdoblamiento y modernización de la línea actual.
- Para el taller de Tuberías, se plantearon dos enfoques: una modernización mediante cobots y AGV's, y, alternativamente, la creación de un nuevo taller con maquinaria automatizada. De la experiencia con el uso de cobots se puede concluir que, a día de hoy, la capacidad de carga de los robots colaborativos existentes en el mercado no es suficiente para desempeñar trabajos en un astillero.



Pruebas realizadas con COBOT en el taller de fabricación de tubos de Navantia-Ferrol

Y por supuesto, a lo largo de estos 3 años de trabajo, el observatorio de robótica ha estado vigilante del progreso tecnológico en el campo de la robótica, participando anualmente en ferias internacionales, estableciendo contactos y realizando visitas a empresas.

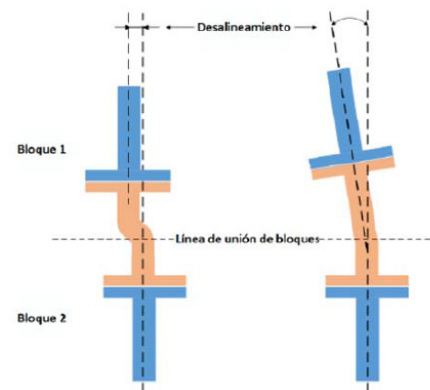
Se ha constatado que si bien en estos años el discurso de la industria 4.0 ha arraigado fuertemente, no resulta sencillo encontrar soluciones probadas, ni proveedores experimentados con productos suficientemente adecuados, que ofrezcan las características que requieren la industria pesada y en particular los astilleros. Además de seguir buscando soluciones ya implementadas, es necesario ir más allá localizando desarrolladores de sistemas capaces de cumplir los requisitos propios del astillero, establecer las oportunas relaciones con los mismos y realizar pruebas piloto en Navantia.

2.5. PROYECTO "TUBO DE CIERRE"

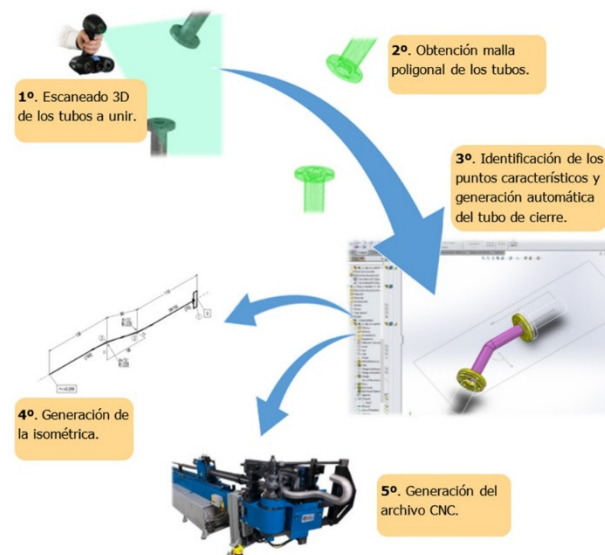
Se conoce como "tubo de cierre" aquel que se emplea para unir los tubos que forman parte de un mismo sistema y se encuentran, por diseño de construcción en elementos separados (por ejemplo, en dos bloques que se han de unir en la grada). Estos tubos de cierre tienen como finalidad absorber desviaciones. La cantidad de tubos de cierre un buque puede ser en torno al 10% del total de tubos, lo cual implica cifras de 2500 tubos de cierre en el caso de una fragata y hasta 5000 en el caso de un LHD.

A día de hoy el diseño para fabricación de estos tubos se tiene que llevar a cabo realizando mediciones in situ, para después proceder a su fabricación, comprobación (de nuevo in situ), posibles correcciones o tratamientos finales e instalación de los mismos, lo cual implica elevados tiempos de fabricación y montaje de estos elementos.

El objetivo principal de esta actuación fue obtener una herramienta que, a partir del escaneado de los extremos de los tubos a unir, generase el diseño del Tubo de Cierre, en función de un conjunto de reglas aportadas por el usuario, la isométrica correspondiente para su posterior fabricación y el código CNC para la elaboración de los tubos en la maquinaria disponible en el taller del astillero, logrando una automatización del diseño (y archivos CNC para fabricación) que implica importantes ahorros de tiempo y, por lo tanto, de costes de fabricación e instalación.



Problemas de desalineación en tubos de cierre



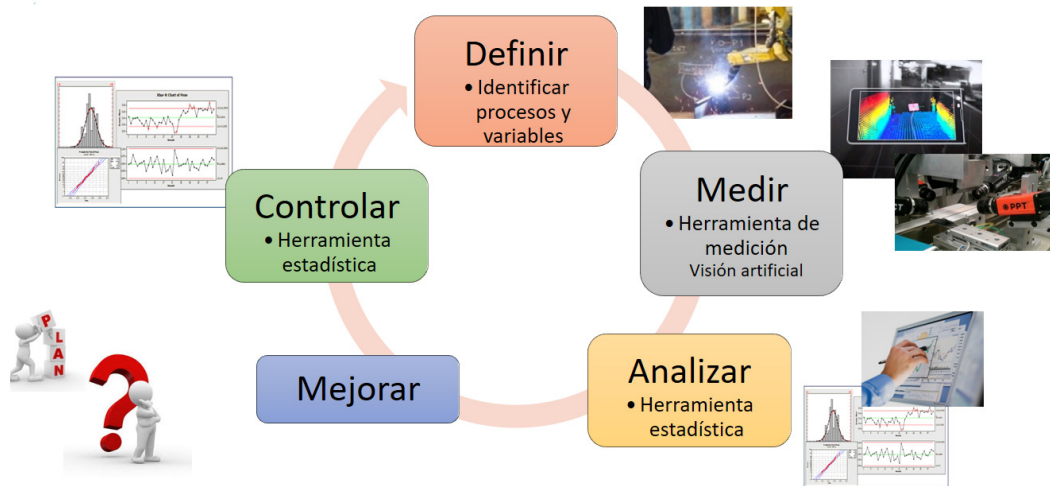
Esquema del planteamiento de la actuación "Tubo de Cierre"

A día de hoy, y a falta de mejoras de detalle se puede afirmar que se ha conseguido el objetivo de lograr un demostrador que resuelve el diseño de un Tubo de Cierre de manera automática a partir de los datos obtenidos en obra y teniendo en cuenta los criterios de Navantia (atributos y características de la base de datos 3D de diseño).

En cuanto a la selección de hardware de captura 3D, se han realizado diversas pruebas de escaneo, pero hay que seguir trabajando en esta línea, ya que por el momento no se ha logrado una solución totalmente satisfactoria, debido al estado actual de la tecnología que se debe de emplear (escáneres 3D portátiles).

2.6. CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS

El objetivo de esta actuación de Control Estadístico de Procesos fue el desarrollo y aplicación de técnicas de control estadístico de procesos en la fabricación de acero y tubería.



Esquema del planteamiento de la actuación "Control Estadístico de Procesos"

A lo largo de las distintas fases de esta actuación, llevada a cabo de noviembre de 2016 hasta la actualidad, se fueron llevando a cabo diversas acciones, entre las que destacamos:

- Revisión de publicaciones científicas de interés, identificando aquellas relevantes sobre el control de procesos de soldadura y sobre el control de calidad dimensional en construcción naval.
- Análisis estadísticos sobre los datos históricos facilitados por Navantia tanto en corte de chapas como en corte de tubos que han permitido estimar la capacidad de los procesos.
- Formulación un modelo de simulación sobre las dimensiones de chapas y posibles estados fuera de control, analizando las dimensiones críticas a controlar y la tasa de detección de situaciones fuera de control, tanto desde un punto de vista unidimensional como multidimensional.
- Diseño e implementación de algoritmos de estimación del perímetro de secciones aproximadamente circulares (por ejemplo, tubos) a partir de la estimación tipo núcleo teniendo en cuenta el ángulo y la distancia al centro y, posterior implementación en software R y en Excel.
- Análisis de capacidad de procesos de corte a través del cálculo de los índices de capacidad más usuales.
- Análisis del estado del arte actual en tecnologías de medición, presentando una panorámica sobre las técnicas y tecnologías de visión artificial con posible aplicación a la detección de defectos y al control dimensional.

- Diseñado de una aplicación sencilla para la introducción manual de los datos de dimensiones de planchas y una herramienta para validación de las mediciones.
- Revisión crítica del de software, libre y comercial, para realizar análisis básicos de estadística y de control de la calidad en Navantia.
- Formulación de un modelo matemático para el inicio de enhebrado en el proceso de construcción naval y diseño e implementación de un algoritmo de simulación Monte Carlo para aproximar la probabilidad de enhebrado en función de los parámetros habituales en construcción naval.

La repercusión de los resultados en los procesos de Navantia se refleja en lo siguiente:

- Identificación de procesos y componentes críticos para la fabricación susceptibles de monitorización
- Propuesta de un sistema piloto para la adquisición de datos dimensionales a partir de tecnologías de medición basados en cámaras.
- Desarrollo de una herramienta para detectar posibles errores de medición que indique en qué condiciones debe confirmarse una medida.
- Determinación de los factores críticos a la hora de maximizar la probabilidad de enhebrado en construcción naval.

2.7. INFORMACIÓN EN PLANTA Y REALIDAD AUMENTADA

El objetivo principal de la línea fue **optimizar los procesos productivos internos de Navantia en base a la modernización de las interfaces de acceso a sus sistemas de información y comunicaciones**. La línea contempló el uso de soluciones innovadoras para la total integración de los sistemas de información con la operativa en planta, así como la integración de dispositivos inteligentes en el equipamiento personal de los operarios. El objetivo de esta línea constituye, a día de hoy, un tema de alto interés para Navantia.

Dentro de los resultados alcanzados en esta actuación (todos llevados a cabo de forma práctica en las instalaciones de Navantia) destacan:

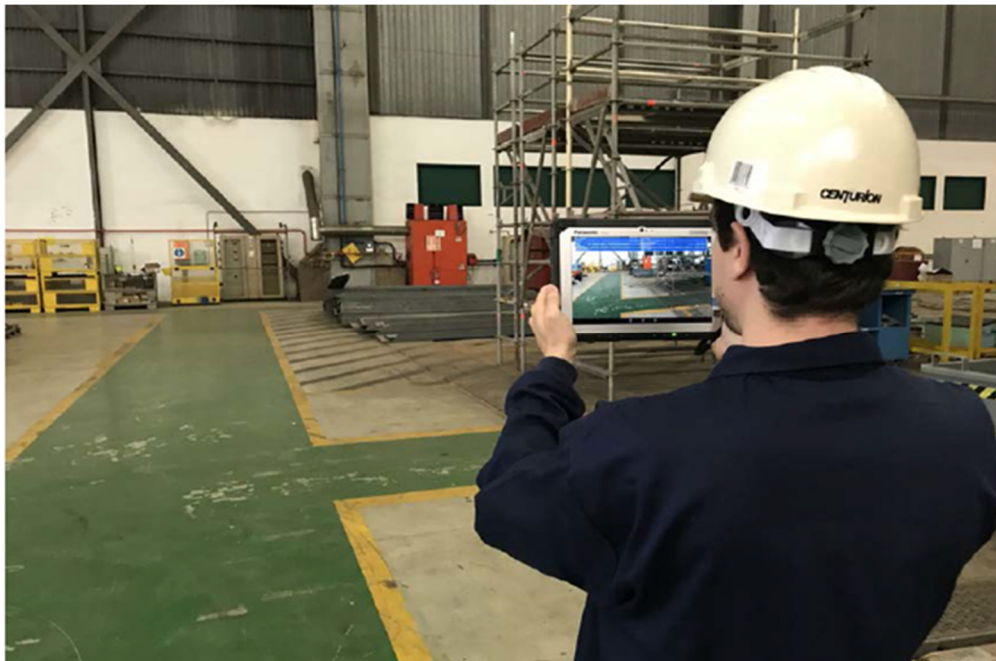
- El diseño, desarrollo y despliegue de un piloto de MES (Manufacturing Execution System) en el Taller de Tuberías, en colaboración con la empresa Siemens. Incluyendo además la integración del MES con la actuación de AutoID de Tuberías. Como resultado de este trabajo, la empresa decidió implementar un sistema MES en la arquitectura digital de todos los centros.

Navantia				Trabajos de Fabricación		admin
Estado	Nº de OdF	Marca tubo	Copic	Suboper...	Estado	
EN CURSO	10002994		0541BG04243UB01F	0541BG04243UB01F	Extrusionado	EN CURSO
PALET NO DISP...	10002996		0541BG04641UB01F	0541BG04641UB01F	Afaldillado	EN CURSO
					Soldadura fuerte ca...	EN CURSO
					Mecanizado	EN CURSO

Iniciar Pausar Finalizar Fin. y sig. Car. calidad NCs Detalles Loc. Iniciar Pausar Finalizar Fin. y sig.

Integración del MES con el sistema de AutoID

- Pruebas y desarrollos varios con Realidad Aumentada. Empleando tanto tablets como gafas de RA (Epson y Hololens). Los resultados obtenidos, especialmente en la integración de la actuación de AutoID de Tuberías con RA, han demostrado que no nos encontramos frente a una tecnología futurista, sino frente a una realidad que facilita el trabajo al operario y mejora la productividad en la planta.
- Evaluación práctica de múltiple hardware para futuras aplicaciones de Información en Planta, incluyendo el uso de interfaces avanzados hombre-máquina mediante Leap Motion, Kinect o visores HMD.



Pruebas de RA en el taller



Localización de productos en el taller usando el sistema de RA.

2.8. SISTEMA INTEGRAL DE GESTIÓN DE LA INFORMACIÓN. INDUSTRIAL INTERNET OF THINGS.

Inicialmente esta línea se denominó Sistema Integral de Gestión de la Información y nació con el objetivo de integrar la información existente en Navantia respecto a los procesos, tareas, logística y recursos implicados en el proceso de producción.

Por tanto, se comenzó por el análisis de las fuentes de información existentes y características de importación/exportación del software y herramientas utilizadas. Así mismo, se evaluó el volumen de datos (actuales e históricos) con el que se tendría que trabajar.

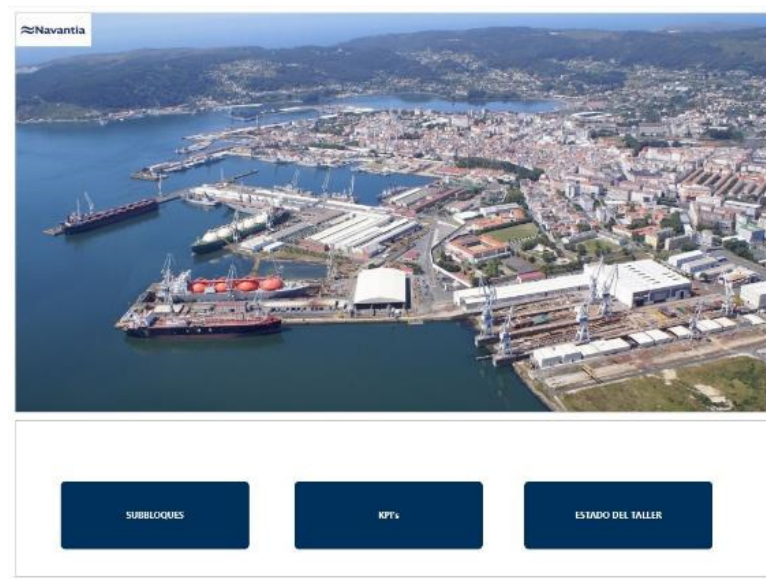
En este proceso de análisis se constató que Navantia empleaba diferentes softwares de gestión (PLM y ERP), software de diseño (CAD) y herramientas (bases de datos, hojas de cálculo con Visual Basic, etc.) desarrolladas ad-hoc para su uso específico en cada taller. Además, el astillero se encontraba en plena fase de migración de su software de gestión Nécor@ (de desarrollo propio) a un ERP comercial (SAP).



Esquema de análisis de los sistemas de Navantia y planteamiento de aplicación de IoT

Ante esta situación se optó por investigar la aplicabilidad de una tecnología emergente como es el Internet de las cosas (IoT), ya que podía dar respuesta tanto a los problemas de escasa conectividad entre sistemas de información, como a los problemas de adquisición

de datos y su gestión. Se planteó realizar pruebas de concepto mediante el desarrollo de un piloto en un taller, con alguna plataforma de IoT. De entre las plataformas estudiadas se seleccionó la plataforma de PTC, ThingWorx, por estar bien posicionada en el mercado y por ser de PTC el PLM (Windchill) que usa Navantia.



Pantallazo de la aplicación de IIoT desarrollada en la UMI

La aplicación piloto desarrollada permite llevar a cabo de forma sencilla la integración de la información correspondiente a Órdenes de Fabricación pendientes de realizar en el taller (a través de la conexión con SAP), y la visualización de los elementos a montar en 2D y 3D (a través de la conexión con Windchill y CreoView).

2.9. TRAZABILIDAD / AUTO ID TUBERÍAS

El objetivo principal de esta actuación fue **la optimización de la trazabilidad, identificación y localización de los tubos, desde su producción y durante toda su vida útil**. Además, el control de la trazabilidad sigue siendo un tema de alto interés para Navantia.

Con esta actuación se ha pretendido incorporar el uso de 'productos inteligentes conectados' en el astillero. Dichos productos 'hablan' con el sistema de información para, por ejemplo, decirle en qué fase del proceso de fabricación se encuentran, la traza de proceso que han llevado, máquinas y operarios que los han ejecutado, el final del proceso...

A partir de esta información, el sistema puede desencadenar, de forma automática, las tareas administrativas relativas al alta del producto en inventario, al consumo de materiales, al registro de horas etc

El producto seleccionado para iniciar esta línea de investigación fue el tubo, por ser un producto significativo en número en el buque (entre 10.000 y 15.000), por su variada tipología, y también, porque durante el proceso de fabricación sufren operaciones muy agresivas como tratamientos con ácidos o galvanizado, que pusieron a prueba la tecnología empleada para su identificación.



Sistema de Auto-ID embebido en el MES Simantic IT de Siemens

El éxito del trabajo conseguido en esta línea se refleja claramente en la tecnología desarrollada, TagWAN: DISPOSITIVO PARA OBTENER LA POSICIÓN DE UN PRODUCTO A LO LARGO DE UNA CADENA DE SUMINISTRO DE LA INDUSTRIA NAVAL, de la que se ha presentado patente recientemente.

Este sistema de localización tiene como principal objetivo la obtención de la posición con precisión de metros de cualquier elemento de la cadena de suministro de la industria naval. Igualmente, el sistema ofrece la posibilidad de consultar y explotar los datos históricos de posicionamiento recolectados. Todo ello con un encapsulado embebido que permite adherirlo con facilidad a un producto, además de un funcionamiento totalmente inalámbrico.

Como resultado de lo anteriormente expuesto, Navantia ha decidido instalar versiones personalizadas del sistema TagWAN en sus astilleros de Ferrol, Cádiz, San Fernando y Puerto Real.



Sistema de visualización TagWAN

2.10. PROYECTO "SIN CABLES"

Esta doble actuación nació a mediados de 2016, con el objetivo de suponer una "revolución" en el programa español más avanzado en el mundo de la Defensa para la segunda década del siglo (fragata F-110). La revolución pasaba por encontrar la forma de reducir drásticamente (del orden del 25%) el volumen de cableado de un buque militar, que según su tamaño y complejidad puede tener, en la actualidad, entre 450 km y 1000 km de cables instalados.

La actuación del "proyecto buque sin cables" nació, por tanto, con el objetivo fundamental de reducir significativamente el volumen de cableado del buque manteniendo el cumplimiento de los requisitos, y considerando que los buques 4.0 serán cada vez más inteligentes, con un mayor volumen de datos y con nuevas formas de interactuar con el usuario.

Dentro del proyecto "SinCables" se distinguieron inicialmente dos líneas de trabajo, una relativa a la mejora y optimización del sistema eléctrico del buque, y una segunda orientada a las comunicaciones de datos y sus servicios asociados. En ambas soluciones se contó con la experiencia de la Universidad de Vigo en soluciones eléctricas y de telecomunicaciones en los productos actuales de Navantia:

- SISTEMA ELÉCTRICO

Esta actuación se centró en el sistema eléctrico del buque, teniendo en consideración que con las nuevas demandas no se puede diseñar los sistemas atendiendo a parámetros y configuraciones del pasado. Por ello, se centró el trabajo en reducir el peso y volumen del cableado eléctrico del buque actuando sobre: la arquitectura de distribución (radial vs zonal), las variables eléctricas (voltaje y frecuencia) y la implementación física (canalizaciones rígidas vs cableado tradicional).

Los logros conseguidos con esta actuación han mostrado la "viabilidad" de incorporar en un producto tecnológico de última generación, como es un buque militar tipo fragata, de 1) topologías de distribución "tipo anillo" en lugar de las tradicionales "radiales", 2) utilización segura de voltajes de media tensión (aprox. 3,3 kV), y 3) utilización masiva de interconexiones "rígidas" en lugar de cableado, lo que permite, durante la construcción del buque, el mismo tratamiento a la distribución eléctrica que a los diversos sistemas de tuberías, pudiendo incorporar todos ellos en las primeras etapas de fabricación de módulos y bloques.

En la etapa de "consolidación" de la UMI "Astillero del Futuro" se diseñará un plan de industrialización de estas soluciones innovadoras para su incorporación a los buques militares de Navantia.

- SISTEMA DE SERVICIOS INTEGRADOS

Para los sistemas distribuidos de datos y comunicaciones, que en un buque militar supone del orden de hasta cuarenta sistemas independientes, la idea "innovadora" y "revolucionaria" consistió en utilizar los actuales puntos de luz del buque (del orden de 2.400 puntos en todos los espacios del buque) para concentrar e integrar dispositivos para el despliegue de múltiples servicios sobre una sola infraestructura. Esta infraestructura común daría soporte y cobertura integral a los servicios de: iluminación, megafonía, conectividad inalámbrica, conectividad, cámaras IP, sistema de entretenimiento y sensorización adicional. Con el paso del tiempo, el nuevo sistema pasó a denominarse Sistema de Servicios Integrados (SSI).

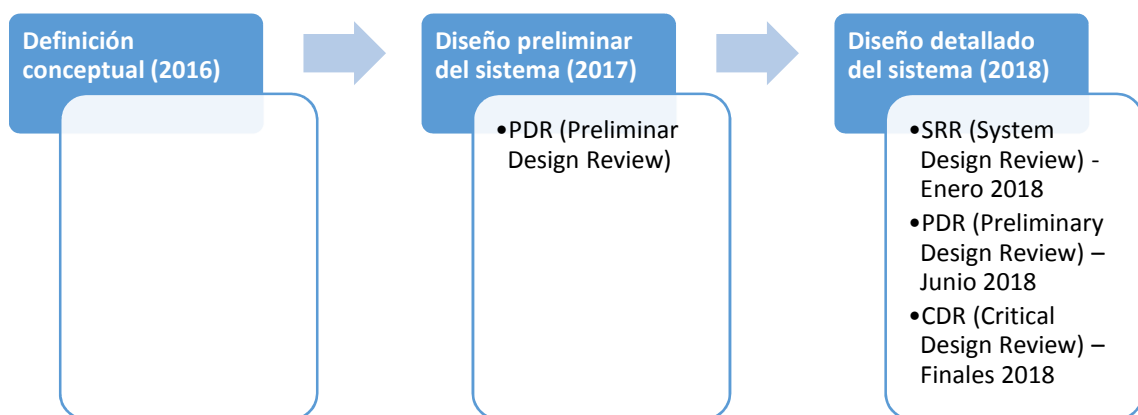
La definición conceptual del sistema se llevó a cabo en el año 2016 y gracias al avance realizado por parte de la UMI, en 2017 ya se contaba con un diseño preliminar del sistema y con la percepción de que la “solución innovadora” creada era viable y podría incorporarse al programa de las nuevas fragatas F-110, constituyendo, además, una de las principales innovaciones del programa español más avanzado en el mundo de la Defensa para la década de los años 20.

Los logros conseguidos con esta actuación radican, por tanto, en haber sido capaces de “idear una nueva y revolucionaria forma” de proporcionar al buque todos sus sistemas de alumbrado, comunicaciones interiores y telefonía, órdenes generales y avisos sonoros, grabación de audio del puente, localización de personal y vigilancia biométrica, monitorización de equipos y sistemas, accesos inalámbrico desde terminales móviles al SICP, SICC y otros servicios IP, sistema CCTV y distribución de video bajo demanda y posibilidad de incorporar funcionalidades asociadas al concepto “buque inteligente”. La “idea” y la “solución” están siendo objeto de patentes y se espera tener presentadas las solicitudes correspondientes antes de finales de octubre de 2018.

La planificación desde la “ideación” hasta la “industrialización” de la solución (con su incorporación al programa de fragatas F-110) ha sido y es como se indica a continuación:

- 1) Definición conceptual de la solución, en 2016 (realizado completamente dentro de la UMI).
- 2) Diseño Preliminar del SSI (prototipo), en 2017 (realizado completamente dentro de la UMI).
- 3) Diseño de Detalle del SSI (prototipo) a lo largo de 2018 (realizado parcialmente dentro de la UMI y complementado con un proyecto de I+D+i interno de Navantia). El Diseño de Detalle está llevándose a cabo conforme a la Metodología internacional de Ingeniería de Sistemas, propia del desarrollo de sistemas complejos del mundo de la Defensa, con los siguientes hitos:
 - a. System Design Review (SDR), en enero 2018
 - b. Preliminary Design Review (PDR), en junio 2018
 - c. Prototipos funcionales operativos (PFOs), en cuarto trimestre 2018
 - d. Critical Design Review (CDR), en cuarto trimestre 2018

Todas estas actividades forman parte, por tanto de la actuación cubierta por la UMI actual, tal como se muestra en la figura adjunta.



Proceso de Diseño del SSI

Las siguientes fases, que se muestran a continuación, formarán ya parte de la “consolidación de la UMI “Astillero del Futuro”.

- e. Prototipos de pre-fabricación operativos en segundo semestre de 2019
- f. Fabricación de primeras unidades operativas en primer trimestre de 2020
- g. Certificación de unidades en segundo semestre de 2020.

4) A lo largo del presente año 2018 se ha realizado el diseño detallado del sistema por parte del Departamento de Ingeniería de Sistemas de Navantia, y en el que la UMI ha servido como apoyo técnico en todo momento.

Esta actuación muestra el difícil camino necesario para pasar de la “ideación” de un posible concepto innovador a una solución “industrializada y certificada” para poder ser incorporada a un producto industrial muy avanzado (buque militar) y al tiempo demuestra que el modelo de colaboración entre una gran empresa tractora y dos universidades (gallegas) puede ser ejemplo de la “innovación” en España.

Finalmente, y dado que la aplicación de esta solución “innovadora” es universal y no solo limitada al sector naval, la nueva tecnología podrá ser reconocida como “made in Galicia” y llevada a todos los sectores industriales de fabricación inteligente.

Uno de los principales logros de esta línea es la próxima presentación de una patente (está en fase de preparación) para un Sistema de Servicios de Comunicación Integrados a través de un Punto de Luz:

Este sistema concentra e integra dispositivos (luminarias, sensores, actuadores, etc.) Para el despliegue de múltiples servicios sobre una sola infraestructura, reduciendo de forma significativa el cableado.

El dispositivo resultante se llama nodo (principal y auxiliar) e integra los siguientes tecnologías y servicios: iluminación led, tecnología poe, puntos de acceso wifi y bluetooth, servicios de audio, servicios de vídeo, sensores de temperatura, humedad, etc. Y tolerancia a fallos de alimentación.

2.11. SISTEMAS AUTO-RECONFIGURABLES

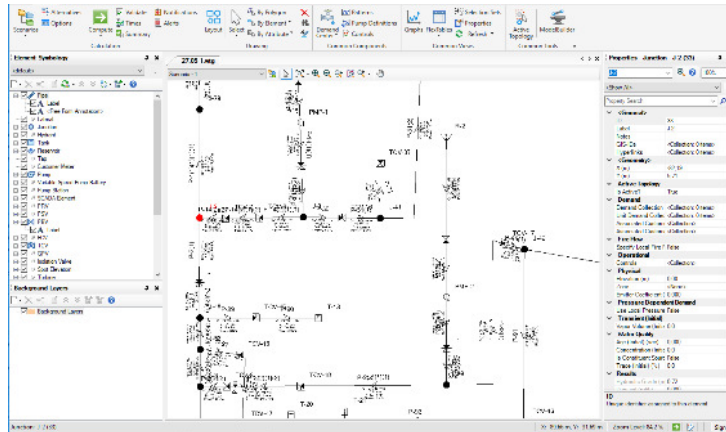
A día de hoy en los buques militares (ni en la Armada Española ni en ninguna de las marinas del mundo) no existe ningún tipo de automatización en la doctrina de control de averías, y mucho menos un sistema que incorpore un sistema basado en Inteligencia Artificial, como es el caso que se planteó en esta actuación.

El principal objetivo de esta línea fue desarrollar una metodología de diseño y de control de operación para los sistemas de contraincendios por agua salada (CI) y agua refrigerada (AR), de tal modo que permitiese la reconfiguración automática de los mismos para adaptarse a los posibles fallos del sistema, incorporando sistemas específicos de simulación que permiten predecir el comportamiento del sistema.

Esta nueva metodología permitirá, a partir de los sistemas ya desarrollados, optimizar su comportamiento mediante la incorporación de los sensores y medios de seccionamiento necesarios para que, mediante los criterios y reglas de decisión adecuados, se reconfiguren automáticamente de forma adecuada para contener la avería afectando a la menor porción del sistema posible, limitar el daño, y mantener la operatividad del resto del sistema.

Los resultados alcanzados, en este desarrollo inicial, se resumen en:

- **Desarrollo de una estrategia de control del sistema reconfigurable.** Se llevó a cabo la identificación de los posibles modos de fallo del sistema, así como la definición de acciones correctivas mediante el desarrollo de un Sistema Experto para el sistema de CI, de cara a dar respuesta a los posibles casos de fallo.
- **Desarrollo de un modelo basado en IA para la detección de fallos** que permite, a partir de las medidas de la red de sensores, determinar la presencia de una avería y diferenciarlo de la operación normal.

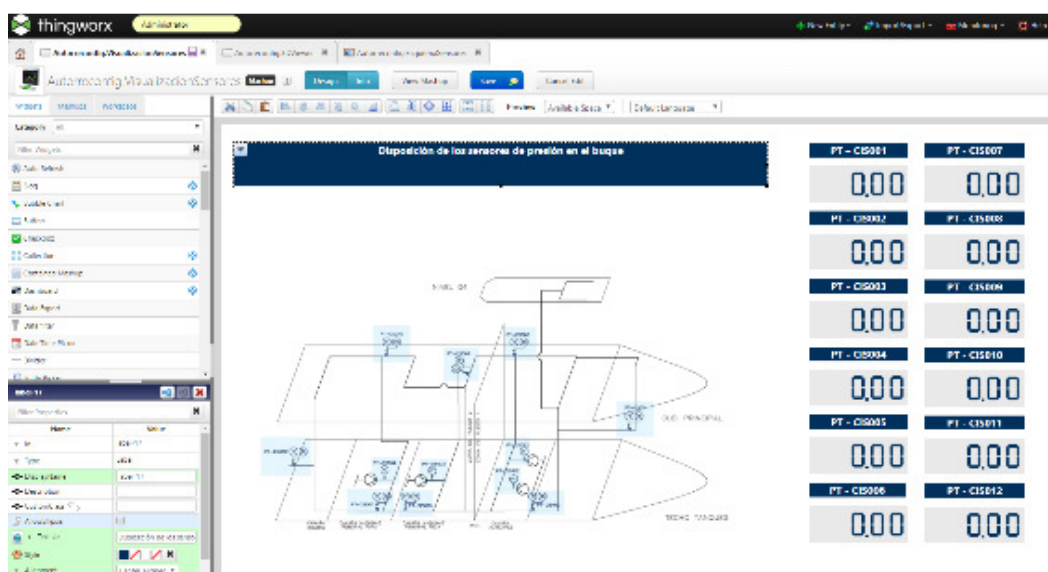


Simulaciones del sistema CI llevadas a cabo con el Software Watercad

Estos desarrollos se están completando/validando mediante la realización de pruebas a bordo del buque usado como caso de uso.

En la actualidad se está llevando a cabo la implementación del sistema en una plataforma de IoT/Gemelo Digital (interconexión con la línea de IoT de la actual UMI y con la futura línea de gemelo digital), de cara a conseguir lo siguiente, en un mismo entorno:

- Visualizar el modelo 3D del sistema
- Visualizar los datos de los sensores de presión sobre el modelo 3D
- Crear Ventana de alerta, en caso de datos de presión anómalos, donde indique qué válvulas se deben de cerrar



Visualización de los datos recogidos en los sensores en Thingworx

2.12. UTILIZACIÓN DE ADHESIVOS EN LA CONSTRUCCIÓN NAVAL.

El objetivo de la actuación fue conocer la situación y las posibilidades en cuanto a la utilización de los adhesivos en la construcción naval, con el fin de maximizar el uso de esta nueva tecnología en el desarrollo de la futura F-110.

Dentro de la línea de actuación se organizaron reuniones con diferentes fabricantes de adhesivos que disponían de productos de aplicación en el sector naval, con el propósito de averiguar qué productos y en qué tipo de aplicaciones se están utilizando actualmente en otros astilleros. Además, se contactó con Sociedades de Clasificación para obtener información de casos concretos en los que ya se están utilizando los adhesivos en algún astillero, y que, por tanto, dispongan de una aprobación por parte de las mismas. La información obtenida serviría de base a la hora de seleccionar aplicaciones potenciales.

Posteriormente, se impulsó un modelo colaborativo basado en un grupo multidisciplinar en el que participaron una Sociedad de Clasificación (Bureau Veritas), la UMI (Navantia y la UDC) y varios fabricantes de adhesivos con el fin de estudiar de forma individualizada una serie de aplicaciones representativas tipo, escogidas de acuerdo con los intereses del sistema de producción de Navantia .

Los logros conseguidos dentro de la iniciativa de Adhesivos en la primera fase de la UMI fueron:

- Establecer el modelo de pruebas mecánicas necesarias para la validación por la Sociedad de Clasificación (S de C).
- Compromiso del fabricante del adhesivo seleccionado para su homologación ante la S de C.
- Definición de la geometría de las uniones.
- Realización de pruebas para la selección del adhesivo y elección del mismo.

El impacto en NAVANTIA de la utilización de las uniones adhesivas en el buque es la eliminación de las soldaduras en el estado final de la construcción que provocan daños en la obra ya realizada de gran impacto industrial y por lo tanto económico, así como retrasos no deseados.

Una vez consolidado el uso de las uniones adhesivas podría considerarse la utilización de las mismas como primera opción durante la construcción.

2.13. PROYECTO CIBERSEGURIDAD

La incorporación de nuevos sistemas y tecnologías orientados al desarrollo de buques de nueva generación (Astillero 4.0) plantea múltiples retos relacionados con la seguridad de la información. La actuación de "Ciberseguridad" nace con el objetivo de conocer el estado actual de los sistemas de información y las tecnologías existentes relacionadas con su protección, en todos los procesos relacionados con la construcción de barcos.

Para ello se llevó a cabo una Auditoría de Seguridad y un Análisis de Riesgos, con el objetivo de encontrar en qué áreas y mediante la realización de qué proyectos concretos se pueden transferir los conocimientos de la UDC a Navantia.

La actuación centrada en Ciberseguridad desarrollada durante unos meses en esta primera fase de la UMI, permitió:

- La familiarización con la infraestructura de sistemas y comunicaciones de la organización del Astillero, así como con su modo de trabajo.
- La identificación de futuras líneas de trabajo orientadas a investigación de:
 - Detección de anomalías en base a telemetría de sistemas y equipos de red y Análisis de flujos de información
 - Predicción de tráfico
 - Análisis pasivo
 - Seguridad aplicada al ámbito específico de IoT

2.14. OPERACIÓN DE UAV'S EN ESPACIOS EXTERIORES Y CONFINADOS

El uso de estructuras auxiliares para la inspección de espacios confinados tales como los tanques de carga o de lastre de buques introduce en el proceso de la inspección tiempos de montaje/desmontaje de las estructuras que son comparables, o incluso superiores, al de la inspección en sí misma. Además, su uso añade a la inspección costes directos e indirectos que son una parte significativa del importe total.

Las innovaciones producidas en campos como el de los UAV (Unmanned Aerial Vehicles), la inspección utilizando tecnologías EMAT (Electro-Magnetic Acoustic Transducer), el posicionamiento mediante UWB (Ultra Wide Band), la fusión de datos de sensores de naturaleza diversa y el uso de algoritmos cognitivos posibilita plantear la posibilidad de generar un nuevo proceso de inspección para espacios confinados metálicos que puedan prescindir de cualquier estructura auxiliar de soporte, mejorando considerablemente el tiempo total de la inspección y su coste.

En esta línea de investigación se están abordando cada una de estas tecnologías incipientes, para adaptarlas al uso que se pretende, y se han conseguido avances importantes en algunas de ellas, como se expone a continuación:

- Para este proyecto se ha seleccionado un octocóptero comercial con suficiente capacidad para portar los sensores y equipamiento necesarios, y se ha adaptado de modo que puede ser plegado para su acceso al interior de los espacios confinados, y de forma que permita operar a muy poca distancia de las paredes, e incluso fijarse a ellas para la inspección, de forma autónoma.
- Para la inspección de las paredes metálicas se utilizan habitualmente palpadores de ultrasonidos,. Este tipo de operación no puede ser realizada en la solución propuesta, de modo que se han buscado soluciones alternativas, y se ha seleccionado la tecnología EMAT. Los sensores EMAT también están basados en el tiempo de vuelo de una señal de ultrasonidos, pero no requieren contacto ni preparación previa de la superficie que se está midiendo, ni el uso de sustancias acoplantes.
- En espacios confinados metálicos las señales magnéticas y electromagnéticas externas como el GPS o el campo magnético terrestre no pueden ser utilizadas para la estimación de la posición y la orientación del UAV,. En el desarrollo de esta línea de investigación se han buscado alternativas, y en este momento se están probando soluciones basadas en la tecnología UWB, que complementen las señales inerciales de una IMU a bordo del UAV. Las pruebas en interiores no totalmente metálicos han resultado un éxito. Las pruebas en interiores totalmente metálicos serán realizadas inmediatamente. Asimismo, han sido realizadas una batería de

pruebas en espacios confinados metálicos, en el interior de buques, para comprobar la degradación sufrida por las diferentes señales electromagnéticas y magnéticas que se pretende utilizar, en diferentes bandas del espacio de frecuencia con diferentes intensidades y tipos de modulación.

- Donde antes la inspección era realizada por operadores humanos, tendrá que ser realizada ahora mediante un robot que, aunque por razones de seguridad debe tener la posibilidad de ser manejado remotamente, necesitará de un elevado grado de autonomía. Para avanzar en este sentido y tras una fase de investigación del estado del arte en las diferentes formas de control con comportamientos autónomos o semiautónomos, se ha decidido adoptar una estructura de control basada en plataformas de control de hardware y software, soluciones de electrónicas propietarias y desarrolladas específicamente para comunicarse con el hardware específico de la misión (EMAT, UWB) y un sistema de procesamiento central. Se han realizado pruebas, en laboratorio, en exteriores y en el interior de tanques y otros espacios confinados metálicos, y esta estrategia de control ha probado ser fiable y flexible.

En resumen, y teniendo en cuenta que esta línea comenzó en febrero de 2017, los avances conseguidos hasta el momento son importantes, y las incertidumbres iniciales se han reducido y acotado, de forma que la solución final parece ahora alcanzable. En este sentido, y siguiendo la planificación original, se prevé la finalización de un prototipo funcional a finales de octubre de 2018, que servirá como prueba de concepto de la solución.



Vehículo de servicio

Navantia realizó una exhibición con el vehículo desarrollado en el hangar del buque de aprovisionamiento en combate Cantabria. El dron realiza un mapeo del lugar en donde se encuentra, rastreando fácilmente lugares poco accesibles, y envía los datos recogidos a un ordenador. Así pueden detectarse defectos estructurales como corrosiones o fisuras. Se puede ver un vídeo en el siguiente enlace: <https://www.youtube.com/watch?v=HU-bv0IG4dM>



Vuelo de prueba en el buque Cantabria

Además, se está llevando a cabo la preparación de una posible patente sobre un sistema UAV para operar en entornos confinados metálicos: Se trata de un aparato para la inspección de superficies metálicas con un grado de autonomía que le permite prescindir de andamios u otras estructuras de soporte, y adaptado para trabajar en entornos metálicos exteriores o interiores, incluso en el interior de espacios confinados totalmente metálicos. Su funcionamiento se basa en la combinación de una estructura multi-rotor que proporciona la movilidad necesaria para acceder a los lugares de inspección sin ayuda de andamios o aparatos accesorios, un equipo de medida de espesores en metales que utiliza el tiempo de vuelo de señales de ultrasonidos y una combinación de sensores y algoritmos que permiten al aparato operar en los entornos descritos.

3. TRABAJO FUTURO. ENFOQUE Y OBJETIVOS PARA LA ETAPA DE CONSOLIDACIÓN

Como se explica en el punto 1 de este artículo, la duración de la UMI era de tres años, finalizando en octubre de 2018 y pudiendo ser prorrogable. De acuerdo con lo anterior y a la vista de los resultados logrados en el período 2015-18, la empresa decidió, ya en 2017, la conveniencia de solicitar la “consolidación de la UMI “el Astillero del Futuro” por otros tres años (2018-2021).

De acuerdo con ello, la UDC y Navantia solicitaron a la Xunta de Galicia/GAIN la extensión de la UMI por otros tres años, estando esta solicitud pendiente de aprobación en estos momentos por parte de la administración gallega. En este punto del artículo se muestra el contenido previsto a desarrollar en la nueva UMI, a partir de octubre de 2018.

Para esta nueva etapa de la UMI y teniendo en cuenta que Navantia está poniendo en marcha un Plan de Transformación Digital (PTD) en 2018, que abarca el período comprendido desde 2018 hasta 2025 y donde se describen las líneas de actuación necesarias para alcanzar la digitalización y el concepto de “Astillero 4.0”, el objetivo principal de la consolidación de la UMI será colaborar con las iniciativas surgidas del PTD. Estas iniciativas son, en algunos casos, una continuidad lógica de las líneas iniciadas en la UMI en la etapa anterior, como es el caso de Productos inteligentes, Fábrica Inteligente u Operaciones 4.0.

Otro de los objetivos de la fase de consolidación de la UMI será el de dar apoyo a la definición de la nueva planta del astillero de Ferrol. Los modelos de simulación de planta y procesos, desarrollados en la primera etapa de la UMI, constituyen una herramienta eficaz en la toma de decisiones sobre la nueva planta del astillero de Ferrol.

En la etapa de creación de la UMI se iniciaron 15 actuaciones distintas, de las cuales se dará continuación a 12 de ellas y se incluirán dos nuevas. Dentro de cada línea existen una serie de objetivos específicos que se describen a continuación:

3.1. MODELADO Y SIMULACIÓN DE PROCESOS DEL ASTILLERO

Esta línea fue de las primeras en ponerse en marcha con el objetivo de desarrollar un modelo de simulación del astillero de Ferrol. En la consolidación se propone ampliar y mejorar los modelos ya realizados y afrontar nuevos retos dentro de este campo.

El objetivo principal de la línea consistirá en la modelación del astillero del futuro en las instalaciones de la ría de Ferrol. Se construirá, mediante el software de simulación de eventos discretos FlexSim, un modelo virtual de astillero. Este modelo estará enfocado a definir la mejor distribución en planta para la fabricación, durante los próximos años, de 5 fragatas tipo F-110. Así mismo, se podrá obtener una planificación optimizada de todas las operaciones, de manera que se minimice el intervalo de fabricación de la fragata (makespan). Después de los amplios conocimientos adquiridos durante los tres primeros años de vigencia de esta UMI y, habiendo entendido la profunda complejidad que exige el planteamiento de actualización del astillero, se hace necesaria e imprescindible la creación de este astillero virtual. Se han estudiado diversas fórmulas y opciones por parte de la UMI y de Navantia para encontrar la mejor solución en cuanto a la distribución en planta de un astillero a lo largo del mundo, y nos encontramos con que actualmente no existe una fórmula única y clara que lo defina. Centraremos, por lo tanto, los esfuerzos durante los próximos años en continuar simulando las distintas alternativas y propuestas para la creación de este astillero futuro teniendo en cuenta la carga de trabajo que supone la fabricación de 5 fragatas tipo F-110.

En paralelo se propone trabajar directamente con el equipo de Astillero 4.0 que ha formado Navantia. En este sentido, la línea de Modelado y Simulación servirá como base de pruebas de todas las propuestas planteadas por este equipo en los diferentes talleres, en cuanto a los procesos y productos a fabricar. Durante la última fase de la primera etapa de la UMI ya se ha comprobado la eficiencia de esta sinergia, y se considera como un pilar fundamental en la etapa de consolidación. La creación por parte de Navantia del equipo 4.0 es una muestra de la implicación real de Navantia, y ha supuesto un impulso importante al área de Modelado y Simulación que esta empresa considera vital.

Como complemento a lo anterior, los otros objetivos de la línea son:

- *Colaboración con y propuestas de otras líneas:*
- *Búsqueda de planificaciones:*
- *Mejora de la fabricación por tipología:*
- *Mejora continua de los modelos de simulación:*
- *Integración del modelo de simulación con el ERP de Navantia:*
- *Difusión científica y formación:*
- *Obtención del Digital Twin del astillero y del Digital Twin del proceso:*

3.2. OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS

Como continuación a la línea de trabajos iniciada en el periodo anterior, se propone desarrollar los siguientes objetivos bajo el enfoque de transversalizar conocimientos de la automoción:

- Estudio analítico de los tamaños y tipo de lote, flujos principales y rutas de transporte.
- Conceptualización de soluciones tecnológicas para el empleo de AGVs.
- Definición de especificaciones para su implantación.

El objetivo principal que se persigue durante este periodo es profundizar en el modelo logístico de la automoción y otros sectores industriales, identificando las mejores prácticas y evaluando la traducción al modelo logístico de la construcción naval.

Como materialización física de este modelo logístico, se propone el desarrollo de un caso de uso de AGVs ya que la propia evaluación, definición del concepto y prueba de uso de esta solución tecnológica implica:

- Definición de los mapas de flujo de los procesos e identificación de unidades de flujo.
- Definición de lotes clave que sincronizan el flujo de los procesos de producción. Relaciones internas – externas.
- Definición de rutas, puntos de origen y de destino, modelo de puesta a disposición del material en los puntos de consumo Interacción con los sistemas de información y modelos de planificación y programación.

Culminar con la aplicación de una solución tecnológica tipo AGV se entiende como un tractor para la definición de un modelo logístico que sincronice las operaciones de la planta.

Es importante destacar los principales factores de originalidad asociados a esta línea de investigación, y que son:

- Aproximación estructurada al análisis comparativo de los modelos logísticos de la construcción naval y la automoción u otros sectores industriales.
- Transversalización de conocimientos y soluciones tecnológicas entre la construcción naval y la automoción.
- Desarrollo de aplicación física de la tecnología como resultado del desarrollo estructurado de un modelo logístico que recoge las mejores prácticas de la industria de la automoción y las traduce a la construcción naval.

3.3. INDUSTRIAL INTERNET OF THINGS

El objetivo general sigue siendo el de aplicar las tecnologías IoT, consiguiendo una fabricación conectada, que permita mejorar la eficiencia de los procesos industriales, reducir los tiempos de espera entre procesos, etc. La idea es compartir la información generada a lo largo del proceso y almacenada en el sistema, para crear un entorno colaborativo donde diferentes líneas de fabricación puedan sincronizarse para una optimización global del proceso constructivo.

Esta propuesta se basa en la aplicación de plataformas IoT en un entorno poco digitalizado y sensorizado como es un astillero en su cadena productiva, y donde no existen precedentes de uso o viabilidad de estas plataformas.

La calidad de la propuesta se aprecia en el desarrollo de pruebas de concepto de diferentes plataformas, que permiten evaluar las funcionalidades requeridas por el proceso y los requerimientos exigibles a dichas plataformas. Estas pruebas de concepto resultan indispensables debido a que no se tiene ningún referente en el sector de su aplicación.

Enmarcados en el objetivo general, se plantean objetivos específicos para la etapa de continuidad de la UMI. Estos objetivos son:

- Extender el piloto realizado en el taller de Prearmamento a toda la cadena logística interna y externa de Navantia.
- Realizar la integración de los desarrollos realizados con otras iniciativas de la UMI.
- Colaborar en las pruebas piloto de gemelo digital de planta, proceso y producto.
- Realizar pruebas de concepto con otras plataformas de IoT.

3.4. INFORMACIÓN EN PLANTA Y REALIDAD AUMENTADA

La línea de actuación de Información en Planta y Realidad Aumentada tiene como objetivo la modernización de los sistemas de información y comunicaciones necesarios tanto en el astillero como en el buque. Para tal fin, la línea analizará, planteará y evaluará soluciones innovadoras mediante desarrollos concretos que posteriormente puedan servir de base para su paso a producción.

Dentro de esta iniciativa se estudiará la utilización de:

- Tecnologías de interacción basadas en realidad aumentada.
- Tecnologías que faciliten la interacción con sistemas de información de tipo MES (*Manufacturing Execution Systems*) en entornos industriales 4.0.
- Tecnologías de comunicación que permitan dar soporte de datos adecuado a los sistemas de interacción tratados en la línea (e.g., gafas de realidad aumentada o *tablets*).

Las soluciones propuestas se aplicarán en una o varias de las fases del proceso productivo del astillero y de la vida útil del buque, incluyendo:

- Visualización aumentada e interacción dinámica in-situ (i.e., corrección y notificación de cambios) de la información de diseño relevante.
- Formación de los operarios en la utilización de maquinaria compleja.
- Facilitación de los procesos de control de calidad y su notificación en tiempo real al sistema de información.
- Control automatizado de las notificaciones y resoluciones de incidencias.
- Interacción asistida en procesos complejos (e.g., mantenimiento de instalaciones y operación de máquinas sofisticadas) y en condiciones desfavorables (e.g., utilización de guantes o imposibilidad de lectura por exceso de brillo).
- Introducción de mecanismos automáticos para la medición de la productividad y para una mejor estimación de costes y recursos.

3.5. AUTO-ID PRODUCTOS INTELIGENTES

La evolución de la línea ha derivado en ampliarla desde la idea inicial de tubos inteligentes a una concepción más amplia que incluye la trazabilidad y monitorización de todos los activos que se consideran críticos para la actividad diaria de Navantia, dando lugar a una línea de actuación más ambiciosa: “Auto-ID de Productos inteligentes”.

La línea de actuación re versionada tiene como objetivo llevar a cabo la trazabilidad y monitorización de distintos elementos críticos del astillero, incluidos los productos finales o intermedios. Para tal fin, la línea, en el período 2018-2021, analizará, planteará y evaluará soluciones innovadoras mediante pilotos concretos que posteriormente puedan servir de base para una implantación a gran escala. Dentro de esta iniciativa se estudiará la utilización de:

- Nuevas tecnologías de Auto-ID para entornos industriales 4.0.
- Algoritmos avanzados de posicionamiento en interiores y exteriores.
- Sistemas de Auto-ID de largo alcance (tipo WAN) y bajo consumo.
- La aplicación de los sistemas de Auto-ID a diversos productos inteligentes y objetos de distinta naturaleza.
- La aplicación de tecnologías de Auto-ID para facilitar la interacción de los operarios y para la prevención de riesgos laborales.
- Módulos software para la automatización inteligente de robots y maquinaria en función de la posición de los objetos y su contexto.
- La incorporación de la detección inteligente y notificación de eventos relevantes a efectos de productividad.
- Nuevas arquitecturas de Auto-ID para la reducción de costes y aumento de la precisión en la localización.

Las soluciones propuestas se aplicarán en una o varias de las fases del proceso productivo del astillero y de la vida útil del buque, dando prioridad al uso de la tecnología en los productos y las personas. Respecto a las personas, se distinguirá entre la aplicación de las tecnologías en dos ámbitos diferenciados: lo relacionado con la seguridad y la salud laboral, y con la facilitación de la realización de tareas específicas. Los pilotos propuestos mantienen por tanto ese enfoque a personas y productos, permitiendo:

- La visualización e interacción dinámica in-situ de la información y eventos destacados de un taller.
- La automatización de tareas rutinarias que impliquen la interacción de los operarios con maquinaria compleja.
- La facilitación de los procesos de control de calidad y su notificación en tiempo real al sistema de información.
- El control automatizado de la notificación y resolución de incidencias.
- La localización rápida de elementos necesarios para la elaboración de los productos, así como de ciertas herramientas.
- La aceleración del proceso de autenticación de los operarios.
- La monitorización y detección de ciertos eventos críticos que impacten en la seguridad de los operarios.

Actualmente no existen soluciones industriales 4.0 que se puedan adaptar al astillero/sector naval. Por ello, será necesario desarrollar pruebas piloto que permitan evaluar las nuevas tecnologías de Auto ID en entornos navales.

La calidad de la propuesta está contrastada a través de la solicitud de patente de la tecnología TagWAN, desarrollada en la etapa de creación de la UMI y que, en la etapa de consolidación, se pretende extender su aplicación a otros productos e instalaciones de Navantia.

3.6. BUQUE SIN CABLES. SISTEMA DE SERVICIOS INTEGRADO

El propósito de esta línea de trabajo es proporcionar una infraestructura común que dé soporte y cobertura integral a los múltiples servicios del buque, reduciendo el volumen de cableado y su coste de instalación asociado. Continuando con el trabajo previo realizado, el objetivo principal será el desarrollo de un demostrador o sistema piloto que permita evaluar la viabilidad de su implantación final en el buque.

El sistema a desarrollar consta de los siguientes elementos:

- Nodos maestros y nodos básicos.
- Terminales de usuario.
- Dispositivos personales de identificación.
- Infraestructura de red.
- Software de control.

Los nodos son unidades físicas inteligentes que integran los diferentes elementos eléctricos y electrónicos que soportan las funciones y comunicaciones con los sistemas y los usuarios del buque. Los nodos maestros y los nodos básicos tienen las mismas funcionalidades operativas, diferenciándose en cómo reciben la alimentación eléctrica: los nodos maestros reciben la alimentación directamente de la red eléctrica del buque, y los nodos básicos reciben la alimentación a través de los nodos maestros utilizando la tecnología PoE (Power over Ethernet).

La implementación de un prototipo de nodo maestro y nodo básico es uno de los objetivos prioritarios de la línea. Es necesario para poder verificar el cumplimiento de los requisitos impuestos al sistema, así como poder validar su capacidad de enrutar el tráfico de las distintas redes troncales del buque manteniendo la calidad de servicio. Además, es necesario comprobar cómo la topología de red seleccionada proporciona alta disponibilidad y tolerancia a fallos.

Los terminales de usuario son dispositivos móviles que actúan como interfaz inalámbrica con el sistema. Permiten el acceso a los servicios ofrecidos por los diferentes sistemas y el control de ciertas funciones del buque en base a un esquema de autenticación diseñado para garantizar la identidad del usuario. Para el demostrador se utilizarán teléfonos móviles o tablets que ejecutarán las aplicaciones desarrolladas para la validación del piloto.

Los dispositivos personales de identificación están destinados a identificar y autenticar al personal del buque en los terminales de usuario para acceder a los servicios del sistema, además de permitir la localización del personal en los compartimentos interiores. El objetivo es que los dispositivos puedan ser portados por el personal en todo momento sin que entorpezca su actividad habitual. Para este demostrador se utilizarán bandas de muñeca o tarjetas inteligentes que implementen los mecanismos de autenticación seleccionados, además de emitir identificadores (UID) de beacons BLE para permitir su localización.

El sistema aquí descrito ofrece una infraestructura que debería ser gestionada y monitorizada por parte del SICP (Sistema Integrado de Control de Plataforma), además de requerir la existencia de ciertos servicios para su correcto funcionamiento. Se implementarán versiones limitadas de estos servicios para poder desarrollar el demostrador y validarlo. Inicialmente, los servicios a implementar serían: aprovisionamiento, autenticación y localización de personal.

Los objetivos específicos de esta línea serán:

- Implementación de un prototipo de nodo maestro y nodo básico, para validar su capacidad de enrutamiento del tráfico de las distintas redes troncales del buque manteniendo la calidad del servicio.
- Evaluación de la ergonomía de los terminales de usuario, ya que deben ser portados por el personal en todo momento sin que entorpezca su actividad habitual.
- Desarrollo de la infraestructura de red.
- Desarrollo del software de control.

3.7. MODELADO Y SIMULACIÓN DE PROCESOS DE EÓLICA

Esta línea nació en la etapa de creación de la UMI con el objetivo de desarrollar un modelo de simulación del proceso de construcción de estructuras flotantes para la eólica marina. En la etapa de consolidación se plantea la depuración del modelo actual, el estudio de escenario y la implantación de resultados y nuevas metodologías diseñadas.

La originalidad de la propuesta se plantea a través de la utilización de técnicas de realidad virtual y realidad aumentada para la visualización de los modelos de simulación, facilitando una mejor interpretación de los resultados.

En esta línea se han establecido diferentes objetivos para los siguientes años:

- *Análisis de inversiones*: los modelos de simulación son de especial ayuda para la toma de decisiones y el estudio de inversiones, ya que permiten analizar la viabilidad e idoneidad de una inversión ante proyectos actuales y futuros.
- *Utilización del Robot FEWIND para el soldeo automático de nudos*: el mercado de la eólica marina exige una continua reducción de costes y la fabricación de estructuras cada vez más esbeltas, motivo por el cual la utilización de Robots es tan importante. Por este motivo, se pretende realizar un modelo comparativo con la utilización de este Robot en el astillero, permitiendo calcular el número de robots necesarios, el periodo de amortización de la inversión, el impacto en los defectos de soldadura, etc.
- *Fines comerciales*: creación de un modelo 3D y librerías propias para el uso del Digital Twin de nuestros modelos con fines comerciales mediante técnicas de RV y RA.
- *Integración con SAP*: actualmente Navantia plantea realizar todas sus planificaciones en SAFRAN a partir de la lectura directa de datos del WBS de SAP. La UMI pretende integrar su modelo DES tridimensional con estas herramientas (mediante Visual Basic Automation) haciendo lo que ellas no pueden hacer: definir planes de mitigación y estrategias de fabricación óptimas a partir de la simulación de escenarios.

- *Soporte a nuevos proyectos*: actualmente Navantia está en la fase de oferta de una serie de nuevos proyectos de eólica marina, donde los cambios continuos de requisito obligan a rehacer determinadas tareas y volver a calcular: recursos necesarios, costes, tiempos, etc. Por esta razón, se pretende utilizar los modelos de simulación de eventos discretos 3D tanto para el cálculo de recursos como para presentar una serie de estrategias constructivas y necesidades a nuestro cliente.
- *Superposición de tareas en nuevos proyectos*: la gestión adecuada de todos los recursos disponibles (limitados) es especialmente importante en este tipo de proyectos. El uso de la simulación en este caso permitirá cuantificar la cantidad de recursos necesarios y la mejor forma de utilizarlos para poder conseguir alcanzar los distintos objetivos establecidos.
- *Integración con SAFRAN*: este software de planificación incorpora funcionalidades como la nivelación de cargas, cálculo del Valor Ganado y análisis de Monte Carlo. La idea es integrarse con SAFRAN para aprovechar y completar con el modelo DES estas nuevas funcionalidades.
- *Difusión científica*: se continuará con la labor de difusión científica de la labor realizada en la UMI mediante la exposición y asistencia a congresos internacionales y ferias del sector, lo que permitirá medir nuestras habilidades con las de otros investigadores y visibilizar internacionalmente nuestra actividad.
- *Implementación de un sistema integrado de gestión de riesgos*: se pretende diseñar una herramienta integrada para la gestión de riesgos en proyectos de eólica marina. En esta línea de la UMI se utilizan en la actualidad técnicas de Montecarlo y de Simulación de Eventos Discretos. Lo que se pretende en este punto es integrar todo en un entorno de VBA para facilitar su uso por parte de Navantia.
- *Mejora del Digital Twin*. En la actualidad la UMI dispone de un modelo 3D no paramétrico que dificulta su visualización con gafas en RA y RV dado su excesivo número de polígonos y la consecuente potencia computacional necesaria para moverlo. Además, este modelo no sirve para ser visualizado desde cerca. La UMI pretende parametrizar este modelo siguiendo las especificaciones de Ingeniería de Producción que podrá utilizar el modelo 3D para la definición de sus estrategias constructivas, logística de movimiento de jackets a zonas de almacenamiento y load-out, etc.

3.8. SISTEMAS AUTO-RECONFIGURABLES

En la consolidación de la UMI se finalizarán los trabajos realizados en la primera etapa de creación y puesta en marcha, así como la orientación de la misma hacia el concepto de Gemelo Digital del producto.

Esta propuesta consiste en implementar un primer sistema que valide el concepto de buque inteligente. Este primer sistema será el de detección de fallos a través de la sensorización de los sistemas críticos del buque y la aplicación de inteligencia artificial para la resolución de incidencias.

Es importante destacar la dificultad existente a la hora de incorporar sistemas de tomas de decisión basados en inteligencia artificial a los diferentes servicios/sistemas del buque. Dicha integración constituye un reto que será necesario desarrollar e implementar para poderlo aplicar en el sector naval y en el buque como producto autónomo inteligente.

En concreto, los objetivos específicos son los siguientes:

- La validación del sistema de detección de fallos desarrollado (fallo frente a funcionamiento normal del sistema) mediante la realización de pruebas a bordo en el sistema CI del buque.
- Con la realización de pruebas reales en el buque será posible llevar a cabo la determinación del número mínimo (y ubicación) de los sensores a emplear en el sistema, que permitan la detección y localización de los fallos en el mismo.
- Finalizar la integración del sistema auto-reconfigurable en una plataforma de IOT. Esta tarea se ha iniciado, empleando la plataforma de PTC, Thingworx.
- Conexión con el modelo 3D del sistema. Que servirá como punto de partida e interconexión de esta actuación con la línea de gemelo digital, que se desarrollará de pleno en la etapa de consolidación de la UMI.
- Estudio de extensión de la metodología y de la aplicación del sistema desarrollado basado en IA al resto de sistemas del buque.

3.9. OPERACIÓN DE UAV'S EN ESPACIOS EXTERIORES Y CONFINADOS

Esta línea comenzó en la UMI del 2015 con el objeto de facilitar las inspecciones técnicas en espacios confinados. Dicha actuación permitió alcanzar el conocimiento suficiente como para plantearse solicitar una patente. La continuación de la UMI pretende aprovechar los conocimientos adquiridos y desarrollarlos para ser utilizados en espacios exteriores e incorporar nuevas funcionalidades sobre el dron”.

La originalidad de la propuesta se fundamenta en el desarrollo de un algoritmo que permita el geo-posicionamiento en interiores en ausencia de GPS y la adaptación, y uso, de sensores con tecnología EMAT.

La calidad de los objetivos es alta ya que el posicionamiento tradicional de exteriores, basado en sistemas GNSS (GPS, Glonass, Bei-Dou, Galileo) no es aplicable en espacios confinados. Por tanto, es necesario utilizar tecnologías, todavía incipientes, y probar su integración en la plataforma y en escenarios reales.

La continuidad de esta actuación se va a centrar en abordar dos aspectos relacionados directamente con la aplicación a la medida de espesores en espacios confinados: el geoposicionamiento en interiores en ausencia de GPS y la adaptación y uso de sensores con tecnología EMAT. Para ello se prevén los siguientes objetivos:

1. Estudiar la viabilidad de otras tecnologías basadas en UWB (Ultra Wide Band). El posicionamiento tradicional de exteriores, basado en sistemas GNSS (GPS, Glonass, Bei-Dou, Galileo) no es aplicable en espacios confinados. Por tanto, es necesario utilizar estas tecnologías, todavía incipientes, y probar su integración en la plataforma y en escenarios reales:
 - a. Integración del sistema UWB (Pozyx) en la plataforma.
 - b. Pruebas del sistema UWB en espacios confinados no metálicos.
 - c. Pruebas definitivas, en espacios confinados metálicos.
2. Adaptar el sensor de espesores para su uso remoto desde la plataforma. En esta fase se utilizará el sensor de Oktanta, y su uso se hará de forma manual por parte del usuario, aunque se integrará en la plataforma de modo que su uso pueda ser automatizado en las fases siguientes:

- a. Integración de sonda EMAT (Oktanta) en la plataforma.
 - b. Instalación de un enlace de vídeo digital adicional para poder realizar inspecciones visuales con buena calidad.
 - c. Pruebas de uso con la sonda EMAT en entornos no metálicos
 - d. Pruebas definitivas, en el entorno final. Realización de pruebas en entornos metálicos confinados para la comprobación del sistema de evasión de obstáculos
3. Desarrollo e integración de un sistema de evasión de obstáculos para realizar aproximaciones a paredes en las maniobras de toma de medidas.

3.10. OPERARIO ASISTIDO

Ésta es una nueva línea de actuación, orientada a la ayuda al operario en las tareas de mayor exigencia física debido a que algunas de ellas suponen un alto desgaste a lo largo de la jornada laboral. El objetivo general de esta línea es asistir al operario, no reemplazarlo. Se pretende mejorar la ergonomía en el trabajo, reduciendo la fatiga y mejorando la calidad de las condiciones laborales. El resultado de la aplicación de esta tecnología es el fomento de la igualdad en el desempeño de los trabajos y el incremento de la calidad y productividad.

Este objetivo fundamental se va a abordar a través de varios objetivos específicos:

- Identificación de tareas en las que es posible mejorar las condiciones laborales del operario mediante el empleo de sistemas de asistencia física, como pueden ser exoesqueletos
- Evaluación estructurada del puesto del trabajo y análisis de las tecnologías que permitan facilitar el desempeño de los trabajos
- Análisis de adecuación de las soluciones tecnológicas a las condiciones específicas de la construcción naval

La originalidad de la línea se refleja en los trabajos de la misma que incluyen el desarrollo de las pruebas de concepto necesarias para analizar la aplicación extensiva de la solución, realizando los análisis de integración física en el puesto de trabajo, evaluaciones médicas y fisiológicas, desempeño de pruebas objetivas y subjetivas, etc. Para ello, se seleccionarán aquellos casos de estudio en los que se identifique un mayor potencial de mejora en las condiciones de trabajo mediante la asistencia tecnológica.

La calidad de la línea se percibe en sus factores asociados como son:

- Aproximación sistemática y estructurada al análisis de puestos de trabajo desde la óptica de la aplicación de la tecnología de asistencia al operario.
- Transversalización de conocimientos desde el ámbito de la automoción a la construcción naval
- Implantación estructura en el entorno productivo de la construcción naval

3.11. GEMELO DIGITAL DEL PRODUCTO

En el camino de la transformación del sector marítimo en el entorno de la denominada Industria 4.0 encontramos un elemento clave en la digitalización del sector: Digital Twin.

En esta actuación se plantea el DESARROLLO DE NUEVAS METODOLOGÍAS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL GEMELO DIGITAL DEL BUQUE en el que se integre la información generada en las fases de diseño y construcción con la relativa a la operación del buque con el fin de alcanzar la constitución del gemelo digital del buque.

El gemelo digital como tecnología facilitadora tiene todavía un carácter incipiente en la denominada Industria 4.0. Así, aunque encontramos ejemplo de la aplicación del mismo a edificios o coches no existe una aplicación real y operativa a buques y, llevando al extremo la complejidad del mismo, del buque militar. De esta forma el proyecto no sólo aborda el proceso de diseño y construcción del gemelo digital de un buque militar, sino también los límites tecnológicos a los que en la actualidad nos enfrentamos.

Un gemelo digital es más que una mera copia digital de un barco real, y conforma un entorno digital que aglutina toda la información existente (sistemas, equipos, estructura...) y la dota de coherencia y estructura para conformar un conjunto con capacidades superiores a la agregación de cada parte individual.

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 más rápida y eficiente, que permite acciones que aún tienen valor. 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.

El **objetivo principal de esta actuación** es el desarrollar metodologías, herramientas y sistemas que permitan maximizar el aprovechamiento de la información generada en el proceso de diseño y construcción de un buque para generar el gemelo digital del mismo, integrado con los sistemas propios de información del buque en operación.

Esta primera fase abordaría la implementación del gemelo digital desde dos vertientes:

- Análisis global de cada uno sistemas del buque e identificación y definición conceptual de los métodos necesarios para la constitución de su gemelo digital partiendo de los procedimientos actuales de diseño y producción existente.
- Implementación del gemelo digital de un sistema concreto. Caracterización del mismo e identificación del modelo funcional de un sistema específico, implementación de la transformación del modelo funcional base al del buque concreto, implementación del gemelo digital del sistema, integración simulación/sensorización/técnicas de predicción, visualización mediante realidad aumentada.

3.12. CONTROL ESTADÍSTICOS DE PROCESOS

El objetivo general con el que nació esta línea de actuación fue la aplicación del control estadístico de la calidad dentro del marco de la metodología Seis Sigma, a través de la determinación de indicadores de calidad, el análisis de la capacidad del proceso, y el control y mejora del mismo.

Esta actuación se basa en la aplicación de análisis estadísticos a las mediciones realizadas durante el proceso constructivo del buque. Esto es completamente novedoso en Navantia y en todo el sector naval español y permite detectar fallos determinantes que influirán en el control dimensional de los bloques.

El objetivo fundamental de esta línea se mantiene para la etapa de consolidación, pero se le añaden objetivos más específicos para la consecución de resultados, como son:

- *Identificación de procesos, componentes y magnitudes a medir: etapas del proceso y metodología de trabajo.*
- *Análisis estadísticos de datos históricos.*
Se llevarán a cabo diversos análisis estadísticos sobre los registros dimensionales recogidos por Navantia, al objeto de identificar la variabilidad en el proceso productivo y las distribuciones de probabilidad de las discrepancias fabricado-nominal de distintas magnitudes.
- *Definición de indicadores dimensionales de calidad a partir de las discrepancias entre las dimensiones medidas y las nominales.*
- *Desarrollo de un posible sistema piloto de medición basado en visión artificial.*
- *Diseño de los sistemas de registro de datos y de integración de imágenes.*
- *Adquisición de datos.*
Tras la puesta en práctica del sistema de medición piloto se contemplan tareas de procesamiento de imágenes y se llevarán a cabo algunas sesiones de adquisición de datos, para la validación del sistema.
- *Diseño estadístico de los experimentos de medición (repetitividad y reproducibilidad) para determinar los factores que influyen en la variabilidad del proceso productivo.*
Se diseñarán, ejecutarán y analizarán experimentos de tipo R&R para estimar la repetitividad y reproducibilidad de los operarios y/o de los instrumentos de medición.
- *Uso de herramientas de análisis estadístico a partir de metodología seis sigmas, técnicas avanzadas de aprendizaje estadístico y data mining, y técnicas multivariantes que permitan el estudio de varias características de forma simultánea.*
- *Análisis de sensibilidad y criticidad de los factores considerados en los procesos productivos. Identificación de causas asignables de variabilidad.*
- *Planteamiento de acciones correctivas. Propuesta y aplicación de medidas para la mejora de los indicadores dimensionales de calidad.*
- *Redefinición de procesos, a partir de los resultados obtenidos en las fases anteriores.*
Como consecuencia de los dos puntos anteriores se contempla la redefinición de procesos productivos que requieran el desarrollo de tecnologías innovadoras, de la Industria 4.0.

3.13. TUBO DE CIERRE

Esta línea nació en la UMI de 2015 al objeto de disponer de una herramienta para el diseño del tubo de cierre (unión de tubería entre distintos bloques constructivos). La continuación de esta actuación pretende desarrollar un procedimiento de trabajo totalmente funcional para automatizar lo máximo posible el diseño del tubo de cierre, de modo que se pueda implantar en la fabricación del buque a partir del año 2020. La fabricación e instalación de tubos de cierre es un proceso singular dentro de la construcción del buque derivado del propio método constructivo por bloques, y que no se

da en la fabricación de otros productos, suponiendo del orden del 11% de los tubos del buque.

La originalidad de la propuesta, por tanto, se basa en la automatización de la toma de datos en grada y el diseño del tubo, para su posterior fabricación, acortando los tiempos de este proceso y, en consecuencia, los tiempos de unión de bloques en grada.

Para ello, se deberán afrontar los siguientes tres objetivos:

- Automatización del proceso de digitalización de la escena y creación de las primitivas requeridas para el diseño de los tubos
- Ampliación y consolidación del prototipo software para el diseño automático de tubos de cierre
- Desarrollo de un prototipo funcional de dispositivo hardware de obtención de primitivas adaptado al tubo de cierre

3.14. UTILIZACIÓN DE ADHESIVOS EN LA CONSTRUCCIÓN NAVAL

Como continuación a los trabajos desarrollados dentro de la línea de adhesivos de la UMI, se propone seguir avanzando en el desarrollo de uniones y su grado de sollicitación mecánica (se trata de desarrollar uniones que soporten mayores sollicitaciones que la actual en estudio), así como ampliar el campo de uniones adhesivas durante la construcción del buque.

La originalidad de esta propuesta se basa en el uso novedoso de los adhesivos en buques metálicos, y más aún, en buques militares. Tanto es así, que las Sociedades de Clasificación no tienen desarrollada una normativa que regule su uso actualmente.

La calidad de la propuesta está justificada porque se trata de una tecnología disruptiva para el sector naval y, en general, para los procesos de calderería. En la actualidad la técnica de unión en construcción naval está, casi totalmente, basada en soldadura. Eventuales cambios para nuevas técnicas de unión modificarían procedimientos de trabajo con todo lo que ello supone.

En esta línea los objetivos son los siguientes:

- Conseguir homologar la unión en estudio para clase B de acuerdo con la Guidance Note NI 613 DT R00 E del BUREAU VERITAS, de más de 50 kg (la que está actualmente en proceso de estudio y homologación están limitadas a 5 kg).
- Ampliar el campo de aplicación de uniones adhesivas ensayando nuevos tipos de unión utilizadas en la construcción del buque. Por ejemplo, dos posibles aplicaciones que de momento no han sido abordadas son los falsos pisos y los canales para mamparos de carpintería metálica.