

Análisis de tecnologías para la mejora de la trazabilidad, identificación y localización de tubos metálicos en un astillero

Diego Noceda-Davila, Tiago M. Fernández-Caramés, Manuel A. Díaz-Bouza, Miguel Vilar-Montesinos
diego.noceda@udc.es, tiago.fernandez@udc.es, mdiaz@navantia.es, mvilar@navantia.es
Unidad Mixta de Investigación Navantia-UDC, Universidade da Coruña
Edificio Talleres Tecnológicos, Mendizábal s/n, 15403, Ferrol

Resumen—La construcción de un buque en un astillero es una tarea compleja en la que intervienen multitud de procesos. Uno de ellos es la fabricación de tubos metálicos, los cuales constituyen una parte fundamental del buque. De cara a optimizar dicho proceso, dentro de la Unidad Mixta de Investigación Navantia-Universidade da Coruña se estableció una línea de investigación que hiciera uso de las últimas tecnologías para la identificación y la trazabilidad de los tubos.

En concreto, el presente artículo presenta el estudio y diseño de un sistema de monitorización de los tubos metálicos utilizados, desde su llegada al taller hasta su montaje en los buques. Tras detallar las necesidades detectadas en todo el proceso, se exponen las diversas alternativas tecnológicas para la implementación del sistema. De esta manera, el objetivo final del artículo es dar una visión global del hardware potencialmente utilizable para llevar a cabo la optimización de la trazabilidad, identificación y localización de los tubos durante su producción y hasta el final de su vida útil.

I. INTRODUCCIÓN

La eficiencia y la mejora de la productividad como objetivos de la industria hacen necesarias actuaciones para implantar tecnología de vanguardia. Dentro de este marco encontramos la conocida como *Industria 4.0*, dentro de la cual reside el caso en el que se enmarca este artículo, el Astillero 4.0. En concreto, desde la Unidad Mixta de Investigación Navantia-UDC se ha tratado el tema de los tubos que componen un buque, ya que son una pieza clave en éste. Su uso va desde el transporte de combustible o refrigerante para los motores, hasta la conducción de agua potable o la gestión de residuos. Por esta razón, es importante mantener la trazabilidad de los tubos, la cual permitirá agilizar los trámites de mantenimiento de los tubos, localizarlos rápidamente y facilitar la obtención de las características propias de cada tubo.

El proceso de gestión de los tubos en un astillero varía en función del mismo, pero, en general, se puede decir que en la actualidad el procedimiento de gestión de los tubos de un buque sigue un esquema en donde se distinguen dos escenarios distintos: el taller de fabricación y el buque donde se realiza su montaje.

Inicialmente, los tubos se depositan en una zona de almacenamiento del taller, la cual irán abandonando en función de las necesidades de producción. Cuando los tubos se encuentran en producción, a efectos de trazabilidad, se les puede añadir una etiqueta que contiene información identificativa de la pieza. Habitualmente los tubos son apilados en palés, los cuales son el elemento a trasladar entre las fases de la cadena de

producción. En la Figura 1 puede apreciarse una agrupación de tubos con sus etiquetas en un palé.



Fig. 1. Palé con tubos apilados.

Cuando el palé se traslada, la información de los tubos incluidos en él es leída por los operarios de cara a identificar el proceso al que debe ser sometido cada tubo. Dicha información se encuentra habitualmente disponible sólo en papel, aunque puede encontrarse digitalizada. Entre los datos que posee la documentación que acompaña cada tubo se incluyen las fases por las que ha pasado cada tubo, qué operario ha realizado cada operación, la firma de los respectivos supervisores, los procesos restantes y las fechas correspondientes. Cuando un tubo necesita accesorios para completar su fabricación, estos se agrupan en función al palé en el cual están apilados, de forma que la identificación es visual y la localización manual.

Una vez que los palés abandonan la zona de producción y se trasladan a una zona de almacenamiento previo al embarcado, se pierde la trazabilidad de los mismos.

Cuando finaliza la producción de un tubo y se requiere para el montaje en el buque, se produce la su carga a bordo. Esta fase, que es ejecutada bajo demanda de los operarios, se intenta optimizar de forma que se embarca la mayor cantidad de tubos posible. En la Figura 2 se muestra un ejemplo de los tubos apilados al lado de un buque previamente a su carga.

En el momento en el que los tubos se encuentran en el buque, no existe forma (salvo visual) de localizarlos. Tampoco es posible conocer si un tubo está o no instalado en su posición final, lo cual se ve agravado en ciertos buques debido a la densidad de los tubos.



Fig. 2. Tubos preparados para la carga en el buque.

En cualquier caso, lo más común es encontrarse con múltiples elementos metálicos. Como puede observarse en la Figura 3, dichos elementos incrementan la dificultad de la localización. Quizás el caso más crítico a nivel de densidad de tubos y aislamiento metálico sea el que se produce en distintas instancias del buque en las que los tubos van por debajo del suelo, siendo éste metálico.



Fig. 3. Alta densidad de tubos presente en el buque.

Tras el estudio de los dos entornos descritos en un astillero real, se han detectado cuatro necesidades que, de ser cubiertas, se estima que mejorarían de manera clara la eficiencia de la cadena de procesado de tubos:

- Automatización de la identificación de los tubos en el taller. La identificación de los tubos es manual y es realizada por los operarios, lo que conlleva que tengan que dedicar parte de su jornada a esta tarea. Por esta razón, el proceso es susceptible de no ser realizado o de ser realizado en instantes no adecuados.
- Localización de los tubos en el taller. El sistema actual permite determinar la ubicación de un tubo visualmente o en los instantes en los que se realiza su supervisión de calidad por mandos intermedios. Sin embargo, el resto del tiempo su posición es desconocida.
- Identificación de los tubos embarcados. Es interesante tener identificado cada tubo instalado en el buque de cara a su montaje y mantenimiento. Actualmente la identificación depende de información visual etiquetada y de la experiencia de los operarios.
- Localización de los tubos embarcados para su montaje.

La planificación del montaje depende en su mayoría de la experiencia de los supervisores, que indican tareas según una planificación básica. Además, los tubos pueden estar apilados en distintas ubicaciones (no predefinidas).

Este artículo plantea el análisis de las tecnologías que permitan ofrecer soluciones a estas cuatro necesidades, las cuales tienen una problemática completamente distinta. En concreto, se estudian y comparan tecnologías que faciliten las siguientes funcionalidades:

- Identificación y seguimiento de tubos. El objetivo es buscar una tecnología que permita identificar un tubo desde el proceso de producción y en cualquier momento durante su vida útil. Los tubos sufren procesos muy agresivos (e.g. tratamiento con ácidos) en su fabricación y su vida útil puede prolongarse durante muchos años. Los tubos son de materiales de tipo metálico y se agrupan en palés en cantidades significativas (decenas de unidades), lo que dificulta, a priori, su identificación por medios visuales y/o mediante ondas de radio. Esta funcionalidad, además de permitir nuevos mecanismos de trazabilidad, proporcionará un valor añadido a los buques que estén equipados con este sistema de identificación en sus tubos, ya que ante labores de reparación o mantenimiento se facilita la identificación de la pieza en cuestión.
- Localización de tubos. El objetivo es buscar una solución de trazabilidad de los tubos (o palés) para su seguimiento y monitorización en tiempo real, tanto dentro del taller, como una vez que han abandonado la zona de fabricación. Las zonas de almacenamiento son amplias y no existe seguimiento. Esta funcionalidad permite conocer de manera automática el último estado de los tubos.
- Identificación de los tubos embarcados. El objetivo es buscar un mecanismo que mejore y refuerce el sistema de etiquetado actual de los tubos a la hora de ser instalados en un buque. Los buques presentan una cantidad masiva de piezas metálicas y de numerosos tubos (entre 15.000 y 40.000).

II. ESTADO DEL ARTE

A. Sistemas de identificación, trazabilidad y localización para astilleros

En los últimos años diversos autores han estudiado y planteado distintas alternativas a la hora de encarar alguna de las múltiples tareas de un astillero que son susceptibles de mejora mediante la aplicación de soluciones tecnológicas.

Por ejemplo, en [1] se plantea un sistema de soldado automatizado para astilleros en el que robots móviles hacen uso de redes neuronales para reconocer el entorno de trabajo. De manera similar, en [2] los mismos autores también utilizan robots inteligentes para el soldado en un astillero, pero en este caso diseñan un sistema de visualización para el reconocimiento de las zonas a soldar.

También existen trabajos que han estudiado el problema de la localización de personas dentro de un astillero. Un ejemplo es [3], en que se utiliza tecnología Bluetooth para realizar la localización, haciendo uso de estaciones fijas y móviles. De esta manera, los autores consiguen una precisión de 1,2m haciendo uso de una red de lectores fijos en la que se coloca cada lector a una distancia de unos 8 metros.

Finalmente, cabe citar [4], en el que se describe un sistema de hiper-ambientes, en los que se hace uso de redes de sensores, realidad virtual y RFID (Radio Frequency IDentification) de cara a mejorar el proceso de trazabilidad de los suministros en la construcción de buques y plataformas marítimas en un astillero.

B. Sistemas de identificación, trazabilidad y localización en entornos con abundancia de metales

En los entornos donde la presencia de metales es elevada, las comunicaciones por radio frecuencia se ven claramente afectadas. Dicho impacto se ilustra bien en [5], en donde se muestran experimentos con una serie de etiquetas que demostraron que la potencia de la señal decae cuando se coloca sobre una placa metálica de cobre. En este sentido, en [6] se analizan técnicas para mejorar el rendimiento de etiquetas RFID sobre metal, demostrando que la longitud eléctrica de la antena es una variable que puede mejorar la adaptación de la impedancia. En un entorno cercano al astillero, en [7] se realizó un análisis sobre la viabilidad de adherir etiquetas de RFID pasivo en tubos metálicos curvados.

Con el objetivo de subsanar estas complicaciones, se han diseñado multitud de etiquetas y componentes para permitir las comunicaciones RFID en entornos metálicos. Ejemplos de ellos son [8], [9] o [10], en donde se describen etiquetas RFID UHF diseñadas específicamente para ser utilizadas sobre varias superficies metálicas y contenedores metálicos.

Si a la presencia de metales se le suman condiciones como altas temperaturas, la comunicación por radio-frecuencia se complica aún más, de forma que es necesario adaptar los componentes a estas condiciones. Un ejemplo es estudiado en [11], en el cual se muestran las complicaciones a las que se enfrenta el hardware, tales como la retención de los datos en las memorias durante largos períodos de tiempo.

III. DISEÑO DEL SISTEMA

A. Arquitectura

La figura 4 ilustra la arquitectura diseñada para el sistema, la cual se basa en un enfoque con áreas inteligentes. Un área inteligente consta de una infraestructura de balizas que se asocian a distintas ubicaciones físicas. Cada una de estas balizas lee los identificadores de los tubos y palés, y estiman su posición. En el caso real estudiado es posible prescindir del concepto de palé, ya que se puede considerar un mero elemento portador, permitiendo centrarse únicamente en los tubos. Una vez recabada la información de las balizas, ésta se transmite a un sistema central que la analiza y determina la ubicación de los tubos.

B. Factores de Diseño y Tecnologías

Un sistema de identificación y trazabilidad que trabaje en el entorno de trabajo descrito debe de tener en cuenta los siguientes factores:

- Adecuación al entorno de desarrollo. Implica que las etiquetas y lectores deben tener el tamaño lo más pequeño posible para no causar problemas durante la manipulación de los tubos.
- Presencia de metales. Idealmente, la tecnología debe soportar la presencia de metales en el entorno.

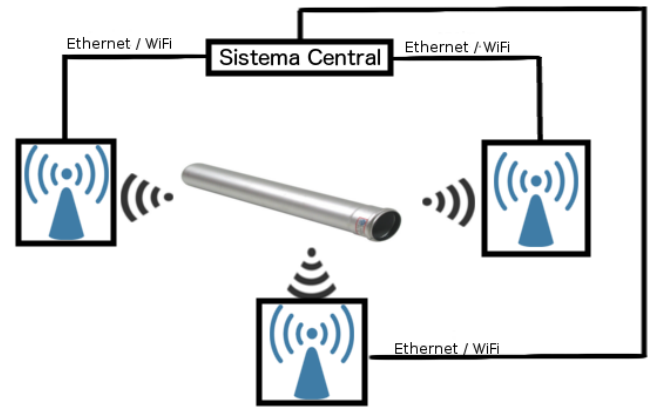


Fig. 4. Diseño de la arquitectura de áreas inteligentes.

- Presencia de agua en el ambiente. La tecnología debe soportar la transmisión en entornos marítimos-costeros donde la humedad relativa puede ser muy elevada.
- Presencia de ácidos y sustancias corrosivas. El encapsulado de las etiquetas debe ser capaz de resistir ácidos, salinidad, combustible y demás sustancias que puedan corroerlas.
- Interferencias. La tecnología seleccionada debe poder transmitir en presencia de las fuentes más habituales de interferencia electromagnética.
- Distancia de lectura. La tecnología debe permitir realizar lecturas a distancia suficiente como para automatizar su identificación/localización y para su reconocimiento en el barco.
- Tolerancia a temperaturas. El sistema de etiquetado debe soportar las temperaturas que los tubos alcancen durante la soldadura y el lavado en agua/ácidos.
- Presión soportada. Los tags deben ser capaces de soportar la presión ejercida durante el procesado habitual de los tubos.
- Duración de la batería. En caso de que el sistema requiera de baterías, debería de ser capaz de funcionar con la misma batería entre 3 y 15 años (desde que un tubo llega al taller hasta que finalizado el período de garantía que ofrece el astillero).
- Movilidad. La solución tecnológica escogida debe de proveer lectores portátiles para la operación dinámica e in-situ sobre los distintos sistemas de identificación, localización y trazabilidad.

De acuerdo a estos factores es posible realizar una selección de tecnologías potencialmente aplicables que sigan la arquitectura propuesta: RFID, BLE (Bluetooth Low Energy), WiFi (IEEE 802.11 b/g/n/ac), UWB (Ultra Wide Band), ZigBee, Dash7, Z-Wave, WirelessHART y RuBee.

IV. ANÁLISIS DE TECNOLOGÍAS DE IDENTIFICACIÓN Y LOCALIZACIÓN

La tabla I muestra una comparativa que considera todos los factores sopesados de cara a seleccionar las tecnologías con mayor potencial para ser aplicadas.

En este punto, se ha decidido descartar una serie de tecnologías atendiendo a sus características reflejadas en la tabla anterior.

TABLA I
COMPARATIVA DE TECNOLOGÍAS

	RFID (UHF)	BLE	WiFi	UWB	ZigBee	Dash7	Z-Wave	Wireless Hart	Rubee
Entorno	Bien	Bien	Mal	Regular	Mal	Bien	Mal	Mal	Bien
Metales	Regular	Mal	Mal	Regular	Mal	Bien	Bien	Mal	Bien
Agua	Regular	Mal	Mal	Regular	Mal	Bien	Bien	Mal	Bien
Ácidos	Regular	*	Mal	Mal	Mal	Regular	Mal	Mal	Bien
Interferencias	Regular	Mal	Mal	Mal	Mal	Bien	Bien	Mal	Bien
Distancia	Regular	Regular	Bien	Regular	Bien	Bien	Bien	Bien	Bien
Temperatura	Regular	*	Mal	Mal	Mal	Regular	Mal	Mal	Bien
Presión	Regular	*	Mal	Mal	Mal	Regular	Mal	Mal	Bien
Batería	Regular	Regular	Regular	Regular	Regular	Regular	Regular	Regular	Bien
Movilidad	Bien	Bien	Bien	Regular	Regular	Bien	Regular	Regular	Bien

* La resistencia a corrosión, altas temperaturas o presión se consigue con etiquetas especializadas.

Por un lado BLE y WiFi hacen uso de la banda de 2,4 GHz, en la cual las comunicaciones se ven afectadas notablemente en presencia de metales y humedad. ZigBee, Z-Wave y Wireless HART están orientadas a crear redes de sensores, de forma que, aunque su aplicación en localización es posible, requerirían una adaptación explícita al entorno. En concreto, ZigBee y Wireless HART operan en 2,4 GHz (en Europa es posible usar 868MHz pero no es universal), la cual sufre de los problemas comentados para WiFi y BLE.

Por otro lado se encuentra UWB, que tiene características deseables (alta precisión en localización), pero cuyo funcionamiento en presencia de metales empeora claramente.

Por último, se han escogido tres tecnologías que por sus características teóricas son válidas para el entorno que se plantea:

- RuBee: No presenta interferencias en un entorno tan complejo como el analizado debido a que no usa ondas de radio. Las etiquetas están diseñadas para soportar condiciones adversas y para que su batería dure hasta 15 años.
- Dash7: Tanto Dash7 como RFID UHF trabajan en un rango de frecuencias poco sensible a las interferencias presentes en el entorno, de forma que éste sea un poco menos agresivo. Dash7 es un sistema de radiofrecuencia activo y presenta una alta distancia de lectura teórica. Además, es un estándar financiado en primera instancia por el Departamento de Defensa de Estados Unidos, con lo cual se ha diseñado para tener en cuenta aspectos de seguridad como el cifrado de las comunicaciones.
- RFID (UHF): Como Dash7, el uso de frecuencias por debajo de 1 GHz consigue suavizar el entorno. La tecnología UHF presenta las ventajas de estar muy probado en aplicaciones de localización y trazabilidad. Además, la tecnología usada en las etiquetas es relativamente barata.

V. CONCLUSIONES

En este artículo se ha presentado un estudio inicial realizado a través de la Unidad Mixta de Investigación Navantia-UDC sobre la viabilidad de aplicar las últimas tecnologías en identificación y trazabilidad para la monitorización de los tubos en un Astillero 4.0. Se han presentado los problemas de un entorno agresivo para las comunicaciones por radiofrecuencia y sus consecuencias para los sistemas de trazabilidad y localización. También se ha realizado un análisis de distintas tecnologías que potencialmente puedan ser utilizadas en un proyecto de estas características. De esta forma, se ha

podido realizar una comparación para escoger las tecnologías que presentan las mayores ventajas para el proyecto. Se concluye que, aunque toda tecnología tiene sus ventajas e inconvenientes, en el caso de la aplicación concreta analizada, RuBee, Dash7 y RFID UHF son las que mejor se adaptan.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo está enmarcado en la línea de actuación Auto-ID de Tuberías de la Unidad Mixta de Investigación Navantia-UDC y ha sido financiado por ésta. Igualmente, se ha contado con financiación del Ministerio de Economía y Competitividad mediante el proyecto TEC2013-47141-C4-1-R y la red TEC2015-69648-REDC.

REFERENCIAS

- [1] M. Y. Kim, H. S. Cho, J. Kim, "Neural network-based recognition of navigation environment for intelligent shipyard welding robots", International Conference on Intelligent Robots and Systems, Maui, Estados Unidos, Oct. 2001. DOI: 10.1109/IROS.2001.973397.
- [2] M. Y. Kim, K. Ko, H. S. Cho, J. Kim, "Visual sensing and recognition of welding environment for intelligent shipyard welding robots", International Conference on Intelligent Robots and Systems, Takamatsu, Japón, Oct. 2000. DOI: 10.1109/IROS.2000.895290.
- [3] S. Kawakubo, A. Chansavang, S. Tanaka, T. Iwasaki, "Wireless network system for indoor human positioning", 1st International Symposium on Wireless Pervasive Computing, Phuket, Tailandia, Ene. 2006. DOI: 10.1109/ISWPC.2006.1613611.
- [4] M. A. do Amaral Bichet, E. K. Hasegawa, R. Solé, A. Núñez, "Utilization of Hyper Environments for Tracking and Monitoring of Processes and Supplies in Construction and Assembly Industries", Symposium on Computing and Automation for Offshore Shipbuilding (NAVCOMP), Rio Grande, Brasil, Mar. 2013. DOI: 10.1109/NAVCOMP.2013.21.
- [5] S. F. Wong, Y. Zheng, "The effect of metal noise factor to RFID location system", IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, Bangkok, Tailandia, Dic. 2013. DOI: 10.1109/IEEM.2013.6962424.
- [6] D. D. Deavours, "Improving the near-metal performance of UHF RFID tags," IEEE International Conference on RFID, Orlando, Estados Unidos, Abr. 2010. DOI: 10.1109/RFID.2010.5467273.
- [7] D. D. Arumugan, D. W. Engels, "Characterization of RF Propagation in Helical and Toroidal Metal Pipes for Passive RFID Systems", IEEE International Conference on RFID, Las Vegas, Estados Unidos, Abr. 2008. DOI: 10.1109/RFID.2008.4519364.
- [8] K. V. S. Rao, S. F. Lam, P. V. Nikitin, "UHF RFID tag for metal containers" Asia-Pacific Microwave Conference, Yokohama, Japón, Dic. 2010.
- [9] S. Bovelli, F. Neubauer, C. Heller, "Mount-on-Metal RFID Transponders for Automatic Identification of Containers", European Microwave Conference, Manchester, Reino Unido, Sep. 2006. DOI: 10.1109/EUMC.2006.281004.
- [10] J. Seung-Hwan, S. Hae-Won, "UHF RFID Tag Antenna for Embedded Use in a Concrete Floor", IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, Oct. 2011. DOI: 10.1109/LAWP.2011.2172179
- [11] M. Heiss, R. Hildebrandt, "High-Temperature UHF RFID Sensor Measurements in a Full-Metal Environment", European Conference on Smart Objects, Systems and Technologies (SmartSysTech), Nuremberg, Alemania, Jun. 2013.