SENSORIZACIÓN DE UNA PLATAFORMA NAVAL

José Miguel MARTÍNEZ ESPEJO

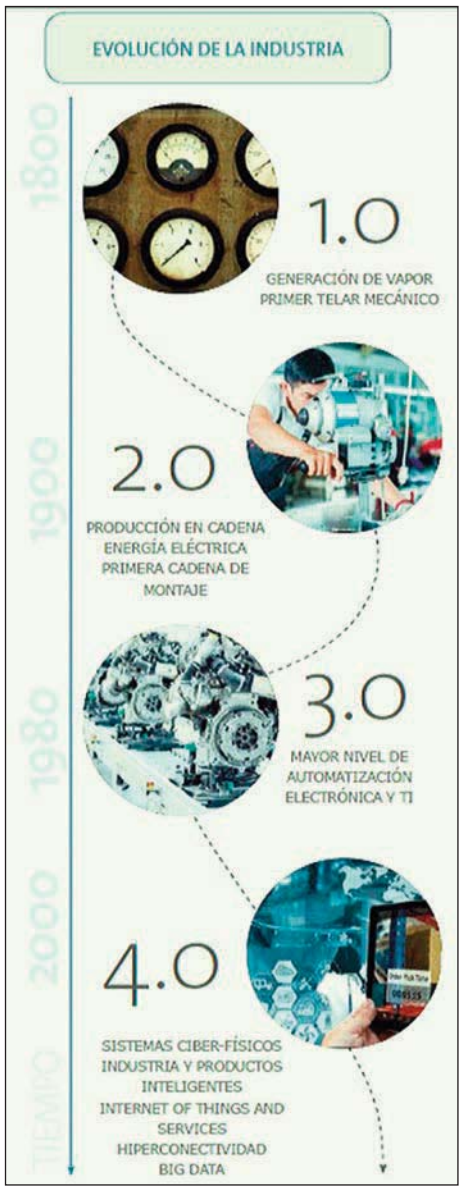
(Ing.)

Contexto

OS avances en la industria naval surgen y se aplican en función de las capacidades tecnológicas disponibles en cada momento, en aspectos relacionados con el armamento, instrumental, logística, gestión energética, materiales y técnicas de construcción naval. Hasta hace poco tiempo, en cualquier embarcación de guerra todas las decisiones las tomaban los responsables a bordo mediante el uso de instrumental, conocimientos y referencias adecuadas, que permiten determinar rumbo, tiempo, velocidad, distancia y profundidad del agua.

Las mismas tecnologías que han permitido la automatización de ciertas tareas en el sector industrial, algunas de ellas muy complejas, se han implementado con éxito en múltiples procesos a bordo, liberando a los responsables humanos de ejecutarlas y en algún caso incluso de supervisar su correcta ejecución, confiando en que la máquina aplicará los algoritmos previamente desarrollados según los requisitos de expertos navegantes e ingenieros militares.

Si la Tercera Revolución Industrial se caracterizó principalmente por la generalización de la automatización gracias a las nuevas tecnologías de la comunicación, desde hace unos años se aventura que vamos camino de una Cuarta Revolución Industrial, definida por la «autonomía» de los medios. En este momento únicamente disponemos de atisbos en forma de proyectos, como los vehículos capaces de transitar sin intervención de un operador, los sistemas domóticos que mantienen un entorno cómodo en edificios, robots capaces de tomar decisiones basadas en un entrenamiento previo, y en forma de términos, como «inteligencia artificial», «redes neuronales», «industria 4.0»,



Estandarización para la Industria 4.0. Informes de Normalización. (Fuente: UNE).

«IoT», entre otros. Al entrar en contacto con estas referencias, probablemente no damos mayor importancia al hecho de que esos sistemas autónomos deben adquirir información fiable para que su entrenamiento y programación les permitan procesarla de manera efectiva. Una de las formas de recabar esta información es por medio de sensores, que habitualmente trabajan en grupos o redes.

Objeto y alcance

Para determinar la materia de la que va a tratar este artículo, partimos de que los documentos de las referencias definen sensor como el «Equipo que detecta y puede indicar y/o registrar objetos y actividades por medio de la energía o partículas de radiofrecuencia emitidas, reflejadas o modificadas por los objetos».

Aunque se pueden encontrar otros significados de sensor en la Real Academia Española (RAE), en la Real Academia de Ingeniería (RAI) o en diversas fuentes normativas, adoptaremos la definición expuesta por ser la correspondiente a nuestra Norma Militar Española (NME) y Standardization Agreements (STANAG).

Como ejemplo, la misma NME describe el hidrófono como un «Sensor electroacústico que transforma las señales acústicas existentes en el agua en señales eléctricas». Es decir, el hidrófono es un equipo que detecta la energía de las ondas de sonido emitidas, reflejadas o modificadas en el agua por algún objeto o activi-

dad, y luego las transforma en señales eléctricas que permiten indicar y/o registrar el objeto o la actividad implicados.

Los sistemas radar, los sistemas sonar, los de corredera, etc., constituyen conjuntos de diferentes equipos y módulos —emisor, procesador, filtro, etc.— que permiten gestionar las indicaciones disponibles y las capacidades de detección implementadas; pero el término sensor se refiere al equipo, solo uno de todo el sistema, específicamente diseñado para la recepción de la señal energética y su transformación inmediata en otro tipo de energía que permita el procesamiento posterior.

La palabra sensorización es un anglicismo no registrado aún por nuestra RAE, pero en castellano parece difícil encontrar un vocablo que defina mejor que aquella «acción de dotar con múltiples elementos que permitan percibir».

La segunda parte del título de este artículo nos lleva al diccionario de la RAI, que define la plataforma naval como «Barco que sirve de soporte a un sistema de armas».

Vamos a considerar que esta es la definición de plataforma naval que mejor responde al objeto del artículo. No obstante, parece adecuado apuntar que no en todos los ámbitos se entiende así: por ejemplo, el STANAG 1166 en su capítulo 1, establece la naturaleza de ese texto como un «glosario de embarcaciones navales y no navales», con el objetivo de «hacer posible comparaciones válidas de las fuerzas navales/mercantes de todos los países del mundo». En la bibliografía OTAN y en armadas angloparlantes en general, el concepto naval coincide con el de plataforma naval expresado por la RAI. Sin embargo en castellano, y coincidiendo con las descripciones reflejadas en el capítulo 3, p. 17, del Concepto de Operaciones Navales, el término plataforma naval se acompaña de la expresión «sea buque de guerra o no».

Por tanto, en el ámbito internacional en el que se desarrollan nuestras actividades militares, el concepto de plataforma naval de la OTAN sería el equivalente a buque de guerra de la Armada.

Una vez aclarados los términos, convendremos que el título «sensorización de una plataforma naval» mostraría que el artículo intenta esbozar —el estudio en profundidad requiere un trabajo mucho más extenso— algunas de las principales implicaciones de la implementación de redes de sensores en buques de guerra.

Funciones a bordo

Los sensores perciben magnitudes como ubicación, desplazamiento y deformación, velocidad, aceleración, fuerza, presión, magnetismo, temperatura, distancia, tacto, sonido, humedad, luz, etc., y proporcionan una señal de salida digital, analógica o de dos estados (abierto/cerrado, alto/bajo). La mayor parte de las aplicaciones de los sensores se centran en tres amplias

categorías: detección (minas marinas…), seguimiento (blancos radar…) y monitorización (vibraciones en motores…).

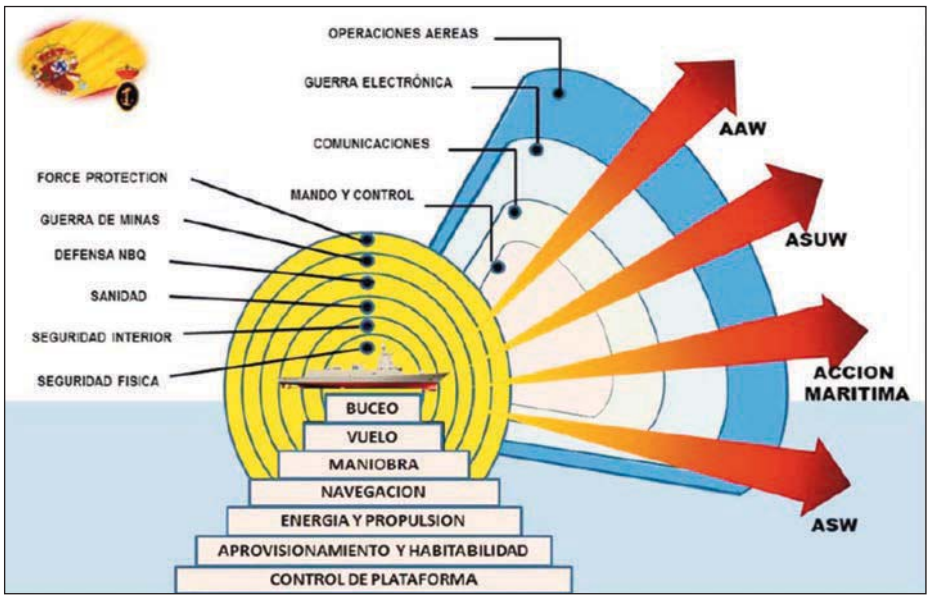
Los sensores a bordo contribuyen a la capacidad de supervivencia de la plataforma naval tanto en tiempo de guerra como en paz. Una plataforma naval es una ciudad flotante con sistemas de ataque y defensa, y funciona casi como un organismo vivo, en el que todo lo que acontece produce un efecto global que afecta al conjunto estructural del buque, a su dotación y a su comportamiento:

— Los meteorológicos (anemómetros, termómetros, barómetros, higrómetros…) son necesarios para tareas como operaciones de vuelo, artillería, etcétera.
— Los de corredera (conductómetros, termómetros, densitómetros…) se usan para obtener medidas de temperatura y salinidad del agua, y permiten deducir otras magnitudes, como la densidad o la velocidad de propagación del sonido.
— Los batitermógrafos (termómetros, barómetros…) permiten obtener los perfiles de temperatura en función de la profundidad, lo cual resulta útil en guerra anti submarina (ASW).
— El eco sondador (batímetros, barómetros…) obtiene datos de profundidad y registros de sonido necesarios para la navegación.
— Los receptores de señal satélite (electromagnéticos) se utilizan para determinar casi constantemente la posición relativa de referencias geográficas e hidrográficas en navegación costera; también en caso de navegación electrónica, mediante ondas de radio o directamente mediante el uso del radar; y en la navegación por satélite, utilizando radioseñales de satélites para determinar la posición.

Además, existen los sensores de los sistemas radar, sonar, de comunicaciones, de gobierno, de seguridad interior, de control de estabilidad, de control de apertura y cierre de puertas y escotillas, de estado de maquinaria, de armas y munición, de presencia de personal, de propulsión, de habitabilidad, de gestión de residuos, de averías y demás. Por otra parte, los requisitos de sensorización necesarios variarán en función de parámetros operativos:

— Según labores asignadas: *brown-waters, green-waters, blue-waters*.
— Según capacidades asignadas:

  • Comunes: navegación, maniobra, propulsión, aprovisionamiento, habitabilidad, control de plataforma.
  • Supervivencia: seguridad física, seguridad interior o control de daños, sanidad, MCM, protección frente a amenazas no convencionales.



Capacidades de la Fuerza Naval.
(Fuente: Concepto de Operaciones Navales. Armada española 2015).

- Tácticas: mando y control (C2), comunicaciones, guerra antiaérea (AAW), guerra de superficie (ASUW), guerra antisubmarina (ASW), guerra electrónica (EW), guerra de minas (MW), acción marítima, anfibia, etcétera.

La mayoría de los sensores están funcionando permanentemente, proporcionando información en tiempo real o en diferido a través de la red del sistema de gestión en el que se encuentren integrados. Esta información es correlacionada con la procedente de otras fuentes, y presentada de manera que sea útil para tomar decisiones a un gestor humano o a un sistema automático de monitorización.

El proceso de sensorización

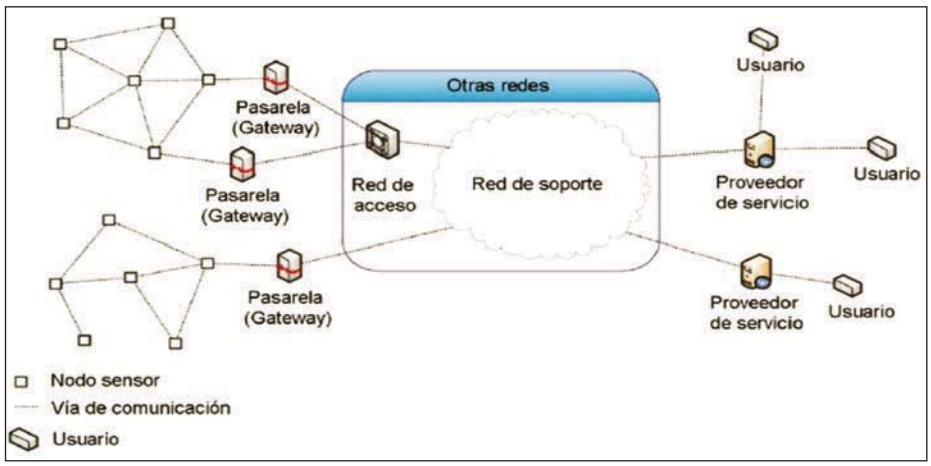
Los sistemas embarcados procesan múltiples entradas de información al margen de los sensores. Toda la información debe combinarse en un formato adecuado que permita la integridad y sincronización de los datos y las respuestas, ofreciendo un determinado estado de alerta de contexto —conjunto de avisos e indicaciones de los diferentes sistemas—. Esto nos lleva a dedu-

cir la necesidad de que el diseño de las redes, tanto las de información como la de sensores, requiera una planificación cuidada desde el inicio. En la parte que corresponde al proceso de sensorización, sobre la red física de sensores se aplica el concepto de red de sensores ubicuos (USN), cuya filosofía es proporcionar servicios basados en esos datos de alerta de contexto: abarca múltiples magnitudes y lugares, y lo percibido por unos se correlaciona con lo percibido por otros. Se contemplan cinco componentes principales de una USN:

— Red de sensores, que comprende los sensores, su conexionado (con o sin cable) y su fuente de alimentación eléctrica.
— Red de acceso, compuesta por nodos intermedios que agrupan la información recibida y facilitan su transmisión a un centro de control u otra entidad externa.
— Infraestructura de red, basada hoy día en tecnologías internet.
— *Middleware*, que es el conjunto de programas e información digital que permiten la recolección y el procesado de grandes volúmenes de datos.
— Plataforma de aplicaciones, que permite que la USN sea particularizada a cada entorno.

Cada uno de estos componentes supone un desafío tecnológico importante, adaptado al perfil de cada buque y a las operaciones para las que fue concebido, considerando además el nivel de automatización o de autonomía que se pretende lograr.

En el primer componente, por ejemplo, el cableado de los sensores y actuadores supone uno de los procesos más laboriosos en el montaje y mante-



Redes de sensores conectadas a otras redes. (Fuente: ISO/IEC 29182 12013. USN).

nimiento de los sistemas sensorizados a bordo, y suele ser una de las mayores fuentes de errores en la instalación. Si hablamos de redes sin cables, ahorramos en cobre y en elementos de instalación mecánica a costa de incrementar la protección contra interferencia —intencionada o no— en las señales y de diseñar las zonas para que la propagación sea adecuada —distancias, humedad, obstáculos—, añadiendo además el coste energético de los diferentes protocolos de comunicaciones —*bluetooth, zigbee, wifi, wibree*, etc.—. La alimentación eléctrica suele ser requerida hoy día para casi cualquier sensor, dado que es la que va a permitir que se produzca una señal de respuesta procesable por el sistema del que forma parte, y esa alimentación debe hacerse llegar al terminal en las condiciones adecuadas; en el caso de redes sin cables, los sensores pueden ir dotados de una pila eléctrica.

Los desafíos planteados por la infraestructura de red, el *middleware* y la plataforma de aplicaciones son comunes a todos los demás sistemas de información a bordo, y se tratan con más profundidad en otros textos menos específicos de la materia que nos ocupa. Merece la pena destacar, no obstante, que se tiene en cuenta la posibilidad de fallo de los sensores y se implementan los mecanismos necesarios para que lecturas erróneas no resulten catastróficas.

Un elemento importante en el diseño es el apoyo al ciclo de vida posterior. La ubicación y fijación física de los sensores, cables y las cajas o nodos de recepción que forman la red de acceso (otro componente de la USN) afectan decisivamente no solo a las operaciones de instalación, sino también a la planificación de su mantenimiento en función de los riesgos presentes —mecánicos, tóxicos, eléctricos, etc.—, de las condiciones ambientales —temperaturas, humedad, partículas…— y de la accesibilidad de la zona, así como del número y características de los sensores y canales de transmisión presentes en ella.

Regulación

Tanto a nivel nacional como internacional existen organismos cuya razón de ser reside en la creciente preocupación por la racionalización en el uso e implementación de redes de sensores para múltiples aplicaciones, sean militares, industriales, domóticas, lúdicas o de cualquier otra naturaleza. Estas organizaciones tratan de definir el marco de desarrollo tecnológico, normativo o incluso sociológico de la creciente presencia y utilización de los sensores en procesos automáticos o autónomos.

En la Organización OTAN de Ciencia y Tecnología (S&T), hay un panel tecnológico dedicado a sensores: el Sensors & Electronics Technology (SET) Panel, cuyo fin es mejorar las capacidades operativas y contribuir a la obtención de resultados militares a nivel estratégico, bien mediante el desarrollo de

tecnologías electrónicas y sensores activos/pasivos para tareas de reconocimiento, vigilancia, adquisición de blancos, guerra electrónica, comunicaciones y navegación, bien por el incremento de las capacidades de los sensores mediante su integración en redes. Los desarrollos de este comité contemplan los fenómenos relacionados con la firma del blanco, propagación, entorno de combate, electroóptica, radiofrecuencia, sensores acústicos y magnéticos, antenas, procesamiento de imágenes y señales, componentes, robustecimiento de sensores y compatibilidad electromagnética.

La Asociación Española de Normalización (AENOR), por su parte, cuenta con el Comité de Normalización 71, Grupo de Trabajo 7 (CN 71/GT7) para el desarrollo de normativa relacionada con redes de sensores. Este comité se ocupa, entre otras cosas, de la ratificación en España de normas como la serie UNE-ISO/IEC 29182 referente a redes de sensores. En general, tanto AENOR como el Comité Electrotécnico Internacional (CEI o IEC en su acrónimo en inglés) y la Organización Internacional de Normalización (ISO) disponen de varios comités o grupos de trabajo que desarrollan normativas de aplicación a sensores en función del tipo de proceso en el que van a integrarse o de la tecnología usada en su elaboración. Sirvan de ejemplos el grupo de trabajo IEC SC47E Discrete Semiconductor Devices (Dispositivos Semiconductores Discretos), que se encarga de elaborar normativa internacional para prácticas respetuosas con el medio ambiente en el diseño, fabricación, uso y reciclado de estos dispositivos; para ello, trabaja en terminología y definiciones, símbolos, márgenes de trabajo y características, métodos de medida y especificaciones. En el caso de ISO, encontramos el grupo de trabajo ISO/TC184/SC1 Physical Device Control, con normas como la serie ISO 23570, que ofrece directrices acerca de cómo distribuir el cableado asociado a los sensores, o el grupo de trabajo conjunto ISO/IEC JTC1/WG7 Sensor Networks (WGSN), que desarrolla y facilita normativa en el campo de las redes de sensores, como la serie ISO/IEC 29182 mencionada anteriormente, referida a diferentes aspectos de la arquitectura de referencia en redes de sensores (SNRA).

En el ámbito público internacional, un ejemplo es la International Telecommunication Union (ITU), agencia de la ONU especializada en asuntos relacionados con las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC), que colabora con ISO e IEC con el fin de estudiar las circunstancias relacionadas con la tecnología, operación y costes de las TIC, proporcionando recomendaciones para la normalización a nivel global.

Evolución

En los buques militares, la evolución de la tecnología y la necesidad de sofisticación en cada nueva serie por motivos económicos, técnicos, estratégicos e incluso sociopolíticos han conducido a una situación permanente de

ACTUV. (Fuente: IDST. International Defense, Security and Technology, 2018).

múltiples innovaciones consecutivas en su diseño, dirigidas en principio —lo que no significa que se haya conseguido totalmente— a racionalizar costes, disminuir dotaciones, responder a compromisos legales e internacionales e incrementar las capacidades operativas en términos de diseño del casco, discreción, propulsión, energía y sistemas de comunicación, armas, disponibilidad operativa y, por supuesto, sensores.

El reflejo de este proceso de innovación permanente se aprecia claramente en la filosofía de sensorización a bordo: las redes de sensores funcionaban generalmente como redes aisladas, diseños simples de aplicaciones y servicios basados en la captura y transmisión de las señales generadas por los sensores a los sistemas que los integraban, que han derivado hacia el actual despliegue de redes basadas en tecnologías avanzadas tanto de *hardware* como de *software*, que proporcionan integración de redes y servicios, esquemas mejorados de proceso de datos, patrones de alerta de contexto, etc. Hoy día se pueden construir —ya las hay en otros ámbitos— infraestructuras inteligentes de información de red de sensores integradas con las demás redes de datos en uso. Esto a su vez nos ha llevado a evolucionar desde una filosofía de sistemas aislados con cierto nivel de automatización hacia otra de buques en los que el grado de automatización presente nos muestra un futuro en el que podremos hablar de «autonomía» gradual en gran parte de las actividades a bordo, comenzando por las menos críticas y ampliándose progresivamente a las más delicadas conforme las técnicas de análisis de datos y gestión de la información se vayan depurado y alcancen el grado de fiabilidad requerido.

Ejemplos de lo que está por venir se pueden encontrar en el proyecto estadounidense de navío de guerra antisubmarina no tripulado de rastro continuo

(ACTUV o *Sea Hunter*), o en el vehículo autónomo *Ironclad* de BAE. Todo eso no sería posible sin un adecuado diseño de la red de sensores a bordo.

Resumen

Para hablar de sensorización de plataformas navales a corto plazo, deberemos referirnos a redes de sensores que conectan todos los sistemas del buque de guerra, que requieren una infraestructura y unas funcionalidades particulares y diferenciadas del resto de redes. A medio plazo, los sistemas aislados irán desapareciendo en pro de una interconexión total que permitirá correlacionar datos cuya influencia resulta muy difícil o imposible de discernir con las capacidades de procesamiento actuales. A largo plazo, podemos imaginar que el nivel de autonomía de las plataformas, gracias a las redes de sensores, estará únicamente limitado por la responsabilidad asociada al uso que se les quiera otorgar.

BIBLIOGRAFÍA

NME-491:2017. *Terminología de material electrónico de los equipos militares*.

STANAG 3680, ed. 5:1998. *APP-06:2016 NATO glossary of terms and definitions*.

STANAG 1166, ed. 8:2013. *APP-20 Standard Ship Designator System*, ed. A, ver. 1, 2014, último ratificado por España.

UNE 178107-4 IN: 2015. *Guía para las infraestructuras de Ciudades Inteligentes. Redes de acceso y transporte*. Parte 4: Redes de Sensores, WSN.

UNE-ISO/IEC 29182-1:2016. *Tecnología de la información. Redes de sensores: Arquitectura de referencia para redes de sensores. Visión general y requisitos*.

UNE-ISO/IEC 29182-2:2016. *Tecnología de la información. Redes de sensores: Arquitectura de referencia para redes de sensores. Vocabulario y terminología*.

ITU-T Y.2221:2010. *Requirements for support of ubiquitous sensor network (USN) applications and services in the NGN environment*.

Concepto de Operaciones Navales. 2015. Ministerio de Defensa.

Enlace a *Military&Aerospace Electronics*, donde se pueden encontrar artículos sobre tecnología de sensores aplicada al campo militar: *http://www.militaryaerospace.com/index.html*.

Enlace a la *web* de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU), organismo especializado de las Naciones Unidas para las Tecnologías de la Información y la Comunicación: *https://-www.itu.int/es/Pages/default.aspx*.

Enlace a *Remote Sensing, Open Access Journal, web* sobre la ciencia y aplicación de la tecnología de detección remota, gestionada por la organización suiza MDPI: *http://www.mdpi.com/journal/remotesensing*.

Enlace al *Sensors and Electronic Technology* Panel de la OTAN: *https://www.sto.nato.int/Pages/technical-team.aspx?k=%28%2a%29&s=Search%20SET%20Activities*.