

NUEVOS SONARES PASIVOS REMOLCADOS O POR QUÉ EL TAMAÑO SÍ QUE IMPORTA

Frédérick ÁLVAREZ MION



Failing to prepare is preparing to fail.

Benjamin Franklin



L panorama actual perfila el medio submarino como el menos controlado, tanto por sus características como por su utilización. Esta menor capacidad de control predice que en un futuro cercano el medio submarino jugará un papel fundamental en los conflictos y las pujas por el dominio del mar. Esto ha motivado a todas las marinas aliadas, con capacidad, a establecer diferentes planes de potenciación de la guerra anti-submarina.

La amenaza submarina continúa desde su nacimiento evolucionando en muchos ejes: sigilo, autonomía en inmersión, automatización de sistemas de combate, mantenimiento de la atmósfera, sensores y armamento. La raíz de la amenaza actual no es otra que el mercado global posterior a la Guerra

Fría que, democratizando el empleo del submarino, permite a cualquier nación con recursos suficientes adquirir tecnología militar de última generación.

Si echamos un vistazo a las características y mejoras de los submarinos convencionales (SSK) desde la mitad del siglo xx, el desarrollo tecnológico ha evolucionado drásticamente —desde los *U-Boote* de principios de la Segunda Guerra Mundial hasta el *Tipo XXI* con capacidad de hacer esnórquel al final del conflicto—, ofreciendo lo que ya se configuraría como la base de los submarinos convencionales modernos. Después, tenemos los clase *Romeo* y *Foxtrot* soviéticos de los años 60, el *Tipo 209* alemán de los 70, todavía en servicio, y el clase *Kilo* y los desarrollos del mismo desde los 80 hasta la actualidad, llegando a los *Tipo 212/214* alemanes dotados ya con sistemas AIP y finalizando con los últimos proyectos que integran baterías con tecnología Li-Ion (iones de litio).

Bastan estos ejemplos para ver cómo la ciencia ha evolucionado a marchas forzadas en plataformas tan específicas.

Llama la atención lo poco que se parecen los *U-Boote* alemanes a los diseños actuales de los SSK. De forma general, estos son dos o tres veces más rápidos, pueden permanecer sumergidos de media hasta seis veces más tiempo (contando con AIP, hasta quince más), alcanzan hasta cinco veces la cota máxima, son mucho más silenciosos y sus sistemas de armas y sensores han evolucionado notablemente.

A día de hoy, unos 40 países disponen en total de más de 300 submarinos enfocados al uso militar, de los cuales un 75 por 100 son relativamente modernos, con tecnología de los años 80 y 90. No solo debe llamarnos la atención la cantidad, sino también la calidad. Como máximo exponente de esta amenaza, y teniendo en cuenta la relación calidad-precio, despunta el Proyecto 636 clase *Kilo* de fabricación rusa, un submarino económico, que destaca por ser extre-

madamente silencioso —llegando a ser apodado *Black Hole*— y con un amplio abanico de armamento, entre el que podemos destacar el misil Club-S (versión de exportación del Kalibr), con un alcance de más de 200 km sobre blancos de tierra.



Lanzamiento de misil Club-S desde un submarino *Kilo* 636 argelino. <https://www.navyrecognition.com/index.php/naval-news/naval-news-archive/2019/september/7531-algerian-navy-fires-club-s-type-missiles-from-kilo-class-636-submarines.html>

Sería un error no completar esta definición actual de la amenaza con la reciente incorporación al panorama global de los minisubmarinos (1), los sumergibles y los vehículos submarinos autónomos (AUV). En los últimos años hemos vivido un rápido desarrollo de estos conceptos que, a modo de revolución en el sector, están copando el mercado militar y civil con plataformas cada vez más capaces y a precios más reducidos. Si el mercado de los submarinos después de la Guerra

(1) De forma general se consideran minisubmarinos aquellos que desplazan menos de 300 toneladas.

Fría había dejado al alcance de prácticamente cualquier nación disponer de una capacidad tan selecta, estos desarrollos aseguran el acceso al medio submarino a la totalidad de las naciones.

Para asegurar el dominio del mar, en particular debajo de la superficie, es preciso adaptarse y ser proactivo. Es un claro error esperar a que una amenaza aparezca plenamente desarrollada para generar nuevas capacidades y contrarrestarla. Distintos estudios tácticos definen como el mejor medio para luchar contra una amenaza submarina el binomio submarino-medios aéreos, y si nos centramos en el submarino, lo mejor para detectar a otro submarino a día de hoy es la banda estrecha, parte del espectro que es accesible mediante sonar pasivo remolcado (TAS) (2).

Un TAS no es otra cosa que una ristra de hidrófonos remolcados por un buque o submarino. Como se verá más adelante, este sensor se monta en configuraciones de mucha longitud, desde los cientos de metros en aplicaciones tácticas hasta los seis kilómetros en investigación del subsuelo marino. Nada en este equipo se deja al azar, ni la disposición de los sensores ni el número de estos ni la longitud total; todo está debidamente calculado y medido en función del objetivo del sensor.

Más allá de la parte física del sensor tiene especial relevancia la capacidad computacional y el desarrollo matemático para integrar la ingente cantidad de datos necesaria para interpretar las variaciones del medio y permitir la detección de fuentes sonoras. Esto es aún más importante cuando el sensor no tiene una forma fija, sino que es flexible, como este caso, siendo necesario aplicar correcciones a la información recibida para conformar un sensor virtual recto o integrar información de disposición espacial y desechar datos que puedan inducir a error, todo ello en tiempo real.

Es objeto de este texto ofrecer una visión de la necesidad de estos sensores, la base científica sobre la que se sustentan, su evolución y su empleo en nuestra Armada, específicamente en plataformas submarinas. No se consideran aquí los sonares activos remolcados, de antena pasiva y emisor activo disociados, cada vez más presentes en los escoltas modernos, porque serían objeto de un texto dedicado.

Un poco de historia

Las investigaciones en acústica submarina tienen su inicio durante la Primera Guerra Mundial en las instalaciones de la US Naval Engineering Experiment Station de la Marina estadounidense, con el claro objetivo de obtener una ventaja táctica mediante el empleo del sonido en el medio submarino. El equipo

(2) *Towed Array Sonar.*

de investigación, liderado por el doctor H. C. Hayes, concluyó que los equipos acústicos pasivos utilizados en el conflicto ofrecían una detección muy limitada de los submarinos enemigos. En respuesta a este problema se abrieron diferentes ramas de investigación, entre las cuales se encontraba un sonar remolcado lineal que llamaron «anguila eléctrica». Este equipo fue el primer diseño de TAS tal como los conocemos hoy en día. Empleaba dos cables remolcados que contaban cada uno con doce hidrófonos. Por desgracia, la tecnología disponible en aquel momento y la capacidad de computación no eran las adecuadas, y al finalizar el conflicto el proyecto fue abandonado, recuperándose con la llegada de los primeros submarinos nucleares soviéticos en los años 60.

Pero antes de retomar estos sistemas embarcados y aprovechando esta tecnología para hacer frente al avance comunista, se inicia en 1949 el desarrollo del sistema estático SOSUS, teniendo la primera detección de un submarino convencional soviético en 1962. Trece años y 130 millones de dólares fueron necesarios para desarrollar e implementar la tecnología necesaria para conseguir un sistema funcional, eso sí, estático.

Para apoyar estas investigaciones se crea el NATO Undersea Research Centre (NURC), organismo que ya a principios de los años 60 utiliza hidrófonos para la caracterización del ruido ambiente en el océano, y entre otros proyectos pone en el agua en 1978 su primer TAS dentro del sistema de vigilancia acústica



Calibrado del TAS de la US Office of Naval Research en 1978. (Fuente: *Thirty_years_of_towed_arrays_at_NURC*)

móvil. Este primer sensor fue construido por Hughes Aircraft Company para la Office of Naval Research (ONR), que a su vez se lo cedió al NURC para evaluar su capacidad en la plataforma continental. De la primera calibración del equipo ya surge el problema del ruido de la plataforma portadora como factor limitante en la detección de fuentes sonoras, lo que implica la adición de un tramo para alejar el sensor del portador. De estas primeras pruebas se extrae que los *arrays* deben ser de una longitud considerable si se mantiene el objetivo de detectar frecuencias inferiores a 1 kHz (3) y, a su vez, tener

(3) La mayor parte de la firma acústica de un buque se encuentra en este margen.

una buena discriminación angular. Una vez superadas las limitaciones tecnológicas, se desarrollaron diferentes TAS, siendo el primero operativo en la US Navy el AN/SQR-14 TASS (4), un sistema de largo alcance en banda estrecha que en su siguiente versión, AN/SQR-15, adquiere carácter modular, permitiendo ser transferido entre buques.

Este mismo concepto pero aplicado a los submarinos da lugar a diferentes sistemas en la misma época, el STASS (5), equivalente del TASS para submarinos nucleares de ataque; el AN/BQR-15, un TAS para los submarinos nucleares balísticos; el AN/BQQ-5, un TAS específico para el sonar BQQ-5 de los submarinos nucleares de ataque.

Un poco de ciencia

En caso de que se pretenda desarrollar un TAS desde cero, hay una serie de factores que deben tenerse en cuenta, y repasarlos puede ayudar a entender mejor cómo funcionan estos sensores, cuál es el origen de la gran cantidad de cálculos necesarios para obtener un producto aceptable y qué dificultades entraña su empleo.

El TAS permite completar la escucha pasiva de los sonares de casco, y también de los de flanco de los submarinos, en la parte baja del espectro de frecuencias. Este tipo de sensores, empleados en la actualidad eminentemente por submarinos, facilitan la preservación de la discreción, algo que este tipo de plataforma persigue en parte mediante el empleo, principalmente, de sensores pasivos (6). De forma contraria al sonar activo, optimizado para hacer un tratamiento de una señal conocida, el sonar pasivo pretende detectar las anomalías presentes en el ruido ambiente que constituye el ruido radiado por el blanco, tanto en banda ancha como en banda estrecha. Para esto se parte del principio de que el ruido ambiente carece de tonos.

La banda ancha presenta un espectro amplio e impreciso que se extiende a lo largo de un amplio margen de frecuencias y se suele definir de entre 1-8 kHz.

La banda estrecha, por el contrario, presenta un aspecto «estrecho» y se caracteriza por una frecuencia precisa, en el margen entre 0-1.200 Hz.

Las ventajas de un sonar pasivo remolcado son:

- Cuanto más baja sea la frecuencia de la señal sonora, menos pérdidas de absorción sufre en su transmisión, lo que implica mayores alcances de detección.

(4) *Towed Array Surveillance System.*

(5) *Submarine Towed Array Surveillance/Sonar System.*

(6) Aquellas naciones que disponen de la tecnología suficiente, poseen medios activos discretos, como pueden ser los sonares activos de mimetización biológica.

- Es menos sensible al ruido hidrodinámico producido por la velocidad. El sonar de casco se ve claramente afectado y el de flanco tiene un comportamiento muy parecido al remolcado en este sentido.
- Su posición y distancia con respecto al submarino permite disociarlo del ruido radiado por este.
- El TAS permite una clasificación del blanco asociando el espectro de frecuencias detectadas con una firma acústica conocida previamente.
- Permite, mediante determinadas maniobras, controlar el ruido propio radiado, identificando posibles indiscreciones o futuras averías.
- Complementa al sonar de casco en la parte baja del espectro de banda ancha.
- Al ofrecer información de demora y frecuencia permite trabajar la velocidad del blanco en sus dos componentes con respecto al sensor: desfile y acercamiento/alejamiento.

Los inconvenientes del sonar pasivo remolcado son:

- La longitud del sensor y el peso del mismo implican restricciones cinemáticas y de manipulación del mismo.
- Cada cambio de rumbo, velocidad o cota del sensor implica un período de inestabilidad que corrompe la detección durante un tiempo hasta que se vuelve a estabilizar.
- Cada nueva detección viene acompañada de una ambigüedad, ya que la distribución física de los hidrófonos produce conos de detección en lugar de líneas. Resolver esta ambigüedad implica una caída de rumbo, que se traduce en un período de desestabilización del sensor.
- La precisión de la detección depende de la marcación de la misma, siendo más precisa en el través del sensor y menos en los extremos.

Las partes que componen un sonar pasivo remolcado son, en esencia, las siguientes:

- Un tramo de sacrificio o desgaste que amortigua los esfuerzos de tracción y discurre desde la caja de conexiones que comunica con el interior del submarino a través de la estructura externa del mismo hasta aproximadamente una eslora del mismo.
- Un tramo de remolque que aleja a los hidrófonos del ruido propio del submarino.
- Un tramo acústico donde se disponen los hidrófonos.
- Una rabiza de estabilización al final que evita los latigazos del conjunto.

Como orientación, un sonar pasivo remolcado medio suele medir en total unos 700 metros. Pero como reza el título, el tamaño importa y no es capricho sino ciencia lo que lo define. De esta manera los dos factores que permiten caracterizar un sonar de este tipo son:

- El tamaño, función de la longitud acústica.
- La directividad o precisión de la medida angular.

Por lo tanto y justificando la longitud del ejemplo antes mencionado, el tamaño de la antena debe ser función de la longitud de onda que se desea detectar y de la directividad mínima aceptable. De esta manera, la longitud acústica útil quedaría:

$$L_{\text{au}} = 15 \times \lambda \text{ donde } \lambda = \frac{c}{f}$$

λ es la longitud de onda, c la celeridad del sonido en el agua y f la frecuencia

Tradicionalmente se han buscado los armónicos de los sistemas de generación eléctrica, 50-60 Hz. Tomando un margen superior y trabajando de 50 a 300 Hz, obtenemos una L_{au} de 200 metros de media.

Una vez determinada la longitud, se deben disponer los hidrófonos a lo largo de la antena. Una antena constituida por un único hidrófono solo ofrecería una vía de detección que tendría una representación de una esfera. La formación de las vías se consigue a partir de la información acústica obtenida de diversos hidrófonos distribuidos de forma equidistante a lo largo de la antena.

Para evitar la aparición de lóbulos de detección parásitos se aplica el Teorema de Shannon, que resulta en respetar un espacio entre hidrófonos de $d \leq \lambda/2$.

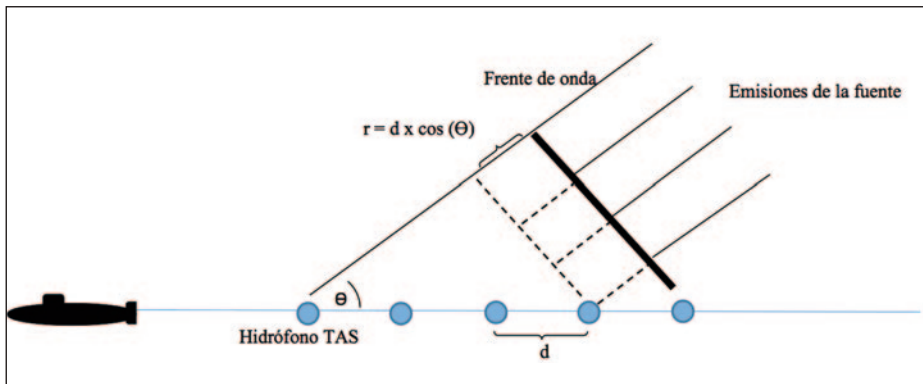
Para minimizar el tamaño de la antena y cubrir el rango de frecuencias deseado, se debe llegar a una solución de compromiso entre longitud mínima de antena necesaria para las frecuencias más bajas y espacio máximo entre hidrófonos para las frecuencias más altas. Una antena optimizada para una frecuencia no trabaja bien para otras, por lo que para hacerlo en un margen aceptable hay que dividir la antena en subantenas adaptadas a distintos márgenes de frecuencia. Los márgenes que cubren las subantenas se llaman octavas y son definidas por:

$$F_{\text{Max}} = 2 \times F_{\text{min}}$$

F_{Max} es la frecuencia máxima del margen considerado F_{min} la mínima

Estos sonares combinan los efectos de la búsqueda de tonos en el ruido de fondo en el dominio espectral con la discriminación espacial en el plano horizontal; esto es la formación de vías, que es una operación de tratamiento de señal que permite optimizar la observación en una determinada dirección. La ordenación de estas vías permite cubrir todo el horizonte. El principio de la formación de vías es constituir de forma ficticia en una dirección dada una antena plana paralela al frente de ondas emitidas por la fuente a gran distancia. Para este menester, a cada hidrófono de la subantena considerada se le aplica un retraso en la señal proporcional al ángulo entre la antena real y el frente de ondas considerado.

Resumiendo, y para tener una idea del orden de grandeza del volumen de datos que debe manejar un sistema de este tipo, la información recibida por los distintos hidrófonos debe ser repartida varias veces para componer todas las subantenas a fin de cubrir todas las bandas de frecuencia. Una vez repartidas, deben desfasarse las señales de cada hidrófono de cada banda el número de veces que vías queramos componer, que no serán pocas, ya que buscamos definición en marcación para poder elaborar y obtener datos del blanco. De forma muy básica, esto es lo que procesa un sistema TAS.



Desfase de señal recibida para la formación de vías

Con qué hemos jugado hasta ahora

El primer contacto de la Armada con un TAS vino de la mano del sistema AN/SQR-19 TACTAS LAMPS montado en las fragatas *F-80*. Este sonar remodelado era un modelo muy bueno en su día que, diseñado durante la Guerra Fría para detectar grandes (y ruidosos) submarinos en aguas oceánicas, con el tiempo ha perdido efectividad. Esta obsolescencia viene marcada por un lado por el desarrollo tecnológico de las plataformas submarinas en general, cada



Maniobra de largado del TACTAS en un destructor estadounidense.
 (Fuente: <https://www.navy.mil/Resources/Photo-Gallery/igphoto/2002963395/>)

vez más silenciosas y, por otro, por el desplazamiento generalizado del teatro de operaciones a aguas litorales, donde se ve afectada su escucha.

El TACTAS proporcionaba detección, clasificación y seguimiento de forma pasiva sobre un gran número de contactos submarinos, todo ello a larga distancia. Aparte del largo alcance que ofrecía, sus principales ventajas eran que permitía cubrir los 360° y que mantenía su capacidad a altas velocidades y fuerte marejada. Esto se conseguía gracias a la distancia que el remolque ponía entre portador y sensor acústico, llegando a una longitud total de 1.700 metros. El gran volumen de datos que se debían tratar para permitir la detección era posible gracias al ordenador con la mayor capacidad de computación jamás instalado hasta la fecha en un buque de superficie, el AN/UYK-20. Entrando más al detalle, el tramo acústico medía unos 240 metros de largo y disponía de 16 módulos individuales que trabajaban en cuatro bandas de frecuencia — VLF, LF, MF y HF —, cubriendo así banda ancha y la parte superior de la banda estrecha. El primer desarrollo del TACTAS data de 1982 y fue probado en el destructor USS *Moosbrugger* (DD-980) de la clase *Spruance*.

El segundo TAS con el que ha contado la Armada es el SOLARSUB B, un sistema montado sobre los submarinos de la *Serie 70*. Las frecuencias detectadas

se comparan con las disponibles en la información ACINT, al objeto de llevar a cabo su clasificación. Para ello, el sistema SOLARSUB está apoyado por el SICLA, que le proporciona ayuda para la clasificación de un contacto mediante la utilización de filtros amenaza. El SOLARSUB puede proporcionar información en banda estrecha y en banda ancha, si bien esta es menos fiable que el sonar cilíndrico debido al margen de frecuencias que utiliza para ello, proporcionando datos de demora y frecuencia del contacto en función del tiempo.

Los datos en banda estrecha son los originados por la maquinaria auxiliar y la propulsión del blanco y se presentan en la consola en forma de líneas o tonos. Generalmente, serán los que proporcionen la primera indicación de la presencia de un contacto, debido a una teórica mayor distancia de propagación de estas frecuencias.

El TAS rellena el margen de frecuencias que no cubren nuestros equipos de detección submarina para el tratamiento de señales recibidas en banda estrecha y su frecuencia de trabajo va desde 10 a 1.600 Hz, dependiendo de la subantena empleada. Con una longitud de 700 m, este TAS contiene en su interior 216 hidrófonos formando 84 grupos hidrofónicos. Además, cuenta con un sensor de rumbo de antena, situado en popa, y dos sensores de presión, uno a proa y otro a popa del tramo acústico. De esta forma, el equipo dispone de la información de rumbo y cota de los extremos, lo cual, integrado, indica el grado de alineamiento del sensor.

En cuanto a su desarrollo y empleo no está exento de controversia. Por un lado, tiene unas especificaciones prometedoras que en su fase de implementación han pasado por numerosas dificultades inherentes a todo desarrollo, y más en este campo. El empleo operativo en los submarinos S-70 ha sido reducido y muy marcado por los reajustes económicos que han debido afrontar las FF. AA. en los últimos años, dejando el equipo a día de hoy a la espera de volver a ser instalado a bordo. A esto hay que añadir que los S-70 no son la plataforma ideal, ya que no cuentan con un sistema de combate, y el tratamiento de los datos, a pesar de llevar una consola dedicada para el TAS, debe hacerse de forma manual en lo que al TMA (7) se refiere.

Futuro inmediato

Uno de los actuales ejes de investigación es la creación de una red de sensores pasivos submarinos de baja frecuencia operados desde vehículos submarinos autónomos. Esta plataforma portadora exige el desarrollo de *arrays* especiales más livianos y de menor sección. A modo de ejemplo, citar que el

(7) *Target Motion Analysis*.

NURC ha desarrollado un sensor denominado SLITA (8) para ser operado por su AUV *Ocean Explorer*. Estos desarrollos ampliarán la oferta de tipos de TAS atendiendo a las necesidades de las distintas plataformas.

Para combatir uno de los mayores inconvenientes de los TAS —la incertidumbre en marcación—, se han investigado y desarrollado ya sensores unidireccionales. Esto se consigue con una disposición de hidrófonos de tripletes en sección transversal y con un tratamiento de señal específico. La combinación de la señal de los tripletes genera distintas cardioides, de las cuales el resultado de la suma es el haz direccional. La mayoría de los logros en este eje han sido fruto de proyectos conjuntos de institutos de diferentes países de la OTAN, como el canadiense Defense Research and Development Canada (DRDC), el Forschungsanstalt der Bundeswehr für Wasserschall und Geophysik (FWG) alemán, el Netherlands Organisation for Applied Scientific Research (TNO) holandés y el Pennsylvania State University Applied Research Laboratory y el Naval Research Laboratory estadounidenses.

Está previsto un gran avance en los TAS con la incorporación de tecnología que permita variar su flotabilidad a voluntad del portador, que no estén físicamente conectados al mismo y ofrezcan una telemetría precisa de la forma y disposición de la antena en todo momento.

Uno de los ejes de investigación más importantes de los países con mayor potencial tecnológico de este campo es la ultrabaja frecuencia o UBF, definida normalmente de 0 a 150 Hz. En este margen tan bajo, gran parte de la energía no solo viaja por el agua, sino que también lo hace por el suelo marino, lo que, unido a la baja frecuencia, hace que los alcances sean enormes. Aquí se produce una serie de efectos que obligan a tratar la información recibida por el sensor de otra manera y aplicar otras hipótesis, en particular la Teoría de Modos. El tratamiento de la señal con estos sensores específicos permite no solo determinar una demora, sino también una elevación en muchos casos y un margen de distancia. El resultado es un sensor que permite detectar todo tipo de plataformas submarinas por silenciosas que estas sean a decenas de kilómetros. Las ventajas son claras, ya que una vez eliminada la incertidumbre de la banda de detección obtenemos prácticamente una solución total del blanco. Este tratamiento de la información ofrece otra ventaja, y es que en ambiente litoral apenas se ve degradado, por lo que la adopción de estos sensores es coherente con el cambio del teatro de operaciones a zonas litorales. Por el contrario, tiene ciertas desventajas; para empezar, los tiempos que debe estar estabilizado el sensor son mayores en comparación con un TAS convencional, ya que debe integrar una cantidad de datos enorme y, por lo tanto, la capacidad computacional del sistema debe estar a la altura. Otra desventaja es el estudio previo que hay que hacer para obtener la caracterización del medio que la aplicación de esta teoría exige,

(8) *Slim-line towed array*.

y que si no es correcta desvirtúa enormemente los resultados obtenidos. Como desventaja principal, señalar que requiere un potencial de estudio y desarrollo de entidad, tanto en esfuerzo como en tiempo, y que, al ofrecer una ventaja estratégica tan grande por la capacidad de detección de todo tipo de submarinos a grandes distancias, ninguna nación lo presenta en su carta de productos a la venta. No debemos pensar que los TAS UBF son la panacea y sustituyen a todos los desarrollos anteriores. Realmente son un complemento a un TAS convencional ampliando el margen de frecuencias que cubren. Los submarinos más capaces suelen montar dos TAS en paralelo, uno convencional y otro UBF. A modo de referencia, indicar que los nuevos submarinos de la clase *Suffren* franceses estarán dotados de sensores UBF, y los actuales *SNA* serán actualizados para poder emplearlos.

En el ámbito nacional, el futuro inmediato viene marcado por la incorporación del SOLARSUB *S-80*, una evolución del SOLARSUB B para la nueva serie de submarinos. Si bien el sensor remolcado en arquitectura es idéntico a su predecesor, varía el número de sensores de posición y la capacidad de computación e integración en el sistema de combate. Esto resultará en una percepción mejorada de la disposición espacial del sensor, un mejor tratamiento de la señal y una elevada capacidad de gestión de tonos y contactos. En definitiva, un sensor actual dotado de las capacidades exigibles a una plataforma moderna en ese abanico de frecuencias.



SOLARSUB. Sonar Remolcado Digital y sistema automático de despliegue y recogida.
(Fuente: https://electronica-submarina.es/wp-content/uploads/2018/04/sonar_solarsub-1.jpg)

Conclusiones

Los TAS han desempeñado un papel fundamental en las investigaciones científicas desde sus primeros desarrollos operativos en los años 70. Han impulsado la innovación y la aplicación de tecnología de última generación, evolucionando de simples sensores analógicos con un puñado de hidrófonos a sistemas digitales con cientos de hidrófonos. El desarrollo continuado de los TAS para mantener el ritmo de la evolución, cada vez más rápida, de los requisitos

operativos exige una considerable inversión en las instituciones desarrolladoras, y los mayores logros se consiguen con trabajo en equipo entre distintas naciones debido al alto coste que implica su desarrollo.

Si queremos asegurar el dominio del mar tanto en la superficie como debajo de esta, los TAS deben equipar una flota moderna, tanto de superficie — puramente pasivos o combinados con fuentes activas — como de submarinos.

Para una nación como España, con sus recursos y prioridades, es prácticamente imposible no perder el tren tecnológico en este campo, por no decir que nos está costando subirnos al mismo. Es por esto que es vital unírnos a programas OTAN o europeos de desarrollo y apuntar lo más alto posible, previendo los futuros panoramas. A día de hoy, deberíamos centrarnos en TAS convencionales con conectores de fibra óptica que permitan un escalado de tecnología y volumen de datos a mínimo coste, miniaturización de sensores para uso en vehículos autónomos e inicio de desarrollos de tecnología UBF, apadrinados por una nación desarrolladora una vez el TAS convencional esté plenamente integrado en nuestros submarinos.

Antes de invertir recursos materiales, económicos y de personal en este campo, es preciso determinar hasta qué punto, ya no la Armada, sino España considera importante la amenaza submarina. Si es que alguien todavía tiene alguna duda.

BIBLIOGRAFÍA

- BONNEL, Julien (2010): *Analyse de la dispersion acoustique UBF (0-150 Hz) pour la surveillance et la caractérisation du milieu marin*. Institut National Polytechnique de Grenoble.
- COLIN, Mathieu Edouard Guy Didier (2011): *Underwater detection, classification and localisation: improving the capabilities of towed sonar arrays*. Ecole Nationale Supérieure des Etudes et Techniques d'Armement.
- GUERRINI, Piero (2008): «Thirty years of towed arrays at NURC». *Oceanography Magazine*.
- KOPP, Carlo (2004): «Identification underwater with towed array sonar». *Pacific Maritime Conference*.
- LEMON, Stanley G. (2004): «Towed Array History, 1917-2003». *Journal of Oceanic Engineering*.
- LURTON, Xabier (1998): *Acoustique sous-marine: Présentation et applications*. Ed. IFREMER.
- PROWSE, David (2019): «Future towed arrays-operational drivers and technology solutions». *Sensors & Processing*.
- YOUNG, D. J. de (1994): *Seventy Years of Science for the Navy and the Nation (1923-1993)*. National Security and the US Naval Research Laboratory.
- <https://electronica-submarina.es/>
<https://www.cmre.nato.int/>
<https://www.defense.gouv.fr/marine>
<https://www.navy.mil/>
<https://www.thalesgroup.com/es>