

En profundidad

DIAR y DIFI, los nuevos sistemas de medida de firmas radar e infrarroja de la Armada

Autores: TN (CIA EOF) Francisco José Calviño Dopazo, CF (CIA EOF) Rafael Ángel Valencia Cruz, Ministerio de Defensa. Armada Española. Subdirección de Ingeniería. Centro de Medidas Electromagnéticas (CEMEDEM).

Palabras clave: firma radar, firma infrarroja, SER, RCS, SAR, ISAR, perfiles, blanco, misil, chaff, bengala, contramedidas.

Metas Tecnológicas relacionadas: MT 2.2.1; MT 2.3.1; MT 2.7.1..

Introducción

De forma resumida se podría decir que los sistemas radar tratan de detectar o caracterizar objetivos predefinidos¹ mediante la reflexión que produce en ellos una señal electromagnética, normalmente

¹ La característica de predefinido hace referencia a la obvia necesidad de establecer unos límites a las características de los objetivos y blancos que cualquier sistema requiere para su diseño y desarrollo.

generada en ese mismo sistema radar.

Las aplicaciones actuales de los sistemas radar son innumerables, abarcando campos como la teledetección, seguimiento, guiado de misiles, control de tráfico aéreo, navegación, control de velocidad, meteorología, detección de restos arqueológicos, comprobación del nivel en los océanos, etc.

Por otro lado, está el campo de la radiación infrarroja, que es la propiedad de cualquier objeto de emitir en el espectro infrarrojo simplemente por el hecho de tener una temperatura superior al cero absoluto (-273.15°C). A mayor temperatura mayor será la radiación infrarroja emitida, si bien las propiedades de esas emisiones variarán y la tecnología necesaria para caracterizarlas deberá asimismo adaptarse a esas variaciones.

Nuevamente, la implacable mejora de la tecnología en este campo ha permitido el desarrollo de equipos con aplicaciones en multitud de ámbitos y usos: sistemas de guiado de misiles, sistemas de visión nocturna, sistemas de vigilancia, mandos a distancia, aplicaciones médicas, climáticas, comunicaciones ópticas, etc.

Tanto en un caso como el otro, el ámbito militar ha sido decisivo, no

solo para el avance de estas tecnologías, sino para su misma generación. La necesidad de lograr una ventaja táctica sobre los posibles adversarios ha llevado a idear sistemas que permiten detectar, e incluso identificar, unidades enemigas y con la antelación suficiente para dotarnos de un mayor tiempo de respuesta y aumentar las probabilidades de supervivencia.

Pero en este escenario no sólo basta con poder identificar y caracterizar al adversario, sino que también es preciso evitar que dicho adversario haga lo propio con nosotros. Por ello es necesario el poder definir nuestras unidades, observar sus deficiencias, corregirlas en la medida de lo posible o tenerlas presentes para futuras versiones. Los campos radar e infrarrojo (así como el acústico, magnético u óptico) son hoy de vital importancia en el ámbito militar, fundamentalmente porque las principales amenazas a nuestras unidades atienden a sus características en estas áreas y, adicionalmente, debido a las posibilidades de innovación y mejora que aún pueden ofrecer.

La Armada y la Dirección General de Armamento y Material (DGAM) han impulsado el desarrollo de sendos sistemas de medida de firma radar e infrarrojo, que habilitan en el ámbito de la defensa este indispensable



Fig. 1. Sistema DIAR. (Fuente: MINISDEF).

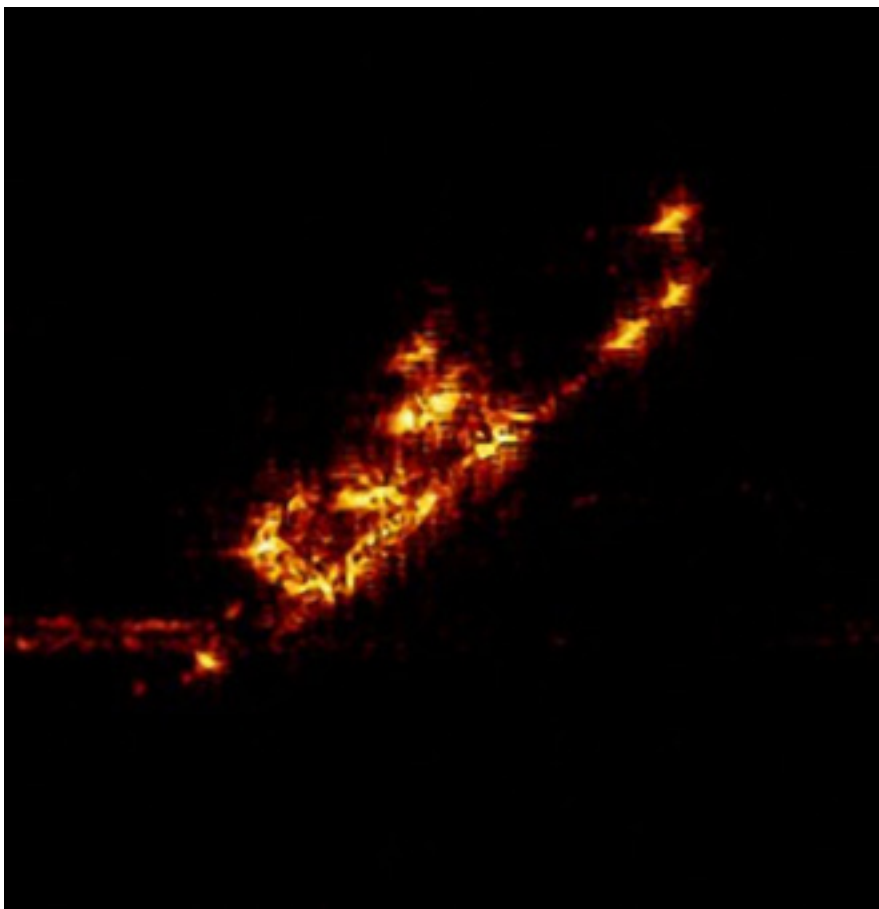


Fig. 2. Imágenes ISAR y HRRPs obtenidos con DIAR. (Fuente: MINISDEF).

requisito de caracterizar nuestras unidades navales, definir sus posibilidades de detección y poder así establecer las acciones tácticas más oportunas para evitarla. Estos equipos son el sistema DIAR (Demostrador Instrumental de Alta Resolución) y el sistema DIFI (Demostrador Instrumental de Firma Infrarroja), dos sistemas que la I+D+I española (en concreto el Grupo de Antenas y Radar de la Universidad de Vigo) ha situado en la vanguardia de la tecnología internacional en su campo de aplicación.

Ambos sistemas se han desarrollado para su explotación en el Centro de Medidas Electromagnéticas (CEMEDEM) perteneciente a la Subdirección de Ingeniería de la Jefatura del Apoyo Logístico de la Armada, organismo con el que el citado grupo de la Universidad de Vigo colabora desde hace más de treinta años.

Junto a la renovación del Laboratorio Móvil del CEMEDM, los equipos fueron entregados a la Armada en octu-

bre de 2019 y, tras cumplirse un año de garantía, la experiencia obtenida con ellos en el CEMEDM es plenamente satisfactoria.

Sistema DIAR

DIAR es un sistema de medida de firma radar, capaz de obtener en tiempo real y de forma simultánea resultados tan complejos como la sección equivalente radar (SER), perfiles de alta resolución longitudinal (HHRP) e imágenes SAR/ISAR (*Synthetic Aperture Radar/Inverse Synthetic Aperture Radar*) de un objetivo, sea o no colaborador, y ya sea este un blanco marítimo, terrestre o aéreo.

Estas características hacen del DIAR un sistema puntero a nivel internacional. Es un equipo con una arquitectura basada en equipos comerciales, lo que lo dota de un grado alto de escalabilidad. Su capacidad de despliegue es también muy versátil al ir montado sobre un vehículo todoterreno y disponer de protección frente

a cualquier clima. Adicionalmente, ofrece la posibilidad de desmontarlo de forma sencilla del vehículo y ajustarlo a cualquier tipo de terreno o estructura sobre la que necesite ser ubicado.

Las aplicaciones directas del sistema DIAR pasan por la caracterización completa de las unidades medidas a nivel radar. Esto supone conocer su grado de detección ante radares enemigos, la variabilidad de esta propiedad ante los diferentes factores influyentes (frecuencia, polarización, demora, distancia o geometría, entre otros), la identificación de los puntos que más contribuyen a su detección y la correspondiente propuesta de medidas para su corrección (cuando es viable), la evaluación de tratamientos RAM² y el estudio de la efectividad de *chaff* y contramedidas.

El potencial del *hardware* implementado en DIAR lo dotan de muchas más posibilidades con poca inversión adicional, como podrían ser el análisis y excitación de los sistemas de guerra electrónica de nuestras unidades o la caracterización de las condiciones de propagación, entre otras.

El sistema cubre las bandas C, X y Ku, polarizaciones horizontal y vertical, con capacidad para transmitir tanto de forma continua como pulsada. Esto permite a DIAR medir y caracterizar desde el periscopio de un submarino hasta el mayor de los portaviones y con un grado de resolución de hasta decímetros, según el tipo de unidad a medir.

Dispone de capacidad de seguimiento óptico, radar o por GPS.

Además, el sistema es perfectamente manejable tanto de forma local como remota a través de enlaces vía WIFI o 4G totalmente seguros y configurables. Dispone de una unidad remota embarcable que además de permitir el seguimiento por GPS envía información de parámetros dinámicos de la unidad (balance, cabezada, guiñada, velocidad). Esta unidad remota es una ayuda a la hora de procesar los datos de una medida, pero no es imprescindible para obtener resultados.

² RAM: Radar Absorbing Material



Fig. 3. Sistema DIFI. (Fuente: MINISDEF).

Sistema DIFI

DIFI es un sistema cuya principal función es la de obtener la firma infrarroja de un blanco en condiciones ambientales conocidas. Esto permitirá caracterizar el objetivo en el espectro infrarrojo y definir su grado de detección en este ámbito, analizando los puntos calientes que más contribuyen a su respuesta y posibilitando la toma de medidas correctivas cuando sea viable.

Al igual que DIAR, DIFI posee una arquitectura también basada en su mayoría en equipos comerciales, si bien alguno de sus componentes ha sido sometido a ciertas mejoras *ad hoc* para garantizar unos resultados superiores a los ofrecidos por dicho componente en su versión habitual. Por este motivo su escalabilidad futura está garantizada.

El transporte y despliegue de la unidad es similar a la del sistema DIAR, montado en un vehículo todoterreno y con la posibilidad de hacer independientes sistema de medida y vehículo, lo que permite su puesta en funcionamiento en menos de 30 minutos una vez alcanzado el lugar de medida.

El demostrador permite realizar medidas en las dos bandas de interés militar a nivel IR, la banda MWIR (*Medium Wavelength Infra-Red*), que abarca las bandas espectrales de 3 a 5 μ m y la banda LWIR (*Long Wavelength Infra-Red*), que incluye la banda de 8 a 12 μ m³, y con tiempos de integración totalmente configurables para poder caracterizar

³ Estas ventanas son aquellas en las que a día de hoy funcionan las principales amenazas tipo misil contra nuestras unidades y gran parte de las aplicaciones en los ámbitos civil y militar.

con precisión diferentes rangos de temperatura. Se puede nuevamente controlar localmente, vía WIFI o 4G [3]. Sus capacidades de despliegue y seguimiento son conceptualmente las mismas que las del sistema DIAR. El alcance en distancia para proporcionar datos se extiende hasta los 8 km. También posee una unidad remota embarcable que, además de enviar a la unidad de medida datos de telemetría, añade información de las condiciones ambientales a bordo del blanco, lo que permite definir con mucha más precisión el comportamiento del blanco. Las medidas sin esta unidad embarcable también son posibles, si bien la calidad de los datos generados disminuye.

Así, el sistema DIFI permite evaluar a las unidades bajo medida en las bandas del infrarrojo indicadas, resaltar qué elementos contribuyen más a la

En profundidad

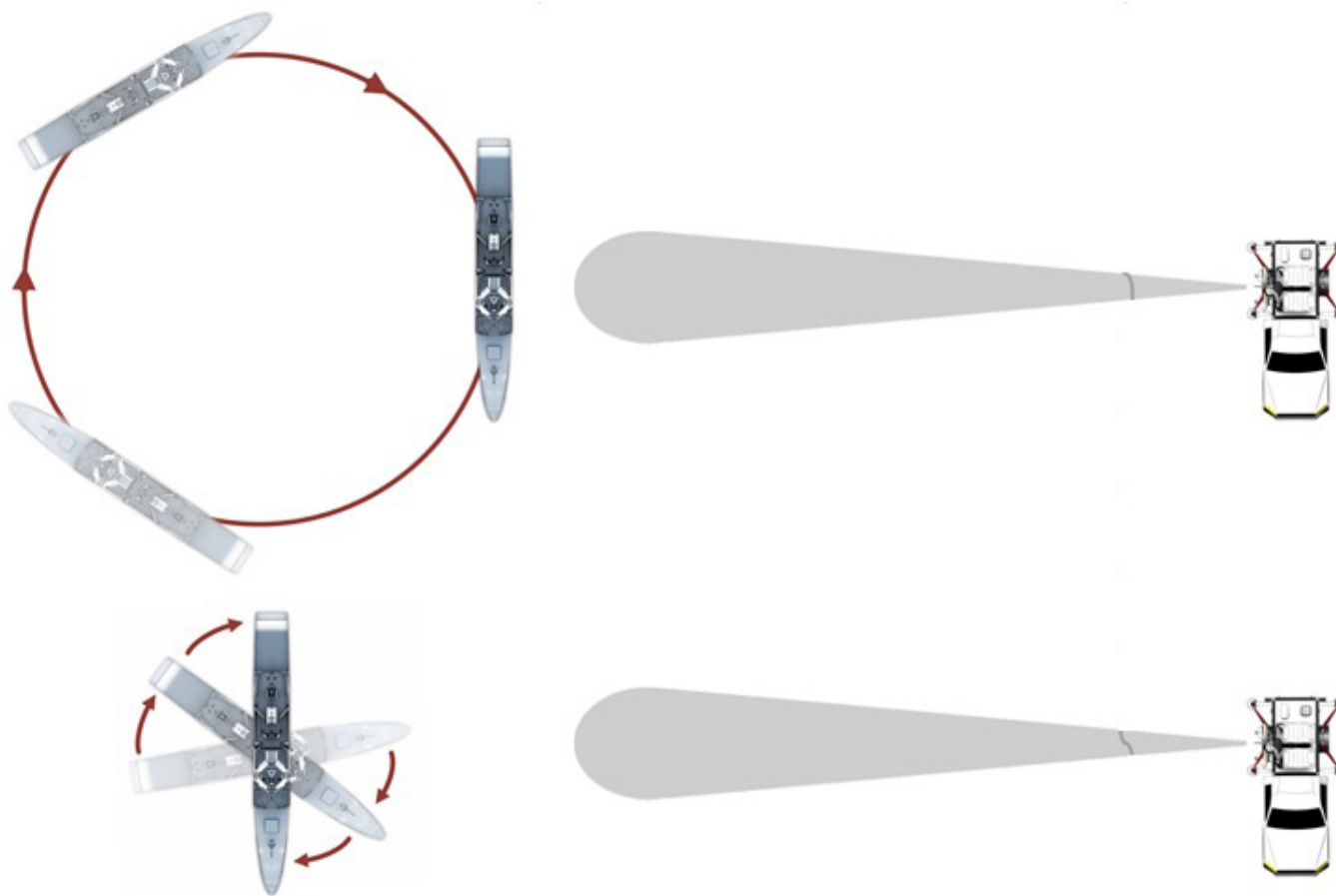


Fig. 4: Evoluciones necesarias para medida de firmas. (Fuente: MINISDEF).

detección de las mismas y caracterizar el comportamiento de las contra-medidas IR desplegadas frente a la unidad.

Mecanismo de medida de firmas SER e IR

Aunque tanto DIAR como DIFI parten de un concepto orientado más a la medida de plataformas navales, en la realidad se ha demostrado que es posible también llevar a cabo medidas a unidades terrestres y aéreas.

El protocolo de medida parte de la base de que es necesario medir a la unidad en los 360° que conforman su contorno para poder caracterizarla adecuadamente. Por ello, el blanco objeto de medida describe evoluciones circulares (idealmente en un punto) a una distancia especificada con el radio táctico mínimo posible. La configuración exterior de la plataforma a medir ha de ser la de interés (si hay varias, deberán

medirse cada una por separado) y no debe cambiarse mientras dure la medida. Tampoco es apropiado cualquier tipo de emisión en la banda del espectro en la que se esté midiendo, debido a que muy probablemente incrementará la respuesta esperada de la unidad.

Para el caso de un blanco colaborador, la figura 4 muestra cómo sería el proceso de medida.

Empleando el DIAR, con una sola evolución se puede obtener la SER en todo el ancho de banda de trabajo y para una polarización. Sin embargo, la obtención de imágenes ISAR o perfiles de alta resolución requieren de una evolución por frecuencia de interés (también se obtendría la SER a esa frecuencia y polarización).

En la parte infrarroja DIFI se obtiene, por cada evolución dada, las imágenes IR en ambas bandas de trabajo, pero para un solo tiempo

de integración, es decir, para un solo rango de temperaturas a caracterizar. Lo habitual es utilizar diferentes rangos de temperatura en diferentes evoluciones para caracterizar puntos a temperaturas dispares. Si sólo midiéramos para obtener los puntos más calientes, el resto de elementos a temperaturas más bajas quedarían enmascarados y pasarían desapercibidos. Y al contrario, al medir para detectar elementos menos calientes, los elementos que más contribuyen quedarían al mismo nivel que aquellos, quedando oculta su verdadera importancia.

En el caso de blancos no colaborativos los sistemas serían capaces de realizar el seguimiento de los mismos llevando a cabo la medida en las demoras visibles.

Un punto negativo de ambos sistemas es que no ofrecen la posibilidad de ser embarcados en una aeronave para llevar a cabo medidas en eleva-

ción, lo cual también es importante para definir adecuadamente la unidad y en base al comportamiento que están presentando misiles de nueva generación.

Unidades “STEALTH”

El avance que las tecnologías de detección en general han sufrido en los últimos años es realmente importante, motivado por un lado por la mejora en todo el *hardware* involucrado en la generación y transmisión de las señales requeridas para la “detección” y, por otro, por la capacidad de procesamiento de los equipos actuales, que permiten obtener resultados en tiempo real que no hace mucho eran inviables.

Esta carrera por detectar de forma cada vez más precisa y más detallada lleva inevitablemente asociada la opuesta, es decir el desarrollo de tecnologías que eviten la detección y contribuyan al ocultamiento de las unidades. Son las denominadas tecnologías de invisibilidad o “STEALTH”⁴. Las propiedades

⁴ Como ejemplo más notorio de estas tecnologías está la clase de destructores “ZUMWALT” de la armada estadounidense.

stealth abarcan los diferentes aspectos aprovechables para reducir la detección de un blanco: aspectos radar, infrarrojos, magnéticos, ópticos, sónicos o de uso de sistemas LPI⁵.

Hoy en día el diseño de unidades con características *stealth* es ya una necesidad y requiere necesariamente de simulaciones por *software* que permitan abordar la construcción de dichas unidades con ciertas garantías⁶ de baja detección.

Una vez finalizada la construcción, los sistemas DIAR y DIFI, en los ámbitos de la firma radar e infrarroja, ayudarán a comprobar que tales requisitos se cumplen y a generar una retroalimentación de información que, a su vez,

⁵ Los sistemas LPI (*Low Probability of Intercept*) son aquellos que usando muy poca potencia tienen las mismas o mejores prestaciones que los sistemas habituales, dificultando la detección de la unidad que los usa por emisiones propias.

⁶ Un ejemplo de estos simuladores a nivel radar podría ser el *software* M3 desarrollado por la Universidad de Vigo y la Universidad de Extremadura, actualmente uno de los mejores del mundo.

redundará en la optimización de futuras unidades.

Conclusiones

Tal y como se ha expuesto anteriormente, los sistemas de medida de firma DIAR y DIFI constituyen dos herramientas fundamentales en el ámbito de la defensa, al permitir definir y concretar aspectos decisivos de nuestras unidades navales en el campo de la detección radar e infrarroja, así como el estudio y valoración de las diversas contramedidas de tipo seducción o distracción derivadas de la defensa antimisil. Por otro lado, contribuirán a comprobar las especificaciones de nuevas construcciones en sus respectivas áreas de aplicación y permitirán establecer una base de conocimiento importante a la hora de acometer nuevos diseños.

Estos proyectos han permitido a la Armada sistemas tecnológicamente punteros a nivel internacional, de gran escalabilidad y fundamentados en desarrollos completamente nacionales, lo que pone nuevamente en valía el potencial de la industria nacional.

Referencias

[1] *The generalized forward-backward method for analysing the scattering from targets on ocean-like rough surfaces*. M. Rodríguez Pino, L. Landesa, J.L. Rodríguez, F. Obelleiro, R.J. Burkholder. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, volume 47, pages 25-33. 1999.

[2] *Radar Cross Section, Second Edition*. Eugene F. Knott, John F. Schaeffer, Michael T. Tuley. *SciTech Publishing*, 2004.

[3] *Understanding Synthetic Aperture Images*. Christopher Oliver, Shaun Quegan. *Scitech Pub*, 2004.

[4] *Experimental verification of the relation between the radar cross section and the list angle of surface vessels*. J.F. Pérez Ojeda, J.L. Rodríguez, I. García-Tuñón, F. Obelleiro. *Microwave and Optical Technology Letters*, 48-11, pages 2237-2241. 2006

[5] *Infrared Thermal Imaging: Fundamentals, Research and Applications*. M. Vollmer, K. P. Möllmann. *2nd Edition*. Wiley-VCH Verlag GmbH. 2010.

[6] Experiencia en el control de la firma radar y reducción de la sección recta radar (RCS) de una plataforma naval. Inés García-Tuñón blanca, José Luis Rodríguez Rodríguez, Fernando

Obelleiro Basteiro. II Congreso Nacional de I+D en Defensa y Seguridad. Noviembre 2014.

[7] Manuales del Demostrador Instrumental de Alta Resolución. Dirección General de Armamento y Material, 2018.

[8] Manuales del Demostrador Instrumental de Firma Infrarroja. Dirección General de Armamento y Material, 2018.

[9] La simulación electromagnética en buques de la Armada Española. José Antonio López Moreno, Fernando Obelleiro Basteiro, Revista General de Marina, marzo 2019.