

Análisis de la Respuesta a Firmas en Minas Multi-Influencia

Págs. 95-110

José María Riola Rodríguez^a Antonio Sánchez García^b Juan Jesús Díaz Hernández^c

^aCapitán de Fragata Doctor Ingeniero Naval, Armada Española. jrriorod@fn.mde.es

^bDoctor Ingeniero de Telecomunicaciones, Responsable I+D+i SAES. a.sanchez@electronica-submarina.com

^cIngeniero Naval, Isdefe. jdiaher@ext.mde.es

Resumen

El objeto del presente artículo es dar a conocer las principales influencias a las que se ve sometido un buque partiendo de los trabajos realizados en el programa SIRAMIS (*Signature Response Analysis on Multi-influence Mines*), (Sánchez, 2013) [7]. En este proyecto realizado en la Agencia Europea de Defensa (EDA) participan un total de doce entidades pertenecientes a siete países (Alemania, España, Francia, Holanda, Noruega, Polonia y Suecia). Tiene por objetivo ampliar el conocimiento de la respuesta a las firmas multi-influencia teniendo en cuenta que la mayor parte del tráfico de mercancías a nivel mundial se realiza por vía marítima, considerándose de gran interés evaluar la vulnerabilidad de la flota militar y mercante frente a la existencia de minas marinas.

Palabras claves: Sensores multi-influencia, firmas del buque, medidas contra minas.

Abstract

The aim of this paper is to give awareness of the main influences that ships suffer taking into account the work done under the SIRAMIS program (*Signature Response Analysis on Multi-influence Mines*), (Sánchez, 2013) [7]. In this program participate a total of twelve institutions from seven countries (Germany, Spain, France, Netherlands, Norway, Poland and Sweden) and is being made within the European Defence Agency (EDA). As most of the international trade is carried out through marine routes, it is important to evaluate the vulnerability of the military and merchant vessel fleet to sea mines in order to be able to limit the potential exposure to this threat.

Keywords: Multi Influence Sensors, ship signatures, mine counter measures.

Fecha de recepción: Junio de 2015

Fecha de aceptación: Agosto de 2015



Figura 1. Proyecto SIRAMIS

Fuente: Elaboración propia

1. INTRODUCCIÓN

Es de sobra conocido que el uso de minas marinas es un medio relativamente tan económico como el uso de minas terrestres o el uso de explosivos improvisados (IED), sólo precisan de un contenedor estanco que las proteja de la humedad, pero su funcionamiento interno no difiere en los tipos más básicos de cualquier IED usado por un grupo terrorista. Este hecho es lo que las ha convertido a lo largo de la historia en un arma muy tentadora para su uso por cualquier organización.

Las primeras referencias a minas en general, y a las navales en particular, nos llevan hacia China, como es el tratado militar de artillería “Huolongjing” de Jiao Yu del siglo XIV o las cajas de madera con explosivos utilizadas a la deriva por el General Qi Jiguang en el siglo XVI para luchar contra los piratas japoneses. En el tratado “Tiangong” escrito por Song Yingxing en el siglo XVII las describe con un cordón de apertura que desde la orilla giraba un mecanismo que producía chispas y encendía su mecha.

Aunque los libros europeos suelen mencionar un proyecto de Ralph Rabbards en 1574 y a Cornelio Drebbel en el siglo XVII en unos intentos poco afortunados como sus precursores, se suele atribuir al estadounidense David Bushnell en el río Delaware durante su Guerra de Independencia las primeras minas realmente útiles que consistían en barriles con pólvora que se detonaban por un mecanismo de chispas al golpear contra los buques.

En el siglo XIX, ya existen muchas referencias a daños por explosiones bajo el agua por minas navales rusas, en esa época tuvieron especial importancia las

diseñadas por Alfred Nobel en el Golfo de Finlandia durante la Guerra de Crimea. Después de su Guerra Civil, los Estados Unidos adoptaron la mina como su arma principal para la defensa de costa y en las últimas décadas del siglo XIX se realizaron muchos experimentos con minas amarradas que explotaban al ser golpeadas, generalizándose su uso a partir de entonces.

Durante la I Guerra Mundial, las minas se utilizaron ampliamente para defender las costas, puertos y bases navales en todo el mundo. Los alemanes pusieron minas en muchas rutas de navegación, en especial para hundir a los buques mercantes que se fletaban hacia Gran Bretaña. En la II Guerra Mundial, su uso fue masivo y la mayoría de las naciones habían desarrollado minas que podrían ser lanzadas desde aviones y flotaban en la superficie. También se empezaron a desplegar minas acústicas, de presión y magnéticas.

Durante la Guerra de Corea, las minas colocadas por Corea del Norte causaron el 70% de los daños sufridos por los buques de Estados Unidos, provocando 4 hundimientos directos. Y seguimos viendo que en los últimos conflictos, las minas navales siguen teniendo su protagonismo, como en la pasada Guerra del Golfo donde minas iraquíes dañaron gravemente al USS Princeton y al USS Trípoli. Baratas, fáciles de producir, rústicas pero efectivas, tienen un tremendo impacto a nivel militar y civil.

Representan una amenaza no sólo para los buques militares, sino para el tráfico marítimo en su globalidad, suponiendo un reto muy importante en una sociedad como la actual. Su mera presencia o incluso la probabilidad de su existencia obligan a cerrar puertos,

playas, rutas marítimas, con las terribles pérdidas económicas que eso conlleva hasta que no se realice una limpieza concienzuda del área de influencia u operación. Lanzadas por buques especiales, las minas navales son un grave problema para la navegación civil y comercial, ya que al igual que sus parientes terrestres, permanecen activas incluso cuando la guerra ha terminado, continúan navegando a la deriva o ancladas en sus lugares de destino, pudiendo causar graves daños. Esto hace que la simple sospecha de que existe un campo minado sea motivo de alarma, poniendo en movimiento las fuerzas navales destinadas al dragado

y a la caza de minas (Riola y Díaz, 2009), y aún a pesar de que sea una falsa alarma, se pierden días e incluso semanas comprobando la zona, implicando no sólo la movilización de buques especializados, sino el cierre del puerto, el desvío del tránsito marítimo o incluso su total prohibición. Esto se ve empeorado por el hecho de que las minas son armas comparativamente baratas, silenciosas y difíciles de detectar, atacan en el momento más inoportuno y en el punto más frágil de cualquier embarcación (debajo de la línea de flotación).

Las primeras referencias a minas en general, y a las



Figura 2. Lanzamiento al mar de una mina

Tomado de: <http://lakriegsmarineencastellano.blogspot.com.es/2012/04/ofensiva-de-minas-contra-aguas-inglesas.html>

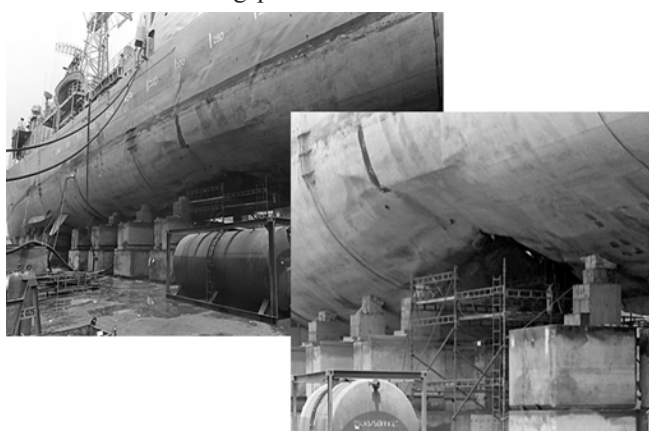


Figura 3. Daño en el casco del buque Samuel B. Roberts de la USS, Guerra del Golfo, Dubai, 1988

Fuente: U.S. Navy

En la actualidad las zonas donde existen más minas o barcos hundidos con munición sensible de estallar son el Mar Báltico, el canal de Malta y la costa francesa de Normandía. Se trata de material que permanece hundido desde la II Guerra Mundial. Otra zona donde se realizó una importante labor de desminado fue en el Adriático donde se neutralizaron minas colocadas durante el reciente conflicto de Kósovo. Otra referencia la tenemos en el estrecho de Ormuz, donde Irán cuenta con diversos medios para cerrar una arteria vital para el conducto del petróleo.

2. FIRMA GLOBAL DE UN BUQUE

La firma global de un buque está compuesta por la suma de diferentes elementos radiados que comprenden principalmente las firmas: radar, infrarroja, acústica, magnética, de campo eléctrico, de presión y sísmica (Sánchez, Hernández, Rodrigo & Muñoz, 2013). A lo largo de los últimos años, se han venido realizando grandes esfuerzos en el desarrollo de medidas orientadas a reducir la influencia acústica, con el doble objetivo de disminuir la detectabilidad del buque (Vílchez y Sierra, 1999) [10] y reducir el nivel de contaminación acústica generada en el entorno marino (Rodrigo, 2012), al objeto de aumentar la discreción de los buques (*stealth*), la seguridad en puertos e infraestructuras críticas y la protección ambiental. En este sentido destacar que se han venido realizando importantes avances en materia de diseño (García y Riola, 2013) y (Riola, Pérez y Díaz, 2013).

Todos los buques, independientemente de su forma y tamaño, emiten al mar un conjunto de radiaciones que configuran la denominada firma del buque, que lo

caracteriza e identifica de forma unívoca del mismo modo que las huellas dactilares identifican al ser humano. Un adecuado estudio de estas firmas desde las fases iniciales de diseño de los buques, permite tomar en consideración medidas apropiadas que inciden en su reducción. Ya se ha destacado durante el apartado anterior la importancia de esta firma y como es conocida desde comienzos del siglo pasado, especialmente en el ámbito de defensa y centrada de forma particular en las denominadas firmas acústica y magnética.

2.1. Firma radar

Aquella que está relacionada con la energía electromagnética reflejada por el buque. Es evidente que una baja firma radar disminuye la distancia de detección reduciendo la vulnerabilidad de la plataforma frente a ataques en los que la señal radar juega un papel predominante. El mecanismo de actuación se basa en un sensor radar que emite un pulso de energía electromagnética y detecta la presencia de un objetivo por la energía que éste refleja en la dirección del sensor. El parámetro que describe la firma radar de un buque es la sección equivalente radar (RCS - Radar Cross Section) que se define como el área de un dispersor isotrópico (sección de una esfera metálica) que retorna al radar la misma potencia que el objetivo en la orientación particular del radar emisor. La ecuación básica que determina esta RCS es:

$$\sigma = 4 \pi r^2 \frac{S_r}{S_t} \quad \text{Ecuación 01}$$

σ es la capacidad del objeto para reflejar las señales de radar en la dirección del receptor (m^2)

S_t es la densidad de potencia que es interceptada por el objeto (W/m^2)

S_i es la densidad de potencia dispersada en el rango (W/m^2)

Esta RCS, depende entre otros factores de la geometría y orientación del objetivo, la relación entre el tamaño del objeto y la longitud de onda del radar, el tipo de material de la superficie, la polarización, y las propias características del radar.

2.2. Firma infrarroja

Es aquella firma que está asociada con la radiación electromagnética emitida en la franja infrarroja del espectro. En este caso y como es conocido, todos los objetos, por estar a una temperatura por encima de 0 Kelvin, emiten energía térmica en la región infrarroja (IR) del espectro electromagnético. Esta radiación puede ser empleada como fuente para su detección y seguimiento por un arma dotada de sensores infrarrojos. Cuanto más caliente está la fuente mayor energía emitirá y más corta será la longitud de onda de la señal emitida. Existe una primera clasificación en bandas que las subdivide en región ultravioleta, región visible, y región infrarroja. Los principios sobre los que se basa la reducción de la firma IR consisten principalmente en reducir las diferencias de temperatura entre las superficies del buque y el ambiente y en la reducción de la temperatura de los gases de exhaustación. La ley de desplazamiento de Wien es una ley de la física que establece que hay una relación inversa entre la longitud de onda en la que se produce el pico de emisión de un cuerpo negro (aunque puede aplicar de manera aproximada a cuerpos reales de alta emisividad) y su temperatura. La ley implica que cuanto mayor sea la temperatura del cuerpo menor es la longitud de onda en la cual emite el máximo de radiación.

$$\lambda_{max} = 0,0028976 \text{ m K/T}$$

Ecuación 02

λ_{max} es la longitud de onda en la que se produce el pico de emisión de un cuerpo negro y su temperatura y T es la temperatura del cuerpo negro en Kelvin.

2.3. Firma acústica

Es la firma asociada a la energía vibratoria transmitida al agua. El sonido creado por una fuente que vibra se propaga en el medio marino como una onda dentro de un medio elástico originando cambios de presión que son susceptibles de ser medidos. Constituye la forma de radiación conocida que se propaga de forma más eficiente en el medio acuático, y depende de parámetros ambientales (temperatura, salinidad, presión, corrientes marinas) y físicos (relieve del fondo, superficie, partículas en suspensión) (Urlick, 1993) [9]. Existen a bordo diversas fuentes que contribuyen a radiar, en general podríamos clasificarlas en fuentes de ruido estructural y fuentes de ruido hidrodinámico. El ruido estructural se produce en el interior del casco y es originado por la vibración inducida por la operación normal de los diferentes componentes que constituyen los sistemas de a bordo tales como la propulsión, la planta eléctrica, el aire comprimido, el aire acondicionado, la estabilización, el gobierno y otros servicios. El ruido generado por el contacto directo del casco con el agua y por aquellos componentes que actúan sobre ésta, se denomina ruido hidrodinámico, englobando principalmente el generado por la hélice y el originado por el flujo del agua alrededor de la carena y sus apéndices. Algunas de las medidas para minimizarlo pasan por la selección de maquinaria de bajo nivel de ruido estructural y aéreo, el montaje apropiado de la maquinaria propulsora y de los grupos diésel generadores, la correcta selección y diseño de las conexiones flexibles

apropiadas para conectar la maquinaria propulsora y los grupos diésel generadores con el resto del buque, el diseño adecuado de la carena y sus apéndices y propulsor. Las ecuaciones que modelizan tanto al sonar activo como al pasivo son:

$$SNR_R = NF - 2PT + NB - (NR - ID) \quad \text{Ecuación 03}$$

$$SNR_R = NF - PT - (NR - ID) \quad \text{Ecuación 04}$$

Donde SNR es la relación señal ruido del receptor, NF es el nivel de emisión del transmisor (cantidad de energía suministrada por el transmisor al medio), PT es la pérdida de energía en el camino debida a la atenuación y divergencia, NB es el nivel del blanco definido como la relación entre la energía incidente y la reflejada en el blanco, NR el nivel de ruido en el escenario acústico, e ID el índice de directividad del sistema.

La propagación del sonido en un medio elástico como es el agua del mar se describe matemáticamente mediante la resolución de la ecuación de ondas, usando las condiciones de contorno en los límites y del medio apropiadas para un entorno particular (Lurton, 2010) [3].

$$\Delta p = \frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial z^2} = \frac{1}{c^2(x,y,z)} \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} \quad \text{Ecuación 05}$$

Donde p es la presión acústica de una onda que se propaga en el espacio (x, y, z) como una función del tiempo t , y $c(x, y, z)$ es la velocidad local del sonido. Δ Es el operador Laplaciano.

Debido a la complejidad de esta ecuación en derivadas parciales, se han desarrollado diferentes aproximaciones teóricas a su solución como las basadas en la

teoría de rayos y la teoría de modos normales (Etter, 2003).

A nivel práctico, el principal efecto de la propagación acústica submarina es la disminución de la amplitud de la señal por efecto de la divergencia geométrica por un lado y la absorción por otro. Las pérdidas por divergencia tienen su origen en la disminución del nivel de la señal al propagarse desde la fuente al exterior, distinguiéndose entre divergencia esférica, caracterizada porque la potencia emitida por la fuente se radia igual en todas las direcciones y divergencia cilíndrica correspondiente a condiciones de propagación canalizada, donde la señal acústica en su propagación se encuentra limitada por dos planos horizontales paralelos.

Por su parte, la absorción consiste en un proceso de conversión de la energía acústica en calor y por tanto representa una pérdida real de energía acústica en el medio en el que se propaga la señal.

Las pérdidas por transmisión debidas a las divergencias esférica y cilíndrica y la absorción, vienen dadas respectivamente por las siguientes ecuaciones:

$$TL = 20 \log r + \alpha r \cdot 10^{-3} \quad \text{Ecuación 06}$$

$$TL = 10 \log r + \alpha r \cdot 10^{-3} \quad \text{Ecuación 07}$$

Estas ecuaciones representan una aproximación al valor real de las pérdidas sin tener en cuenta otros factores como los efectos de la reverberación debida a la interacción de las ondas acústicas con la superficie y el fondo del mar y dispersores de volumen en la columna de agua.

Donde TL referencia las pérdidas por transmisión expresadas en dB , α es el coeficiente de absorción expresado en $dB \cdot km^{-1}$ y r la distancia expresada en m .

2.4. Firma magnética

Aquella que está asociada con los campos magnéticos originados por el buque, la presencia de materiales con características magnéticas en los buques determina que éstos produzcan en su entorno una modificación del campo magnético terrestre. La influencia magnética está formada por dos componentes, la estática y la alterna. De forma genérica podríamos decir que un barco puede considerarse como un imán cuya intensidad es suma de una porción permanente y otra inducida, variable con la posición y el rumbo, como suma de los elementos que lo integran.

Está formada por la firma magnética estática como una de las cuatro componentes de campo electromagnético y cuyas principales fuentes de contribución son los campos ferromagnéticos y los campos debidos al sistema de protección catódica (corrosión) y por la firma magnética alterna cuyas principales fuentes de contribución son los campos dispersos (campos magnéticos necesarios para que funcionen las máquinas eléctricas, principalmente motores, alternadores y transformadores, pero que salen de su propio entorno y campos producidos por circuitos de corriente continua (CC) siempre que sean lazos cerrados) y los campos debidos a corrientes de Foucault (Eddy Currents).

El campo magnético generado por un buque se puede caracterizar por una combinación de campos generados por bobinas y volúmenes magnetizados, de manera que el campo magnético en un punto generado

por una bobina por la que circula una corriente viene determinado por la siguiente ecuación.

$$H_M = \frac{1}{4\pi} \oint_{\text{circuito}} I \frac{d\vec{l}_p \wedge \vec{u}_{PM}}{r^2} \quad \text{Ecuación 08}$$

Donde H_M referencia la intensidad de campo magnético, $d\vec{l}_p$ un elemento de corriente de longitud dl y el sentido de circulación de la corriente, \vec{u}_{PM} el vector unitario y r la distancia entre el elemento lineal de corriente y el punto

El campo magnético generado en un punto por un volumen viene determinado por la siguiente ecuación:

$$H_M = \nabla \left(\frac{1}{4\pi} \int_{\text{volumen magnetizado}} \frac{\vec{M} dV_p \wedge \vec{u}_{PM}}{r^2} \right) \quad \text{Ecuación 09}$$

Donde \vec{M} referencia el momento magnético y V_p un elemento en volumen de corriente.

Para resolver las ecuaciones de campo magnético generado por un buque, generalmente se realizan simplificaciones como el método de los dipolos o el método de las elipsoides.

2.5. Firma de campo eléctrico

Está formada por una componente estática y una componente alterna. La componente estática se denomina UEP (*Underwater Electric Potential*) y representa la influencia en campo cercano. Se mide al paso del buque sobre un sensor o antena de sensores de campo eléctrico y su variación temporal depende de la velocidad y tamaño del buque. La firma eléctrica alterna se denomina ELFE (*Extremely Low Frequency Electric*).

La firma eléctrica estática es la que se debe a las corrientes eléctricas generadas en el proceso de corrosión galvánica, empleándose sistemas de protección catódica principalmente para evitarla. La firma eléctrica alterna se origina por diferentes causas, como la modulación de la corriente galvánica o el rizado en la alimentación de la maquinaria del buque.

Se denomina dipolo eléctrico a una configuración de dos cargas puntuales iguales y de signo opuesto situada en el espacio, donde estas cargas generan un campo eléctrico en dicho espacio tridimensional.

La intensidad del campo eléctrico no se puede medir en términos absolutos, es por ello que hay que determinar el potencial en dos puntos del espacio a partir de electrodos y calcular su valor en base a la siguiente ecuación.

$$E = \frac{(V_1 - V_2)}{d} \quad \text{Ecuación 10}$$

Donde E referencia la intensidad de campo eléctrico medida en V/m , V_1 y V_2 el potencial en los puntos de medida seleccionados y d la distancia entre estos puntos.

Las corrientes estáticas que se generan en los buques de superficie tienen su origen en el fenómeno de la corrosión, sobre la base de la formación de uno o varios dipolos. Comúnmente las hélices actúan como cátodo y el casco como ánodo, realizándose la conexión a través del cable de masa del buque y de su casco. La celda de corrosión se completa con la presencia del electrolito que en este caso es el agua del mar. La intensidad de campo viene determinada por la siguiente ecuación:

$$E = \rho J = \frac{1}{\sigma} J \quad \text{Ecuación 11}$$

Donde ρ referencia la resistividad (Ωm), σ la conductividad (S/m) y J la densidad de corriente (A/m^2).

La densidad de corriente vendrá determinada por la diferencia de potencial entre el ánodo y el cátodo, de manera que si varía la conductividad, para una misma densidad de corriente, el campo eléctrico varía de manera inversa a la conductividad.

2.6. Firma de presión

La variación de presión que origina un buque a su paso constituye su firma de presión, origina un incremento de presión en la proa y popa y una disminución de presión en su zona central, cuyo pico es directamente proporcional a la velocidad del buque y depende en gran medida de la forma de la obra viva.

En este caso, la presión hidrostática es la presión existente en un punto de un medio, en nuestro caso el agua del mar, debida a la acción de la columna de fluido que actúa sobre él. Esta presión se ejerce en todas direcciones y sigue el principio de Pascal.

Para una columna de mar de altura h metros tomando como referencia la superficie, la presión hidrostática P generada, medida en Pascales, viene dada por la ecuación siguiente:

$$P = \rho \cdot g \cdot h \quad \text{Ecuación 12}$$

Donde ρ referencia la densidad del agua del mar (kg/m^3) y g la constante gravitacional (m/s^2).

2.7. Firma sísmica

Finalmente nos referimos a la influencia sísmica, donde las ondas sísmicas se encuadran dentro de la categoría de ondas elásticas, que corresponden a perturbaciones tensionales que se propagan a lo largo de un medio elástico. Las ondas sísmicas se clasifican en ondas internas y ondas superficiales. Las ondas internas viajan a través del interior de la Tierra, mientras que las superficiales se propagan a través de su superficie.

Cuando una onda sonora alcanza una superficie la mayor parte de su energía se refleja, pero un porcentaje de ésta es absorbida por el nuevo medio. De este modo, las señales acústicas de muy baja frecuencia se transmiten hasta el subsuelo del fondo marino y se propagan a través de éste como perturbación de tipo sísmico. Así este tipo de perturbaciones viajan más rápidamente por el fondo marino que por el agua. La energía acústica que penetra en el fondo puede contribuir de forma considerable en ocasiones a transmisiones a media y larga distancia. La distancia de transmisión depende de las características de los materiales y capas que componen el fondo.

Las ondas internas se subdividen en ondas P y ondas S . Las ondas P o primarias son ondas longitudinales que se propagan produciendo oscilaciones del material en el mismo sentido en el que se propagan. Su velocidad de propagación es genéricamente 1.73 veces superior a las ondas S . En un medio isótropo y homogéneo, la velocidad de propagación de las ondas P viene dada por la siguiente ecuación.

$$v_p = \sqrt{\frac{K + \frac{4}{3}\mu}{\rho}} \quad \text{Ecuación 13}$$

Las ondas S o secundarias se caracterizan por un desplazamiento transversal a la dirección de propagación, por una velocidad de propagación inferior a la de las ondas P (dependiente como en estas ondas del tipo de material en el que se propagan) y por una amplitud mayor a la amplitud de las ondas P . La velocidad de propagación de las ondas S en un medio isótropo y homogéneo viene dada por la siguiente ecuación:

$$v_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} \quad \text{Ecuación 14}$$

Donde v_p viene expresada en m/s , K referencia el índice de compresibilidad, μ el módulo de corte o rigidez y ρ la densidad del material a través del cual se propaga la onda mecánica.

Las ondas superficiales se propagan a lo largo de la interfase tierra-agua y se subdividen en ondas Rayleigh y ondas Love. Ambas son ondas transversales y viajan a velocidades muy inferiores a las ondas P y S . Al igual que las ondas S poseen amplitudes mayores que las ondas P , pero sus periodos son mucho más largos.

Por último señalar, que existen diversos equipos y sistemas orientados a minimizar los valores de firma (deperming, sistemas de desmagnetización, sistema de protección catódica, filtros, etc.) que de forma conjunta con los métodos de diseño y construcción adecuados permiten dotar sobre todo a los buques de guerra de

mejores prestaciones.

Destacar los sistemas degaussing para reducir el magnetismo del buque de manera que su firma magnética no se encuentre dentro del rango que active la mina, estos equipos suelen ir instalados a bordo y se

conforman de bobinas instaladas paralelas a los principales planos del buque y que son energizadas con corriente continua controlada, de manera que los campos que generan se oponen a las componentes del magnetismo del buque compensando las componentes permanente e inducida.

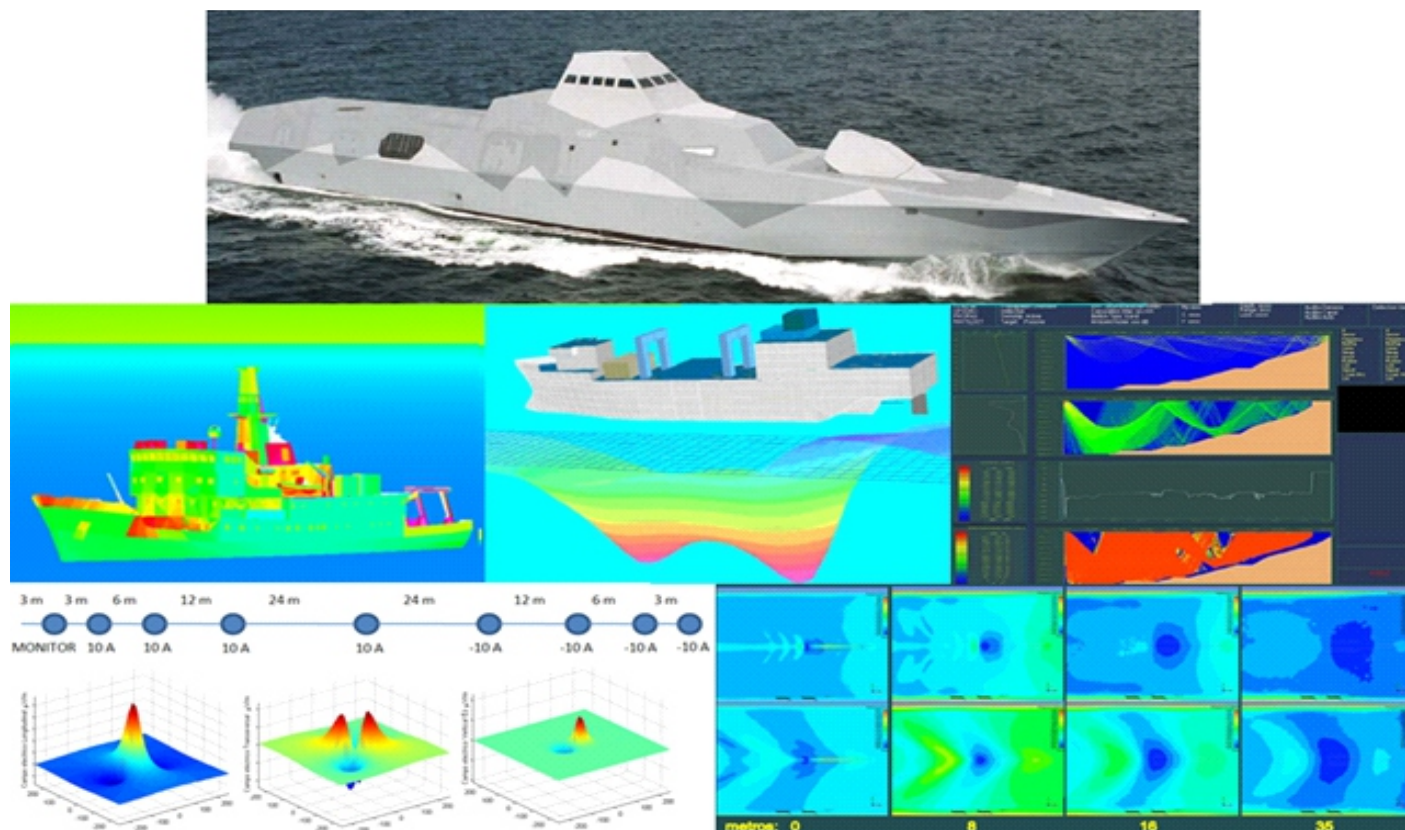


Figura 4. Firma radar (sup.), IR (medio izq.), magnética (medio cen.), acústica (medio dcha.), eléctrica (inf. izq.) y presiones bajo quilla en planos horizontales (inf. dcha.)

Fuente: Elaboración propia

3. ESTADO DEL ARTE DE LOS SISTEMAS DE MEDIDA MULTI-INFLUENCIA

Los sistemas de medida multi-influencia de última generación actuales incorporan genéricamente características como son la integración de varios sensores

capaces de medir campos físicos de diferente naturaleza (magnético, eléctrico, sísmico y de presión), la operación de los sensores de forma sincrónica entre ellos y con otros elementos externos (sistemas de posicionamiento GPS, sistemas de identificación automática de buques tipo AIS, videocámaras, etc.), y la capacidad de grabación y análisis de todos los datos grabados.

Los sensores comúnmente integrados en estos sistemas multi-influencia son: acústicos, magnéticos, eléctricos, sísmicos y de presión. Típicamente, los sensores acústicos se basan en un hidrófono omnidireccional; los sensores magnéticos integran magnetómetros triaxiales tipo fluxgate; los sensores eléctricos corresponden a pares de electrodos eléctricos para configurar los tres ejes (vertical, longitudinal y transversal) de medida, siendo los electrodos de plata/cloruro de plata o carbón; los sensores sísmicos están basados en acelerómetros y suelen ser también triaxiales y los sensores de presión se basan en transductores piezoresistivos para medir la variación de la presión en la columna de agua al paso del buque respecto a la presión atmosférica y no suelen ser direccionales.

Una vez captada la señal (acústica, magnética, eléctrica, sísmica o de presión) mediante un transductor, esta señal es acondicionada (amplificada y filtrada) y convertida al dominio digital para su envío, almacenamiento y procesado. En la actualidad, los sistemas adquieren las señales con un máximo de 24 bits, lo que permite tener canales con un amplio margen dinámico (hasta 140 dB). Debido a que son sistemas de medida de alta precisión, el nivel de ruido propio requerido para los sensores es muy bajo, estando por debajo al menos del nivel de ruido medioambiental.

Con relación a los procedimientos de medida, en la actualidad no existen estándares internacionales comúnmente adoptados por las diferentes naciones, a continuación se identifican aquellos que han sido acordados como principales referencias dentro del programa:

- STANAG 1136. Edition 3. Standards for use when

measuring and reporting radiated noise characteristics of surface ships submarines, helicopters, etc, in relation to SONAR detection and Torpedo Acoustic Risk. March, 1994.

- ICES Cooperative Research Report N° 209. May 1995.
- ANSI/ASA 12.64-2009. Quantities and Procedures for Description and Measurement of Underwater Sound from Ships.
- AMP-14. Protection of vessels from electromagnetic mines.
- MP-15. Standards for mine warfare acoustic measurements.

4. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Los objetivos específicos que persiguen el proyecto son: (1) el establecimiento de los requisitos de las medidas (procedimientos, formatos de datos, etc.), (2) la realización de pruebas de calibración en una estación fija con la participación de los sistemas de medida móviles, con objeto de analizar el efecto de los sensores, la adquisición de datos y el acondicionamiento de señal en cada sistema en los datos de las firmas, (3) la realización de pruebas con fuentes calibradas y los mismos parámetros en diferentes localizaciones, para evaluar la influencia del entorno en los datos adquiridos y (4) la recolección de datos de buques mercantes por los diferentes sistemas de medida para configurar una base de datos, (5) el análisis de los datos enfocado inicialmente a obtener datos calibrados en relación a los sistemas y el entorno a partir de la aplicación de métodos de normalización y modelos de transformación a los datos inicialmente medidos con las fuentes calibradas, (6) el análisis de las características de las

firmas individuales y (7) el estudio de una posible correlación entre las firmas, sobre la base de posibles relaciones entre características de buques individuales y características de diferentes clases de firma.

Durante la fase de medidas se han empleado siete estaciones con capacidad de medida de las firmas

señal, separación entre sensores multi-influencia, distancia lateral máxima permisible entre el buque bajo medida y el sensor, duración de la medida, precisión de los sensores (en términos de sensibilidad, margen dinámico, ruidos de los sensores, etc.), y recurrencia de los sistemas de posicionamiento del buque bajo

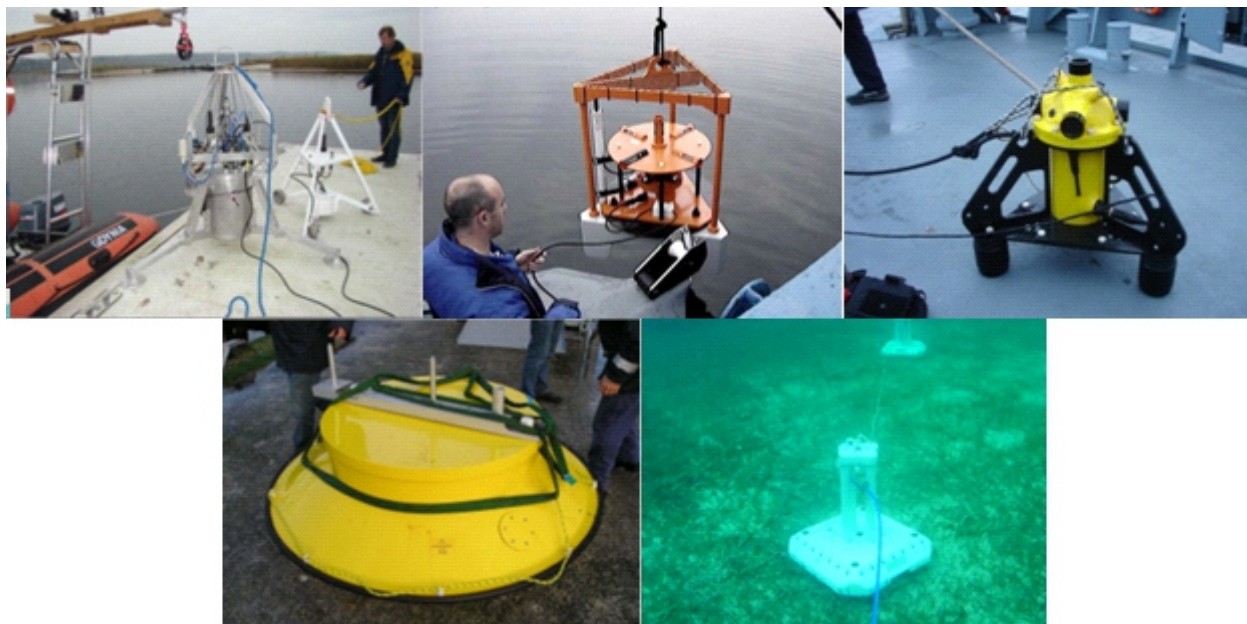


Figura 5. Estaciones de medida multi-influencia portátiles: IGLOO y Mini IGLOO (superior izqda.), OMEGA (superior centro), MOUSE (superior dcha.), PRIME (inferior izqda.) y MIRS (inferior dcha.)

Fuente: Elaboración propia

acústica, eléctrica, magnética, de presión y sísmica de los buques. Dentro de ellas, dos son instalaciones fijas, ubicadas en Alemania y Noruega, y cinco de ellas portátiles (sistemas polacos IGLOO y mini IGLOO; estación francesa OMEGA; estación sueca MOUSE; sistema holandés PRIME y estación española MIRS).

Durante la fase de análisis se desarrollaban diferentes tareas que comprendían la elaboración de los requisitos de medida, proporcionando como paso previo a las medidas de calibración requisitos de: profundidad de calado de los sensores, anchos de banda para cada

medida. Posteriormente se llevaron a cabo una serie de campaña de medidas en distintas localidades realizándose un análisis de comparación entre los sistemas desplegados estudiando la influencia de los diferentes entornos marinos (ambiente), dando como resultado final un análisis que consistió en determinar la influencia del entorno en la medida. Adicionalmente se realizaron análisis de las medidas de los buques mercantes medidos por cada país participante, con un posterior escalado / agrupamiento de determinadas características de las medidas (frecuencias propias, amplitudes, ancho de banda, etc.), en función de determinadas características de los buques (velocidad, desplaza-

miento, tamaño, etc.).

5. ÁMBITO DE APLICABILIDAD

Los resultados derivados del programa SIRAMIS, centrados en la compilación de una extensa base de datos de medidas multi-influencia de buques mercantes y su posterior análisis a nivel de firmas individuales y combinadas, tiene importantes implicaciones tanto en el ámbito de defensa, como en los ámbitos de seguridad y medioambiente.

Dentro del ámbito de defensa el interés es claro al

ciclo de vida, y permitan capacitar a las naciones participantes a la hora de mejorar y establecer puntos de referencia en sus modelos de interacción buque-mina.

En el ámbito de seguridad y medioambiental, la información que se aporte contribuye a un mejor entendimiento de las características de la propagación en diferentes entornos medioambientales de las distintas influencias, así como de su interacción con sensores específicos diseñados para la detección de amenazas a la seguridad y al medioambiente. Este tipo de sistemas también han mostrado su efectividad en la vigilancia de espacios protegidos, como reservas naturales mari-



Figura 6. Ámbitos de aplicabilidad Defensa (izqda.), seguridad (centro) y medioambiente (dcha.)

Fuente: Elaboración propia

tratarse de un proyecto desarrollado en el marco de la EDA. La base de datos de medidas multi-influencia de buques mercantes y su posterior análisis permitirá a los organismos de defensa disponer de información contrastada sobre la interacción entre las firmas de los buques y los sensores que integran las modernas minas multi-influencia, en entornos relevantes de operación y diferentes condiciones de propagación. Asimismo, posibilitará un desarrollo más preciso de diferentes tareas, entre las que se encuentran: la evaluación operacional de sistemas de rastreo de minas existentes y futuros y el establecimiento de herramientas operativas que apoyen el uso de sistemas MCM durante su

nas, y bienes culturales como pecios y restos arqueológicos submarinos, como protección ante accesos no deseados y son la base de proyectos para el estudio y la preservación medioambiental.

6. CONCLUSIONES

Como se ha visto, todos los buques al desplazarse en el medio marino radian al mar un conjunto de influencias (acústica, magnética, eléctrica, de presión y sísmica) que conforman su firma multi-influencia. Algunas de estas firmas vienen siendo medidas desde hace décadas para caracterizar a los buques en particular

dentro del ámbito de defensa debido a la importancia de las mismas frente al empleo de minas navales. Adicionalmente, durante la última década ha despertado el interés de la comunidad internacional el disponer de la firma completa de los buques para evaluar de forma global su impacto en el medio marino.

Los resultados obtenidos hasta el momento se muestran como ampliamente positivos, a pesar de la complejidad de los procesos llevados a cabo por el número de sistemas de medida empleados, los diferentes entornos operativos seleccionados y el número de parámetros analizados. La cooperación internacional en SIRAMIS ha mostrado su efectividad en términos de relación coste-beneficio y utilización de protocolos comunes.

El desarrollo del programa se enmarca en la tendencia actual de creciente importancia de los sistemas con capacidad de registro y análisis de medidas multi-influencia y de las bases de datos obtenidas a partir de estos sistemas, dentro del ámbito de defensa, así como en los ámbitos de seguridad y medioambiente. Entre otros aspectos, en defensa permiten la evaluación operacional de sistemas de rastreo de minas y la mejora de la capacidad operativa de los sistemas MCM a lo largo de su ciclo de vida. En el ámbito medioambiental, estudios preliminares llevados a cabo en el Mar Mediterráneo han mostrado los elevados niveles de radiación eléctrica y magnética emitidos por los cruceros. Finalmente en el de la seguridad permiten incrementar el grado de protección de instalaciones críticas, buques y áreas de valor cultural.

REFERENCIAS

- Etter, P. (2003). *Underwater Acoustics modeling and simulation*. New York, Estados Unidos de América: CRC Press.
- García, A. y Riola, J. (2013). Proyecto hidrodinámico de un buque de escolta oceánico tipo trimarán: Dimensionamiento, diseño, estudio numérico y experimentación. En A. González-Marcos (Coordinación), *Congreso Nacional de I+D en Defensa y Seguridad. Conferencia llevada a cabo en el Congreso DESEi+d 2013*, Madrid, España.
- Lurton, X. (2010). *An introduction to underwater acoustics: principles and applications*. Nueva York, Estados Unidos de América: Springer.
- Riola, J. y Díaz, J. (2009). Aplicación de los USV al rastreo de minas - Proyecto SIRAMICOR. En J. Martín (Secretaría), *Industria Naval Española: Actuaciones para ganar el futuro*. Conferencia llevada a cabo en el 48º Congreso de Ingeniería Naval e Industria Marítima, Vigo, España.
- Riola, J., Pérez, R. y Díaz, J. (2013). Análisis del Comportamiento en la Mar de Buques de Guerra Multicasco. En L. Vilches (Presidencia), *Ingenieros e Ingeniería. El mar como oportunidad*. Conferencia llevada a cabo en el 52º Congreso de Ingeniería Naval e Industria Marítima, Madrid, España.
- Riola, J. (2012). Los sistemas de vigilancia tecnológica e inteligencia competitiva. En P. García (Coordinación), *La Transferencia entre Ejército, Empresa y Universidad*. Conferencia llevada a cabo en las II

Jornadas en Tecnologías de doble uso, Murcia, España.

Sánchez, A. (2013). Programa SIRAMIS (Signature Response Analysis on Multi-influence Mines). En J. Franco (Dirección), *Acústica Submarina*. Conferencia llevada a cabo en las Jornadas Técnicas 27 y 28 noviembre 2013, Madrid, España.

Sánchez, A., Hernández, A., Rodrigo, F. y Muñoz, P. (2013). Underwater multi-influence measurements as a mean to characterize the overall vessel signature and protect the marine environment. *Ship Science & Technology*, 7(14), 67-75.

Urick, R. (1983). *Principles of Underwater sounds*. Nueva York, Estados Unidos de América: Mc Graw Hill.

Vílchez, F. y Sierra, H., (1999). Detectabilidad de Buques de Combate. En E. Romero (Presidencia), *Congreso Panamericano de Ingeniería Naval*. Conferencia llevada a cabo en la XVI COPINAVAL, Cartagena, Colombia.