

Boletín

DE OBSERVACIÓN TECNOLÓGICA EN DEFENSA



SUBDIRECCIÓN GENERAL DE TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN
Boletín de Observación Tecnológica en Defensa nº. 35 • 2º. Trimestre de 2012

El papel del ITM en la lucha contra el terrorismo NBQ

Gestión energética: eliminación de CO₂ en submarinos

- Proyecto EDA JIP ICET: METAFORE
- Detección a distancia de explosivos ocultos



Edita:



NIPO papel: 083-12-040-9
NIPO en línea: 083-12-041-4
NIPO libro electrónico: 083-12-039-6
Depósito legal: M-8179-2009

Autor: Sistema de Observación y Prospectiva Tecnológica (SOPT), Subdirección General de Tecnología e Innovación (SDG TECIN) de la Dirección General de Armamento y Material (DGAM). C/ Arturo Soria 289, 28033 Madrid; teléfonos: 91 395 46 31 (Dirección), 91 395 46 87 (Redacción); observatecno@oc.mde.es.

Director: CF. Ing. José María Riola Rodríguez.

Redacción: Patricia López Vicente.

Consejo Editorial: Cap. Aurelio Hinarejos Rojo, Oscar Jiménez Mateo, Tomás A. Martínez Piquer, José Agrelo Llaverol. **Equipo de Redacción:** Nodo Gestor: Guillermo González Muñoz de Morales, David García Dolla; Observatorio de Armas, Municiones, Ballística y Protección (OT AMBP): Jorge Lega de Benito; Observatorio de Electrónica (OT ELEC): Yolanda Benzi Rabazas, Fernando Iñigo Villacorta; Observatorio de Energía y Propulsión (OT ENEP): Héctor Criado de Pastors; Observatorio de Defensa NBQ (OT NBQ): T.Col. Alfredo Fernández López, Angélica Acuña Benito; Observatorio de Materiales (OT MAT): Luis Requejo Morcillo; Observatorio de Óptica, Optrónica y Nanotecnología (OT OPTR): Ing. D. Fernando Márquez de Prado Urquía, Pedro Carda Barrio; Observatorio de UAVs, Robótica y Sistemas Aéreos (OT UAVs): Ing. D. José Ramón Sala Trigueros; Observatorio de Sistemas Navales (OT SNAV): CF Ing. José María Riola Rodríguez, Juan Jesús Díaz Hernández; Observatorio de Sistemas Terrestres (OT STER): Col. CIP Manuel Engo Nogués; Observatorio de Tecnologías de la Información, Comunicaciones y Simulación (OT TICS): Ing. D. Francisco Javier López Gómez, Fernando Cases Vega, Nuria Barrio Santamaría.

Portada: imagen "simulación de la evolución del campo eléctrico", artículo "Proyecto EDA: METAFORE".

El Boletín de Observación Tecnológica en Defensa es una publicación trimestral en formato electrónico del Sistema de Observación y Prospectiva Tecnológica orientado a divulgar y dar a conocer iniciativas, proyectos y tecnologías de interés en el ámbito de Defensa. El Boletín está abierto a cuantos deseen dar a conocer su trabajo técnico. Los artículos publicados representan el criterio personal de los autores, sin que el Boletín de Observación Tecnológica en Defensa comparta necesariamente las tesis y conceptos expuestos.

Colaboraciones y suscripciones:

observatecno@oc.mde.es

<http://www.defensa.gob.es/areasTematicas/investigacionDesarrollo/sistemas/>



DGAM
Subdirección General de Tecnología e Innovación

CONTENIDOS

3 Editorial

Actualidad

4 Reunión del CapTech GEM01

4 Agenda

5 Workshop GEM01

5 Jornada informativa: 1ª convocatoria EFC/ EDA-JIP CBRN

6 Proyecto SIRAMIS: defensa frente minas multi-influencia

7 Convenio SOLAS

8 Jornada "Sistema MIDS: empleo táctico del Link 16"

9 GRETA AD: *Seeker Low Cost* para designación Láser

10 Curso internacional "Análisis de agresivos de guerra química"

10 Enlaces

11 Jornadas de la Fundación Círculo

Tecnologías Emergentes

12 Proyecto EDA JIP ICET: METAFORE

14 Detección a distancia de explosivos ocultos

En profundidad

16 El papel del ITM en la lucha contra el terrorismo NBQ

21 Gestión energética: eliminación de CO₂ en submarinos

Nuevo portal de la ETID

La Secretaría de Estado de Defensa (SEDEF), a través de la Dirección General de Armamento y Material (DGAM), ha desarrollado el Portal de Tecnología e Innovación de la Defensa accesible en internet en: www.tecnologiaeinnovacion.defensa.gob.es.

Este portal surge como un requisito para la implantación de la Estrategia de Tecnología e Innovación para la Defensa (ETID).

Este portal *web* se ha planteado como un lugar común y abierto de encuentro entre todos los agentes involucrados en la oferta y la demanda de tecnología e innovación dentro del ámbito de la defensa: universidades, pymes, centros tecnológicos y grandes empresas .

A través de esta plataforma, estas entidades podrán dar a conocer sus intereses, capacidades, demandas y áreas de conocimiento tecnológico, agrupándolos en torno a las Metas Tecnológicas definidas en la ETID.

Estas Metas representan los objetivos a alcanzar en el ámbito tecnológico para la obtención de capacidades militares que cubran las necesidades declaradas de interés para nuestras FAS.

El portal web de tecnología e innovación del Ministerio de Defensa se concibe con la finalidad principal de potenciar la mejora del conocimiento mutuo y como base de fomento de la cooperación entre todos los integrantes de la comunidad de la I+T de Defensa

Además, el portal será un canal para que la SEDEF pueda transmitir información sobre las distintas iniciativas y programas de Defensa de I+T, así como las condiciones necesarias para participar en los mismos (convocatorias, plazos, documentación a presentar, etc.) contando para ello con el apoyo del Sistema de Observación y Prospectiva Tecnológica (SOPT) y de sus

centros tecnológicos INTA, ITM y CEHIPAR. Servirá por tanto de escaparate de las iniciativas, noticias y eventos de I+T, tanto nacionales como internacionales, de interés para el Ministerio y relevantes para el sector.

Actualidad

Reunión del CapTech GEM01

Luis Miguel Requejo Morcillo, OT MAT

El día 24 de febrero de 2012, tuvo lugar una nueva reunión del CapTech GEM01 "Materials & Structures" en la sede de la Agencia Europea de Defensa (EDA) en Bruselas, en la que participaron representantes españoles. Este grupo se reúne regularmente tres veces al año. A la reunión acudieron expertos en el área de ciencia e ingeniería de materiales de países miembros de la EDA, tanto gubernamentales (de la administración y de centros de investigación) como de la industria e instituciones académicas.

Durante la reunión, se repasaron los asuntos y las novedades que afectan a la EDA de manera general y al CapTech GEM01 de un modo más particular, como por ejemplo las iniciativas lanzadas por el *European Framework Cooperation* (EFC), el próximo JIP ICET II de la EDA, que ha establecido un fondo de entre 5 y 8M€ para la financiación de proyectos de I+D (en el que no se prevé participación española) o el desarrollo de la Agenda Estratégica de Investigación del CapTech GEM01, "Strategic Research Agenda (SRA)".

Recientemente, se han iniciado dos estudios OB (financiados a través del *Operational Budget* de la EDA) que son de interés dentro de este



CapTech:

- "Innovative materials: Impact detection by means of functional coatings (IMFC)", sobre el impacto que supondría la aplicación de nuevos recubrimientos funcionales en plataformas aéreas.
- *Passive and reactive protection of light and medium armoured vehicles against Shaped Charges Threat (PREPAV)*, sobre el estado del arte de los sistemas de protección pasivos y reactivos con aplicación en blindajes ligeros y medios.

La principal misión de este grupo es la puesta en marcha de proyectos de I+T en el ámbito de los materiales de interés para las Fuerzas Armadas. En la reunión se revisó el estado general de los proyectos que están en marcha y se presentaron propuestas de otros nuevos proyectos. Actualmente, se están desarrollando proyectos de gran interés para defensa, como por ejemplo los estudios sobre el desarrollo de nuevos recubrimientos para aeronaves (proyecto ECOCOAT: *Environmentally Compliant Coatings in Aeronautics*), sobre la aplicación de

metamateriales (proyecto MIMiCRA: *Metamaterial Inspired Miniaturised Conformal Radar Antennas*), sobre mejora estructural en plataformas (proyectos BaToLUS: *Battle Damage Tolerance for lightweight UAV Structures* y CONVINCe: *Vulnerability Reduction Technologies for Large Maritime Composite Structures*) y sobre protección de vehículos blindados, en el que participa España (*Protection of Armoured Vehicles Against Explosively Formed Projectiles*).

Algunas propuestas de proyectos planteadas durante la reunión son CCNS: "Corrosion Control on Navy Ships" y DRACONS: *Drag Reducing and Anti-fouling Coatings for Navy Ships*, para la mejora de la protección frente a la corrosión en plataformas navales, ALOMAS: *Advanced Low Observable Materials And Structures*, para el desarrollo de materiales para la reducción de firma radar y PATCHBOND, para la mejora de los procesos de reparación por medio de materiales compuestos en plataformas aéreas, y en la que algunos organismos españoles han mostrado interés en participar.

Para más información sobre las actividades del grupo y sobre su participación en el mismo, pueden ponerse en contacto con el Coordinador Nacional del CapTech (CNC) GEM01 a través de edaconsultasit@oc.mde.es.

agenda

4th Summer School on Radar / SAR

Del 13 al 20 de julio de 2012. Fraunhofer FHR, Haus Humboldtstein (Alemania)

www.radarsummerschool.fhr.fraunhofer.de/

29th International Symposium on Military Operational Research (29 ISMOR)

Del 21 al 28 de agosto de 2012. New Place (Reino Unido)

<http://www.ismor.com/index.shtml/>

Sensors Symposium 2012

12 y 13 de septiembre de 2012. FMV, Estocolmo (Suecia)

<http://www.fmv.se/en/News-and-media/Nyheter-fran-FMV/Sensors-Symposium-2012>

NATO EOD Demonstrations and Trials 2012

Del 17 al 21 de septiembre de 2012. EXPO Center, Trenčín, (Eslovaquia)

<http://www.eodcoe.org>

9th IFAC Conference on Manoeuvring and Control of Marine Craft (MCMC'2012)

Del 19 al 21 de septiembre de 2012. International Federation of Automatic Control, Arezano (Italia)

<http://www.mcmc2012.issia.cnr.it/index.html>

M - ELROB - The Military European Robot Trial

Del 24 al 28 de septiembre de 2012. Thun (Suiza)

<http://www.elrob.org/melrob/melrob2012.html>

Workshop GEM01

Luis Miguel Requejo Morcillo, OT MAT

El Observatorio Tecnológico de Materiales participó en el *workshop* "Armour protection and weight reduction for the soldier", que la EDA celebró en Bruselas el 23 de febrero de 2012, aprovechando la reunión del CapTech GEM01.

Durante la jornada, se resaltó la importancia que tiene el desarrollo de sistemas para mejorar la protección y el confort de los soldados en base a la experiencia obtenida en la participación en misiones en diversos conflictos armados. La preocupación de los ejércitos europeos sobre este asunto ha hecho que este sea un objetivo prioritario para la investigación en el marco de la EDA.

Las ponencias mostraron de un modo general la problemática existente a causa del número creciente de equipos que debe llevar el combatiente con el consiguiente incremento del peso que el soldado se ve obligado a soportar. Se ha conseguido mejorar el rendimiento del soldado dotándolo con más y mejor equipamiento, pero aún no se ha conseguido reducir lo suficiente el peso del mismo. En este sentido, la nanotecnología debe jugar un papel

Jornada informativa: 1ª convocatoria EFC/EDA-JIP CBRN

Angélica Acuña Benito, OT NBQ

Con objeto de anunciar la apertura de la primera convocatoria del EFC/EDA-JIP CBRN (*European Framework of Cooperation/European Defence Agency Joint Investment Programme on Chemical, Biological, Radiological and Nuclear Protection*), publicada oficialmente el 2 de mayo (fecha cierre: 1 de agosto 2012), se celebró una jornada informativa el 19 de abril. El JIP CBRN se desarrolla en el nuevo marco de cooperación europea (EFC) entre la EDA, la Comisión Europea (CE) y la Agencia Espacial Europea (ESA), lo que muestra el interés que a nivel europeo supone la amenaza NBQR, y la demanda conjunta de soluciones en diferentes áreas tecnológicas. Los objetivos de esta primera convocatoria son:

importante, ya que permite la obtención de materiales más ligeros, con mejores propiedades y que pueden desarrollar distintas funcionalidades. Por medio del uso de nanomateriales se podría reducir el peso de los diferentes equipos del combatiente: comenzando por el propio uniforme, y siguiendo con los sistemas de comunicaciones y ópticos, sistemas de protección balística y NBQ, armamento, baterías, etc. Se presentaron las actividades llevadas a cabo en algunos programas y estudios que han tratado de dar respuesta a esta problemática:

- NANOTEX: desarrollado en el marco del programa de la EDA JIP ICET (*Joint Investment Programme on Innovative Concepts and Emerging Technologies*), en el que se realizó un estudio prospectivo sobre cómo afectaría la integración de nanomateriales en textiles para su aplicación en los sistemas del soldado del futuro.
- EPIDARM: proyecto llevado a cabo dentro del EDA *Joint Investment Programme on Force Protection* (JIP FP) que trata la integración y modularidad de los sistemas de protección balística, NBQ y monitorización de la salud del combatiente.
- FELIN: mejoras desarrolladas en el

- *CBRN Military Intelligence-Situational awareness including Detection & Identification*,

- *Modelling and Simulation for CBRN protection systems*.

La jornada, organizada por la SDGTECIN, se celebró en las instalaciones del Instituto Tecnológico "La Marañosa" (ITM). El objetivo principal de la misma era dar a conocer los *topics* u objetivos en los que se va a centrar esta convocatoria y favorecer sinergias y contactos entre los diferentes organismos nacionales con capacidad en esta área, de cara a la formación de consorcios con otras entidades europeas, que resulten en soluciones conjuntas para las fuerzas y cuerpos de seguridad.

Durante la misma, también se expusieron las capacidades del Área de Defensa NBQ del ITM en la lucha contra la amenaza NBQ y se difundieron las lecciones aprendidas de la participación nacional en otros JIPs, con el fin de asegurar la calidad de las ofertas que se presenten.



programa francés del combatiente futuro.

- PATCH: proyecto también incluido en el EDA JIP ICET en el que se está desarrollando un sistema de detección de amenazas NBQ basado en nuevos materiales nanoestructurados.

Por último, la EDA informó sobre los objetivos de I+D relativos al programa europeo CEDS (*Combat Equipment for Dismounted Soldier*).

A la jornada asistieron 32 entidades diferentes, entre los que se encontraban universidades, centros de I+D, pymes y grandes empresas, contando con un total de más de 50 asistentes. Esta asistencia multitudinaria muestra el interés que supone esta oportunidad de conseguir financiación en proyectos de interés.

Por último, es oportuno destacar la oportunidad que supone, desde el punto de vista nacional, la participación en este JIP en cuanto a que facilita el contacto con homólogos europeos y el establecimiento de redes de colaboración que marquen el inicio de una base tecnológica e industrial europea sólida y competitiva en esta área.

Las presentaciones de la jornada están disponibles en la página web del Ministerio de Defensa, en :

<http://www.defensa.gob.es/areasTematicas/investigacionDesarrollo/colaboracion/> y en la intranet de Defensa en la dirección: <http://observatecno/observatorios/?q=node/2091>.

Proyecto SIRAMIS: defensa frente minas multi-influencia

José Luis de Miguel Álvarez,
SDGTECIN

El SIRAMIS (*Signature Response Analysis on Multi-influence mines*) es el último contrato firmado bajo el paraguas del programa categoría A "Unmanned Maritime Systems" (JIP UMS), de la EDA (Agencia Europea de Defensa).

En el JIP UMS participan los Ministerios de Defensa de Alemania, Bélgica, España, Finlandia, Francia, Holanda, Italia, Polonia y Suecia, formalizándolo a través de la firma del acuerdo de programa (PA, *Programme Arrangement*) en diciembre de 2011 y al que también contribuye Noruega. Dicho programa ha contado inicialmente con un presupuesto de más de 50 millones de euros.

El contrato para la ejecución de los trabajos del SIRAMIS, firmado el pasado mes de marzo, contempla un plazo de ejecución de 36 meses, por un importe de 5,66 M€.

El principal objetivo del SIRAMIS es mejorar el conocimiento de la interacción de las firmas de buques con las minas multi-influencia, en escenarios reales y relevantes.

El proyecto proporcionará las bases de conocimiento necesarias para especificar, cualificar y apoyar el uso operacional de los futuros sistemas MCM (*Mine Counter Measures*), así como para mejorar la auto-protección de las plataformas navales.

Los resultados obtenidos serán relevantes para otro proyecto dentro del ámbito del UMS, iniciado a finales de 2011, referente a un sistema de rastreo ligero y modular, denominado MLM (*Modular Lightweight Minesweeping*).

A nivel nacional, los resultados del proyecto podrían ser de aplicación para el programa MINEA-2 de la DGAM, cuyo objeto es el diseño y desarrollo de una mina multi-influencia de combate desplegable desde el submarino S-80.

La EDA, en representación de Francia, Alemania, Noruega, Holanda,

Polonia, España y Suecia, ha contratado al centro holandés de investigación tecnológica TNO, para la ejecución del proyecto.

Para las actividades de I+D+i, TNO ha formado un consorcio con la DGA (Francia), el WTD-71 (Alemania), el FFI (Noruega), la Academia Naval (Polonia), las empresas SAES (España), SAAB y Kockums AB (Suecia), y el CSSM (Centro para la Gestión de Firmas de Buques), de gestión conjunta entre Alemania y Holanda.

Además, también contribuirán al proyecto la Armada de Holanda, las Fuerzas Armadas de Suecia, y los Ministerios de Defensa de España y Polonia.

Como parte de la participación española, la empresa SAES liderará las actividades referentes a las medidas de influencia eléctrica, incluyendo tanto la realización de campañas de medidas como el análisis de los datos obtenidos.



Fig. 1. Proyecto SIRAMIS.

Convenio SOLAS

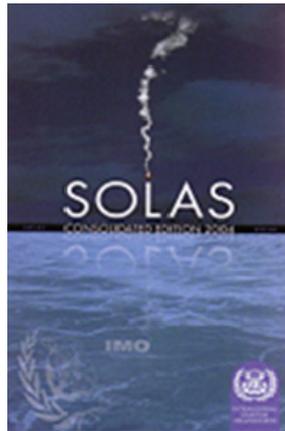
Juan Jesús Díaz Hernández, OT SNAV

En el año del centenario del hundimiento del Titanic¹⁾ haremos un breve repaso del convenio SOLAS (*Safety of Life At Sea*, Seguridad de la Vida Humana en la Mar). La primera versión de este tratado surge como respuesta a esta catástrofe y fue aprobada en 1914, posteriormente se han ido revisando y actualizando dotándolo de nuevas disposiciones hasta la versión que se encuentra en vigor hoy en día y que presumiblemente sea revisada debido a los últimos acontecimientos.

El objetivo principal del SOLAS es especificar normas de construcción, equipamiento y explotación de buques para garantizar su seguridad y la de las personas embarcadas.

La última versión adoptada y aprobada por la Organización Marítima Internacional (OMI), data del 1 de noviembre de 1974, entró en vigor el 25 de mayo de 1980. Desde entonces se han venido produciendo diversas enmiendas mediante resoluciones aprobadas en las reuniones del Comité de Seguridad Marítima (CSM) de la OMI.

Si analizamos las principales normativas de estabilidad tras



averías de aplicación tanto en buques civiles como militares destacan la *Design Data Sheet* (DDS) americana, el *Naval Ship Code* (NSC) promulgado por la OTAN, y el Acuerdo de Estocolmo dentro del SOLAS.

El SOLAS, en lo referente a este aspecto fundamental (asegurar la supervivencia del buque) recoge en el capítulo II-1, que los buques deben contar con una división en compartimentos estancos concebida de manera que después de una supuesta avería por colisión en el casco el barco permanezca a flote en equilibrio. Hace hincapié en las prescripciones relativas a la integridad de estanquidad, a la disposición del circuito de achique y

al grado de compartimentación, medido por la distancia máxima permisible entre dos mamparos adyacentes, en función de la eslora del buque y el servicio para el que esté destinado.

Cabe recordar que otro de los accidentes más importantes en la reciente historia naval, el sufrido por el "Estonia"²⁾, dio lugar a una posterior revisión de las normas del convenio aprobándose las modifica-

ciones de las normas internacionales destinadas a mejorar la seguridad de los buques de transporte rodado, tras incorporar a las anteriores normas nuevas exigencias en relación a la cantidad de agua embarcada por el efecto del siniestro en las cubiertas, en función de la altura significativa de la ola, el estado de mar en la que navega y del francobordo residual después de la avería por colisión.

A nivel nacional podemos destacar el importante papel que representa la Comisión Permanente de Investigación de Accidentes e Incidentes Marítimos (CIAIM)³⁾, órgano colegiado adscrito al Ministerio de Fomento, encargado de realizar la investigación de los accidentes e incidentes marítimos producidos en o por buques civiles españoles, o en o por buques civiles extranjeros cuando se produzcan dentro de las aguas interiores o en el mar territorial español, así como de los que ocurran fuera del mar territorial español cuando España tenga intereses de consideración.

Como conclusión a esta reseña podemos asegurar que la Organización Marítima Internacional (OMI) analizará y extraerá nuevas lecciones a partir de los últimos hechos⁴⁾ acontecidos y en caso de considerarlo necesario modificará la normativa vigente de seguridad.

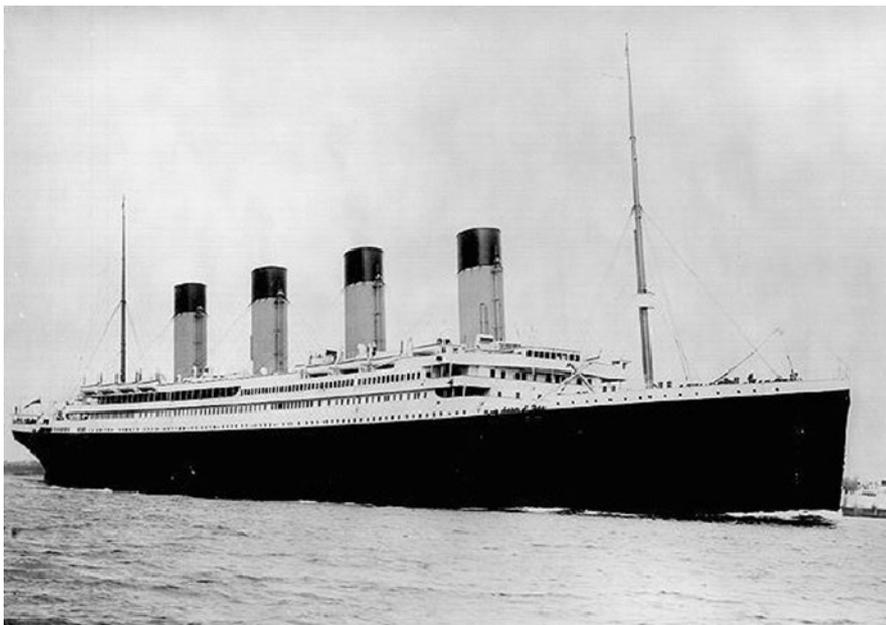


Fig. 1. Fotografía del Titanic (RMS Titanic departing Southampton on April 10, 1912 <http://www.uwants.com/viewthread.php?tid=3817223&extra=page%3D1>. Autor: F.G.O. Stuart (1843-1923)).

1) Noche del 14 al 15 de abril de 1912 en el Océano Atlántico Septentrional.

2) El 28 de septiembre de 1994 en el Mar Báltico.

3) http://www.fomento.gob.es/MFOM/LANG_CASTELLANO/ORGANOS_COLEGIADOS/CIAIM/

4) "Costa Concordia", 13 de enero de 2012, Mar Mediterráneo.

Jornada “Sistema MIDS: empleo táctico del Link 16”

Patricia López Vicente, Nodo Gestor;
Nuria Barrio Santamaría, OT TICS

La Subdirección General de Tecnología e Innovación (SDGTECIN), de la Dirección General de Armamento y Material (DGAM), organizó el pasado 14 de junio de 2012 la jornada “Sistema MIDS: empleo táctico del Link16”, con el apoyo del Mando Aéreo de Combate (MACOM) del Ejército del Aire (EA). La jornada se celebró en el Salón de Actos del Grupo Central de Mando y Control (GRUCEMAC), en la Base Aérea de Torrejón de Ardoz. Esta jornada dio continuidad a las anteriores jornadas de divulgación organizadas por la Oficina Nacional del Programa MIDS en España, encuadrada en la SDGTECIN, que tuvieron como objeto dar a conocer las características del programa y del sistema.

La inauguración de esta jornada corrió a cargo del G.B. D. José María Orea Malo, Jefe del Estado Mayor del MACOM, tras la cual se realizaron ocho presentaciones divididas en los siguientes bloques:

- Aspectos doctrinales y estructura de mando y control. Empleo de Link 16 en operaciones.
- Link 16 en operaciones aéreas.
- Link 16 en otro tipo de operaciones.
- Situación Link 16 en las FAS y capacidades futuras.

Durante la jornada se tuvo la oportunidad de que los usuarios explicaran la utilidad que les reporta el Link 16, destacando la capacidad del enlace de datos tácticos para proporcionar la transmisión y la monitorización de las operaciones para el mando y control (C2) en la defensa. Además, se describió la situación de implantación de la capacidad Link 16 en las Fuerzas Armadas, así como los avances en los trabajos de interoperabilidad que está desarrollando la DLMC (*Data Link Management Cell*, célula española de gestión de enlaces de datos tácticos). Se expusieron también las acciones de desarrollo de innovación tecnológica y operativa que permitirán la expansión de sus capacidades tácticas.



Cabe destacar la presencia del Cap. Scott Krambeck (US Navy), Jefe de la Oficina Internacional de Programa MIDS, quien explicó la visión de la US Navy en cuanto a la necesidad de disponer de esta capacidad Link 16 para alcanzar una conciencia situacional óptima, una identificación de las fuerzas amigas que evite el fratricidio, unas comunicaciones seguras, entre otras muchas, para asegurar una participación conjunta en las operaciones actuales.

Por último, la clausura corrió a cargo del C.A. D. Jesús Manrique Braojos, Subdirector General de Tecnología e Innovación, quien resaltó, por un lado, el creciente grado de implantación del Link 16 en España y, por otro, el enorme interés despertado por la jornada. Este interés viene corroborado por la asistencia de unas 95 personas, de las cuales el 80% pertenecía al Ministerio de Defensa (Ejército de Tierra, Ejército del Aire, Armada,

EMACON y Órgano Central), y las restantes pertenecían a las industrias nacionales relacionadas con el Programa MIDS (EADS-Cassidian/Aibus Military, Indra, Insa, Isdefe, Navantia-Faba y Tecnobit).

Como conclusión, cabe remarcar que los usuarios del MIDS en España tienen ya una amplia experiencia y conocimiento del sistema y de la operativa del mismo. Por ello, en la presente jornada se estimó oportuno dar un nuevo enfoque al asunto, abordando determinados aspectos operativos del programa, y de utilización del sistema en las operaciones militares, mientras que en anteriores jornadas MIDS Link 16 se había hecho más énfasis en los aspectos tecnológicos asociados al sistema y a la descripción de la gestión del propio programa MIDS Link 16.

Las presentaciones de la jornada se pueden solicitar a observatecno@oc.mde.es.

GRETA AD: Seeker Low Cost para designación Láser

Benjamín Colomer y Rafael Ortiz, AERTEC; Fernando Márquez, ITM

Durante los pasados días 20 y 21 de marzo tuvieron lugar en las instalaciones del Área de Optrónica y Acústica del Instituto Tecnológico “La Marañosa” (ITM) las primeras pruebas con láser de uso militar del *seeker* (buscador incorporado en los misiles) diseñado por AERTEC dentro del proyecto GRETA_ad. Dicho proyecto consiste en el desarrollo, integración y validación de un sistema de guiado y control de bajo coste para vehículos de alta dinámica. Está financiado parcialmente por el CDTI (Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial), en el marco de Proyectos de Cooperación Interempresas, y por un consorcio de empresas formado por EXPAL (líder) y AERTEC (socio).

Las pruebas realizadas forman parte del plan de pruebas global a las que está siendo sometido tanto el *seeker* con su conjunto óptico y de electrónica de procesamiento de la señal como el kit de control y guiado que se está desarrollando para mejorar las prestaciones del cohete CAT70.

En el desarrollo de las mismas, se verificó con éxito la funcionalidad del *seeker*, observando la correcta sincronización entre el designador láser y el módulo detector, según los estándares OTAN (STANAG) que determina la codificación y modulación de la señal láser del designador empleado en las pruebas. Además se comprobó la correcta linealidad de los niveles de la señal recibida a lo largo del límite dado por los ángulos de visión del propio conjunto óptico.

Pruebas en sala oscura

El designador láser empleado para la realización de la pruebas fue puesto a disposición de AERTEC por el Área de Armamento del ITM. El modelo LF28A, designador láser portátil de THALES, alcanza una potencia de pico máxima muy elevada en el modo de operación Q-Switched, que permite producir pulsos de nanosegundos de luz infrarroja, de muy alta potencia.

Debido a la alta potencia de radiación láser y las condiciones de operación en una sala cerrada, se hizo

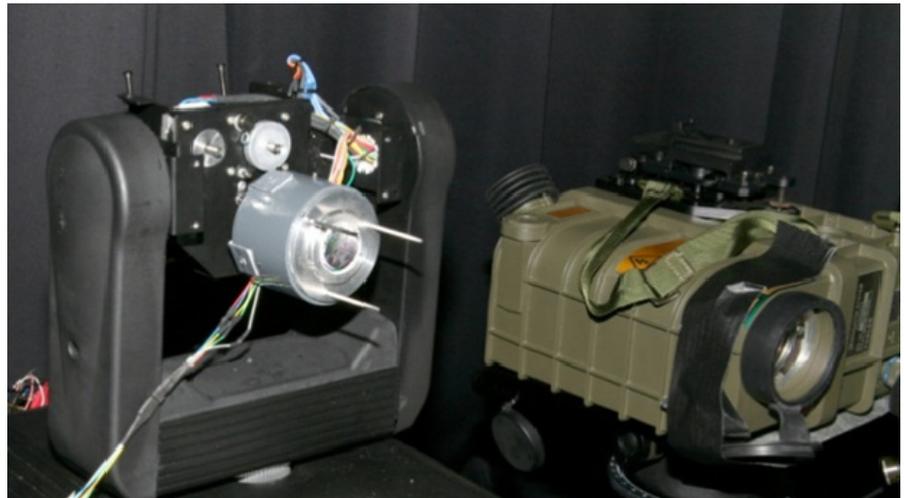


Fig.1. Seeker desarrollado por AERTEC y designador laser militar LF28A.

uso de una serie de filtros interferométricos con distintos coeficientes de atenuación, mediante los cuales se consiguió reducir los niveles de la señal. Se utilizó una placa de *spectralon* de unos 25 cm de lado como objetivo, el cual determinaba un coeficiente de reflexión difusa de aproximadamente un 2%, y el encendido y apagado del designador láser se realizó mediante disparador remoto.

Durante la realización de las pruebas se pudo observar con ayuda de una *display* LCD en la electrónica de detección, la correcta sincronización del *seeker* con la información emitida codificada por el designador láser según los distintos canales y parámetros dados por los STANAG, pre-programados en el designador láser, indicando un “OK” en el caso de correcta sincronización y “NO OK” en caso contrario.

Control y guiado

Una vez confirmado que se está recibiendo la información de guiado proveniente del láser por el canal pre-programado, la electrónica toma los valores de las señales obtenidas tanto por el sensor láser como por los sensores inerciales y estos son comandados a una FPGA (*Field Programmable Gate Array*), la cual ha sido configurada con el algoritmo de control y guiado del cohete CAT70 con el kit de guiado.

El desarrollo de los algoritmos de control y guiado ha sido realizado por AERTEC con la colaboración del ITM, aportando EXPAL el diseño de la configuración, superficies de control y sistema de actuación del kit, así como la



Fig.2. Accionador remoto del designador y electrónica de sincronización de la señal de designación.

base de datos aerodinámica del CAT70 Guiado. La simulación se ha desarrollado en un entorno Matlab & Simulink con una aproximación a las condiciones reales en las que operaría el cohete con el kit de guiado, obteniéndose unos resultados prometedores de CEP (*Circular Error Probable*).

El kit de guiado del CAT70 es de tipo cruciforme con cuatro *canards* (superficies aerodinámicas móviles) que controlan el movimiento de cabeceo y de guiñada, estando desacoplado del resto del cuerpo. El bloque de control por tanto recibirá la orden de aceleración a aplicar al cohete y comandará a los *canards* qué tipo de deflexión ejecutar tanto en cabeceo como en guiñada.

Próximos pasos

El ITM ha propuesto a AERTEC la realización de una batería similar de pruebas en el exterior, donde podrá ponerse a prueba nuevamente el comportamiento del *seeker* en un ambiente de combate real simulado. Así se generaran una serie de datos de suma importancia para el desarrollo final del sistema de guiado y control y la integración del kit de guiado para el cohete CAT70.

Curso internacional: “Análisis de agresivos de guerra química”

Juan Manuel Moreno Sobrino,
LAVEMA, ITM

Entre los días 21 de mayo y 1 de junio de 2012, tuvo lugar en las instalaciones del Instituto Tecnológico “La Marañosa” (ITM) el “Curso para el análisis de sustancias químicas de la Convención sobre la Prohibición de Armas Químicas en el marco de los *Proficiency Tests*”.

Este curso fue impartido por el Laboratorio de Verificación de Armas Químicas (LAVEMA) del ITM por iniciativa de la Organización para la Prohibición de Armas Químicas (OPAQ) y la Autoridad Nacional para la Prohibición de Armas Químicas (ANPAQ).

Se trata del segundo curso de esta naturaleza llevado a cabo en idioma español, (el primero se celebró en el año 2010), siendo los beneficiarios del mismo doce representantes del Grupo de Países de América Latina y el Caribe, (GRULAC) junto con un representante invitado de Portugal.

El objeto del curso ha sido transmitir los conocimientos necesarios para participar en los *Proficiency Test* (PTs), ejercicios anuales de intercomparación organizados por la OPAQ. Los laboratorios deben superar tres PTs sucesivos para llegar a ser laboratorios designados por la OPAQ.

Actualmente hay 21 laboratorios designados de 16 países y, dado que el LAVEMA es el único laboratorio designado de habla hispana desde 2004, la OPAQ le solicitó la impartición de este curso.

La duración del curso fue de 80 horas y el programa contenía todas las materias relevantes para que los laboratorios aborden con garantías el desafío de participar en los PTs.

Se impartieron conferencias sobre las sustancias químicas clasificadas por la Convención para la Prohibición de Armas Químicas, tratamiento de muestras de distintas matrices medioambientales, separación y detección por cromatografía de gases, identificación por espectrometría de masas, manejo del *software* de deconvolución de espectros de masas AMDIS, bases de datos analíticas, rutas de síntesis distintas familias de compuestos de la Convención, acreditación de un laboratorio bajo la norma de calidad ISO 17025 (otro requisito necesario para ser laboratorio designado) y por último los requisitos necesarios para la elaboración del informe de resultados de un PT.

Como complemento de las clases teóricas recibidas, los alumnos realizaron prácticas de laboratorio y realizaron un informe de resultados de un PT a partir de los datos de laboratorio obtenidos en un simulacro de un *Proficiency Test*.

Este curso continúa la colaboración entre la OPAQ y el LAVEMA para la formación de personal de los países de habla hispana en el análisis de este tipo de compuestos. Esta colaboración se inició en el año 2006 y además de impartir cursos de formación también se facilita soporte técnico de expertos del LAVEMA en los propios laboratorios que lo solicitan.

El éxito obtenido en la organización de estos dos cursos, y el interés mostrado tanto por los alumnos participantes como por la OPAQ por los resultados obtenidos, invita a pensar en la continuación de esta iniciativa en el futuro.



Fig. 1. Asistentes al curso GRULAC.

enlaces de interés

Portal de Cultura de Defensa

Esta página web del Ministerio de Defensa, accesible en Internet, contiene documentación científica y técnica producida en el Ministerio. Todas estas publicaciones se pueden encontrar dentro de su catálogo de publicaciones. Entre otras, se puede descargar toda la colección de Monografías del SOPT.

http://www.portalcultura.mde.es/publicaciones/publicaciones/Ciencia_Tecnica/



Jornadas de la Fundación Círculo

Luis Miguel Requejo Morcillo, OT MAT

La Fundación Círculo de Tecnologías para la Defensa y la Seguridad ha organizado recientemente dos jornadas sobre temas de interés tecnológico para el Ministerio de Defensa. En torno a estas temáticas se dan cita en mesas de debate a los diferentes actores (instituciones públicas, empresas y centros de investigación) con el objetivo de intercambiar ideas y experiencias, definir necesidades y buscar las soluciones más adecuadas a cada una de ellas. En este sentido estuvieron presentes y participaron como ponentes representantes de la Administración (Ministerio de Defensa, Ministerio del Interior, etc.) y de la base tecnológica e industrial española.

La vigilancia tecnológica y la inteligencia competitiva en los sectores de la defensa y la seguridad

En un mundo competitivo con productos y servicios con una alta componente tecnológica es imprescindible utilizar metodologías y herramientas que permitan a las instituciones y empresas definir sus planes de acción y estrategias para disminuir sus incertidumbres así como anticiparse a los cambios. La vigilancia tecnológica y la inteligencia competitiva son procesos que dan respuesta a esta necesidad mediante la identificación, captación y análisis de la información, en este caso, científica, tecnológica, comercial, etc.

Los Ministerios de Defensa y del Interior, la Oficina Nacional de Patentes y Marcas y organismos públicos de investigación son ejemplos de instituciones que han puesto en marcha unidades específicas de vigilancia tecnológica e inteligencia competitiva, gracias a los cuales les permiten conocer el estado del arte en los ámbitos tecnológicos de su competencia y hacer prospección de futuro, apoyando así sus procesos de toma de decisiones.

Particularmente, el Ministerio de Defensa cuenta con experiencia en vigilancia e inteligencia tecnológicas por medio del Sistema de Observación y Prospectiva Tecnológica (SOPT) de la Dirección General de Armamento y



Material (DGAM). Además, otra iniciativa de este ministerio, el programa COINCIDENTE, fue reconocido por el representante del Ministerio de Economía y Competitividad como un ejemplo de mecanismo de compra pública innovadora a imitar por el resto de los organismos públicos en apoyo a la actividad innovadora nacional, comentando que ya ha sido usado como modelo para un programa en la sanidad de la Xunta de Galicia.

Por otra parte, el tejido empresarial español cuenta con experiencia en este ámbito y ofrece servicios y herramientas para la vigilancia tecnológica. También algunas universidades y centros de investigación trabajan en el desarrollo de metodologías orientadas a mejorar el proceso de vigilancia. Se dan, por tanto, las condiciones para desarrollar ampliamente estas actividades a nivel nacional.

Nuevos Materiales para la Defensa y la Seguridad

Los nuevos materiales juegan un papel muy importante en el desarrollo tecnológico, tanto de la sociedad como de las fuerzas armadas y de seguridad, por su carácter típicamente dual. Su desarrollo e incorporación a los sistemas permite mejorar las capacidades operativas pues inciden en aspectos como la



seguridad, la logística o en las prestaciones específicas de los sistemas, consiguiendo una ventaja cualitativa sobre el potencial adversario.

En la jornada, representantes del Ministerio de Defensa presentaron las necesidades de las Fuerzas Armadas relativas al desarrollo de nuevos materiales (sistemas de protección para el combatiente, mejora de la supervivencia y mantenimiento de plataformas, reducción de peso, etc.) También se presentaron las capacidades de sus centros tecnológicos de I+D en el Área de Materiales (ITM e INTA). En este sentido, la Estrategia de Tecnología e Innovación para la Defensa (ETID) se reveló como un documento de referencia de gran valor e importancia, donde se recogen las metas tecnológicas a alcanzar en el futuro para cubrir las necesidades derivadas del proceso de planeamiento en Defensa, y por tanto, las actividades de I+D a desarrollar y que deberán ir alineadas con dichas metas.

Se constató el hecho de que España goza de un nutrido tejido industrial y tecnológico en el desarrollo de nuevos materiales. Algunos ejemplos se mostraron durante la jornada con las ponencias impartidas por entidades expertas en ámbitos tan diversos como los materiales energéticos, los materiales de protección pasiva del combatiente y de las plataformas, los materiales para la reducción de la firma de las plataformas, aquéllos para la mejora de los sistemas de comunicaciones, la nanotecnología, etc.



Fig. 1. Apertura de la jornada sobre vigilancia tecnológica e inteligencia competitiva.

Tecnologías Emergentes

Proyecto EDA JIP ICET: METAFORE

Mario Sorolla Ayza y Francisco Falcone, UPNA; José Antonio Marcotegui, Alfonso Echave y Aritz Estévez, TAFCO

Dentro de la estrategia de prospectiva científica y definición de áreas en las que realizar futuras inversiones de I+D de la Agencia Europea de Defensa, y dentro del *Joint Investment Programme on Innovative Concepts and Emerging Technologies (ICET)*, se encuadra el proyecto "Forecasts in Metamaterials with Extreme Parameters for Disruptive Antennas, Radomes, and Cloaking in Radar Applications" (METAFORE). Este proyecto ha finalizado en el año 2011 y ha sido liderado por la PYME española Tafco Metawireless, S.L. Además, han participado el Instituto Fraunhofer en Alemania, Supélec-CNRS en Francia y el Laboratorio de Ondas Milimétricas, Terahercios y Plasmónica de la Universidad Pública de Navarra en España.

A modo de breve introducción a la temática sobre metamateriales, cabe decir que éstos surgieron de una especulación teórica formulada en 1968 por Víctor Veselago quien se interesó sobre qué nuevos fenómenos físicos ocurrirían si existieran materiales que presentasen permitividades dieléctricas y permeabilidades magnéticas simultáneamente negativas (1), ver figura 1. Una de las conclusiones más relevantes fue la posibilidad de obtener índices de refracción negativos.

No ha sido hasta el comienzo del siglo XXI que se ha podido realizar en la práctica aproximaciones a dichos medios y comenzar la búsqueda de aplicaciones prácticas (2,3).

El objetivo del proyecto METAFORE ha sido la elaboración de una prospectiva sobre el incipiente campo de los metamateriales y su aplicabilidad en defensa. Esta prospectiva realizada abarca el estado futuro y la localización geográfica de dicha tecnología a dos niveles, uno con un horizonte a diez años y otro, más complejo, a veinte años. Además, se ha intentado estimar su impacto en los

futuros sistemas de defensa y detectar nuevas capacidades.

En particular, la aplicación en radar se ha considerado esencial pero también se han estudiado otros campos con potencial interés militar. Se ha realizado una exhaustiva revisión de la literatura científica en dicho ámbito con especial atención a las patentes y proyectos relacionados con defensa.

Se han realizado previsiones de evolución futura de los metamateriales en base a los resultados actuales y a las nuevas tendencias que emergen en las publicaciones y congresos. Una tendencia importante que se ha detectado es la presencia de los metamateriales en sistemas radar de microondas. Por otra parte, tampoco debe olvidarse la relevancia de los metamateriales acústicos y sus implicaciones en sonar.

Además, cuando se habla de metamateriales aparece inexcusablemente el tema de la invisibilidad. A pesar de la gran excitación mediática que provoca dicho tema hay que aclarar que hasta ahora, ésta se ha logrado para bandas de frecuencia muy estrechas, distando mucho de las expectativas.

De hecho, la tecnología de metamateriales ha supuesto más un replanteamiento de los principios básicos del electromagnetismo y la acústica mientras que las mejoras obtenidas frente a las soluciones convencionales han sido más modestas. Esto no

entra en contradicción con la necesidad de seguir investigando en metamateriales y sus aplicaciones.

A modo de ejemplo, además de los proyectos nacionales y europeos en los que participa España, resulta interesante destacar la financiación por parte de la US Office of Naval Research de las investigaciones en acústica del Prof. José Sánchez-Dehesa en la Universidad Politécnica de Valencia y por parte del US Air Force Research Laboratory y del US Army Research Laboratory, de las investigaciones sobre antenas tipo lente en milimétricas y terahercios del Prof. Mario Sorolla en la Universidad Pública de Navarra (figura 2).

Es patente la enorme inversión para la investigación en aplicaciones civiles y en defensa de los metamateriales realizada en los EE.UU. frente al esfuerzo realizado en Europa. De hecho, la EDA ha licitado en los últimos años dos proyectos sobre metamateriales además de METAFORE, uno sobre invisibilidad y otro sobre antenas de barrido electrónico. Paradójicamente, la comunidad científica europea lidera dichas investigaciones y el papel de España es uno de los más destacados.

Se ha constatado, a partir de los resultados de METAFORE, una evolución de las líneas de investigación punteras hacia rangos de frecuencia más elevados como el terahercio y el

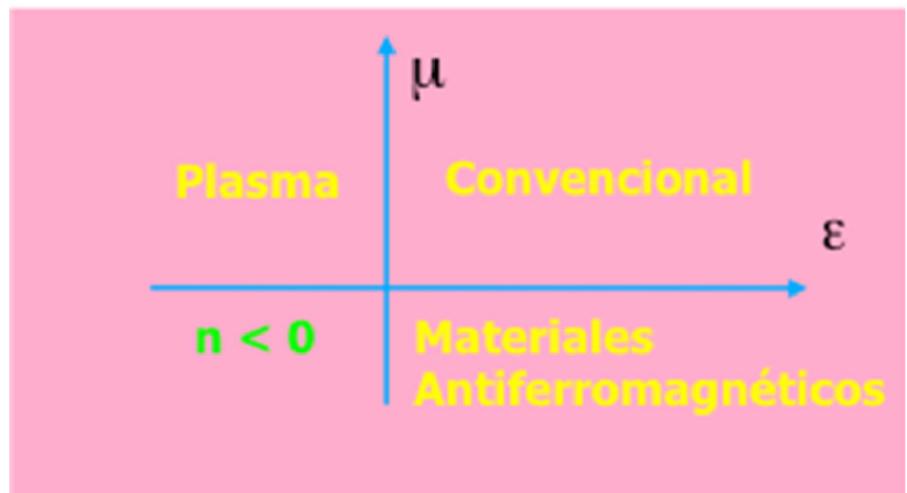


Fig. 1. Diagrama permitividad-permeabilidad en el que los metamateriales zurdos se encuadran en el tercer cuadrante.

infrarrojo así como un aumento de la actividad en lo que podría denominarse metamateriales cuánticos con evidentes aplicaciones en fotónica para la defensa (4). Tampoco deben ignorarse las futuras aplicaciones en sistemas biológicos ni las mucho más futuristas ideas sobre metamateriales inspirados en la biología para aplicaciones militares que de forma muy incipiente se trata de estimular en EE.UU.

Otra actividad que se ha realizado en el proyecto METAFORE ha consistido en analizar las diferentes opciones en cuanto a herramientas de diseño asistido por computador disponibles en el mercado y cómo responden a los retos que la investigación en metamateriales les presenta.

En base a la información descrita en los párrafos precedentes, el proyecto METAFORE ha identificado las áreas de la tecnología de metamateriales que precisan apoyo por parte de los Ministerios de Defensa europeos con la finalidad de definir las posibles líneas de actuación europea.

Para llegar a detectar dichas áreas se ha procedido a una serie de entrevistas con la empresa Cassidian, relevante en el sector defensa. Se ha tratado de detectar, dentro de la lógica poca predisposición de las empresas a desvelar sus actividades, el empleo de la tecnología de metamateriales, los aspectos económicos que podrían motivar su empleo, y los inconvenientes derivados del empleo en defensa de soluciones provenientes del sector civil para orientar las inversiones en el sector defensa (5).

La actividad final del proyecto ha consistido en la definición de un plan

estratégico de actuación europea en metamateriales para defensa con la cuantificación de las inversiones en una serie de áreas temáticas, su prioridad y un posible calendario para realizarlas en función del grado de madurez alcanzado en cada una de ellas. En concreto, se puede destacar la temática de radiofrecuencia y sus tecnologías asociadas de fabricación, micromecanizado, circuitos integrados monolíticos, microactuadores, etc. Probablemente se trata de la temática de metamateriales que presenta una mayor actividad en defensa. Son esperables nuevos diseños de antenas y otros componentes de microondas y milimétricas de utilidad en radar.

También, se ha resaltado la importancia de los metamateriales en el rango del terahercio y las tecnologías de fabricación mediante micromecanizado. Este rango espectral se ha demostrado muy prometedor en detección de explosivos y riesgos biológicos, así como en seguridad aeroportuaria.

Destaca como un área emergente la de los metamateriales fotónicos, cuánticos, y plasmónicos y las diversas formas de fabricación mediante nanotecnologías. Las aplicaciones en fotónica para la defensa son obvias. También se ha reflejado el posible impacto del grafeno sobre dichas aplicaciones.

Los metamateriales acústicos y sus aplicaciones en sonar también se han priorizado a la vista de las actividades desarrolladas en EE.UU.

Las técnicas de transformación óptica y sus implicaciones futuras en conceptos de invisibilidad y reducción de

la firma radar se integran en otra de las áreas de prioridad.

Finalmente, se ha destacado la temática de los metamateriales inspirados en los seres vivos como una línea de actividad futura.

Un total de dieciocho proyectos a corto, medio, y largo plazo han sido definidos y se ha especificado el tipo de consorcio, la intensidad del proyecto, etc. En total, se ha estimado en unos 107 M€ la inversión necesaria en Europa, en los próximos veinte años, para no distanciarse de otras partes del mundo en metamateriales para la defensa. Además se constata la necesidad de una mayor coordinación de las inversiones en metamateriales a nivel de Europa y el activo papel que pueden jugar las pymes.

REFERENCIAS

- (1) V.G. Veselago. The Electrodynamics of Substances with Simultaneously Negative Values of ϵ and μ . *Physics-Uspekhi*, 10(4):509–514, 1968.
- (2) R. Marqués, F. Martín, and M. Sorolla, *Metamaterials with Negative Parameters: Theory, Design, and Microwave Applications*, New York: John Wiley & Sons, 2008.
- (3) L. Solymar, and E. Shamonina, *Waves in Metamaterials*, New York: Oxford University Press, 2009.
- (4) Nikolay I. Zheludev, "A Roadmap for Metamaterials", *Optics & Photonics News*, pp. 31-35, March 2011.
- (5) Los Metamateriales y sus Aplicaciones en Defensa, 09 Monografías del SOPT, Ministerio de Defensa, 2011. http://www.portalcultura.mde.es/publicaciones/publicaciones/Ciencia_Tecnica/publicacion_0070.html

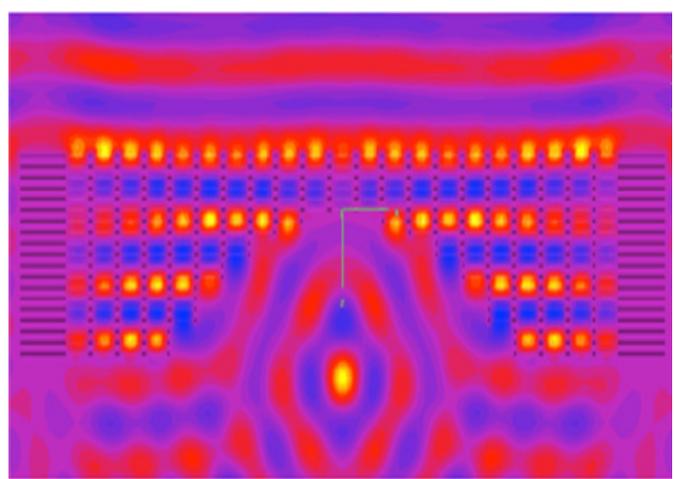
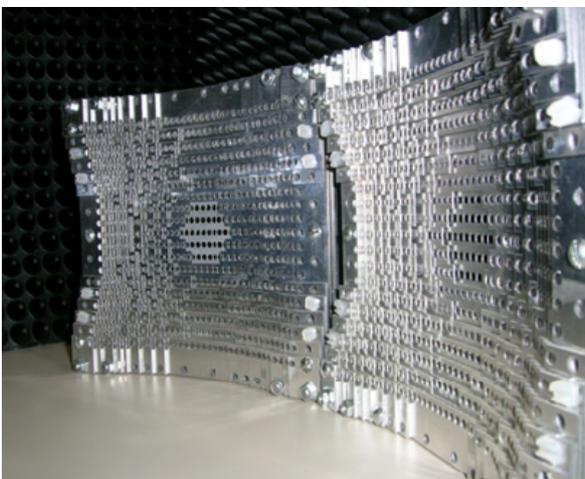


Fig. 2. Lentes metálicas planocóncavas (izquierda) y simulación de la evolución del campo eléctrico perpendicular en su interior (derecha).

Detección a distancia de explosivos ocultos

Carlos Callejero Andrés, Alfa Imaging

A través del Programa COINCIDENTE, el Ministerio de Defensa ha financiado durante varios años proyectos de desarrollo de sistemas pasivos de imagen basados en ondas milimétricas y terahercios (THz). En este artículo se recogen algunos de los hitos y resultados más destacados del desarrollo de estos sistemas.

Alfa Imaging presentó en el congreso de especialistas SET-129 "Terahertz Wave Technology for Stand-off Detection of Explosives and Other Military & Defense Applications", el artículo "Multispectral mm-wave imaging: materials and images", que mostraba los resultados de un estudio de caracterización a frecuencias submilimétricas de las propiedades dieléctricas de varios materiales empleados en construcción, junto con imágenes pasivas de muestras de esos mismos materiales a 35 y 94GHz. Este estudio llamó la atención de la agencia NC3A de la OTAN, que propuso a Alfa Imaging realizar las siguientes actividades:

- Caracterizar diversos componentes usados para fabricar IED (*Improvised Explosive Device*), junto con distintos tipos de explosivos civiles y militares.
- Participar en las pruebas BELCOAST 09 (programa de trabajo DAT (*Defence Against Terrorism*) de la OTAN), en Koksijde Airbase, Bélgica, del 5 al 15 de octubre de 2009.
- Realizar unas pruebas en la Base Aérea de Kandahar (Afganistán), en Noviembre de 2010.

Caracterización de componentes usados para fabricar IED y explosivos

Hasta entonces se disponía de muy poca información sobre las propiedades reflectivas y de penetración de materiales explosivos y de sus embalajes en las distintas bandas de frecuencia. Dicha caracterización es imprescindible si se quieren conocer las capacidades reales de detección e identificación de sustancias ocultas.

Las medidas se realizaron en un analizador de redes de altas prestaciones disponible en la Universidad

Pública de Navarra. Se caracterizaron los siguientes explosivos: Goma - 2-Eco, PG, Trilita, Pólvora de Mina, Pólvora de Caza y Pentrita, midiéndose en transmisión hasta los 260GHz y en reflexión hasta los 170GHz. Con estas medidas se pudo determinar qué tipo de explosivos resultan más fáciles de detectar.

Los resultados de las pruebas se presentaron en el congreso de expertos SET-117 "Prediction and Detection of Improvised Explosive Devices (IED)", de la RTO (OTAN). Este estudio fue financiado por el programa COINCIDENTE y por la agencia NC3A.

Pruebas en BELCOAST 2009

Alfa Imaging participó en las pruebas BELCOAST 09 en el escenario número 10. Dicho escenario consistía en un grupo de terroristas portando IED aproximándose a la puerta de entrada de una instalación. El objetivo de la prueba era demostrar la capacidad para detección remota de explosivos utilizando imágenes en frecuencias milimétricas.

En la figura 1 se muestra la zona de pruebas. Consistía en dos muros de hormigón de 30 cm de grosor y 2 metros de altura, alineados a ambos lados de una carretera (también de hormigón) de unos 30 metros de longitud. Estas paredes (muros) estaban separadas unos 4 m.

Por la mañana se realizaron una serie de pruebas en las que seis sujetos se colocaron entre los muros posando de frente y de espaldas al sistema, separados de éste una distancia de 15m. Uno de los sujetos portaba un chaleco suicida oculto debajo de una chaqueta de Goretex, con explo-

sivo RDX (*Royal Demolition Explosive-Exógeno*) y metal de metralla. Por la tarde se realizó una segunda serie de pruebas siguiendo el mismo procedimiento. En este caso, uno de los sujetos ocultaba varios metros de cable de pentrita alrededor de su torso y otro de los individuos ocultaba una pequeña placa de metal pegada a su abdomen.

La cámara utilizada en estas pruebas disponía de un sistema de barrido opto-mecánico que podía funcionar con diferentes receptores de frecuencia, aunque sólo se le acopló un receptor a 94 GHz, con el cual se obtuvo una sensibilidad térmica de 1K y una resolución espacial de 6 mrad. Debido a su naturaleza de demostrador, el tiempo de adquisición de la imagen fue del orden de 32 segundos.

Las imágenes se procesan previamente antes de mostrarse en la pantalla del operador. El procesado implica una eliminación del ruido de la imagen, la segmentación para la detección del sujeto y finalmente la detección automática de amenazas. El resultado final es el que aparece en la figura 2.

En estas imágenes se puede observar como el sujeto número dos esconde un objeto en su torso (segundo en la imagen superior comenzando por la izquierda, señalado con un recuadro rojo); se trata del explosivo RDX. En la imagen inferior, se revela asimismo la metralla que dicho sujeto oculta en su espalda.

Pruebas en la base aérea de Kandahar

La última actividad propuesta por la



Fig. 1. Escenario de pruebas de detección a distancia.

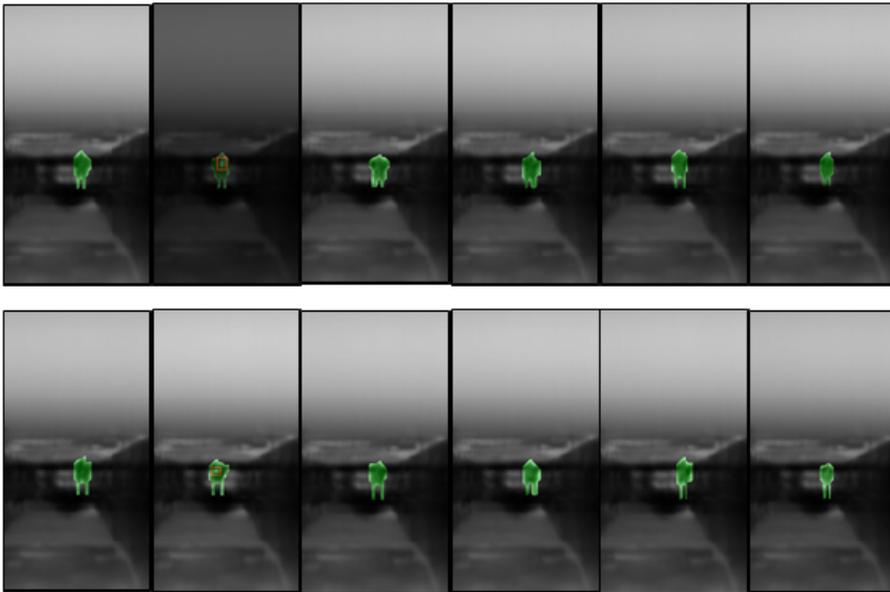


Fig. 2. Imágenes procesadas tomadas por la cámara pasiva de 94 GHz. De izquierda a derecha, sujetos 1 a 6. Fila superior: imágenes frontales de los sujetos; fila inferior: imágenes posteriores de los sujetos.



Fig. 3. Fotografía del escenario de pruebas en Kandahar.

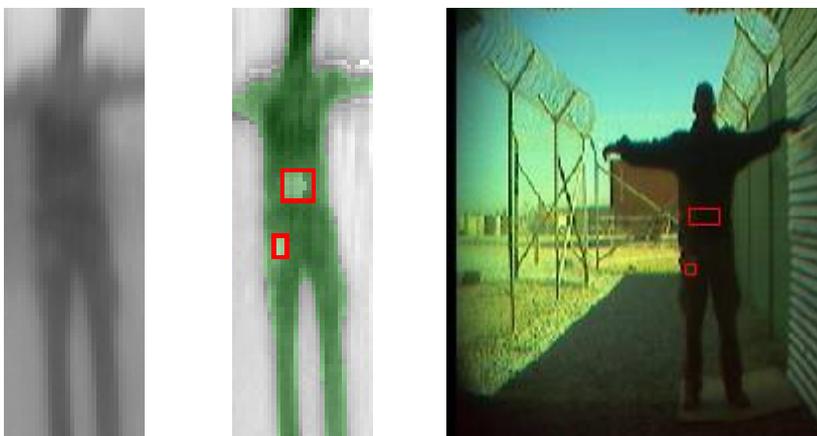


Fig. 4. a) Imagen capturada b) Imagen procesada c) Imagen fusionada.

agencia N3CA se centró en la detección de objetos portados por personal civil que accede a la Base de Kandahar, a través del punto de control de la puerta de entrada.

El sistema de Alfa Imaging inspeccionó en noviembre de 2010 aproximadamente a 450 personas en 6 horas, lo que supone casi el 25% del número total de personas que acceden diariamente a la base. Para estas pruebas, Alfa Imaging empleó un nuevo equipo que reduce el tiempo total de inspección por persona a 20-25 segundos, tomando dos imágenes por persona. La figura 3 muestra una fotografía del sistema instalado en el escenario de prueba. Las dimensiones del equipo son: 1140mm largo x 900mm ancho x 1520mm altura.

Los resultados de estas medidas se pueden observar en las figuras 4a) a 4c). En la imagen 4a) se muestra cómo es la imagen obtenida directamente por la cámara; 4b) se corresponde con la imagen procesada, una vez segmentada la persona y aplicados los algoritmos de detección automática; y 4c) representa la imagen que muestra el sistema, dónde se indica la situación de las amenazas sobre la imagen de vídeo.

El análisis y resultado de estas pruebas han quedado plasmados en un informe final elaborado conjuntamente con la agencia NC3A de la OTAN. La principal conclusión extraída ha sido que resulta necesario disponer de un sistema que opere en tiempo real, para ser capaz de inspeccionar al número total de personas que acceden a la base. Los resultados de estas pruebas han permitido a Alfa Imaging introducir las modificaciones y mejoras necesarias para que el sistema pueda cumplir con los requisitos demandados en el escenario de operaciones.

En los últimos meses Alfa Imaging ha finalizado el desarrollo de su sistema y en la actualidad se encuentra disponible comercialmente. Esto no habría sido posible sin el apoyo del Ministerio de Defensa, del Ministerio de Ciencia e Innovación a través del CDTI, de la agencia NC3A de la OTAN y de la participación de la empresa en el grupo de trabajo SET-124 "THz Wave Technology for Stand-off Detection of Explosives and other Military & Security Applications" de la RTO (OTAN).

En Profundidad

El papel del ITM en la lucha contra el terrorismo NBQ

Tcol. Alfredo Fernández López, Área NBQ y Materiales, ITM; Angélica Acuña Benito, OT NBQ

Frente a la amenaza terrorista, la primera línea de defensa ha de ser unas Fuerzas Armadas (FFAA) y Fuerzas de Seguridad del Estado bien equipadas, especializadas, entrenadas y coordinadas. En España, la policía nacional, guardia civil, protección civil y en el ejército el Regimiento NBQ, la Escuela Militar de Defensa NBQ (EMDNBQ) y actualmente la unidad de riesgos tecnológicos de la UME, cubren satisfactoriamente este desafío.

Pero en el teatro de la lucha contra el terrorismo NBQ detrás del telón hay instituciones que trabajan intensamente en campos fundamentales para neutralizar este tipo de amenaza, como son los servicios de información del Estado (CNI), de la policía y la Guardia Civil, así como el trabajo realizado por el Instituto Tecnológico "La Marañosa" (ITM). El ITM, dependiente del Ministerio de Defensa, cuenta entre sus áreas de conocimiento el área NBQ y Materiales, realizando labores de prevención, formación, protección, control, laboratorios forenses y adelantándose al futuro mediante la investigación e innovación.

Las cuatro unidades del Área NBQ & M se han adaptado a las nuevas amenazas incrementando notablemente sus esfuerzos dedicados a la lucha antiterrorista. Esta evolución se debe principalmente a:

- La amenaza creciente para nuestras tropas desplazadas a zonas beligerantes. En este sentido y fuera del campo NBQ se ha de destacar el trabajo sobre IEDs (artefactos explosivos improvisados) realizado por la Unidad de Materiales.
- La necesidad que ha surgido en todos los países occidentales de dar apoyo, formación y asesoramiento tecnológico adecuados a los grupos



de intervención civiles (policía, bomberos, sanitarios, etc.) en un campo desconocido para ellos hasta hace poco tiempo.

CAPACIDADES ACTUALES

En la lucha antiterrorista NBQ las distintas unidades del Área NBQ del ITM han alcanzado y tienen operativas capacidades dentro de los apartados de formación, asesoramiento, prevención, control, protección, identificación y análisis forense, pero como instituto de investigación ha de impulsar y desarrollar nuevas tecnologías y protocolos de actuación y análisis, en contacto permanente con otros centros homólogos del mundo para aprovechar al máximo los nuevos conocimientos en esta lucha contra el terror, que no es única de Occidente.

El ITM colabora con el Sistema de Observación y Prospectiva Tecnológica del Ministerio de Defensa, por lo que se mantiene informado y actualizado de las continuas novedades tecnológicas en el campo de la protección y contramedidas frente al terrorismo NBQ y de los estudios realizados en todo el mundo. Por otro lado, como parte integrante de esta

red de observatorios se colabora en actividades relacionadas con la evaluación, priorización, vigilancia y prospectiva tecnológica. Asimismo, se dispone de los conocimientos técnicos necesarios para saber diferenciar entre lo veraz y la multitud de "ruido" de oportunistas que aparece asociado a cualquier nuevo fenómeno de moda.

Formación y adiestramiento

El personal técnico especialista, con décadas de experiencia en el campo NBQ, presta apoyo regularmente en la formación a la policía, Guardia Civil, Protección Civil, Regimiento NBQ, UME y entidades que lo solicitan. Estas actividades van desde conceptos básicos generales, prácticas con equipos analíticos, hasta cursos muy específicos de una especialidad (p.ej. espectrometría de masas) a especialistas de los laboratorios nacionales (Policía y Guardia Civil) e internacionales, como por ejemplo los cursos anuales dirigidos a los laboratorios oficiales de países de Latinoamérica y subvencionados por la Organización de Prohibición de Armas Químicas (OPCW).

Asimismo, una actividad eficaz para la preparación del personal que ha



Fig. 1. Ejercicio de adiestramiento de toma de muestras.

de intervenir en primera línea y que se llevan realizando desde hace algunos años, son los ejercicios prácticos y maniobras de toma de muestras medioambientales, descontaminación y actuación frente a artefactos explosivos + NBQ, realizados sobre el terreno. Tras el ejercicio se realiza una mesa redonda y *brainstorming* (tormenta de ideas) desde distintos puntos de vista: operativo, técnico, Mando, forense, etc., que unido a la oportunidad de mantener un contacto entre los distintos actores en este tipo de sucesos, ha demostrado ser muy efectivo en la preparación de los operativos implicados en este tipo de acciones.

Asesoramiento

El campo de conocimiento NBQ, debido a su singularidad y nueva reaparición reduce notablemente las fuentes de información y asesoramiento cualificado sobre todo cuando se busca experiencia y conocimiento profundo de un determinado problema. Es aquí donde el ITM realiza una función casi específica de este conocimiento, con décadas de experiencia dedicadas a la protección, evaluación, análisis e investigación en este campo le confiere el carácter de centro de referencia en el campo NBQ.

Esta característica le convierte en un componente fundamental a participar en foros internacionales, programas de I+D, direcciones técnicas de proyectos, evaluaciones, asesoramiento a empresas en nuevos desarrollos, grupos de trabajo de la OTAN, de la EDA y, por supuesto, apoyo técnico

a los Cuarteles Generales y Fuerzas y Cuerpos de Seguridad del Estado.

En este sentido, cabe señalar el papel del ITM durante la crisis del ántrax del 2001, cuando personal de este centro participo en el análisis del contenido de cientos de sobres, sospechosos de contener esporas de ántrax, en las instalaciones de biocontención del Centro de Investigación en Sanidad Animal, CISA, en Valdeolmos, Madrid.

Otra labor destacada, como laboratorio de verificación de armas químicas designado por la OPCW, es el desplazamiento de expertos asesores del ITM en analítica y espectrometría de masas a laboratorios oficiales de países emergentes que desean adelantarse a esta nueva amenaza o la intervención de estos especialistas asesorando a la Autoridad Nacional en las inspecciones a la industria química nacional llevada a cabo por la OPCW.

Por último, y en relación con la protección radiológica, la Unidad Nuclear presta asesoramiento en el control de instalaciones (clasificación y actualización de puestos de trabajo, control de fuentes radiactivas, supervisión de la dosimetría personal, vigilancia del almacenamiento y evacuación de residuos, etc.), en el cálculo y diseño de blindajes biológicos y en la adopción de medidas de protección contra radiaciones ionizantes, entre otras.

Verificación y control de armas químicas.

El laboratorio de verificación de armas químicas de "La Marañosa" es uno de los pocos existentes en el

mundo (entre 15 y 17) que ha alcanzado la designación por la Organización de Prohibición de Armas Químicas (OPCW). Esta organización tiene como misión hacer cumplir la Convención de Armas Químicas (CWC), que además de prohibir el uso y la tenencia de este tipo de armas realiza el laborioso trabajo de controlar la industria química civil mundial para verificar que los productos químicos de uso industrial que tienen un posible doble uso, ya sea por su propia toxicidad (cianhídrico, fosgeno, cloropicrina, CICN, insecticidas, etc.) o por ser precursores de agentes de guerra (tiodiglicol, DMMP, trietanolamina, etc.) confirmando su empleo para uso autorizado y no hay desviación a otros fines.

Para ello la Organización dispone de una amplia plantilla de inspectores y laboratorios de alta competencia técnica que todos los años han de revalidarla en exigentes exámenes (*proficiency test*) que tienen por objeto la preparación frente a nuevos desafíos como puede ser: el enmascaramiento de pruebas, nuevos compuestos no incluidos en las bases de datos y seguimiento de la trazabilidad en la degradación para pruebas forenses.

Esta labor de control y seguimiento, que en cierta medida es similar a la que realiza la Agencia Internacional de la Energía Atómica (IAEA) con los componentes nucleares, es extraordinariamente más complicada, no solo por el elevado número de industrias implicadas, sino también por el problema del secreto industrial tan protegido en la química industrial. Con este control se realiza una importante labor de prevención al dificultar el acceso a los productos necesarios para fabricar armas de este tipo, al disponer de un organismo eficaz donde denunciar un incumplimiento y la disuasión que supone conocer que un acto de estas características no va a quedar impune, ya que los laboratorios forenses probarán el hecho y la trazabilidad permitirá seguir el rastro a los culpables.

Protección personal

La protección NBQ exige un aislamiento total del individuo del ambiente contaminado ya que la vía de penetración de los agresivos químicos actuales, no solo es a través de las vías respiratorias, la mayor parte de ellos penetran a través de la piel don-



Fig. 2. Manipulación de muestras de alto riesgo.

de el contacto con una gota de neurotóxico, 50 veces más pequeña que una gota de lluvia, supone la absorción de una dosis letal.

Este aislamiento se consigue con el EPI del combatiente (equipo de protección individual), pero su evidente incomodidad, carga, estrés y limitaciones reduce la capacidad operativa, según se ha demostrado en ejercicios NBQ, a menos del 50 % de la operatividad de la Unidad que se ve obligado a utilizarlo. Es por lo tanto necesario estudiar, investigar y desarrollar, aplicando toda la nueva tecnología y nuevos materiales para acercarse al modelo ideal de EPI, que sería uno que no se diferenciase del equipo de combate estándar de un soldado.

Un aspecto crítico de la protección, además del EPI, es la detección e identificación de los agresivos de forma rápida e inequívoca, en términos operativos “alarma” e “identificación” ambos puntos son diferentes y los dos son esenciales para completar una adecuada protección.

- La “alarma” ha de ser en tiempo real, solo se puede asumir segundos de retardo, si no es así, el agresivo llegará al combatiente y penetrará en él antes de que sea consciente de la situación y utilice el EPI.

- La “identificación” inequívoca es fundamental en los dos siguientes niveles de identificación posteriores: el apoyo a la decisión y el análisis forense. Pero también es muy importante en la protección individual, ya que una falsa alarma, técnicamente un falso positivo, obliga a que la unidad operativa suponga que está bajo ataque NBQ y como hemos dicho ello conlleva, desde el punto de vista de la eficacia operativa, a haber sufrido la mitad de bajas.

En la parte nuclear tanto la “alarma” como la identificación están aceptablemente resueltas, en la amenaza biológica la identificación está resuelta para las amenazas más comunes pero para la “alarma” no existe actualmente ningún método fiable. En referencia a la amenaza química el problema es complejo ya que la necesaria sensibilidad del detector obliga a este a discriminar entre miles de compuestos químicos presentes en el aire a niveles de ppb (partes por billón) y los falsos positivos y negativos son una constante. Por otro lado,

para la identificación de los agresivos químicos son necesarios equipos muy complejos, costosos y operados por personal técnico especialista muy cualificado.

Evaluación de equipos

En la evaluación de los distintos equipos de protección, tanto individual como colectivo, frente a los agresivos químicos es ineludible la intervención de la Unidad de Defensa Química del ITM, ya que a diferencia del tipo B o N no hay en España otros laboratorios de evaluación, no solo por el empleo de agresivos químicos reales, sino también por la singularidad de la amenaza, notablemente diferente a la protección en química industrial. Esta diferencia conlleva un problema añadido, no existen métodos de ensayo normalizados, ni por lo tanto equipos comerciales para evaluar la eficacia de la protección que ofrecen este tipo de materiales y es, en muchos casos, el propio instituto quien ha tenido que desarrollarlos para intentar reproducir en el laboratorio las condiciones que se encontraran en el campo de batalla en una situación real.

Existen una amplia variedad de equipos implicados en la protección NBQ, que se han de evaluar para determinar con veracidad su eficacia, no solo para identificar el mejor entre los que continuamente están apareciendo en el mercado, sino también para controlar la calidad de los suministros

habituales. Al ser un campo que ha cobrado mucho auge en los últimos tiempos y sabedores de la dificultad para evaluar realmente las características NBQ, existen multitud de equipos con graves discrepancias entre las características técnicas que marca el fabricante y las prestaciones del equipo en situaciones “cuasi-reales” de las pruebas en laboratorio. Así mismo, se puede ser víctima del suministro de equipos que no han superado el control de calidad o fuera de vida útil, desviados a compradores que carecen de la capacidad de evaluación NBQ en las pruebas de recepción.

Los equipos más comunes en defensa NBQ que se evalúan son: detectores (individuales y colectivos), máscaras antigás, cartuchos filtrantes, trajes permeables al aire, trajes impermeables, cubre botas y guantes de protección, sistemas de filtración colectivos, equipos de descontaminación, descontaminantes, tiendas COLPRO, plantas de purificación agua, pinturas, polímeros, absorbentes, elastómeros, etc.

Como ejemplo de la dificultad de estas evaluaciones, en el caso de los detectores militares de agresivos químicos, las condiciones de evaluación son muy distintas a la de sus homólogos civiles, ya que sus límites de detección son miles de veces más sensibles que los industriales, los



Fig. 3. Evaluación de materiales de protección NBQ.

compuestos a ensayar son las sustancias químicas más tóxicas que existen y al trabajar con vapores, no gases, moviéndose en el rango de partes por billón, la toma de muestras, cuantificación, estabilidad de la atmosfera de ensayo, reproducibilidad, adsorción superficial, dificultan extraordinariamente el ensayo. Además hay que probar que el detector "detecta" en un rango de temperatura entre -25°C y +45°C.

En cuanto a la evaluación de los equipos de detección, identificación y monitorización de agresivos biológicos, a nivel europeo se están elaborando normativa y procedimientos que exigen el uso de equipos de laboratorio estandarizados y ensayos en ambientes controlados. Concretamente, en el marco de la EDA, el ITM está participando en grupos de trabajo sobre estos temas.

Análisis forense

El análisis forense es el último eslabón de la cadena de detección, establecida originalmente por la OTAN para las unidades militares como un modelo valido de la organización de Defensa Civil frente a un atentado o accidente NBQ. El análisis forense supone la identificación inequívoca del agente implicado en el incidente por un laboratorio de referencia nacional. Los laboratorios de referencia han de tener la adecuada calificación técnica y acreditación en calidad ISO 17025, para el análisis de las muestras procedentes de la zona, transportadas con la adecuada custodia (para evitar posteriores problemas legales) e identificación de cada uno de los agresivos y compuestos relacionados (precursores y productos de degradación en el caso de agresivos químicos), presentes mediante tres técnicas de análisis diferentes por cada uno de ellos, elaborándose el informe oportuno. Por supuesto otra función no despreciable del laboratorio de referencia será la de prestar apoyo, asistencia, formación, etc. a los anteriores escalones de detección.

CAPACIDADES FUTURAS DEL ITM

El área NBQ tiene prevista la mejora de sus capacidades actuales, para ello algunas de las líneas de I+D consideradas a corto-medio plazo, todas ellas alineadas con la Estrategia de Tecnología e Innovación para la Defensa, ETID, son:

- Nuevas técnicas de detección de CWA. Como ya se ha indicado anteriormente, existe una debilidad en la protección frente a una agresión con agresivos químicos o tóxicos industriales. El número de falsas alarmas que proporcionan los detectores de CWA es elevado. Existen costosos equipos de CG-MS con fiabilidad aceptable, pero el tiempo de respuesta es muy alto, próximo a una hora por análisis, lo que les hace inadecuado tanto para la protección del combatiente como para la detección de material sospechoso. España cuenta con grupos de trabajo innovadores en nuevas tecnologías muy prometedoras en este campo, que proporcionarían respuestas fiables en pocos segundos de tomar la muestra, algunas de estas técnicas podrían ser: DMS (espectrometría de movilidad diferencial, no IMS), la identificación por excitación con microondas, LIBS (*Laser Induced Breakdown Spectroscopy*) y espectrometría Raman, etc.
- Muestras biomédicas. En colaboración con la OPAQ se está trabajando para desarrollar nuevos protocolos de análisis para la identificación forense de agentes de guerra química en tejidos humanos. Este es un problema que en la actualidad no está bien resuelto, este tipo de agentes cuando penetran en el cuerpo, son letales en cantidades de mg o incluso µg, se reparten en toda la masa corporal, por lo que la concentración de partida para el análisis es extremadamente baja, del orden de partes por billón incluso trillón y los que es peor, se metabolizan para dar origen a nuevos compuestos químicos muchos de ellos no cromatografiables.
- Descontaminantes inocuos para el material y medio ambiente. La sociedad demanda que en cualquier situación (incluido zona de guerra) los descontaminantes sean respetuosos con el medio ambiente, en este sentido la evolución ha sido notable en las últimas décadas, donde se han sustituido los disolventes organoclorados (p.e. percloroetileno) por otros compuestos biodegradables. Actualmente se está trabajando en la obtención de descontaminantes de base agua oxigenada, por lo tanto "sin residuo", enzimáticos y basados en polímeros y resinas.

• Tratamiento de aguas. Dentro de este campo se está trabajando en dos tipos de planta, las potabilizadoras de aguas contaminadas, muy necesarias en las misiones en zonas hostiles o países del tercer mundo y las plantas depuradoras cuyo objetivo principal es el tratamiento de las aguas procedentes de la labor de descontaminación NBQ que realizarían sobre territorio nacional en caso de atentado o desastre industrial, estas aguas han de ser depuradas antes de su vertido a la red pública de recogida de aguas.

• Bases de datos de agentes de guerra química, CWA (*Chemical Warfare Agents*), biológica, BWA (*Biological Warfare Agents*) y productos relacionados. Es necesario colaborar junto con otros laboratorios del mundo, para entre todos generar una gran base de datos de espectros analíticos, no solo de CWA, también de sus compuestos relacionados como son los precursores y los productos de degradación ya sea por ruta natural o acelerada artificial mediante descontaminantes. En cuanto a los BWA, el ITM ha participado en el proyecto de la EDA Biological DataBase, para la creación de una base de datos conjunta con información genética que permita, en caso de un incidente, la identificación del origen del agente biológico implicado. Por otro lado, a nivel nacional, el ITM está trabajando en la ampliación de la base de datos con los espectros de absorción de bacterias y toxinas.

• Nuevos materiales adsorbentes. Un componente crítico en la protección, presente en sistemas de filtración, trajes y COLPRO, son los materiales adsorbentes polivalentes, hasta ahora era monopolio exclusivo del carbón activo con varios tipos de impregnación específica para usos militares, esto está cambiando con la nanotecnología y materiales de diseño.

• Homologación de equipos militares y civiles. Existe una necesidad de reglamentar el material de protección NBQ (detectores, EPIs, descontaminantes, etc.) para clarificar un mercado, que aprovechando la falta de normativa y posibilidad de evaluación en laboratorio, continuamente están apareciendo nuevos

equipos que sobre papel son capaces de solucionar todos los problemas y una vez adquiridos, añaden nuevos problemas a los existentes. La estandarización de los equipos de detección e identificación biológica está siendo objeto de estudio a nivel europeo, existiendo redes de laboratorios en el marco de la UE trabajando en ello y nuevos grupos de trabajo en el marco de la EDA, en los que está participando España a través del ITM.

- Laboratorio biológico de seguridad de nivel 3. Como laboratorio militar de referencia nacional, la Unidad de Defensa Biológica debe poder llevar a cabo una identificación inequívoca, es decir por al menos tres métodos analíticos diferentes. La realidad es que actualmente, está unidad puede diagnosticar la mayoría de los agentes del grupo A por más de una técnica y muchos del grupo B y C al menos por una. Una de las principales limitaciones para poder actuar como un verdadero laboratorio de referencia, y no sólo como laboratorio de apoyo, es el no disponer de una laboratorio de bioseguridad de nivel tres, para dar respuesta a los cuerpos y fuerzas de seguridad del estado, que, periódicamente toman muestras de posibles escenarios y donde la respuesta rápida, eficaz y el mantenimiento de la cadena de custodia son esenciales.

- Cámara de generación de aerosoles biológicos. Es necesario disponer de capacidad nacional para evaluar no sólo los equipos de detección, identificación y monitorización biológica que se compran, sino los que se desarrollan a través de proyectos de I+D, a nivel nacional o internacional. La creciente participación de los laboratorios de referencia nacional en proyectos europeos de desarrollo conjunto y la necesidad de poder prestar apoyo a los Cuarteles Generales en la compra inteligente hace necesario disponer de equipos que permitan llevar a cabo ensayos en ambientes controlados. Por otro lado, hay que señalar que a nivel europeo se está creando normativa y procedimientos, que exigen que las pruebas de evaluación se hagan de acuerdo a unas condiciones estándar y en ambiente controlado, condiciones que se obtienen en cámaras de generación de aerosoles, de la que por el momento no se dispone.

- Red de laboratorios biológicos de alta seguridad. La necesidad de poder identificar el origen de un posible incidente bioterrorista, no sólo a nivel nacional sino a nivel europeo, obliga a los laboratorios a trabajar en red para el intercambio de información y creación de bases de datos comunes con información sobre agentes biológicos de guerra (tipado, anticuerpos altamente específicos, registros de espectros de adsorción de los agentes de las listas oficiales, etc.), y al intercambio de material genético de los agentes.

- Desarrollo de prototipos de kits de identificación biológica. Los avances en biotecnología permiten iniciar líneas de I+D para la obtención de kits de identificación in situ de los principales agentes biológicos ya sea a través de técnicas inmunológicas o de biología molecular.

- Análisis forense nuclear. El análisis forense nuclear y la interpretación de los datos por el mismo obtenidos se han convertido en una importante herramienta de lucha contra el tráfico ilícito de material nuclear (uso civil, investigación y militar) y radiológico. En nuestro país, dicha labor no se encuentra encomendada a ningún organismo específico, resultando de ello un vacío en la importante labor de lucha contra el terrorismo nuclear. La Unidad de Defensa Nuclear del ITM representa por parte de la DGAM, junto con DIGENPOL y el CNI, al Ministerio de Defensa en el Grupo Interministerial de Contacto

para Asuntos Nucleares, que se encuentra bajo la Presidencia del Ministerio de Asuntos Exteriores, y en el que participan diferentes organismos e instituciones nacionales. En el seno de este grupo se ha señalado la necesidad de contar con un laboratorio nacional para el análisis forense nuclear, así como la necesidad de que esta misión recayera en el Ministerio de Defensa.

- Activación neutrónica de materiales. La próxima adquisición de un equipo de irradiación de neutrones para calibración de equipos de detección y control de neutrones, permitirá ejecutar ensayos de apoyo a investigación y desarrollo en el ámbito de activación neutrónica de materiales, así como la calibración de dosímetros de neutrones de uso personal.

- Preparación de emergencias. Análisis de escenarios implicado en el posible uso de agentes NBQ contra nuestras fuerzas y cuerpos de seguridad del estado o población civil. El análisis de escenarios es una herramienta de gran valor en la gestión de crisis y consecuencias, tanto a nivel operacional como a nivel de toma de decisiones por el Mando. Estas herramientas permitirían identificar los niveles de protección adecuados y predecir los efectos y consecuencias de un ataque con este tipo de agentes. Algunas líneas de investigación que se podrían poner en marcha en relación con esto podrían estar relacionadas con los modelos matemáticos de dispersión y programas de simulación.



Fig. 5. Preparación de muestras para análisis.

Gestión energética: eliminación de CO₂ en submarinos

Pedro Antonio Casas Alcaide, ITM;
Isidoro Martínez Herranz, Escuela
Técnica Superior de Ingenieros
Aeronáuticos (UPM)

Introducción

Una planta AIP es cualquier sistema propulsivo capaz de posibilitar la navegación de un vehículo submarino bajo la superficie del mar de forma completamente independiente de la atmósfera terrestre.

El uso a bordo de submarinos de plantas AIP basadas en la reacción química entre un hidrocarburo y oxígeno (ambos almacenados en el interior del submarino) da lugar a la producción en grandes cantidades de agua y CO₂, residuos que necesitan ser eliminados. En concreto, la producción de CO₂ en grandes cantidades (y en estado gaseoso) constituye un auténtico problema en un submarino navegando en inmersión, ya que actualmente no resulta viable almacenarlo a bordo, y su eliminación tiene que llevarse a cabo de forma discreta y con un coste energético reducido.

Actualmente hay varias alternativas para eliminar el CO₂ producido en la propulsión de un submarino navegando en inmersión, considerándose una de las más ventajosas la disolución de dicha sustancia en agua de mar y su posterior expulsión al exterior del submarino. Esta alternativa

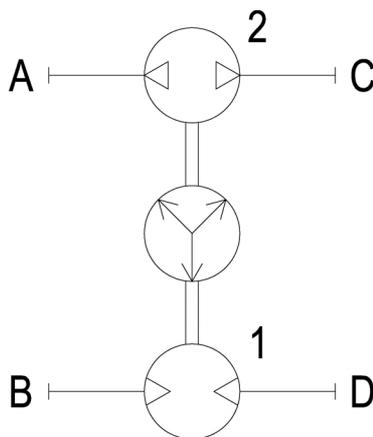


Fig. 1. Conversión de doble salto mediante máquinas de desplazamiento positivo (A. descarga al mar, B. toma de mar, C. salida del sistema de disolución de CO₂, D. entrada al sistema de disolución de CO₂, 1. motor, 2. bomba).

consta básicamente de 3 etapas bien definidas:

- **Etap 1.** Introducir agua de mar a bordo del submarino, haciendo bajar su presión desde la existente en el exterior hasta la presión a la que se quiere realizar el proceso de disolución.
- **Etap 2.** Llevar a cabo el proceso de disolución a presión constante e independiente de la existente en el exterior del submarino.
- **Etap 3.** Expulsar fuera del submarino el agua de mar saturada de CO₂ haciendo subir su presión desde la correspondiente al proceso de disolución hasta la existente en el exterior.

Las etapas 1 y 3 se llevan a cabo de forma conjunta mediante el uso de sistemas de recuperación de energía, los cuales mantienen el coste energético necesario para la circulación de agua de mar lo más bajo posible.

Aunque la investigación también ha incluido un estudio comparativo sobre los sistemas de disolución necesarios para llevar a cabo la etapa 2, este artículo se va centrar únicamente en presentar parte de los resultados obtenidos en un estudio comparativo sobre las ventajas/inconvenientes de las alternativas de recuperación de energía existentes, teniendo en cuenta las singularidades propias de su instalación a bordo de submarinos.

Sistemas de recuperación de energía

Todos los sistemas de recuperación de energía hidráulica existentes basan su funcionamiento en aprovechar la energía producida en la caída de presión de un flujo de agua para elevar la presión de otro flujo de agua, pudiendo dividirse en tres grupos fundamentales:

- Tipo R1: Conversión de doble salto.

- Tipo R2: Conversión directa mediante cámaras estacionarias.
- Tipo R3: Conversión directa mediante cámaras rotativas.

A continuación se va a describir cada uno de los tres grupos arriba citados teniendo en cuenta la implementación específica usada en cada caso para efectuar el estudio comparativo.

Tipo R1: Conversión de doble salto (hidráulica-mecánica-hidráulica)

En estos sistemas de recuperación, el esquema de funcionamiento es el siguiente:

- la energía hidrostática contenida en un flujo de agua que baja de presión al circular a través de un motor hidráulico se convierte en energía mecánica en el eje de salida de dicho motor,
- el eje de salida del citado motor hidráulico se acopla directamente al eje de entrada de una bomba,
- la energía mecánica suministrada a la bomba a través de su eje de entrada es transformada por la misma en la energía hidrostática necesaria para elevar la presión de otro flujo de agua.

Tanto la máquina hidráulica que actúa de motor como de bomba pueden ser de tipo centrífugo o de desplazamiento positivo, siendo estas últimas las más adecuadas para su instalación a bordo de un submarino por los siguientes motivos:

- desacoplan el caudal de la presión, lo cual permite un control mucho más sencillo de ambos parámetros,
- presentan normalmente un rendimiento más alto que las máquinas centrífugas,
- su funcionamiento se adapta mejor a las grandes variaciones de presión que se pueden producir

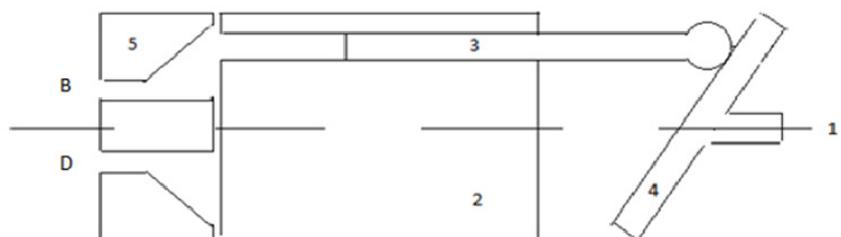


Fig. 2. Motor mono-cilíndrico (B. toma de mar, D. entrada al subsistema de disolución de CO₂, 1. eje de giro, 2. tambor rotativo, 3. conjunto pistón-cojinete esférico deslizante, 4. plato de asiento inclinado, 5. conexión multi-puerto).

en profundidad

durante la navegación en inmersión de un submarino.

En la figura 1 se puede ver el esquema simplificado de un sistema de recuperación de energía de doble salto, donde se han acoplado a un eje común dos máquinas hidráulicas de desplazamiento positivo (bomba y motor) y un motor eléctrico para compensar las pérdidas de carga residuales.

Para llevar a cabo el estudio comparativo mencionado en la introducción se ha considerado un diseño común aplicable a la implementación tanto de las bombas como de los motores: máquinas de desplazamiento positivo de plato inclinado y tambor rotativo (ver figura 2 para el caso motor).

Tipo R2: Conversión directa (hidráulica-hidráulica) mediante cámaras estacionarias

Los sistemas de recuperación pertenecientes a este tipo basan su funcionamiento en el llenado/vaciado simultáneo de una serie de cámaras de transferencia que son puestas alternativamente en contacto con los circuitos de alta/baja presión mediante la adecuada sincronización.

En este caso, las citadas cámaras de transferencia mantienen una posición fija en el espacio, incluyendo cada una de ellas un pistón de movimiento libre que divide el volumen interno de las mismas en dos partes sin comunicación mutua, una en contacto con el agua de mar de entrada y otra con el agua de salida saturada de CO₂. El proceso de cambio de alta a baja presión y viceversa se realiza

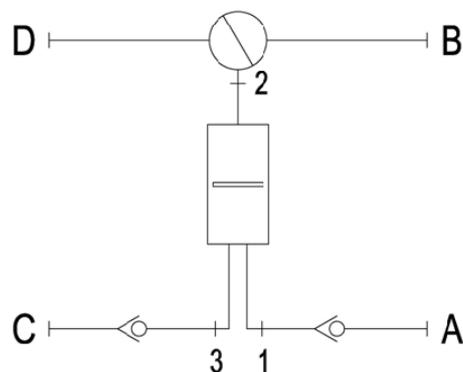


Fig. 3. Conversión directa mediante una cámara de transferencia estacionaria (A. Descarga al mar, B. Toma de mar, C. Salida del subsistema de disolución de CO₂, D. Entrada al subsistema de disolución de CO₂, 1. Salida de agua saturada de CO₂ procedente del cilindro hacia la válvula anti-retorno de descarga al mar, 2. Distribuidor rotativo de 3 vías, 3.- Entrada de agua saturada de CO₂ al cilindro procedente de la válvula anti-retorno situada a la salida del subsistema de disolución).

mediante un juego de válvulas de sincronización, compuesto por una válvula rotativa de tres vías y dos válvulas anti-retorno, dispuestas tal y como aparece en la figura 3.

Tipo R3: Conversión directa (hidráulica-hidráulica) mediante cámaras rotativas

Este caso se diferencia del anterior en que las cámaras de transferencia se encuentran dispuestas en la periferia de un tambor cilíndrico giratorio, produciéndose la sincronización necesaria para realizar el cambio de presión de forma totalmente automática gracias al giro del tambor, sin necesidad de válvulas adicionales (ver figura 4).

Como puede apreciarse en dicha figura, en un instante dado la cámara de transferencia se encuentran en contacto con el circuito de alta presión (puertos A y B), pasando a estar en contacto con el de baja (puertos C y D) conforme se produce el giro del tambor.

Un aspecto interesante que se observa en la figura 4 es la ausencia de pistones deslizantes para separar el agua limpia del agua saturada. Esto se debe a las altas velocidades de giro alcanzadas normalmente en este tipo de sistemas, las cuales hacen que el tiempo de contacto entre el flujo de entrada y el de salida sea extremadamente reducido, lo que impide una mezcla apreciable de los mismos y elimina, por tanto, la necesidad de barreras sólidas.

Finalmente, cabe observar que debido a la ausencia de barreras sólidas en el interior del cilindro, los sistemas de conversión directa con cilindros rotativos admiten dos regímenes de funcionamiento distintos:

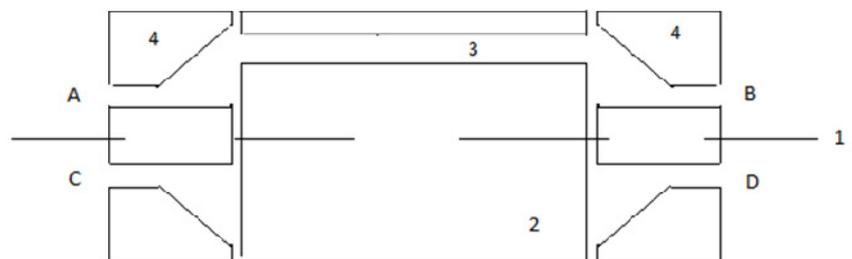


Fig. 4. Conversión directa mediante una cámara de transferencia rotativa (A. Descarga al mar, B. Toma de mar, C. Salida del subsistema de disolución de CO₂, D. Entrada al subsistema de disolución de CO₂, 1. Eje de giro, 2. Tambor rotativo, 3. Cámara de transferencia, 4.- Conexión multi-puerto).

- **Oscilatorio:** el flujo en el circuito de baja presión va desde el puerto C hacia el puerto D (caso ilustrado en la figura 4), lo que significa que el fluido contenido en el cilindro cambia de sentido de circulación de forma oscilatoria conforme se produce el giro del tambor.

- **Estacionario:** el flujo en el circuito de baja presión va desde el puerto D hacia el puerto C, lo que significa que el fluido contenido en el cilindro mantiene constante su sentido de circulación en todo momento, con independencia de la posición del tambor rotativo.

Resultados obtenidos

A partir de los modelos matemáticos desarrollados específicamente para este estudio, dado que los modelos existentes no se adaptaban a las condiciones del estudio, se elaboró un simulador digital específico para cada uno de los tres sistemas de recuperación citados en el punto 2, obteniéndose los siguientes resultados:

1. Cavitación como límite de funcionamiento, la cavitación por pérdida de carga es un límite para los sistemas tipo R1, la cavitación de origen inercial es un límite para los sistemas R2 y R3 en régimen oscilatorio, mientras que los sistemas R3 en régimen estacionario no presentan límites por cavitación

2. Cuando se navega a profundidades cercanas a la cota periscópica, el funcionamiento del sistema tipo R2 exige la instalación de dos sistemas auxiliares:

- Sistema de presurización del agua de entrada.

- Sistema de compensación de caudal.

Esta exigencia desaparece conforme aumenta la profundidad de navegación, siendo prácticamente despreciable a la cota de inmersión máxima operativa habitual en submarinos de diseño estándar.

3. Generación de ruido: en todos los sistemas de recuperación considerados muestra las mismas características básicas:

- Es mucho mayor a cota máxima operativa que a cota periscópica.
- Aumenta significativamente cuando se funciona por encima del límite de cavitación.
- A cota máxima operativa, tiene su origen fundamentalmente en la conmutación de presión que se produce en las válvulas de los diferentes sistemas, con una influencia mínima de cualquier otro efecto (salvo la cavitación).

En relación con este último aspecto se observa que, dada la naturaleza del ruido generado a cota de inmersión profunda, va a resultar muy difícil encontrar medidas eficaces para disminuir su valor de forma significativa actuando únicamente sobre el diseño del sistema de recuperación.

4. Rendimiento energético, se ha llegado a 3 conclusiones interesantes (válidas en todos los casos considerados):

- A mayor profundidad de navegación, mayor rendimiento energético.
- A mayor velocidad de giro del sistema, menor rendimiento energético.
- A mayor longitud de cilindro, menor rendimiento energético.

Los dos últimos aspectos exigen el diseño de sistemas dotados de cilindros cortos girando a baja velocidad, lo cual entra en contradicción con la condición necesaria en sistemas tipo R3 para mantener el nivel de contaminación de CO₂ del agua entrante lo más bajo posible: máquinas con cilindros largos girando a la mayor velocidad posible.

En cuanto a la potencia consumida, cabe decir que es (en todos los

casos) inversamente proporcional al cuadrado del coeficiente de flujo de las válvulas instaladas. Por tanto, la potencia consumida por los diferentes sistemas va a ser muy sensible ante modificaciones en el diseño de las válvulas de acceso a los mismos.

5. Excepto para sistemas tipo R3 funcionando en régimen estacionario, se ha encontrado que la existencia del límite de cavitación (ver resultado 1) impide reducir el volumen total de forma arbitraria, existiendo en todos los casos un valor mínimo del cual no es posible bajar.

En sistemas tipo R3 funcionando en régimen estacionario no existe límite de cavitación, con lo cual se puede disminuir el volumen total de estos sistemas de forma arbitraria. En este caso, la única limitación existente viene impuesta por el hecho de que disminuir el volumen del sistema conlleva un aumento muy pronunciado de la potencia consumida por el mismo.

6. Teniendo en cuenta las singularidades propias de su instalación a bordo de submarinos, las ventajas/inconvenientes de cada uno de los diferentes sistemas de recuperación estudiados pueden resumirse en la tabla 1.

Conclusiones y comentarios finales

De la tabla 1 se desprende que todos los sistemas presentan ventajas e inconvenientes en mayor o menor medida, lo que hace muy difícil seleccionar una alternativa como netamente superior a las demás.

Para finalizar, cabe decir que estos resultados no están disponibles en la bibliografía existente, constituyendo por tanto una aportación fundamental para cualquier organismo involucrado en la adquisición de submarinos dotados con plantas AIP.

Referencias

Gourgoulhon E., 2002, Introduction to spectral methods, 4th EU Network meeting at Palma de Mallorca (<http://www.lorene.obspm.fr/palma.pdf>)

Al-Hawaj O.M., 2003, The work exchanger for reverse osmosis plants, Desalination 157, 23-27 (<http://desline.com/articoli/5059.pdf>)

	Sistemas tipo R1	Sistemas tipo R2	Sistemas tipo R3 (régimen oscilatorio)	Sistemas tipo R3 (régimen estacionario)
Rendimiento energético	BUENO	MALO	MALO	REGULAR
Empacho (Volumen ocupado)	REGULAR	BUENO	REGULAR	BUENO
Irregularidad en el caudal circulado	REGULAR	REGULAR	MALO	BUENO
Irregularidad en el consumo de potencia	MALO	BUENO	REGULAR	REGULAR
Contaminación por CO ₂ inducida en el sistema de disolución asociado	BUENO	BUENO	REGULAR	MALO
Ruido generado	MALO	REGULAR	BUENO	REGULAR
Facilidad de control	BUENO	MALO	REGULAR	MALO

Tabla 1. Comportamiento de los diferentes sistemas de recuperación considerados.

Boletín de Observación Tecnológica en Defensa

Disponible en <http://www.defensa.gob.es/areasTematicas/investigacionDesarrollo/>



 **SOPT**
SISTEMA DE OBSERVACIÓN Y
PROSPECTIVA TECNOLÓGICA

