DIRECCIÓN GENERAL DE ARMAMENTO Y MATERIAL

SUBDIRECCIÓN GENERAL DE TECNOLOGÍA Y CENTROS

Nº 12. Tercer Trimestre 2006

En este número

- *ACTUALIDAD OBSERVATORIOS*
- *ACTUALIDAD TECNOLÓGICA*
- *TECNOLOGÍAS EMERGENTES*
- *EN PROFUNDIDAD*
- *ENLACES DE INTERÉS*
- *AGENDA*

Contactar

Nodo Gestor
TCol. Luis Beltrán Talamantes
SDG TECEN C/ Arturo Soria 289
Madrid 28033
beltranl@oc.mde.es

Observatorio de Electrónica
C.N. Ing. Manuel Golmayo Fernández
mgolmayofer@oc.mde.es

Observatorio de Óptica, Optrónica y Nanotecnología
C.N. Ing. Arturo Maira Rodríguez
arturomaira@oc.mde.es

Observatorio de Armas, Municiones, Balística y Protección
T.Col. Nicolás Braojos López
nbraojos@oc.mde.es

Observatorio de Tecnologías de la Información, Comunicaciones y Simulación
Ing. D. Francisco Javier López Gómez
fjlopez@oc.mde.es

Observatorio de Protección NBQ
TCol. CIP Juan C. Fernández Fernández
jcfernandez@oc.mde.es

Observatorio de Materiales
Dr. José Maroto Sánchez
marotosj@inta.es

Observatorio de UAV´s y Robótica
Cap. CIESO Jesús M. Aguilar Polo
jaguilarp@oc.mde.es

Observatorio de Energía y Propulsión
Ing. Dª. Elena Laguna Crespo
elagcre@oc.mde.es

www.mde.es/dgam/observatec.htm

Boletín
de Observación Tecnológica en Defensa

Editado por el Sistema de Observación y Prospectiva Tecnológica

UN RETO PERMANENTE

Se cumplen, estos días, los tres años de publicación continuada del Boletín de Observación Tecnológica en Defensa y es, por tanto, una buena ocasión para felicitar tanto a los que "ayer" contribuyeron a su creación como a los que "hoy" permiten, con su trabajo constante y elevada profesionalidad, su continuidad.

Pero, quizás, es también una excelente oportunidad para llamar la atención tanto sobre la complejidad de las tareas a realizar, como sobre los elevados niveles de calidad que deben ser exigidos a los observatorios Tecnológicos.

El Sistema de Observación y Prospectiva Tecnológica de la Defensa fue creado como órgano asesor para el apoyo al planeamiento a largo plazo de las actividades de I+D+i y a los programas de obtención del Ministerio con el objetivo de asegurar que los nuevos sistemas y equipos tuvieran un adecuado nivel tecnológico.

Este Boletín siempre ha querido reflejar ese claro objetivo de que el sistema sirva como lugar de encuentro y difusión del conocimiento tecnológico disperso entre la comunidad científica de Defensa, lo que a su vez obliga a un continuo esfuerzo para estar al día y una firme voluntad por mantener nuestros conocimientos actualizados.

Objetivos que seguro que se van a alcanzar, cuando uno es consciente de la disponibilidad y compromiso que son inherentes a la comunidad científica: elevado nivel de autoexigencia y espíritu crítico.

En definitiva, el reto que deben afrontar tanto los gestores como los colaboradores de la Observación Tecnológica sigue siendo el mismo: mantener una actitud de alerta permanente, tanto para identificar y comprender las novedades como para huir de la autocomplacencia.

¡Felicidades… y mucho ánimo!

José Julio Rodríguez Fernández
Director General de Armamento y Material

EDITORIAL

Al cumplirse los dos años de la creación de la Agencia Europea de Defensa (EDA) parece conveniente hacer una reflexión sobre su evolución, su situación actual y de los retos a los que debe hacer frente.

La creación de la EDA estuvo acompañada por una marea de expectación, que incluso la llevó a ser mencionada dentro del texto del – hoy paralizado – proyecto de "constitución" europea, como el organismo llamado a vertebrar la política de defensa y seguridad común. A este respecto la realidad actual es bien distinta, pues las políticas comunitarias se definen en el Comité de Política y Seguridad (PSC), con el apoyo del EUMC (Comité Militar de la Unión Europea). Quedando la EDA lejos de aquellas expectativas de alguna forma excesivas.

Sin embargo, y quizá debido al hecho de que D. Javier Solana es al mismo tiempo el Alto Representante de la UE para Defensa y Seguridad, y máximo ejecutivo de la EDA, ésta no ha abandonado su vocación de ayudar a construir el marco que defina la defensa y seguridad común en Europa. En esta línea se acaba de finalizar un documento de referencia denominado Long Term Vision (LTV - Visión a largo plazo para la política europea de defensa y seguridad) cuyos objetivos específicos son el identificar las capacidades necesarias para afrontar con éxito la defensa europea a un horizonte de 20 años, y el ofrecer un marco de referencia para la denominada base tecnológica e industrial de la Defensa (DTIB).

El documento, realizado con el consenso de los 24 estados "participantes" – todos los miembros menos Dinamarca- si bien es un esfuerzo encomiable por construir una visión común, a largo plazo, todavía está lejos de servir como una línea base para desarrollar el planeamiento a largo plazo de las capacidades comunes de defensa, que necesariamente deben aterrizar en sistemas y unidades, en tecnologías y doctrinas de uso y coordinación.

De cara al futuro es, sin duda, necesario que exista una mayor confluencia de objetivos en el seno de la U. E. La amenaza asimétrica, y sus repercusiones en la seguridad europea, requiere mayores y más apremiantes esfuerzos por parte de todos.

ÍNDICE

Actualidad Observatorios:

- Editorial 2
- RTCT I Electrical Fuel Cells: Participación Industrial 2
- EDA Fuel Cell Workshop 3

Actualidad Tecnológica:

- Congreso EURO-SIW 4
- Simposio NBC 2006 5
- Elrob 2006: First European Land Robot Trial .6
- Jornada tecnológica: nuevas tecnologías para vehículos híbridos terrestres 7

Tecnologías Emergentes:

- Nanobiotecnología aplicada a defensa NBQ ..8
- Materiales Inteligentes I: Materiales con memoria de forma 10

Enlaces 11

En profundidad:

- Proyecto Thales JP 1.18 12
- Munin 16

Agenda.....20

LoI RTCT I Electrical Fuel Cells: Participación Industrial

El pasado 5 de septiembre de 2006 tuvo lugar en las instalaciones del Ministerio de Defensa español en Madrid, la quinta reunión del grupo de trabajo RTCT I *Electrical Fuel Cells* de la LoI. En esta ocasión, el encuentro tuvo una repercusión especial ya que contó con la participación de representantes industriales. El objetivo era conocer su actividad en las tecnologías de hidrógeno y pilas de combustible, e intentar avanzar en la búsqueda de intereses comunes a los seis países integrantes de la LoI.

EMRESA	PAÍS	EMPRESA	PAÍS
Webasto	AL	CSIC	ES
Smart Fuel Cells	AL	SAGEM	FR
Hynergreen	ES	Finmeccanica	IT
Ruecker Lypsa	ES	DSTL	RU
NTDA Energía	ES	QuinetiQ	RU
Sener	ES	Volvo	SU
Herca	ES	Catador	SU

A la reunión asistieron representantes gubernamentales del Reino Unido, Italia, Alemania, Suecia y España. Las industrias y otras entidades representadas aparecen en la tabla anterior.

Así mismo, se contó con la presencia de la Fundación para el Desarrollo de las Nuevas Tecnologías del Hidrógeno en Aragón, como representante del proyecto europeo de Transferencia Tecnológica sobre Hidrógeno (HY-TETRA), en el que participan cinco de los países integrantes de la LoI.

Habiéndose identificado en reuniones anteriores tres posibles proyectos de colaboración, este encuentro servirá, entre otras cosas, para definir posibles paquetes de trabajo adaptados a la capacidad industrial de cada país, con el objetivo de acometer a corto-medio plazo alguno de los mencionados proyectos.

EDA Fuel Cell Workshop

El CapTech GEM02 (*Energy and Propulsion Systems*) de la Agencia Europea de Defensa (EDA), ha identificado el hidrógeno y las pilas de combustible como tecnologías prioritarias que pueden contribuir a la mejora de numerosas capacidades militares, como la propulsión naval, la generación de energía portátil o la propulsión de vehículos completamente eléctricos.

Para impulsar el desarrollo de estas tecnologías, se han estado llevando a cabo diversos contactos durante el presente año con la industria y con las administraciones de los países miembros, así como con otros organismos en el ámbito europeo. En este marco de actividad, el pasado 17 de Julio de 2006, se organizó en Bruselas un *workshop* con el fin de identificar los actores europeos en estas tecnologías, así como las sinergias entre los mismos, compartir información y oportunidades de cooperación y establecer la mejor manera de avanzar de forma conjunta.

A este encuentro asistieron representantes industriales y gubernamentales de algunos de los países involucrados, así como de la Comisión Europea (CE), la Agencia Europea del Espacio (ESA), la Aerospace and Defence-Industries Association of Europe (ASD) y del grupo de trabajo RTCT I "Electrical Fuel Cells" de la LoI.

Como propuestas a corto plazo, cabe destacar dos estudios, de seis meses de duración que se financiarán con fondos propios de la EDA:

- 06-R&T-033 *Survey on the maturity of diesel-compatible fuel cell technology for military applications.*
- 06-R&T-034 *Energy Generation & Storage for the Land Warrior (Workshop organisation).*

Así mismo, determinados países, como Suecia, Italia o Francia, lanzaron sus propias propuestas de cooperación (demostrador de pila de combustible portátil, reformado de diésel o pilas de combustible para el soldado futuro).

Las intervenciones de la ESA y la CE fueron de especial interés ya que pusieron de manifiesto la necesidad de coordinar esfuerzos, para aprovechar la experiencia y el trabajo que han venido desarrollando ambos organismos en años anteriores, y para evitar duplicidades tanto en los desarrollos como en la financiación de los mismos.

La CE duplicó el presupuesto destinado a hidrógeno y las pilas de combustible del quinto al sexto Programa Marco (FP), y creó durante este último la Plataforma Tecnológica Europea del Hidrógeno y las Pilas de Combustible (HFP *Europe*), definiendo una estrategia para el desarrollo en Europa de estas tecnologías. Para el nuevo FP se pretende poner en marcha una *Joint Technology Initiative* (JTI), estructura de gestión que permitirá una mejor organización de la I+D.

Por su parte, la ESA ha establecido su propia estrategia en tecnologías de pila de combustible hasta el año 2010, siendo uno de los objetivos de la misma asegurar la independencia de Europa en estas tecnologías.

En contactos posteriores, se ha decidido que CE, ESA y EDA aúnen esfuerzos en el desarrollo de tecnologías del hidrógeno y las pilas de combustible. Actualmente se trabaja para establecer la naturaleza de esta cooperación. El siguiente paso será elaborar una "Hoja de Ruta" que permita, a partir del 2007, empezar a trabajar de forma conjunta o coordinada.

¿QUIERE COLABORAR EN EL BOLETÍN?

Envíe sus sugerencias al **Sistema de Observación y Prospectiva Tecnológica** y contactaremos con usted. Puede proponer temas que considere de interés o sobre los que le gustaría ampliar conocimientos, colaborar preparando artículos en temas de su experiencia,...

Contacto: Antonio Torres Díaz-Malaguilla
Tlf. 913954685 atordi1@oc.mde.es

Congreso EURO-SIW

Entre los pasados días 19 y 22 de junio se celebró en Estocolmo (Suecia) el congreso EURO-SIW sobre estándares de simulación. Este congreso es una de las actividades que periódicamente organiza SISO (*Simulation Interoperability Standards Organization*), organismo dedicado a fomentar la interoperabilidad en un amplio espectro de tecnologías y técnicas de simulación. SISO promueve y coordina foros de intercambio de información, proporciona formación en el área de Modelado y Simulación (M&S) y apoya el desarrollo de los estándares a aplicar en el ámbito de M&S. En el congreso tienen lugar eventos tales como la presentación de artículos por sus autores, exposiciones de elementos comerciales y reuniones de grupos de estudio y de estandarización.

Este año, cabe destacar la alta participación española frente a ediciones pasadas. De un total de 51 artículos presentados, 5 de ellos fueron defendidos por autores españoles. De estos 5 artículos, 2 han sido desarrollados por representantes del Ministerio de Defensa más otro de autoría mixta con la industria. Su desarrollo es consecuencia de los resultados obtenidos en programas de I+D financiados por el Ministerio de Defensa.

El primero de los dos artículos, "*Proposal for a reference Federation Object Model (FOM). A Common interoperability model for tactical-level simulations and C4I systems*", versa sobre un modelo de intercambio de información que fue desarrollado como parte de la familia de simuladores para el adiestramiento de puestos de mando del Ejército de Tierra (CASIOPEA) y que en esta conferencia se propuso como modelo de referencia para la interconexión de simuladores constructivos entre sí y con sistemas de mando y control basados en el paradigma del *Multilateral Interoperability Program* (MIP), como es el caso del sistema español SIMACET. El artículo ha despertado gran interés en varios foros de trabajo, como en los grupos sobre C-BML[1] (*Coalition Battle Management Language*), para los que este modelo de intercambio puede constituir una pieza importante en el camino hacia un mayor grado de interoperabilidad.

[1] *Más información sobre C-BML aparecerá en el siguiente Boletín (Cuarto trimestre 2006).*

El segundo de los artículos, "*Spanish HLA abstraction layer: towards a higher interoperability model for national simulators*", está basado en las experiencias obtenidas en los trabajos realizados con el estándar de interoperabilidad HLA (*High Level Architecture*) durante los tres últimos años, en el Laboratorio de Simulación de la DGAM. Este estándar internacional ha sido utilizado para interconectar simuladores en distintos contratos del Ministerio de Defensa. El objetivo de los trabajos realizados en el laboratorio ha sido el solucionar los problemas detectados en el desarrollo de federaciones de simuladores. Concretamente, la existencia de diferentes versiones del estándar HLA y diferentes *middlewares* comerciales que implementan dicho estándar, introduce complicaciones importantes a la hora de crear nuevas federaciones o actualizar y reutilizar los simuladores existentes. Como resultado de los trabajos llevados a cabo en este laboratorio se han obtenido una serie de herramientas, estudios y experiencias que en gran medida solventan los problemas detectados y facilitan la construcción de simuladores interoperables. Estos elementos están siendo utilizados por los desarrolladores de *software* de simulación y ya han sido cedidos por el Ministerio de Defensa a varios contratistas, en el marco de programas de desarrollo de simuladores.

Por último, el artículo presentado de manera conjunta por representantes del Ministerio de Defensa y de la empresa NEXTEL, "*SIMDEVELOPER: A M&S development tool to boost interoperability and reusability*", trata sobre los resultados obtenidos en el programa COINCIDENTE "*Framework Simware*" que ha tenido como objetivo el establecimiento de un marco de trabajo para el desarrollo de simuladores. Mediante el conjunto de elementos desarrollados en este programa se dispone de herramientas para facilitar el desarrollo de simuladores, mejorando los tiempos de desarrollo *software* mediante la transformación de modelos creados con la tecnología SIMULINK en *software* optimizado de simulación. Para ello se ha utilizado la metodología de desarrollo denominada "arquitectura orientada a modelos".

Finalmente, destacar que esta misma empresa ha presentado dos artículos adicionales relacionados con sus actividades en simulación.

SIMPOSIO NBC 2006

Entre el 18 y el 20 de junio tuvo lugar en la ciudad finlandesa de Tampere el 5º Simposio Internacional sobre Amenazas Químicas, Biológicas, Nucleares y Radiológicas (NBQR). Se trata de un foro internacional multidisciplinar que se celebra cada tres años dirigido a distintos sectores, civiles y militares, públicos y privados, cuya actividad está relacionada con la protección frente a las amenazas NBQR.

El programa consistió en una serie de conferencias divididas en sesiones, presentación de pósters, exhibición de las distintas casas comerciales y una demostración en el exterior de actividades, equipos y vehículos NBQR.

EXHIBICIÓN EXTERIOR

En la exhibición exterior se pudieron visitar: el laboratorio móvil BQ de Finlandia (en la primera imagen), el laboratorio Q de Suecia, el SONNI (vehículo finlandés para la búsqueda y detección de fuentes radiactivas, en la segunda imagen), el vehículo finlandés de reconocimiento NBQR incluido en el proyecto SITU, así como distintas estaciones de descontaminación.

CONFERENCIAS

De las sesiones temáticas, la que más interés despertó fue la de detección, identificación y análisis de agentes NBQR. Los temas principales tratados fueron:

- Evaluación de detectores químicos.
- Detección biológica, con el desarrollo de nuevas tecnologías de detectores en tiempo real, tests inmunológicos automáticos o el empleo de la tecnología LIBS (*Laser Induced Breakdown Spectroscopy*) para la detección de agentes químicos y biológicos.
- Redes de monitorización en tiempo real con integración de sensores NBQR.
- Laboratorios móviles.

NOVEDADES PRESENTADAS

Como novedades presentadas en el congreso destacan:

Detección e Identificación Química

Se presentaron: el nuevo CHEMPRO-FX ® para una monitorización continua en tiempo real, las nuevas versiones del RAID-S denominadas RAID-AFM para uso civil y RAID-S2 para uso militar y el AP4C basado en el AP2C pero con la capacidad de detectar, además, nitrógeno y arsénico.

Detección e identificación Biológica

Para la detección de agentes biológicos en tiempo real se presentaron el equipo VEROTEC™, el Bio100, así como el AirSentinel® 1000B que estará disponible comercialmente a finales de año.

En cuanto a los tests basados en la técnica de inmunoensayo se encontraban expuestos el ENVI *Asssy System* para la detección rápida de la ricina y el lector RAMP (*Rapid Analyte Measurement Platform*) con sus kits para el ántrax, ricina, toxina botulínica y virus POX.

El muestreador de aire BioBadge™ 100 también estaba expuesto. Lo más novedoso es su reducido tamaño, similar al de un teléfono móvil.

Por otro lado, se presentó el sistema GeneXpert®. Se trata del único sistema que combina una preparación de la muestra con una PCR (Reacción en cadena de la polimerasa) y detección automática en tiempo real. Además, está diseñado para que ser utilizado por personal no especializado.

Detección radiológica

Las novedades están dirigidas a incorporar los monitores de radiación como un accesorio en equipos de detección química. Así, al Chempro100 se puede adaptar un módulo de detección de radiación gamma y rayos-X y el RAID-XP combina detección química y radiológica en un mismo monitor.

- Este artículo ha sido realizado por María del Mar Hidalgo, licenciada en Ciencias Químicas. Pertenece a la Unidad Nuclear del Departamento NBQ de la Marañosa, que es además colaboradora del Observatorio NBQ-

ELROB 2006 "First European Land Robot Trial"

Entre los días 16 y 18 de mayo de 2006 se celebró, en las instalaciones de la Escuela de Infantería de las Fuerzas Armadas alemanas (Hammelburg, Alemania), el evento ELROB 2006 *1st European Land Robot Trial*. El objetivo perseguido era la evaluación de las capacidades de la industria europea en cuanto a Vehículos Terrestres No Tripulados (UGV) y su empleo real en el apoyo a la infantería, para poder ser introducidos en los procesos de modernización de las Fuerzas Armadas y en el desarrollo de los programas de "soldados del futuro" de las diferentes naciones.

El Ministerio de Defensa norteamericano (DoD), a través de la agencia DARPA (*Defence Advanced Research Projects Agency*), ha organizado durante los últimos años el "*Grand Challenge*", en el desierto de Mojave, una carrera de vehículos terrestres no tripulados con participación restringida tan sólo a equipos norteamericanos. La imposibilidad de participar en dicha prueba, única en su especialidad, propició que el Ministerio de Defensa alemán generase una iniciativa para disponer en Europa de un evento similar, donde se tratase de proporcionar una visión global de las capacidades existentes en tecnologías relacionadas con la robótica por parte de las universidades e industrias europeas de defensa, así como de crear un foro que pudiera servir como punto de encuentro y de comienzo de proyectos futuros.

Durante los tres días de duración del evento, las principales universidades, centros de investigación y compañías europeas con actividades en tecnologías relacionadas con las plataformas no tripuladas, como Qinetiq, Remotec, Rheinmetall, Diehl o Robowatch, realizaron diferentes exhibiciones donde mostraron sus capacidades.

Las pruebas a superar por los participantes, para demostrar su potencial de trabajo, se basaban en escenarios realistas, similares a los que se pudieran encontrar en condiciones reales de uso, de difícil navegación, con distintos tipos de suelo, estructuras y obstáculos que debían ser negociados y superados.

El primer escenario era el denominado IED / EOD/ UXO (Inprovised Explosive Devices / Explosive Ordenance Disposal / Unexploded Ordenance), y en él los sistemas teleoperados debían detectar municiones expuestas o parcialmente enterradas o minas de superficie o enterradas hasta un metro.

El objetivo del Escenario Urbano era el análisis de situaciones tácticas en entornos urbanizados, exteriores e interiores. Las tareas a realizar por los robots participantes durante los 500 metros aproximados de recorrido eran la exploración a través de calles, identificación de edificios a examinar, inspección de los exteriores e interiores de las edificaciones y análisis minucioso de una habitación en condiciones de derrumbe y poca visibilidad, haciendo uso de cámaras térmicas y dispositivos de visión nocturna.

El último Escenario tenía como objetivo la vigilancia y reconocimiento en terreno abierto No Urbano. Las tareas a las que los participantes se enfrentaban eran el seguimiento de una ruta prediseñada, la detección de puntos de interés, la identificación y localización de posición y el retorno a la estación en el plazo de tiempo determinado. El recorrido tenía una longitud aproximada de unos 2000 metros, con distintos tipos de terrenos, desniveles y obstáculos naturales, y además los participantes se encontraban con enormes charcos, fuegos, montículos, troncos o equipamiento militar disperso a lo largo de todo el recorrido.

Entre los sistemas que mejor se comportaron en todas las pruebas y exhibiciones, merece destacar la superioridad mostrada en balance global por las plataformas *Wheelbarrow* de Remotec y *Talon* de Qinetiq, con un comportamiento muy equilibrado que resaltaba sobre el resto de participantes.

Nuevas Tecnologías para Vehículos Híbridos Terrestres

El pasado 13 de julio tuvo lugar en las instalaciones del Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA) de Torrejón de Ardoz una jornada sobre Nuevas Tecnologías para Vehículos Híbridos Terrestres, organizada por la Fundación Círculo de Tecnologías para la Defensa y la Seguridad en colaboración con el propio INTA y con las empresas Fiat, Ford, Iveco, Mercedes, Toyota y Volvo.

Debido a la dependencia del petróleo y los problemas medioambientales, tanto los vehículos híbridos clásicos[1] (gasolina/diesel+baterías) como los vehículos eléctricos o los combustibles alternativos (gas natural, hidrógeno, biocarburantes, gas licuado del petróleo...) están despertando un enorme interés en la actualidad, tanto para el sector civil como en su aplicación a defensa y seguridad. Por este motivo se organizó esta Jornada, con el fin de revisar los conceptos básicos asociados a estas tecnologías, presentar los resultados obtenidos hasta el momento y estudiar su evolución.

La Jornada consistió en una serie de conferencias a cargo de personal del INTA y de las empresas colaboradoras y una demostración de vehículos híbridos con distintas tecnologías incorporadas. Se dio una visión global muy completa del panorama actual en cuanto a vehículos y combustibles alternativos, complementada por una reflexión sobre la aplicación de todas estas tecnologías a defensa.

Actualmente los vehículos híbridos eléctricos se encuentran en pleno desarrollo. Numerosos fabricantes tienen un modelo de estas características abriéndose paso en el mercado y existen gran cantidad de proyectos de demostración en el entorno militar. Sin embargo, pese a las ventajas que presentan, el coste continúa siendo elevado, si bien las inversiones en este sector continúan aumentando con el fin de ofrecer productos cada vez más competitivos.

Una opción a corto-medio plazo pueden ser los combustibles alternativos. El más utilizado en la actualidad es el GLP (gas licuado del petróleo), mezcla de hidrocarburos, fundamentalmente propano y butano. No deja de ser un derivado del petróleo pero aporta enormes beneficios medioambientales, es de fácil distribución (aunque sólo algunas estaciones de servicio tienen GLP) y los vehículos de gasolina se pueden modificar para funcionar con GLP con prestaciones similares. En España los principales consumidores son taxis y autobuses urbanos.

Por otro lado, el gas natural es la energía de origen fósil con menor impacto ambiental. Se puede usar de manera independiente o junto con gasóleo, en una mezcla variable en función de la carga. El coste de este combustible es reducido, y se puede almacenar comprimido (GNC) o licuado (GNL). Su almacenamiento y transporte son problemáticos, ya que se necesitan depósitos especiales de alta presión para el GNC, depósitos muy voluminosos para GNL, y el coste de adaptación y/o adquisición es elevado. Por ello sería necesario hacer diseños específicos que pudieran reducir los costes de fabricación. Actualmente, el gas natural se utiliza en gran parte para la propulsión de vehículos pesados.

Los biocarburantes (biodiésel y bioetanol) son combustibles renovables producidos a partir de biomasa. Se pueden emplear como combustibles únicos o mezclados con gasóleo (biodiésel) o gasolina (bioetanol). Son combustibles líquidos (de fácil transporte) y se pueden usar en motores de combustión interna sin modificar o con pequeñas adaptaciones según las características de las mezclas utilizadas. En España se producen pero el suministro no está suficientemente extendido, por lo que el abastecimiento podría ser un problema.

Más a largo plazo, el hidrógeno se está convirtiendo en una sólida alternativa de futuro. Se puede utilizar en motores de combustión interna específicos o bien en pilas de combustible. Uno de los principales problemas que presenta a nivel tecnológico es el almacenamiento y transporte del mismo, por otro lado su uso masivo eliminaría la dependencia del petróleo, favorecería el uso de energías renovables para su producción y sería muy beneficioso para el medioambiente. Pero las tecnologías relacionadas aún están en proceso de desarrollo y demostración y se necesitan grandes inversiones en I+D para que pase de ser una opción prometedora a ser una realidad.

De cara a la implantación de todas estas tecnologías en defensa hay que tener en cuenta la logística que implica cada una de las opciones, la pertenencia a la OTAN y la necesidad de uniformidad de cara al suministro de nuestros vehículos. En este entorno se trabajará de manera conjunta para abordar la sustitución del petróleo, pero es necesario continuar con el esfuerzo en I+D para, cuando llegue el momento, estar preparados y tener una industria competitiva que pueda aportar soluciones.

[1] *Mas información en el artículo "Vehículos de Propulsión Híbrida" del Boletín nº 11 pág. 12 segundo trimestre 2006–*

NANOBIOTECNOLOGÍA APLICADA A DEFENSA NBQ.

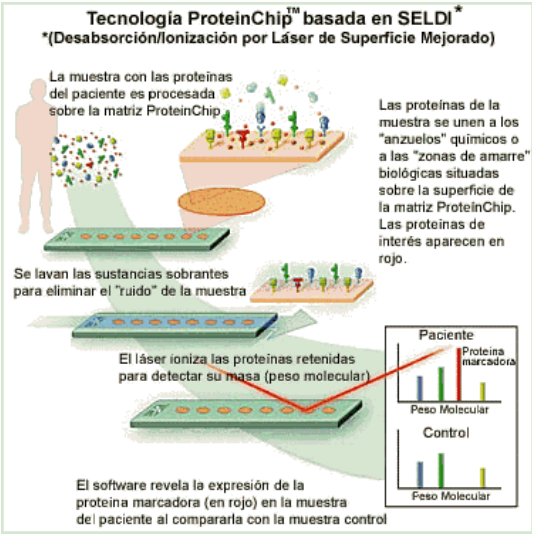
La nanobiotecnología es la rama de la tecnología resultante de la fusión de la nanotecnología y de la biotecnología, que consiste en la aplicación de nuevos materiales y herramientas nanométricos para mejorar el funcionamiento de los sistemas biológicos. Por tanto, se trata de un área *multidisciplinar*, donde Ciencias como la Química, Biología, Medicina, Física, Mecánica, Ciencia de los Materiales, Ingeniería o Computación convergen para proporcionar prometedores avances en diferentes áreas de aplicación (Medicina, Fármacología, Seguridad y Defensa, Medio ambiente, etc.).

Desde el punto de vista de Defensa, las investigaciones en nanobiotecnología han permitido grandes avances en aspectos como la miniaturización de los sistemas de detección y la aparición de nuevos materiales, lo que ha posibilitado la mejora de las capacidades de protección y supervivencia del soldado, a través de:

- Métodos diagnósticos y terapéuticos más eficaces.
- Sistemas de monitorización que permitan la determinación de las condiciones físicas del combatiente, así como su identificación (muy útil para la localización de heridos en el campo de batalla).
- Nanosensores para detección de contaminación de superficies o nanomateriales a incorporar en los trajes de protección individual, para aumentar la capacidad de protección, de neutralización y de descontaminación frente a agentes biológicos, químicos, etc.

Aplicaciones en Diagnóstico: la automatización en genómica y proteómica ha hecho posible la aparición de tests genéticos que, a través de la nanotecnología, permiten examinar y analizar de forma simultánea genomas enteros en un único chip, aumentando la velocidad y la fiabilidad de los resultados. Entre estas herramientas se encuentran los chips de DNA y de proteínas (ya disponibles en el mercado, ampliamente usados en investigación y con un gran potencial para su uso clínico en un futuro cercano) y los revolucionarios lab-on-chips.

- *Chips de DNA*. Son dispositivos de pequeño tamaño que contienen material biológico y que se emplean el análisis rápido, eficiente y simultáneo de un gran número de genes para la identificación de bacterias, virus y otros.
- *Chips de proteínas*. Al igual que los chips anteriores se trata de dispositivos de pequeño tamaño que permiten la detección y caracterización de proteínas y péptidos específicos. Desde el punto de vista militar, los soldados pueden llevar estos chips para detectar agentes biológicos y químicos y mejorar el proceso de recogida de datos en el campo de batalla. Los tests que actualmente se están desarrollando usan chips de proteínas para detectar biomarcadores de enfermedades y evaluar el nivel de toxicidad de los fármacos basados en proteínas.



CF.: Ciphergen Biosystems Ltd

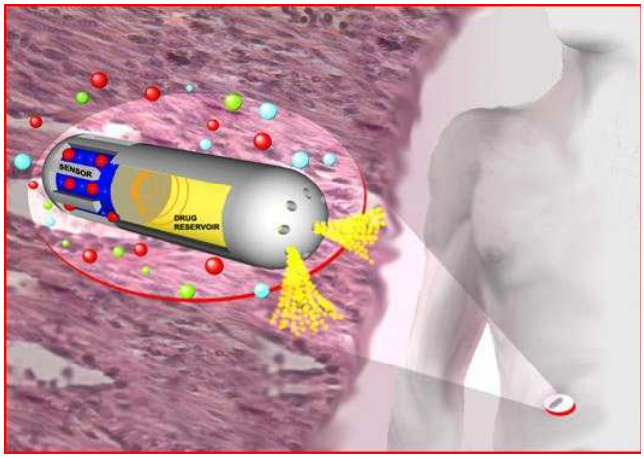
- *Lab-on-chip.* Son sistemas que desarrollan funciones de laboratorio y proporciona información diagnóstica fiable en tiempo real. Estos dispositivos tienen un gran potencial para la monitorización de soldados, pudiendo llevar a cabo un análisis a bajo coste y en tiempo real del estado de su salud ante posibles exposiciones a sustancias peligrosas, y adoptar las medidas de protección necesarias en situaciones de alarma (colocación de la máscara de protección o liberación a tiempo de los fármacos correspondientes en el organismo).

Futuros avances podrían permitir el desarrollo de chips compuestos de un sensor, un lab-on-a-chip y un sistema de liberación preprogramable de fármacos, que implantado en el soldado le permitirá defenderse contra agentes tóxicos químicos y biológicos. Actualmente, ya existen chips subcutáneos para medir de forma continua parámetros cruciales como el pulso, la temperatura y la glucosa, microsensores ópticos que se implantan en los tejidos subdérmicos para medir la circulación en los tejidos después de una operación, etc.

Por otro lado, la aparición de nuevas nanoestructuras como los Puntos Quánticos (QDs), ofrece enormes posibilidades en aplicaciones médicas gracias a sus propiedades físicas. Los nanocristales semiconductores pueden fabricarse con estructura de QDs, de forma que sean fluorescentes, emitiendo luz a longitudes de onda específicas, de modo que asociados a un anticuerpo o a otra molécula capaz de unirse a una sustancia de interés, los puntos cuánticos emiten luz cuando se realiza la unión, lo que les hace

enormemente útiles en diagnóstico para la obtención de imágenes del interior de las células vivas.

Aplicaciones en Terapia Clínica y Genética: en *Terapia Clínica*, la nanobiotecnología ha permitido el desarrollo de nuevas estrategias de inmunización mediante el desarrollo de vacunas no inyectables, nanopartículas administrables por las mucosas oral o nasal, que por sus características especiales hacen posible el franqueo a través de las barreras biológicas y la degradación prematura del antígeno, facilitando su acceso al sistema inmune, o vacunas mono-dosis, micropartículas inyectables que permiten la liberación del antígeno asociado durante períodos de tiempo prolongados.



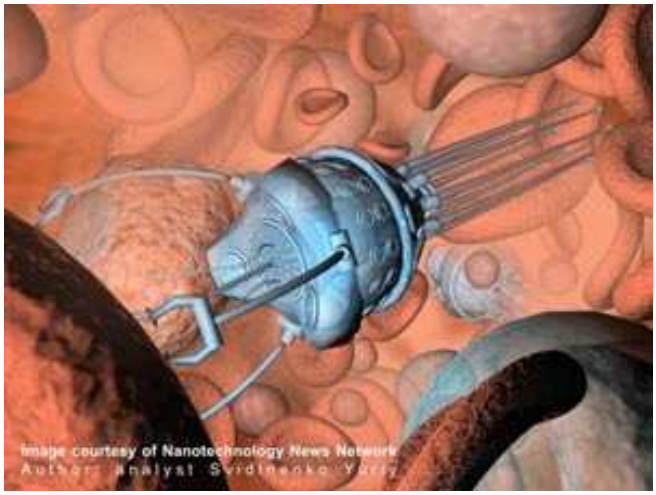
CF.:http://www.chem.uky.edu/research/daunert/group/drugdelivery.htm

Por otro lado, también se están desarrollando nanosistemas (nanotubos de carbono, dendrímeros, etc.) que actúan como transportadores de fármacos a través del organismo, aportando estabilidad frente a la degradación celular y facilitando su difusión a través de las membranas celulares y el acceso a la célula diana. Estos mismos nanosistemas se pueden utilizar en Terapia Genética como vectores para la introducción de genes en células, reemplazando genes defectuosos o ausentes.

Otras aplicaciones: como ya hemos mencionado anteriormente, los nanobiomateriales, especialmente sensibles a agentes químicos y biológicos, también tienen aplicación en:

- *Equipos de protección individual*, aumentando o mejorando la selectividad al paso de sustancias, permitiendo una detección altamente sensible que confiere conciencia de la amenaza, e incorporando la capacidad de neutralización y descontaminación de agentes NBQ mediante el empleo de nanocomposites, híbridos nanocomposites-polímeros, enzimas inmovilizadas en materiales nanoporosos, etc.
- *Filtros NBQ* con protección mejorada, que con la incorporación de nanosensores advierten de la presencia de sustancias nocivas.
- *Cremas y spray* para la piel, que confieren protección contra agentes de guerra químicos.

Recientemente, se ha desarrollado un informe en el marco del WP5 Prospectiva Tecnológica y Estrategia de la Red de Excelencia de la Unión Europea *Nato-to-Life* (N2L) en el que han participado expertos de todo el mundo de diferentes áreas de aplicación, entre los que se encontraban 5 expertos españoles. El objetivo principal de este informe es proporcionar una perspectiva útil sobre los desarrollos futuros en nanobiotecnología. Del informe se puede concluir, que de las 20 líneas de desarrollo futuro identificadas por los expertos, las de mayor prioridad y sin previsibles trabas comerciales se encuentran en el desarrollo de lab-on-a-chip, biosensores para la detección de moléculas simples basadas en nanoarrays y biodetección con nanosuperficies inteligentes. Éstas junto con el empleo de nanodispositivos para el análisis del interior de las células podrían estar disponibles antes del 2010. Sin embargo, los nanorobots con capacidad de reparar tejidos a nivel molecular (actuando sobre el material genético, modificando proteínas e incluso destruyendo células completas en tumores) es una línea que, si bien plantea posibles dudas, avanza a un ritmo tal que estas tecnologías podrían estar disponibles a partir del 2025.

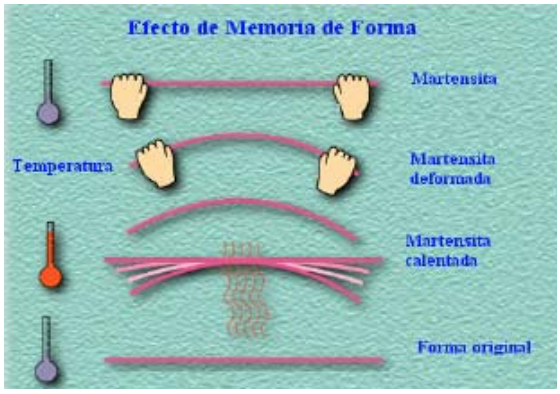


Para finalizar hay que recalcar que, si bien el empleo de la nanobiotecnología brinda enormes beneficios, también ofrece considerables riesgos cuando esas mismas tecnologías permiten la aparición de nuevas amenazas. Un ejemplo claro está en el empleo de los nanodispositivos utilizados en la administración de fármacos para introducir agentes químicos o biológicos enmascarados o el potencial uso de estas técnicas en la manipulación genética o la producción de organismos genéticamente modificados (OGMs) altamente infecciosos. Por tanto, en los futuros desarrollos, a los problemas técnicos se le suman los aspectos éticos y la necesidad de la aceptación pública.

MATERIALES INTELIGENTES I:
Materiales con Memoria de Forma

Los materiales inteligentes, en general, pueden ser definidos como aquellos capaces de responder de una manera determinada ante un estímulo externo, modificando sus propiedades o incluso su forma. Así, estos materiales actúan simultáneamente como sensores y actuadores, y ante ciertas deformaciones mecánicas o variaciones de temperatura o de campo electromagnético, es posible conseguir acciones mecánicas inducidas en una estructura o cambios en la resistencia de un conductor.

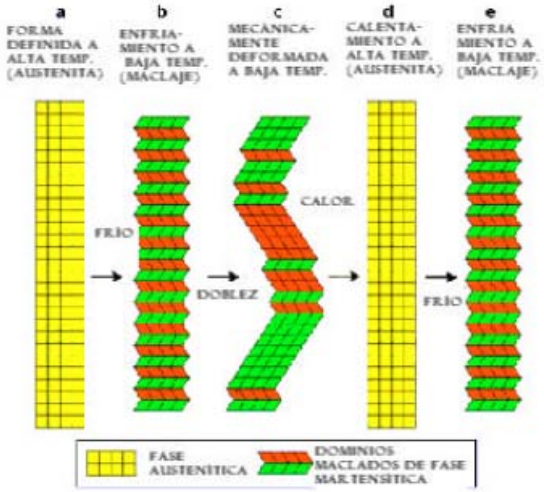
Para clasificarlos, se puede hacer referencia tanto a su naturaleza como a las propiedades fisico-químicas que los caracterizan. Así, podemos hablar de "materiales con memoria de forma", que incluirían tanto las aleaciones como los polímeros y cerámicos que presenten esta propiedad o de "materiales electroactivos o magnetoactivos", que incluirían desde los sólidos piezoeléctricos o magnetoestrictivos, hasta los fluidos magnetoreológicos. Por último, habría que incluir a aquellos materiales que presentan actividad como respuesta a la radiación visible (fotocrómicos, electroluminiscentes...). Cada uno de estos tipos de materiales, presenta unas propiedades que les hacen idóneos para aplicaciones muy concretas, por lo que es necesario un adecuado conocimiento de su funcionamiento para aprovechar todos los beneficios que pueden aportar.



CF.: Dr. Jorge García Rocha.
www.ai.org.mx/presentaciones .

De manera general, los materiales con memoria de forma se pueden definir como aquellos que presentan un cambio controlado en su forma como consecuencia de un estimulo externo, como puede ser la temperatura.

El fenómeno de la memoria de forma se observó por vez primera en 1951 en una aleación de Au-Cd, aunque el avance más importante tuvo lugar en 1961, con el desarrollo en el Naval Ordnance Laboratory (Maryland) del Nitinol, una aleación de níquel y titanio. Hoy día el fenómeno de la memoria de forma incluye no sólo a las aleaciones metálicas, sino también a los polímeros y materiales cerámicos.



CF.: Dr. Jorge García Rocha.
www.ai.org.mx/presentaciones .

Las aleaciones con memoria de forma (SMA, *Shape Memory Alloys*) son aleaciones metálicas, generalmente de base níquel-titanio o de base cobre, que presentan un comportamiento único, en el que tras una deformación plástica, pueden volver a recuperar su forma original al ser calentadas. Este extraño fenómeno tiene su origen en los procesos de reordenamientos atómicos que tienen lugar en estos materiales durante los ciclos de calentamiento – enfriamiento. Por ello, es necesario conocer la estructura cristalina de las SMA y los sucesos que en ella ocurren.

A temperatura ambiente, la estructura cristalográfica de este tipo de aleaciones es una fase metaestable martensítica. Cuando se somete el material a una deformación plástica, la estructura cristalina cambia su disposición, creándose importantes tensiones internas. Cuando el material se calienta por encima de una determinada temperatura, su estructura se reordena a una fase austenítica, estable y sujeta a una menor tensión, recuperando la forma inicial. Existe también el fenómeno de "memoria de forma doble", en que el material puede cambiar de forma espontáneamente, sólo con ser calentado o enfriado, sin necesidad de que exista una fuerza externa aplicada. Para que ocurra este espectacular fenómeno, es necesario un tratamiento termomecánico especial, que se denomina "adiestramiento del material", para que el material recuerde lo que "aprendió" a cada temperatura. Existen también "materiales magnéticos con memoria de forma" (MSMA) en que el estímulo externo ante el que responden es un campo magnético.

Estos mismos materiales, como consecuencia de su peculiar comportamiento cristalográfico, pueden ser deformados hasta un 10 % en ciertos intervalos de temperatura, lo que se denomina superelasticidad. Este efecto, sin embargo, es independiente de la temperatura, y es ocasionado por procesos de transformación cristalina inducidas por tensión. Esta propiedad permite que puedan almacenar, y

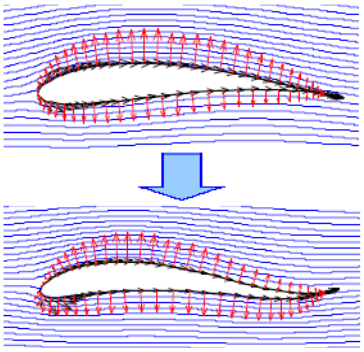
posteriormente liberar, gran cantidad de energía, por lo que sus aplicaciones son incontables.

Si bien las aplicaciones de los SMA se encuentran en la actualidad más focalizadas en su comportamiento superelástico, útil para almacenar energía, muchos modernos actuadores están basados en la memoria de forma doble, generando movimiento o fuerza. Se utilizan con asiduidad en criogenia, para sistemas de acoplamiento o fijación de tuberías, que desarrollan una enorme fuerza de unión debido a sus cambios de volumen. Asimismo, entre las aplicaciones más destacables de estos materiales se encuentra su uso en fusibles eléctricos, detectores y accionadores de dispositivos de control térmico, debido a su gran versatilidad en cuanto al tamaño y la simplicidad en cuanto a su diseño. Una de las aplicaciones relacionadas de mayor desarrollo es el empleo de cables de SMA para actuadores eléctricos en brazos robotizados.

Gracias a su comportamiento superelástico, se emplean con gran asiduidad en forma de hilos en medicina y cirugía, en alambres de sujeción, guías de catéteres, stents coronarios autoexpandibles, grapas, placas... También se hace uso de esta propiedad en el diseño de antenas flexibles para teléfonos móviles, o incluso se emplearon aleaciones de NiTi en el sistema de despliegue de los paneles solares del telescopio espacial Hubble.

Aunque generalmente estas aleaciones suelen ser procesadas en forma de hilos para la mayor parte de sus aplicaciones, el amplio desarrollo de las tecnologías relacionadas con los materiales compuestos, hace posible que se puedan ofrecer nuevos materiales basados en los desarrollos previos en SMA.

Dichos hilos metálicos pueden ser embebidos en el interior de matrices, que pueden ser adecuadamente moldeadas, de modo que se diseñen piezas que puedan presentar determinadas propiedades que les proporcionen un gran valor añadido. En concreto, se trata de conseguir sistemas integrados de sensores, actuadores, módulos de control y estructura, en lo que se denomina "estructura inteligente". Podemos incluir aquí algunos ejemplos de sistemas de control de ruidos o de vibraciones, o incluso de estabilidad aeroelástica y control de forma de ala en aviones. Se pretenden conseguir sistemas adaptativos, en que la propia estructura modifique su forma ante determinados estímulos, disminuyendo en la medida de lo posible el número de partes móviles o mecanismos de un sistema. De este modo, se pueden conseguir configuraciones alares con geometrías variables, que pueden ser modificadas en función de la velocidad de vuelo y de la maniobrabilidad deseada.



CF.: Center for intelligent material system and estructures. Virginia Tech.

ENLACES DE INTERÉS

HOMSEC2007 Salón Internacional "Homeland Security"

Página Web del evento, que en esta ocasión tendrá lugar en Madrid. Es una cita mundial de referencia para el mercado del equipamiento policial y de protección, además de un excelente escaparate para la industria española del sector.

www.homsec.es

CifrasINE. Boletín Informativo del Instituto Nacional de Estadística

Boletín de noticias estadísticas creado por el Instituto Nacional de Estadística. Su contenido es casi monográfico, aunque se dedican secciones fijas a recoger las publicaciones o los indicadores económicos y sociales más recientes.

http://www.ine.es/prodyser/pubfolletos.htm

Atlas of Science

Principal proyecto del grupo de investigación SCIMAGO, especializados en el análisis de la información y su visualización. El objetivo del proyecto es la creación de un sistema de información que logre representar gráficamente la investigación científica en España.

http://www.atlasofscience.net/

PROYECTO THALES JP 1.18: Target and Target-Background Modelling and Validation for High-Resolution Radar

1. Introducción

Los sistemas de identificación de blancos radar pueden dividirse en cooperativos, es decir, los que requieren la cooperación del blanco (radar secundario militar ó IFF: *Identification Friend or Foe*) y los no cooperativos (*NCTR: Non Cooperative Target Recognition*), basados en el eco del radar primario. Para los sistemas de armas actuales de los tres ejércitos, dado los escenarios donde se mueven con gran densidad de blancos, tener capacidad NCTR es un hito largamente ansiado. Sus ventajas son grandes, entre las que podemos destacar una mayor letalidad y, sobretodo, evitar las pérdidas por fuego amigo. Algunos de estos sistemas, como los basados en la firma doppler, son sistemas bastante estudiados pero que solamente permiten la clasificación entre grupos de blancos y aquellos que posean partes móviles. Dadas las limitaciones de este tipo de sistemas, la tendencia ha sido ir explotando la mejora en la resolución de los radares que se ha dado durante estos últimos años. Recordemos que la alta resolución permite separar las diferentes contribuciones a la RCS (*Radar Cross Section*) total de un blanco. Actualmente se pueden obtener imágenes de alta resolución de un blanco en una (perfiles de distancia) y dos dimensiones (imágenes SAR: *Synthetic Aperture Radar* e *ISAR: Inverse SAR*) con radares asequibles.

La cuestión está en investigar si la clasificación de blancos móviles es posible con suficiente fiabilidad con este tipo de imágenes. El grado de detalle que proporciona un sensor electromagnético da lugar a diferentes grados de clasificación (más o menos fina) y reconocimiento. Así, es habitual hablar de diferentes niveles de discriminación: detección, clasificación, reconocimiento e identificación, nivel al cual se determina el modelo/fabricante del blanco (carro de combate M-60 ó T-72, por ejemplo). En este contexto de una identificación fiable "amigo-enemigo (desconocido)", el reconocimiento / identificación de blancos no cooperativos (*NCTI/NCTR: Non Cooperative Target Identification/Recognition*) es aún un problema por resolver y de gran importancia.

Por otra parte, los algoritmos de Reconocimiento Automático de Blancos (*ATR: Automatic Target Recognition*) pretenden que los sistemas de armas puedan identificar blancos de forma automática mientras éstos son iluminados. Los algoritmos ATR más frecuentemente utilizados se basan en la comparación de la firma radar medida del blanco desconocido con una serie de firmas radar candidatas (*templates*). Su principal dificultad es la alta fluctuación de la imagen radar pues varía tremendamente con el ángulo de visión y el entorno alrededor del blanco. Para que un clasificador funcione se necesita una base de datos o librería que contenga las imágenes esperadas de cada tipo de blanco en un escenario dado. Normalmente, se construye una base de datos con imágenes de cada posible blanco tomadas previamente desde ángulos de incidencia equidistribuidos en una esfera. Como esta base de datos es imposible de obtener a partir de medidas, salvo para casos muy concretos, se está investigando la posibilidad de hacerlo usando modelos electromagnéticos de predicción de imágenes SAR. Esta posibilidad tiene varios problemas parte de los cuales se están investigando en este proyecto. El primer aspecto a abordar en esta estrategia es el comprobar si existen programas de predicción de imágenes ISAR que produzcan imágenes suficientemente cercanas a la realidad con un coste computacional abordable y modelos CAD simplificados del blanco. La segunda, y a la que hace referencia el título del proyecto, es el comprobar como altera el entorno (ej.: la presencia de edificios, árboles,...) a la imagen radar del blanco y si el clasificador es capaz de extraer correctamente la imagen deseada.

2. Objetivos y plan de trabajo del proyecto THALES JP 1.18

En este proyecto internacional, realizado bajo el acuerdo marco THALES, han participado Alemania, Italia, Suecia, Reino Unido y España. El trabajo ha sido realizado por las siguientes organizaciones públicas de investigación e industria: FGAN (Alemania), AMS, actualmente SELEX Sistema Integrati (Italia), QINETIQ (Reino Unido), FOI (Suecia) e INDRA, la Universidad de Alcalá de Henares y la Universidad Politécnica de Madrid (España). El proyecto se ha planteado en dos fases. La primera ha incidido sobre la fiabilidad de los códigos de predicción electromagnética existentes en cada nación y la segunda en la influencia del entorno sobre la imagen ISAR. Se acordó un plan de trabajo en el que se contemplaban predicciones de imágenes ISAR de diversos tipos de blancos en espacio libre e *in situ*, en las bandas radar X y Ka, con polarizaciones horizontal, vertical y cruzada y resoluciones en las dimensiones *range y cross-range* del orden de 15 cm. Las predicciones han sido realizadas por todos los países, con sus respectivos códigos y los resultados se han comparado con medidas que, dependiendo de cada tarea, han sido realizadas por un solo país. A partir de esas comparaciones se han extraído conclusiones en cuanto a validación de códigos, modelado de la interacción blanco y su entorno, etc.

La primera parte del proyecto se ha dedicado a estudiar la fiabilidad de los códigos de predicción

electromagnética: ¿hasta que punto es eficaz? y ¿con cuantas facetas?. Actualmente, los programas de predicción de RCS se basan todos en aproximaciones de alta frecuencia: óptica geométrica (GO:*Geometrical Optics*), óptica física (PO: *Physical Optics*), teoría geométrica de la difracción (GTD: *Geometical Theory of Diffraction*), etc., aplicables a estructuras grandes en términos de longitud de onda. En algunos casos, aplicado a pequeñas extensiones del blanco, se puede usar el método de los momentos, considerado como código de referencia en las comparaciones, aunque con un alto coste computacional. El paso previo para la aplicación de estos métodos está en tener una buena descripción física del blanco: geometría, dimensiones, etc. En definitiva, un modelo CAD (*Computer Aided Design*) adecuado. La forma física del blanco se aproxima por diversas superficies (curvas o planas) que se suelen denominar facetas. El programa calcula la reflexión en cada faceta, incluyendo los ecos que pueden resultar de la reflexión en otras facetas y los fenómenos de difracción, teniendo en cuenta el tipo de material de que está compuesta y diversas aproximaciones de alta frecuencia al cómputo del campo reflejado para reducir la carga computacional. Así, tenemos varias fuentes de error que pueden influir en la precisión del resultado final: la forma de discretizar el modelo y la cantidad de detalle del mismo (número de facetas), los efectos de orden superior, es decir, el número de múltiples reflexiones que pueda tener en cuenta el progrema y de fenómenos como la difracción en aristas o el de las ondas rampantes (*creeping waves*) y, por último, las aproximaciones realizadas en el cálculo del campo reflejado en cada faceta. En este sentido, las aproximaciones a la realización de un programa de predicción, aún basado en las mismas suposiciones teóricas, pueden ser muy diferentes, y como consecuencia, sus resultados. La idea de esta primera parte es comparar los programas de predicción de cada país aplicados al mismo blanco, entre sí y con medidas reales.

Otro aspecto de esta primera fase era determinar hasta que nivel de detalle necesita describirse el blanco, esto es, número de facetas y número de reflexiones consideradas entre ellas. El objetivo era reducir al mínimo el cómputo necesario, con la fiabilidad necesaria, para poder llenar la base de datos esférica con la que se entrenarían los clasificadores.

El segundo objetivo y como aplicación operacional, se trataba de comprobar cómo afecta la variabilidad de las predicciones de los distintos programas al funcionamiento real de los clasificadores. Se pretendía entrenar al clasificador SAR con las predicciones de un programa y probarlo con las predicciones de los otros como entrada y medidas reales. Una vez realizadas las medidas comparativas entre los distintos programas de predicción y el test del clasificador en espacio libre se procedía en la segunda fase con el objetivo principal del proyecto que era el de desarrollar métodos de modelado de la interacción de blancos de alta resolución y su entorno. Como ya sabemos, la presencia del entorno modifica la firma radar en espacio libre. Por este motivo, los clasificadores preferiblemente han de estar entrenados con imágenes de blancos *in situ*, es decir, sobre un número finito de entornos concretos.

3. Los blancos en el suelo y en el mar

Los estudios del proyecto se han dividido en dos entornos bien diferenciados: el entorno marino y el terrestre. El entorno aéreo tiene menos interés desde el punto de vista de la interacción de la imagen con el entorno ya que la imagen de alta resolución puede ser captada casi siempre en condiciones de espacio libre. El entorno marino y el terrestre tienen condiciones muy diferentes desde el punto de vista de la interacción del entorno con la imagen del blanco deseado. En primer lugar está la extensión del blanco, muy superior la de los barcos que la de los vehículos de interés. En segundo lugar están las condiciones de propagación, bastante diferentes en la tierra y en el mar.

En concreto, en la interacción con el entorno en tierra predominan las múltiples reflexiones de la iluminación con objetos cercanos (árboles, edificios, el suelo), con condiciones generalmente buenas de propagación ya que el ángulo de elevación suele ser alto. En el mar, sobre todo con iluminación rasante, existe un tanto por ciento muy alto del tiempo en que existen conductos de evaporación. Además, el multitrayecto está sienpre presente, siendo prácticamente inexistente la condición de “espacio libre”. A todo esto se añade que el efecto del multitrayecto, que depende de la posición de los reflectores críticamente, se ve tremendamente afectado por pequeñas alteraciones de la posición de los barcos, lo cual es inevitable que existan y menos que se conozca su valor.

Fig. 1. Modelo CAD del carro de combate T-72

En espacio libre y para el entorno terrestre, se han realizado predicciones y medidas de diedros metálicos a 80º, 90º y 100º y de una placa dieléctrica, como blancos simples o canónicos y como blanco complejo, del carro de combate T-72

(Figuras 1 a 3), cuya licencia CAD estaba comercialmente disponible. Como blancos in situ, se han utilizado una placa metálica vertical e inclinada (± 18º) respecto del suelo y un cilindro horizontal, como blancos patrón y del carro de combate T-72. Las medidas del carro de combate T-72 las ha realizado la FGAN alemana en un campo de medidas externo. Para comparar valores absolutos de RCS, el radar se calibra justo antes de la medida con un blanco patrón (triedro). Como era de esperar que los resultados variasen de forma significativa según el tipo de suelo elegido, se han realizado predicciones y medidas con diferentes tipos: plano conductor perfecto (PEC: *Perfect Electric Conductor*) con superficie lisa y rugosa (modelada mediante una desviación típica de la altura del terreno y una longitud del filtro de correlación bidimensional para suavizar los picos). Por último, se ha modelado un suelo con características dieléctricas. En la figura 3 se puede ver una imagen ISAR de una predicción de la RCS del T-72.

Fig. 2. Carro de combate T-72 en el campo de medida de la FGAN (Alemania)

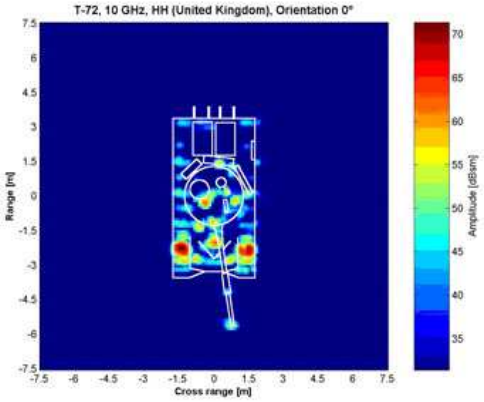


Fig.3. Imagen ISAR carro de combate T-72 obtenida a partir de predicción RCS con silueta tanque superpuesta.

Con los resultados de la comparación de predicciones y medida, se han depurado códigos y se han obtenido conclusiones del tipo del orden de la reflexión que realmente no añade información y sólo consume tiempo de computador, el estudio de los *hot spots*, la información que da la sombra del blanco, el número de facetas del modelo CAD a considerar, es decir, el grado de fidelidad del modelo con el blanco verdaderamente útil, el grado de validación entre los códigos, hasta que orden de reflexión más o menos dan resultados similares, los efectos de interacción blanco-entorno, como son el del multitrayecto, el alargamiento del blanco respecto a su imagen en espacio libre, etc.

Para el entorno marino, España e Italia realizaron sendos experimentos de medida en puerto (estado de la mar en calma). Por parte de Italia, las medidas se realizaron en las instalaciones de MariteleRadar de la Academia Naval en Livorno. Centrándonos en el caso de España, y con la colaboración de la Armada Española, se realizaron dos campañas de medidas (Julio 2004/05) en las instalaciones de la Escuela Naval Militar (ENM) de Marín y con el sistema de medida de Sección radar de blancos navales LIBRA (ver figura 4) del CEMEDEM (Centro de Medidas Electromagnéticas), operado por personal de la Universidad de Vigo. Para dar resultados con valores absolutos, el sistema se calibró con una esfera de aluminio como blanco de referencia. Se midieron unos blancos simples (triedro y octo-triedro) transportados en un pequeño bote (ver figura 5) y del patrullero de la clase "Anaga", P-28 Tabarca, de la Armada Española (ver figura 6).

Fig. 4. Sistema de medida de Sección radar de blancos navales LIBRA

Fig. 5: patrullero P-28 Tabarca de la Armada Española, de 44,4 m y 6,6 m de eslora y manga máximas

Fig. 6. disposición de blancos utilizados en campañas de medidas ENM de Marín.

Los experimentos con los blancos simples junto con las predicciones, nos ha permitido comprobar dos efectos sobre un blanco controlado: el efecto de la propagación a baja altura y las consecuencias del movimiento del blanco sobre la imagen radar o el perfil de distancia. En concreto, las medidas han permitido la validación del programa desarrollado por el consorcio español que modela la propagación a baja altura sobre la superficie marina y que incluye los efectos multitrayecto y la propagación anómala (por conductos). El programa ha servido para contrastar el modelado de tipo sinusoidal del movimiento del buque (cabezada o *pitch* y balanceo o *roll*), determinante en la interacción electromagnética entre el buque y la superficie marina.

Se realizaron diversas trayectorias rectilíneas de los blancos simples con diversos ángulos de aspecto respecto del sistema de medida LIBRA, ubicado en la ENM, a una altura sobre el nivel del mar de aproximadamente 8m. Estas medidas permitían la obtención de perfiles de alta resolución en distancia y mediante post-procesado la obtención de imágenes ISAR. Las medidas se realizaron en banda X y con polarización horizontal, vertical y cruzada (para estudiar el efecto de la depolarización en las reflexiones).

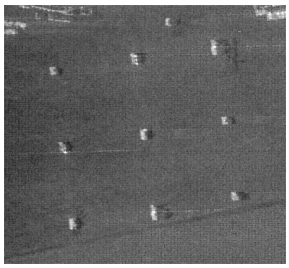


Figura 7: Imagen SAR de la formación de vehículos a clasificar

Asimismo, se utilizaron una estación de datos GPS de posición y giroscópica para los datos de navegación para poder realizar el seguimiento de los blancos y de su actitud y una estación meteorológica para la obtención de datos de viento, presión, temperatura y humedad. En cuanto al experimento con el buque colaborador Tabarca, éste realizó trayectorias rectilíneas al igual que se hizo con los blancos simples y además sendas trayectorias circulares. El objetivo era en este caso obtener perfiles de alta resolución en distancia y la RCS global del buque en función del ángulo. Así como en la primera campaña de medidas el estado de la mar fue de "mar en calma", en la segunda campaña, el estado de la mar fue de marejadilla, permitiendo una evaluación más completa del programa de propagación.

Los resultados de la medida del buque Tabarca se han comparado con las predicciones en espacio libre y sobre mar en calma realizadas a partir del modelo CAD del mismo, el cual, fue elaborado por Indra a partir de los planos cedidos por la Armada Española y fotografías tomadas durante la campaña de medidas. De esta forma, se pudo constatar la utilidad de los códigos ensayados para predecir la RCS media del buque y poder localizar e identificar sus principales puntos calientes (*hot spots*), a partir de los perfiles en distancia versus acimut o sinogramas: puente de mando, chimenea, cañones de proa/popa, etc.

4. El blanco y su entorno y los experimentos de clasificación

Como aplicación operacional, se propuso incluir las imágenes obtenidas a partir de las predicciones y medida del carro de combate T72 para "entrenar" un algoritmo de reconocimiento-identificación de blancos desarrollado por Qinetiq (Reino Unido) e intentar validar los códigos con los resultados. El experimento crucial consiste en entrenar un clasificador y probarlo contra imágenes de blancos en formación, bien reales o bien sobre impuestas al entorno y comprobar como influye la presencia del entorno en el resultado de clasificación y si es fiable el esquema de entrenar los clasificadores con modelos simulados de blancos reales. Si esto no fuese así, la verosimilitud de construir un clasificador real basado en imágenes ISAR sería poca. Esto tiene muchas aplicaciones en entorno de lucha desde el aire contra vehículos terrestres.

En mayo de 2006, la FGAN alemana realizó una campaña de medidas con un radar SAR aerotransportado. El área a medir, situada en el medio de una pradera y de 10.000 m2 aproximadamente, contenía nueve blancos militares (vehículos de transporte, carros de combate, etc.), entre los cuales se colocó un carro de combate T-72. En la figura 7 presentamos una de las imágenes SAR de la formación de los vehículos. Las medidas se realizaron en banda Ka, con polarización lineal y con la misma resolución en distancia (0,18 m) y ángulo de elevación (18º) especificados en las simulaciones. El avión que transportaba el radar realizó varias pasadas en las direcciones de medida de interés.

A partir de las medidas y de las predicciones se elaboró una matriz de imágenes SAR como entrada al clasificador SAR. El algoritmo de clasificación se basaba en la correlación de las imágenes (predicciones *in situ* y sus medidas) y la búsqueda de máximos. El resultado fue que había casos en los que la medida y la predicción correlaban bien pero en otros no. Además, se daban buenas correlaciones entre blancos distintos. En definitiva, no se han podido validar los códigos de forma apropiada con esta aplicación y habrá que trabajar en un futuro en algoritmos de clasificación suficientemente sofisticados para abordar la complejidad de este problema.

- Este artículo ha sido elaborado por el Prof. Gonzalo de Miguel Vela (Universidad Politécnica de Madrid), Prof. M. Felipe Cátedra Pérez (Universidad de Alcalá de Henares), Eusebio Avezuela Sánchez (Div. Defensa y Fuerzas de Seguridad, Indra) y Dr Javier García Fominaya (SDG TECEN) -

PROYECTO MUNIN

Los retos de las últimas dos décadas, relativos a los incrementos de precisión y disminución de consumo de munición en los teatros de operación, en especial en lo relacionado con la artillería, han conducido la investigación hacia nuevos diseños, con exigentes requisitos operativos, empleo de herramientas de elevado coste para realizar los desarrollos y el prototipaje, y una necesidad de conocimiento profundo de las tecnologías involucradas y las disponibles en otros ámbitos distintos al armamentístico. Todos estos factores han sido premisas sobre las que se han abordado las diferentes actividades del proyecto del que a continuación se realiza una síntesis.

El objeto del proyecto MUNIN (noviembre 2001-diciembre 2006), realizado en el seno del programa de la DGAM DN8834 (Investigación en municiones, pólvoras y explosivos), es el desarrollo de un demostrador tecnológico de una submunición inteligente no guiada, con capacidad de ataque contra carros de combate y otros vehículos blindados sobre su parte superior (*top-attack*) mediante detección IR, y el disparo de un proyectil conformado tras la explosión[1] (EFP).

El proyecto, de carácter multidisciplinar[2], está constituido por el diseño, desarrollo y verificación de los requisitos técnicos establecidos a la vista de los operativos que debería cumplir una submunición de características tecnológicas semejantes. Los Centros involucrados son el Laboratorio Químico Central de Armamento (LQCA) y el Centro de Investigación y Desarrollo de la Armada (CIDA), el primero encargado de todas aquellas tareas que implican manejo de explosivos (espoleta y carga principal), y el segundo de las que trabajan sobre la inteligencia del artefacto (detección de blancos radiantes en el espectro de 3 a 5 µm y procesado de señales).

La SDG TECEN expuso en el año 2001 el interés existente en los Cuarteles Generales acerca de municiones inteligentes contracarro y vehículos blindados, por lo que se requirió que el CIDA y LQCA actualizasen y continuasen los trabajos anteriores[3], dando lugar al inicio del proyecto.

La génesis del proyecto se basó en una necesidad de I+D para integrar una o dos submuniciones de este tipo en una granada de mortero de 120 mm que mejorase la eficacia y capacidad de combate contracarro. Tras realizar un estudio de estado del arte se consideró conveniente, como aplicación de las tecnologías involucradas, la ampliación del calibre y las prestaciones del demostrador como paso previo a una integración futura en un proyectil portador de 155 mm. La fase terminal estabilizada de ambas aplicaciones es similar, estando constituida por los eventos de rastreo, detección y disparo del EFP sobre un blanco caracterizado por la firma IR de un carro de combate y un fondo tipo[4]; debido a esto, se puede considerar MUNIN como un modesto demostrador operacional de esta fase.

En MUNIN se han empleado tanto los recursos de los Centros de Investigación del Ministerio de Defensa citados (CIDA y LQCA), como del resto de elementos del entorno científico (Universidades como la UPM –ETSI Aeronáuticos y ETSI Caminos- y UCIIIM) y las empresas del sector (Instalaza y Expal). El siguiente paso es la aplicación de los conocimientos adquiridos a un producto que pueda ser de interés para los ejércitos y por extensión para las empresas.

Fig. 1: Demostrador con paracaídas.

Cabe mencionar la inexistencia de ninguna munición de este tipo en España, tanto a nivel operativo procedente de fabricantes de otros países, como a nivel experimental. El potencial de este proyecto, radica en el conocimiento de los mecanismos que posibilitan, por un lado una mayor comprensión de los fenómenos involucrados en la obtención de EFPs estables y eficaces a distancias de decenas de calibres, y por otro la implementación de sensores IR no refrigerados para la detección de carros y la inclusión de la electrónica asociada. Se incide en los mecanismos, ya que no sólo es importante el conocimiento de los fenómenos, sino el modo de llegar a adquirirlo, y para ello MUNIN ha supuesto un banco de pruebas de gran valor.

[1] *Más información sobre la gama de aplicaciones de este tipo de cabezas de guerra en el Boletín nº 3 y el encarte adjunto.*

[2] *Los estudios se han realizado sobre tres disciplinas. Dos de estas actividades son particulares de cada Centro (cabezas de guerra en el caso del LQCA, sensores IR y electrónica en el del CIDA) y la tercera se integra en el ámbito común de la simulación y operación de sistemas con munición.*

[3] *Durante los años 90 se participó en un proyecto a nivel europeo de investigación en cabezas de guerra tipo EFP, IEPG-TA 9.1.*

[4] *Se considera fondo la radiación solar, su reflexión sobre un terreno calcáreo, así como la emisividad de dicho terreno. Asimismo, se ha trabajado sobre la hipótesis de una atmósfera clara, sin contaminantes y libre de aerosoles.*

ACTIVIDAD	VALOR AÑADIDO
Caracterización hiperespectral de vehículos de combate	• Diseño de blanco patrón • Imagen IR de carros de combate • Selección de filtros • Minimización de tasa de falsa alarma • Algoritmos de detección
Desarrollo de un blanco patrón	• Caracterización de blancos • Validación de diseño de sensores • Referencias radiométricas y térmicas para la caracterización de cámaras
Desarrollo de un simulador en 6 grados de libertad	▪ Caracterización dinámica y lógica ▪ Diseño de elementos comunes a cualquier munición
Sistemas de estabilización (aletas y paracaídas)	▪ Comprensión de la aerodinámica de la SBM (submunición) ▪ Caracterización aerodinámica de SBMs
Estudio comparativo de eficacia de una SBMI para proyectiles de 155 mm	▪ Criterios para adquisición de Armamento ▪ Ejercicios tácticos de las unidades de artillería

ELEMENTOS DE CONFIGURACIÓN

El diseño se ha abordado con una concepción modular, de modo que las interfaces permitieran ser tratadas una vez finalizado cada uno de los módulos para optimizar el empleo de recursos de cada uno de los Centros. Asimismo, gracias a este concepto se ha podido trazar una prueba operativa del demostrador basándola en los resultados parciales de los ensayos efectuados sobre cada uno de los módulos. A continuación, se describen de una manera somera los bloques que componen MUNIN.

MÓDULO EFP

Está constituido por el explosivo, un confinamiento cilíndrico y el *liner* o lámina metálica con la concavidad hacia fuera, que tras la detonación se transforma como se puede apreciar en la figura en un proyectil (EFP) con velocidades cercanas a 2.000 m/s. Uno de los retos es conseguir que el proyectil no presente fracturas al conformarse dada la gran cantidad de energía que debe absorber tras el choque de la onda de detonación. Se debe elongar hasta casi el límite de su fractura para que la perforación sea máxima, por lo que se emplean materiales puros, y en lo posible de la mayor densidad (tántalo, cobre y hierro; todos ellos han sido ensayados en el proyecto). Otro de los objetivos es acelerarlo hasta velocidades hipersónicas, tanto como sea posible dentro de los límites de fractura del metal. La formación de colas y aletas en la parte posterior, se consiguen con cortes en el confinamiento, superficies planas y cambios de curvatura en el liner, o bien con conformadores de onda embebidos en el explosivo (esto último no ha sido ensayado).

Los EFPs de MUNIN son de largo alcance (unos 60m), habiendo considerado durante su diseño dos tipologías; EFP de una pieza (una única curvatura) y EFP con falda (*flare*, cola no muy definida). Se ha estudiado la posibilidad de obtener un EFP con aletas mediante la reflexión de ondas en el confinamiento (véase el prisma exterior de la envuelta en la Fig. 2). Dadas las características del vuelo hipersónico (números de Mach entre 5 y 6) y el alcance a conseguir (unos 100 m para calibres que rondan los 140 mm), la morfología más adecuada es la de aletas, debido a que se gana estabilidad aerodinámica[5] sin una pérdida significativa de la longitud del EFP, y por extensión de perforación del blanco.

Este módulo se ha detonado para su acoplamiento en el demostrador con un calibre del liner de 100 mm y un peso de unos 350 g, para conseguir perforaciones a 15 m de 45 mm de acero RHA, pero se han efectuado simulaciones y ensayos con calibres de 140 mm y unos 450 g de peso, obteniendo integridad y perforaciones superiores a los 60 mm. Se ha utilizado explosivo plástico para la carga de las cabezas persiguiendo una cierta fluidez en los ensayos. Los explosivos[6] que se han probado son XP, PG-2 y H-15, todos ellos económicos y de sencilla manipulación.

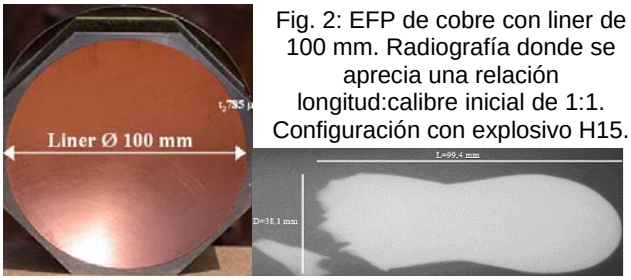


Fig. 2: EFP de cobre con liner de 100 mm. Radiografía donde se aprecia una relación longitud:calibre inicial de 1:1. Configuración con explosivo H15.

Para el diseño de este módulo se ha contado con el apoyo de herramientas que aglutinan diversos hidrocódigos (Autodyn 2D y 3D, para realizar ciclos de simulación de la conformación y perforación sobre acero RHA). En la actualidad se está llevando a cabo el cierre del primer ciclo de validación de las mismas para los EFPs de 100 mm.

MUNIN ha servido no sólo como banco de pruebas de diversa tipología de EFPs, sino como proyecto de investigación de las posibilidades que estas cabezas de guerra ofrecen, tanto en minas contracarro como en misiles para objetivos que no requieren altas perforaciones (en esta última aplicación los EFPs son de corto o medio alcance, y no requieren grandes elongaciones; no son caracterizados como cuerpos esbeltos para el vuelo).

MÓDULO DE DETECCIÓN IR

Para dotar de inteligencia a la submunición se han desarrollado detectores de PbSe policristalino. Este material ofrece evidentes ventajas. Es fotónico, por

[5] *Sin estabilidad aerodinámica el EFP podría voltear y la actitud en el impacto sobre el blanco no sería la adecuada, obteniendo menores perforaciones.*

[6] *También se han empleado explosivos colados como el octol o la composición B, pero dado que las pequeñas series necesarias para cada tanda de ensayo no justificaban su coste y lentitud, se optó por prescindir de ellos hasta la obtención de una configuración definitiva.*

lo que ofrece una respuesta lo suficientemente rápida, y tiene una elevada detectividad a temperatura ambiente, y por tanto no es necesario que sea refrigerado. Por otro lado, su banda IR de trabajo, de 3 a 5 µm, resulta óptima para la discriminación de contrastes térmicos entre blancos y fondos.

El detector de MUNIN (figura a la izquierda) dispone además de capacidad de discriminación biespectral, que ayuda a mejorar la probabilidad de detección y reduce la tasa de falsas alarmas. Se han implementado dos filtros paso alto, y sus respectivas longitudes de onda de corte han sido seleccionadas para maximizar la capacidad de detección. Los algoritmos biespectrales probados evidencian claras ventajas frente a sistemas monobanda.

La particularidad de la solución desarrollada es que no sólo se ha integrado por primera vez un filtro interferencial multicapa de altas prestaciones y un detector sobre el mismo sustrato, sino que se han logrado procesar dos filtros diferentes para el mismo detector. Este avance ha permitido reducir los inconvenientes ópticos y mecánicos de la tradicional práctica de pegado[7], y abre las puertas a nuevas aplicaciones de detección multiespectral.

El módulo de detección se completa con una lente de silicio con tratamiento antirreflejante en ambas caras, que concentra la radiación sobre la superficie fotodetectora. Se ha seleccionado un campo de visión que equilibra dos necesidades contrapuestas: un campo suficientemente ajustado al área del blanco para evitar excesivas contribuciones del fondo, y lo suficientemente grande para maximizar el área barrida por el sensor. El diseño del sensor permite realizar un zoom digital, para optimizar el área de barrido en función de la altura.

Como se puede observar en la siguiente tabla, la mayor parte de submuniciones operativas o en desarrollo poseen sensor IR como detector pasivo, pero refrigerado en los casos más conocidos.

BONUS 155 Francia-Suecia	Doble banda IR y altímetro láser
SADARM 155 EEUU	IIR (16-24 detectores refrigerado 8-14 µm)/MMW (35 GHz Activo-Pasivo) y magnetómetro
SMArt 155 Alemania	IR (3-5 µm)/MMW (94GHz Activo-Pasivo) Radio altímetro
NIMI 155 Rusia	Doble banda IR y radar MMW o altímetro
BLU-108B EEUU	Doble banda IR, perfilador láser para objetivos fríos; radar altimétrico. Portado en bombas.
Motiv-3M Rusia	MMW (banda W Activo-Pasivo)/IR (1-2 µm y 8-14 µm). Portado en cohetes.
SPBE-D Rusia	Doble banda IR (3-5/8-14 µm). Portado en cohetes y bombas de aviación

[7] *El procesado usual de detectores parte de un sustrato de silicio sobre el que se depositan, mediante procesos fotolitográficos, las sucesivas capas de los materiales que forman el detector. En los casos en los que resulta de interés disponer de discriminación espectral, se procesa por separado el filtro óptico que se desee utilizar y posteriormente se pega al detector mediante un epoxi adecuado.*

MÓDULO DE ESTABILIZACIÓN Y CAÍDA

Dentro del Proyecto MUNIN, se han estudiado dos diseños de conjunto[8], uno estabilizado por aletas, y otro por paracaídas, de calibre exterior (el primero de 140 mm y el segundo de 110 mm -esto sin tener en cuenta el calibre del sensor-). Para el diseño de MUNIN con aletas, se tomó como submunición semejante la Bonus de Giat-Bofors (que es la única del mercado en emplear estas superficies para estabilizar su movimiento).

Se hace notar, que el proyecto únicamente aborda la fase de búsqueda y rastreo de una SBM de este tipo, es decir, una vez que el movimiento se ha estabilizado.

Fig. 3: Recreación de la actuación en el campo de batalla de la submunición Bonus.

En la figura anterior se recrea el funcionamiento del BONUS en su fase terminal – también llamada de búsqueda o de movimiento estabilizado-. Nótese que el rastreo se hace a derechas, según la rotación del proyectil y de la submunición.

Fig. 4: Pruebas en túnel de viento de MUNIN con aletas.

Como una actividad más del proyecto, se ha desarrollado un simulador en seis grados de libertad (6GDL) de MUNIN, con la caracterización empírica de la versión con aletas mediante un túnel aerodinámico. El simulador en 6GDL desarrollado ha permitido obtener información acerca de la estabilidad del vuelo, ajustes de numerosos parámetros de diseño, estudio del rastreo del demostrador en función del tiempo, simulaciones de Monte Carlo de la posición y evolución del

[8] *Únicamente se ha fabricado y ensayado con todos los módulos el demostrador de 110 mm de calibre exterior.*

objetivo, obtención del paso por el objetivo e instantes de corte y análisis de las posibles perturbaciones. Adicionalmente, el simulador se ha planteado de forma modular para facilitar las sucesivas ampliaciones a lo largo de las diferentes fases del proyecto. En concreto, permitirá abordar en el futuro:

- La inclusión del modelo del sensor y del modelo IR del carro y fondo.
- Ampliación de las etapas de simulación: portador (cohete, proyectil, granada de mortero, UCAV) y frenado (desde el periodo de transición hasta la fase estabilizada).

MÓDULO DE PROCESADO Y ESPOLETA

El módulo electrónico se ha diseñado y fabricado para cumplir con los requisitos geométricos necesarios. Sus características más notables son el bajo tiempo de procesado de la señal (inferior a 3 ms) y la optimización de la relación señal/ruido. El módulo está alimentado mediante pilas de 9V, de modo que se dispone de un sistema completo, robusto y portable.

El sistema se mantiene totalmente inhibido hasta que recibe una orden de inicio, que viene dada por el alineamiento detonador-multiplicador del sistema mecánico de iniciación. Dicho alineamiento se produce al inicio de la fase final de la trayectoria de la SBM.

El funcionamiento del sistema consiste básicamente en cuatro partes claramente diferenciadas: calibración, lectura del sensor, procesado de los datos y decisión de disparo. El módulo electrónico dispone además de elementos de seguridad, tanto *hardware* como *software*. En particular, cuenta con capacidad de autodestrucción, inhibición y descarga.

La inhibición y la descarga evitan el inicio no deseado de la cadena pirotécnica, mientras que la autodestrucción se activa en caso de que el sistema no haya detectado ningún objetivo transcurrido un tiempo programado.

DESCRIPCIÓN OPERATIVA DE MUNIN

La trayectoria de una submunición de estas características consta de varias fases bien diferenciadas, esto es, dispersión desde el vector (proyectil, cohete, bomba, UCAV, misil…), deceleración y calibración de sensores, despliegue del paracaídas u otras superficies aerodinámicas, activación del procesado de la señal, búsqueda del blanco y en caso de detección activación de la carga. Debido a la multitud de posibles portadores para este tipo de submuniciones, únicamente la última fase, desde el movimiento estabilizado, es la común a todos ellos. El lanzamiento de la submunición desde un portador u otro, condiciona el método aerodinámico a emplear para que la dispersión sea la deseada, así como para estabilizar la caída hasta alcanzar el movimiento helicoidal previsto. Prescindiendo de todas las etapas anteriores, y como se observa en la figura siguiente, es importante destacar que el proyecto MUNIN abarca el estudio desde la fase de activación y búsqueda del blanco (5 a 8 en Fig. 5).

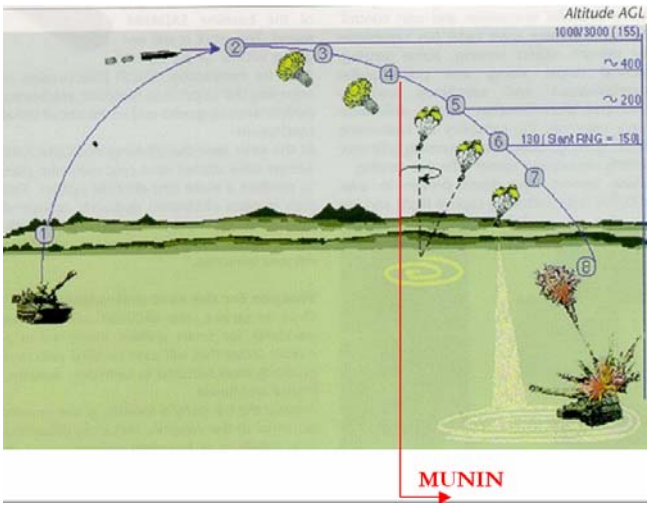


Fig. 5: Fases operativas SBMI.

Tras las fases que comprenden la suelta del portador (1.000 m de altura aprox.), despliegue del primer dispositivo aerodinámico, y desprendimiento del mismo una vez frenado el giro (esto es aplicable para cohetes y proyectiles de artillería) la submunición se encuentra aproximadamente a 200m de altura. A unos 130 m se ha estabilizado el movimiento de rotación y descenso (fase 6), ya sea mediante un nuevo paracaídas, aletas, o bien mediante ambos, generando el rastreo en forma de espiral sobre el terreno. Por medio de algún dispositivo altimétrico (tipo radar o láser), se ordena el instante de inicio de la detección por parte del sensor. Cuando la electrónica determina que se ha detectado un vehículo de las características previstas (con una determinada firma radar o infrarroja) manda una señal a la espoleta, mediante la que se activa la cadena pirotécnica detonando el explosivo, y conformando el EFP.

La cinemática de la caída de esta submunición debe ser tal, que una vez activado el sensor, cualquier objetivo ha de ser inhabilitado con cierta probabilidad si se encuentra en el interior del cono de rastreo (en MUNIN de 30º de semiángulo). El estudio de la cinemática, se encuentra situada en un primer paso del diseño, ya que las variables involucradas interactúan con los parámetros de funcionamiento de elementos que distan de ser en principio propios de la caída (el módulo de procesado con sus tiempos de muestreo, la óptica con el ángulo de visión –FOV-, el EFP y la espoleta con los retardos). Los parámetros cinemáticos puros, las velocidades de precesión y caída, se han seleccionado teniendo en cuenta las restricciones anteriores y el movimiento de escape radial del círculo rastreado de un carro de combate tipo. Las caídas lentas, como las que se consiguen con paracaídas, permiten tiempos de procesado e integración mayores (electrónica menos exigida), y las

caídas rápidas proporcionan baja vulnerabilidad ante el objetivo enemigo (contramedidas) y ofrecen una menor sensibilidad a las perturbaciones (fundamentalmente las provocadas por viento), dotando a la munición de patrones de rastreo más predecibles.

COMPARATIVA DE EFICACIA DE LOS PROYECTILES DE 155 mm

Como parte del proyecto, y con el objetivo de justificar la existencia de este tipo de submuniciones, se ha efectuado un estudio que compara la eficacia de los siguientes proyectiles de 155 mm, contra blancos blindados distribuidos en una superficie de 25 hectáreas:

- Proyectil tipo rompedor de alto explosivo (HE).
- Proyectil cargo con 2 submuniciones tipo EFP.
- Proyectil cargo con 64 cargas huecas.

Se han establecido equivalencias en términos de eficacia para determinar los consumos comparativos de los diversos tipos de proyectil, dejando como parámetros los valores de probabilidad de detección, impacto y perforación de las submuniciones. El resultado en términos de coste-eficacia y consumo-eficacia es claramente favorable a los proyectiles portadores de submuniciones inteligentes con EFPs.

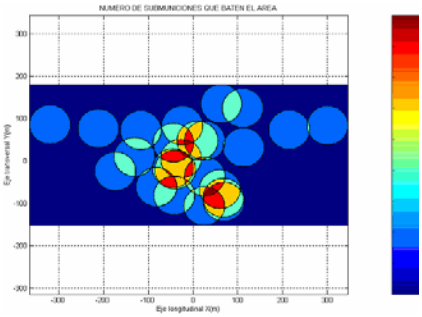


Fig. 6: Simulaciones de Monte Carlo con proyectil portador de submuniciones inteligentes.

La eficacia del sistema completo (proyectil cargo+ submunición) dependerá tanto de la eficacia de cada submunición individualmente, como de la dispersión de los proyectiles, el apuntamiento del lanzador, y el diseño del modelo de suelta y la dispersión de las submuniciones. En la figura anterior se muestra una simulación en la que se bate una determinada área teniendo en cuenta la dispersión de los proyectiles, y un modelo de suelta de las submuniciones.

A partir del simulador desarrollado, se podrían acometer en el futuro los siguientes estudios:

- Comparación de estos 3 tipos de proyectiles empleando otros criterios.
- Ajuste de las probabilidades de baja de los vehículos a valores más reales por medio de la experimentación y de la simulación.
- Estudio de eficacia contra vehículos blindados y de otro tipo (camiones lanzacohetes, piezas de artillería...), empleando proyectiles de otros calibres (105 mm y 203 mm).
- Análisis y selección de los sistemas de eyección de las submuniciones para lograr un patrón de dispersión óptimo para batir los objetivos.
- Extensión del estudio a artillería cohete (comparación entre cohetes con distintas configuraciones y con proyectiles de diverso calibre).
- Estudios de eficacia para determinados tipos de despliegue de los carros de combate (P.D. columna acorazada, en escalón y otros).
- Inclusión en los cálculos de eficacia de la movilidad de los carros de combate.
- Revisión integral de costes: proyectiles (disparo completo), logística, vida del sistema, etc.

- Este artículo ha sido realizado por Enrique Martín Romero, ingeniero del Laboratorio Químico Central de Armamento (LQCA) y colaborador del Observatorio Tecnológico AMBP; y por Jorge Diezhandino, licenciado en CC. Físicas del Centro de Investigación y Desarrollo de la Armada (CIDA)-

AGENDA

NIDS IV. Norwegian Internacional Defence Seminal
10 y 11 de octubre, 2006. Oslo, Noruega
http://nids.ffi.no

2nd NBC Internacional Conference & Exhibition
Del 3 al 5 de octubre, 2006. Rieti, Italia
http://www.cbrnevents.co.uk/do/eccco.py/view?listid=36&listcatid=163&template=intoduction

2007 Nanoelectronic Devices for Defence & Security (NANI-DDS) Conference
Del 18 al 21 de junio, 2007. Arlington, Virginia, EE.UU.
http://www.nano-dds.com/conf_scope.shtml

RTO NATO MEETINGS:

RTO-SET-107/RSY20/MSE "Battelfield acoustics sensing for ISR applications"
9 y 10 de octubre, 2006. Ámsterdam, Holanda.

RTO-MSG-045 Symposium on "Transforming Training and Experimentation through Modelling and Simulation"
Octubre 2006, Italia.

RTO-IST-062 Symposium on "Dynamic Communications Management"
Octubre 2006, Hungría.

http://www.rta.nato.int

Boletín de Observación Tecnológica en Defensa en Internet
Disponible en http://www.mde.es/dgam/observatec.htm