

Boletín

DE OBSERVACIÓN TECNOLÓGICA EN DEFENSA



SUBDIRECCIÓN GENERAL DE TECNOLOGÍA Y CENTROS
Boletín de Observación Tecnológica en Defensa nº 28 • 3º Trimestre de 2010

La Estrategia de Tecnología e Innovación en Defensa (ETID)

- **Detección e identificación de material radiológico y nuclear**
- **Detección de explosivos con DMA**
- **Redes tácticas: el reto SOA en niveles tácticos**
- **Sistemas de protección contra BLEVE**
- **Análisis por elementos finitos del tubo cañón**



Edita:



NIPO: 076-10-132-5 (papel)
NIPO: 076-10-133-0 (en línea)
Depósito legal: M-8179-2009

Autor: Sistema de Observación y Prospectiva Tecnológica (SOPT), Subdirección General de Tecnología y Centros (SDG TECEN) 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:** T.Col. Vicente Infante Oliveras, Cap. Aurelio Hinarejos Rojo, Oscar Jiménez Mateo. **Equipo de Redacción:** Nodo Gestor: Guillermo González Muñoz de Morales, David García Dolla, Sarah Marr; Observatorio de Armas, Municiones, Balística y Protección (OT AMBP): T.Col. CIP Nicolás Braojos López, Jorge Lega de Benito; Observatorio de Electrónica (OT ELEC): C.N. Ing. Arturo Montero García, 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, Jesús López Pino; 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, Juan Manuel Acero Gómez; 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 clasificada hiperespectralmente, artículo "Desarrollo de sistemas hiperespectrales".

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, suscripciones y más información:
observatecno@oc.mde.es

<http://www.mde.es/areasTematicas/investigacionDesarrollo/sistemas/>



CONTENIDOS

3 Editorial

Actualidad

4 Estrategia de Tecnología e Innovación para la Defensa

6 Enlaces

7 EFC: cooperación europea en I+T de Defensa

8 RTO-SAS-083: Power and Energy in Operations

9 Proyecto CALRADAR: calibración de radares de medida

10 XI Congreso Nacional de Materiales

10 Curso GRULAC

Tecnologías Emergentes

11 Redes tácticas: el reto de SOA en niveles tácticos

13 Desarrollo de sistemas hiperespectrales

16 Sistemas preventivos contra explosiones BLEVE

18 Análisis por elementos finitos del tubo cañón

En profundidad

20 Detección de explosivos con DMA

24 Detección e identificación de material nuclear y radiológico

27 Agenda

Una estrategia de I+T para defensa y para el conjunto de la sociedad

El acelerado ritmo de avance científico y desarrollo tecnológico que caracteriza al mundo actual suponen una gran oportunidad y a la vez un importante desafío para nuestras Fuerzas Armadas. Ahora más que nunca, resulta esencial disponer de mecanismos adecuados que permitan incorporar a tiempo las tecnologías más avanzadas y las soluciones más innovadoras a los sistemas de defensa, de manera que nuestras FAS puedan disponer de las mejores capacidades para el desarrollo de sus misiones.

Para superar este reto es esencial poder contar con las aportaciones de todos los actores involucrados en la I+T y la innovación, tanto los agentes proveedores de tecnología (universidades, centros de investigación, empresas, etc.), como los usuarios finales de dicha tecnología: nuestras Fuerzas Armadas. Estas aportaciones deben coordinarse de manera eficiente para obtener el máximo rendimiento de los recursos dedicados a la investigación y al desarrollo de nuevas tecnologías.

Consciente de estos desafíos, la Dirección General de Armamento y Material (DGAM) del Ministerio de Defensa emprendió en los últimos meses la tarea de elaborar la primera estrategia nacional de I+T e innovación en el ámbito de defensa. Los trabajos, que

han sido coordinados desde la Subdirección de Tecnología y Centros (SDG TECEN), han culminado recientemente con su promulgación por parte del Secretario de Estado y la publicación del documento "Estrategia de Tecnología e Innovación para la Defensa 2010" (ETID).

La ETID ha sido diseñada con la intención de avanzar hacia una gestión de la I+T de defensa más eficiente, potenciando su integración en el marco general de la innovación nacional. La elaboración de la ETID ha contado con las aportaciones de diferentes organismos del Ministerio de Defensa, así como las de expertos de empresas, universidades, centros tecnológicos y otros organismos nacionales vinculados a la investigación tecnológica. El alcance de los trabajos realizados y el nivel de excelencia de los resultados obtenidos demuestran la madurez y la eficacia de la organización del Ministerio dedicada a la gestión de la tecnología y la innovación.

En el marco del Sistema Español de Ciencia y Tecnología, las actividades de la ETID contribuirán a impulsar y a desarrollar los sectores nacionales de alta tecnología, promoviendo un tejido industrial y tecnológico competitivo que estimulará el crecimiento económico y el bienestar del conjunto de la sociedad.

Actualidad

Estrategia de Tecnología e Innovación para la Defensa

Germán Vergara Ogando, SDG TECEN

Recientemente el Secretario de Estado de Defensa ha aprobado la Estrategia de Tecnología e Innovación para la Defensa (ETID), desarrollada por la Dirección General de Armamento y Material. Su documento público se puede encontrar en el siguiente enlace: <http://www.mde.es/areasTematicas/investigacionDesarrollo/planNacional/>

La ETID se centra en una parte de las actividades de I+D que se llevan a cabo en Defensa: las actividades de investigación tecnológica (I+T) e innovación. Trata, por tanto, de avanzar en la coordinación y gestión de aquellas actividades encaminadas a adquirir y aplicar conocimientos y tecnologías innovadoras, pero no suficientemente maduras. Además, la ETID establece las bases para que, en un futuro próximo, se puedan trasladar estas

tecnologías a los sistemas de armas y equipos demandados por las Fuerzas Armadas (FAS).

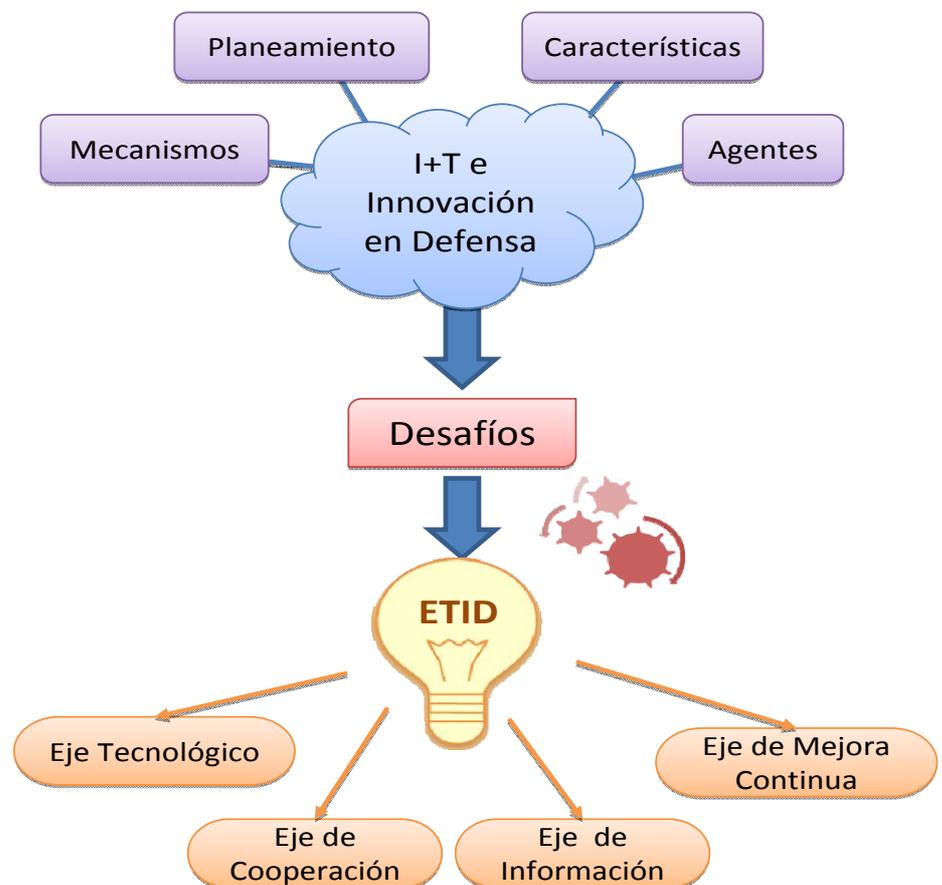
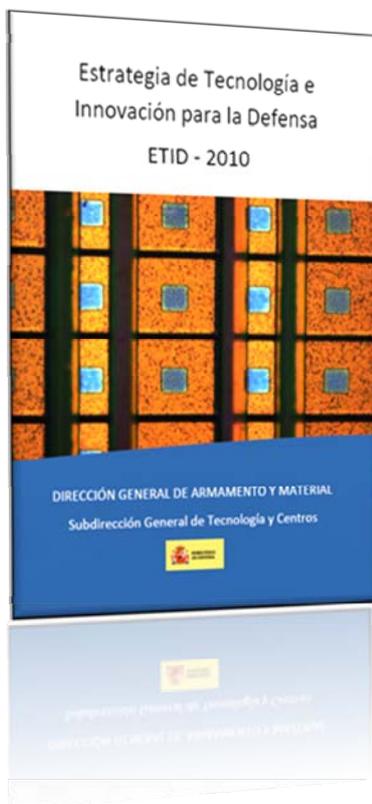
Formalmente, la ETID no forma parte del Planeamiento de la Defensa, pero se deriva directamente del mismo y apoya su desarrollo a través de la capacitación tecnológica de la base tecnológica e industrial de defensa. El eje central de esta Estrategia reside en el análisis tecnológico detallado y exhaustivo. La metodología empleada en dicho análisis y su presentación en tres niveles de detalle (Áreas de Actuación Funcional, Líneas de Actuación Funcional y Metas Tecnológicas) han sido minuciosamente estudiadas con objeto de recorrer el difícil tránsito entre el ámbito operativo y el tecnológico de forma coherente y sistemática.

La ETID, que tiene cuatro ejes de actuación, el Tecnológico, el de Cooperación, el de Información y el de Mejora Continua, se mueve en torno a tres ideas básicas:

1. Establece un conjunto de metas tecnológicas concretas que guiarán las actividades tecnológicas del Ministerio de Defensa

En uno de los ejes que marca la ETID, el eje Tecnológico, se encuentra el resultado de trasladar al ámbito tecnológico las necesidades futuras declaradas por nuestras Fuerzas Armadas a través de los Objetivos de Capacidades Militares.

En este análisis se materializan un conjunto de objetivos que hemos llamado las **Metas Tecnológicas** y que desarrollan las prioridades tecnológicas recogidas en el Planeamiento de la Defensa. Estas Metas presentan un carácter orientador sobre la necesidad operativa y a la vez concretan una vía tecnológica abierta. Es decir, que dan cabida a múltiples soluciones tecnológicas o, dicho de otra manera, no definen sistemas específicos, sino tecnologías a desarrollar. Además son la base o elemento fundamental del pla-



neamiento y gestión de las actividades de I+T de defensa futuras. A tal efecto, las 90 Metas se han agrupado en varias **Áreas de Actuación Funcional**.

Durante la implantación de la estrategia, a partir de estas Metas se generarán **hojas de ruta tecnológicas** que definirán la manera de actuar en el futuro. Estas hojas de ruta contemplarán diferentes niveles de ambición y prioridad para adecuarse a diferentes coyunturas, capacidades y futuros cambios en las necesidades. De esta forma, la ETID proporciona a la industria nacional de defensa una valiosa referencia acerca de las actividades tecnológicas que será necesario desarrollar en el futuro, para la obtención de capacidades militares que han sido declaradas como necesarias por el JEMAD (Jefe del Estado Mayor de la Defensa).

En este sentido, la Estrategia proporciona la visión que el Ministerio de Defensa tiene del horizonte tecnológico en el largo plazo y, en definitiva, la constituye una referencia importante para el establecimiento de estrategias y actuaciones tecnológicas de defensa, tanto en el ámbito privado como en el público.

2. Es el resultado de un proceso de trabajo abierto e integrador con vocación de mejora continua.

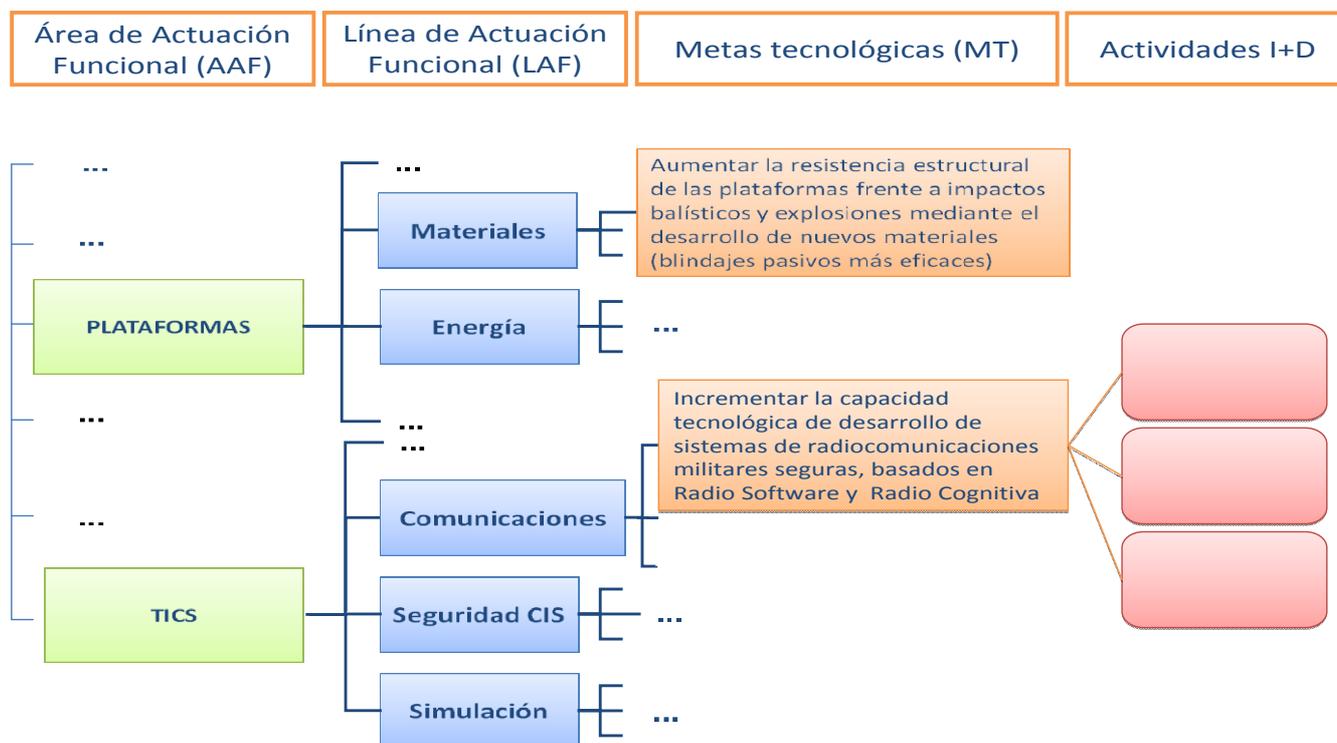
Las actividades relacionadas con el desarrollo tecnológico para la defensa se caracterizan por involucrar desde etapas muy tempranas a los usuarios, que definen sus necesidades, a los proveedores de tecnología (industria, universidades y centros tecnológicos) que aportan soluciones, pasando por la Administración, que canaliza los esfuerzos. Cada uno cumple su función y tiene responsabilidad en el resultado final. Es por ello que en el planteamiento de la ETID, para definir unas metas ligadas a las necesidades militares y a las capacidades tecnológicas nacionales, se ha querido abordar su elaboración integrando en ella a todos estos agentes.

Esto se ha hecho enfocando el proceso de elaboración de la ETID de manera abierta e integradora. En primer lugar, estableciendo grupos de trabajo para cada una de las áreas con personal de diferentes organismos del Ministerio de Defensa y poniendo un borrador, resultado ese trabajo inicial, a disposición del público interesado a través de una web en internet, durante más de dos meses. A través de la web cualquier persona pudo formular sus observaciones, con el único requisito previo de

una breve y sencilla inscripción. Se recogieron así numerosas observaciones y sugerencias a través de los 35 foros de debate y los 300 cuestionarios recibidos.

A continuación, se realizaron 7 seminarios sectoriales en los que se contó con la participación de más de 200 expertos provenientes de la universidad, empresas, los ejércitos, otros organismos e instituciones del propio Ministerio de Defensa, y de otros ministerios y Administraciones Públicas. Estas jornadas permitieron un acercamiento más directo entre los diversos agentes de la I+T de Defensa, facilitando el intercambio de impresiones e incrementando las aportaciones realizadas a la ETID. También permitieron afianzar el contenido tecnológico de la estrategia.

El alto nivel de participación a través de los seminarios sectoriales y de Internet, donde se contó con 1.500 registrados a través de la página web y más de 4.000 visitas, muestra el interés con el que se ha acogido esta iniciativa. El valor de las aportaciones recibidas para la definición de la Estrategia, animan a mantener esta dinámica de trabajo para su implementación. Para ello se contará en la SDG TECEN con la Oficina ETID, que coordina estas actividades. Del mismo modo se seguirán empleando herramientas en internet,



para facilitar el diálogo entre todos los agentes involucrados.

3. Se establece como marco de referencia de los aspectos tecnológicos del Ministerio de Defensa

En la práctica totalidad de los documentos de Planeamiento se hace mención a la importancia que tiene la I+D en el contexto de la Defensa. Sin duda el PDAM (Plan Director de Armamento y Material) es el documento más significativo en esta materia. En el mismo se definen los criterios generales de la política de I+D del Ministerio, así como las líneas tecnológicas prioritarias a desarrollar a corto y medio plazo.

Con la ETID se desciende un escalón más. En ella se recogen las directrices del Planeamiento, se desarrollan y se constituye un referente, que no sólo guía las actuaciones e iniciativas de la I+T dentro de Defensa, sino que también sirve para señalar áreas de actuación tecnológica de interés común con otros ministerios, industrias e instituciones.

La ETID se constituye como una referencia para los institutos y centros tecnológicos del Ministerio de Defensa (el Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial "Esteban Terradas", INTA, el

Instituto Tecnológico "La Marañosa", ITM, y el Centro de Experiencia Hidrodinámicas de El Pardo, CEHIPAR), desde el momento en que la ETID define el marco general dentro del cual se deben mover los planes estratégicos de I+T de estos centros. Tanto para el INTA como para el ITM y el CEHIPAR, la ETID se presenta como una guía a seguir para la orientación de sus actividades de I+T.

La ETID también constituye un referente a la hora de definir y priorizar sus actividades de I+T abiertas a la cooperación, tanto desde el punto de vista internacional (la Agencia Europea de Defensa, EDA, y la Organización de Investigación y Tecnología de la OTAN, RTO) como desde el punto de vista nacional (Programa COINCIDENTE).

En lo que respecta al ámbito externo al propio Ministerio de Defensa, la ETID constituye una referencia pública que facilita la cooperación con los diferentes agentes proveedores de tecnología coordinando y alineando las actividades de investigación tecnológica e innovación de defensa. Como ya se ha comentado anteriormente, la ETID proporciona a la industria nacional de defensa una valiosa referencia acerca de

las actividades tecnológicas de interés para este Ministerio.

Con la promulgación de la ETID, el Ministerio de Defensa reconoce el papel de la innovación y del desarrollo tecnológico como ejes centrales del crecimiento económico y del bienestar social. Asimismo, se alinea plenamente con iniciativas como la E2I (Estrategia Estatal de Innovación), que pretenden ir más allá de la mera generación de conocimiento. Es una apuesta por la innovación como elemento de mejora de la productividad y competitividad de la economía española. Del mismo modo se alinea con los postulados de la futura Ley de la Ciencia, la Tecnología y la Innovación, la cual profundiza en la vertebración de las relaciones y el diálogo entre ciencia, tecnología, innovación y sociedad, tratando de mejorar la percepción social sobre cuestiones científicas y tecnológicas, además de aumentar la sensibilidad hacia la innovación, promoviendo una mayor participación ciudadana en estos ámbitos.

En definitiva la ETID constituye una expresión del liderazgo de la DGAM en el fomento y la coordinación de las actividades de I+T dentro del Ministerio de Defensa.

enlaces de interés

En la página web del Ministerio de Defensa se pueden encontrar los documentos públicos de:

- Plan a Largo Plazo de Armamento y Material (PLP-AM): http://www.mde.es/Galerias/politica/armamento-material/ficheros/DGM_Plan_largo_plazo_PLPAM_2008.pdf
- Plan Director de Armamento y Material (PDAM): http://www.mde.es/Galerias/politica/armamento-material/ficheros/DGM_Plan_director_PDAM_2008.pdf



- Estrategia de Tecnología e Innovación para la Defensa (ETID): http://www.mde.es/Galerias/politica/armamento-material/ficheros/DGM_ETID_v5d.pdf

Además, en diferentes números de este Boletín de Observación Tecnológica en Defensa se han publicado artículos relacionados con el Ciclo de Planeamiento en Defensa:

- Boletín de Observación Tecnológica en Defensa nº 2, "Plan nacional de I+D+i: 2004-2007"
- Boletín de Observación Tecnológica en Defensa nº 16, "Editorial: Plan Nacional de I+D+i 2008-2011"
- Boletín de Observación Tecnológica en Defensa nº 24, "La Estrategia de Tecnología e Innovación en Defensa"
- Boletín de Observación Tecnológica en Defensa nº 25, "Web de la Estrategia de Tecnología e Innovación en Defensa (ETID)"
- Boletín de Observación Tecnológica en Defensa nº 25-Especial, "Planeamiento de las Actividades de I+D"
- Boletín de Observación Tecnológica en Defensa nº 26, "Jornadas de Trabajo Temáticas de la ETID"

Todos los Boletines se pueden descargar en:

http://www.mde.es/Galerias/areasTematicas/investigacionDesarrollo/fichero/DGM_boletinesanteriores.pdf

EFC: Cooperación Europea en I+T de Defensa

Tomás Martínez Piquer, José Agrelo Llaverol, SDG TECEN



La cooperación civil-defensa

La Política Común de Seguridad y Defensa (CSDP) trata de incrementar la capacidad operativa de la UE con el fin de realizar las misiones asignadas en el Tratado de Lisboa. En este sentido, es primordial el desarrollo conjunto de capacidades civiles y de defensa.

Algunos aspectos importantes en la conexión entre capacidades civiles y de defensa son:

- 1) poder alcanzar mayores cotas de interoperabilidad en las zonas de misión;
- 2) aprovechar el carácter dual de muchas tecnologías, en un escenario donde el mercado civil impulsa el desarrollo tecnológico y la frontera entre I+T civil y de defensa es difusa;
- 3) optimizar los recursos disponibles, reduciendo duplicidades de gasto y de esfuerzo investigador.

En noviembre de 2009, la EDA comenzó a coordinar con la Comisión Europea y la Agencia Europea del Espacio (ESA) la preparación de un marco duradero y estable para la creación de programas de I+T en apoyo a capacidades prioritarias conjuntas. El nombre de este marco es **EFC** (*European Framework Cooperation*). A diferencia de otras iniciativas de I+T creadas para casos puntuales, donde también se coordinan los ámbitos civil y de defensa para lograr sinergias que optimicen la obtención de capacidades (radio software (SDR), tecnologías críticas del espacio, etc.), el EFC pretende lograrlo mediante la sincronización sistemática de las inversiones realizadas en el marco de las tres instituciones.

EFC

La puesta en marcha del EFC define en paralelo las normas de coordinación entre las instituciones, las normas específicas de cada institución y los contenidos tecnológicos.

a) La coordinación entre instituciones: se sustenta en dos principios básicos, por un lado, el dinero no cruza fronteras institucionales y, por otro, la gestión

de los proyectos se realiza exclusivamente por la institución en cuyo marco se desarrolla. Por lo demás, los expertos de las tres instituciones determinan las condiciones de los flujos de información entre ellas en las diversas fases de los futuros proyectos, con especial atención a los derechos de propiedad intelectual.

b) Las normas de gestión en la EDA: el mecanismo considerado en principio más adecuado es el de un programa de Categoría A (abierto a la participación de todos los países), en forma de JIP (*Joint Investment Programme*). Se definirá en el documento conocido como "Normas de Gestión" (*Rules of Reference*).

c) Contenidos tecnológicos: hay acuerdo ya en abordar tres áreas de alto interés tecnológico común: **CBRN** (*Chemical, Biological, Radiological, Nuclear Defence*), **UAS** (*Unmanned Aerial Systems*), y **SA** (*Situational Awareness*). Estas áreas son de gran amplitud y corresponde a los expertos tecnólogos y de capacidades acotar su alcance. La industria y otras instituciones de I+T están también invitadas a participar.

CBRN

CBRN fue aceptado por la Junta Directiva el 26 de abril de 2010. Actualmente, se definen los principios técnicos, de gestión, financieros y legales para preparar un posible compromiso de participación de las naciones interesadas en la Junta Directiva de otoño.

a) Principios de gestión:

- Libre competición.
- Las actividades de este programa serán coherentes con las del FP7.
- La coherencia con los objetivos tecnológicos y de capacidades la garantizará el grupo de expertos asesor del Comité de Gestión (CapTech ESM4 y PT CBRN *Countermeasures*).
- La Comisión participará en el Comité de Gestión de la EDA con voz.
- No habrá *juste retour* proyecto a proyecto, pero se tratará de garantizar el balance global.

- La propiedad de la información será del originador, en tanto que los gobiernos tendrán derechos de divulgación y uso para fines de defensa y seguridad.

b) El contenido técnico incluye: detección e identificación; descontaminación; contramedidas médicas; protección colectiva e individual; modelización y simulación; integración / *situational awareness* / CIS.

UAS

La Junta Directiva de 26 de abril encargó a la EDA preparar un programa de categoría A sobre UAS en las áreas de (1) inserción en el tráfico aéreo y, (2) explotación de la información.

El *Project Team* (PT) UAS, de la Dirección de Capacidades de la EDA, centraliza las actividades preparatorias de todas las instituciones (EDA, ESA, Comisión, EASA, EUROCONTROL, EUROCAE WG 73). Los días 7 y 8 de octubre se reunirán representantes de gobiernos e industria para preparar la documentación técnica que sustente una posible decisión de aceptación oficial en la Junta Directiva de otoño.

SA

La intención de la EDA es presentar una propuesta de programa en diciembre. Los posibles temas se asignan a percepción y comprensión, e incluyen:

1. Sensores: desarrollo, mejora e integración de nuevos y existentes.
2. Ciberseguridad, con análisis de vulnerabilidad y riesgos y evaluación de la seguridad de sistemas.
3. Gestión y procesado de la información, en particular para seguridad marítima.

Los expertos de los CapTechs IAP2, IAP3, IAP4, ESM1 y de varios PT, los de la Comisión y los de la ESA, están participando en la elaboración de un inventario de actividades para alcanzar en octubre una coordinación de los alcances en los 3 temas y presentar en diciembre una lista y una especificación en cierto detalle de objetivos de I+T.

Más información en: foros extranet de la EDA y SDGTECEN: edaconsultasit@oc.mde.es

RTO-SAS-083: Power and Energy in Operations

Héctor Criado de Pastors, OT ENEP y representante nacional RTO-SAS-083

Los pasados días 24 y 25 de mayo de 2010 tuvo lugar en Madrid la reunión inicial del nuevo grupo de trabajo del Panel SAS (*Systems Analysis and Studies*) de la OTAN-RTO (*Research and Technology Organization*) TG-083: *Power and Energy in Operations*.

La participación en este grupo permitirá a los países participantes establecer modelos comunes para estimar las necesidades energéticas y el coste completo de la cadena logística de combustibles, baterías y otros sistemas de energía. De este modo, se dispondrá de mejores herramientas de planificación y control del consumo energético en misiones.

Este grupo de trabajo ha surgido tras los trabajos realizados durante un año por el *Exploratory Team* SAS-ET.BE para estudiar asuntos y desafíos técnicos y operacionales relacionados con energía en operaciones OTAN.

El cambio en la tipología de las misiones de la OTAN en los últimos años,



con misiones en el extranjero de larga duración, elevado coste del transporte de combustible hasta el teatro de operaciones, bases y puestos avanzados estables en zonas remotas, vulnerabilidad de la cadena logística frente a ataques con IEDs, etc., implican la necesidad de mejorar la eficiencia energética y reducir el consumo de combustible, lo que no habían sido prioritario hasta ahora para los países miembros (PMs).

A fecha de hoy, los países participantes en este grupo de trabajo son: Bélgica, Canadá, España, Estados Unidos, Francia, Holanda, Noruega y Reino Unido. Además, Australia participa bajo el estatus de *Partner Nation*. El grupo está co-liderado por Canadá y Estados Unidos.

Las actividades que abordará el grupo durante los dos años de trabajo (2010-2012) previstos son:

- Desarrollar una línea base común a partir de los datos actuales de uso de energía, con el fin de determinar los

requisitos de energía en operaciones.

- Desarrollar mediciones de rendimiento relevantes que permitan realizar un análisis de opciones para optimizar el consumo de energía.

- Desarrollar un conjunto de herramientas y modelos que calculen el coste integrado completo de la energía (*Fully Burdened Cost*) usado actualmente, incluyendo el ciclo de vida completo del combustible, para poder informar e influir adecuadamente en el proceso de toma de decisiones y gestionar los riesgos asociados con temas operacionales de energía para los PMs.

- Analizar las implicaciones de distintas opciones técnicas en gestión de energía, I+T, interoperabilidad y estandarización.

En el marco de estas actividades, está prevista la celebración de un *workshop* o un programa de conferencias que incluya tanto a personal de los ministerios de defensa como a centros de investigación e industria.

En la reunión inicial se fijó como objetivo final del grupo el desarrollo de un modelo OTAN de cálculo del coste total de la carga logística del combustible.

Este modelo, así como su extensión a la energía o al agua, permitirán mejorar la información disponible de forma que se alcancen tres objetivos que, en mayor o menor medida, son importantes para todos los países participantes:

- Mejora de la efectividad de las misiones.
- Reducir el coste de las misiones internacionales.
- Reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

Como otros grupos de trabajo de la RTO, este grupo está abierto a la participación de expertos nacionales, por lo que el personal interesado puede solicitar más información o colaborar con el SAS-083 contactando con su representante nacional en hcridep@oc.mde.es.

Metodología SMP: Componentes de coste del FBCF



- €/litro
- €/soldado
- €/unidad

Proyecto CALRADAR: calibración de radares de medida

Jesús M^a Ruiz Nieto, Área de Metrología,
ITM

La medida de la velocidad es de gran importancia en la caracterización, homologación y verificación de los sistemas de armas y de la munición. La medida de la velocidad inicial se puede realizar siguiendo distintos procedimientos, siendo el más utilizado el de radares de efecto Doppler.

El CET (Centro de Ensayos Torregorda) y el Área de Armamento del ITM (Instituto Tecnológico "La Marañosa"), antiguo PEC (Polígono de Experiencias de Carabanchel), se han enfrentado durante los últimos años al problema que supone la necesidad de calibrar los radares de medida de velocidad inicial, para poder cumplir con la normativa vigente en materia de homologación (Real Decreto 165/2010).

En un principio, los fabricantes de estos sistemas radar eran los responsables de realizar las calibraciones, aunque en la práctica real se limitaban a llevar a cabo una verificación de los sistemas, comprobando que los parámetros críticos del radar estaban dentro de las especificaciones. Sin embargo, no daban un valor de la incertidumbre de la medida, parámetro imprescindible en toda calibración.

Como consecuencia de esta necesidad el PEC solicitó, en el año 2006, colaboración al TPYCEA (Taller de Precisión y Centro Electrotécnico de Artillería), en la actualidad Área de Metrología del ITM, para desarrollar un sistema de calibración de los radares de medida de velocidad inicial y de los radares de trajectografía.

El TPYCEA inició el estudio del tema, realizando consultas a la UPM (Universidad Politécnica de Madrid) y al CEM (Centro Español de Metrología). De estas consultas, al comprobar que no existían en el mercado sistemas que resolvieran el problema, se concluyó que la mejor solución era la realización de un calibrador.

Para responder a esta necesidad, se lanzó, en diciembre de 2007, el proyecto de I+D "Sistema de calibración radar balístico (CALRADAR)". El desarrollo del proyecto se llevó a cabo en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicaciones de la UPM,

con la participación de la Escuela Universitaria de Ingenieros Técnicos de Telecomunicaciones de la UPM y la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.

El proyecto, de una duración de dos años, tuvo como objetivos:

- El desarrollo de 2 patrones de simulación de blanco en movimiento, uno en banda X (10,519 - 10,531 GHz) y el otro en banda S (2,45-2,63 GHz).
- La elaboración de los procedimientos de calibración de los radares in situ y de utilización como verificadores.
- La elaboración de los procedimientos de calibración de los patrones.

Las capacidades de los patrones son:

- Calibrar los radares en frecuencia, velocidad y alcance.
- Verificar la potencia transmitida, midiendo la PIRE (Potencia Isotrópica Radiada Equivalente).
- Generar blancos con distintas RCS (*Radar Cross Section*).

El patrón de calibración es básicamente un simulador de blanco. La señal recibida del radar se mezcla con una frecuencia Doppler de muy alta precisión generada por medio de un DDS (Sintetizador Digital Directo) enganchado a un oscilador de rubidio de alta estabilidad. La frecuencia Doppler y el oscilador de rubidio se calibran en el laboratorio de radiofrecuencia del Área de Metrología del ITM. La frecuencia Doppler está directamente relacionada con la velocidad radial del blanco. La señal es asimismo retardada mediante líneas SAW (*Surface*

Acoustic Wave) para simular la distancia.

La medida de la frecuencia del radar se realiza en FI (Frecuencia Intermedia), por medio de un frecuencímetro de alta precisión enganchado al oscilador de rubidio.

Las pruebas realizadas en el PEC y el CET han dado resultados muy satisfactorios. En junio de 2010, se realizó en el CET la calibración de los 5 radares disponibles, y se espera que en fechas próximas se completen las calibraciones pendientes del CET y se inicien las del Área de Armamento del ITM.

Este tipo de radares no sólo se utilizan en los centros de ensayo y homologación, sino que también se encuentran implementados en diversos sistemas de armas y se utilizan en la industria civil de defensa. Para todos ellos, este proyecto ha abierto un camino que resuelve sus necesidades de calibración.

En conclusión, el proyecto ha finalizado con los objetivos cumplidos y como resultado se dispone de patrones que permiten la calibración de los radares de medida de velocidad inicial. Para el Área de Metrología del ITM, estos patrones, representan un nuevo servicio que proporcionar a todos los usuarios de los radares de medida de velocidad inicial.

En un futuro próximo, se pretende continuar el proyecto para implementar ciertas líneas de mejora que se han detectado, como disponer de otro patrón en banda X, la más utilizada, así como proporcionar mayor robustez para su transporte y uso en condiciones ambientales adversas.



Fig. 1. Demostrador CALRADAR.

XI Congreso Nacional de Materiales

Luis Miguel Requejo Morcillo, OT MAT

Entre los días 23 y 25 del pasado mes de junio, tuvo lugar en Zaragoza el XI Congreso Nacional de Materiales, organizado por la Sociedad Española de Materiales (SOCIEMAT) y el Instituto de Ciencia de Materiales de Aragón (ICMA).

Durante los tres días de celebración, el Congreso se dividió en una serie de sesiones de ponencias y de exposición de posters, en las que se sintetizaban los trabajos de investigación llevados a cabo en los últimos dos años en el área de ciencia e ingeniería de materiales. Los ponentes eran expertos en ciencia de materiales, pertenecientes en su mayoría a centros de investigación del CSIC y universidades españolas, aunque también hubo representación empresas.

Durante el Congreso, se trataron temas relativos a materiales metálicos,



compuestos, cerámicos, nanomateriales, biomateriales, materiales electrónicos, polímeros, etc.

El Observatorio Tecnológico de Materiales de la SDG TECEN realizó una presentación en la que se mostraban los organismos con más relación con la I+D en Defensa y sobre las líneas prioritarias del Ministerio de Defensa vinculadas al área de materiales.

Entre los temas expuestos durante el Congreso cabe destacar el relativo al estudio de las propiedades de nanotubos de carbono, nanohilos de Si y del ZnO y de su aplicación en sistemas electrónicos, optrónicos y como biosensores, nuevos programas de simulación y técnicas como la nanoindentación o el análisis dinamomecá-

nico para la obtención de propiedades mecánicas de los materiales, los trabajos referentes al estudio del impacto de materiales, basados en el desarrollo de espumas poliméricas que mediante una serie de cambios estructurales, mejoran sus propiedades mecánicas, su conductividad eléctrica y su comportamiento frente al fuego. En el área de biomateriales, las investigaciones se dirigen a la obtención de materiales capaces de reparar y regenerar la zona dañada. Es de gran interés el estudio de materiales mesoporosos cargados con antibióticos, antitumorales, etc., que se liberan de manera controlada y que ayudan a curar y prevenir infecciones. Dentro de las tecnologías de procesado y conformado de materiales, el aspecto más reseñable ha sido la soldadura por fricción, que es un método de soldadura que permite obtener uniones de buena calidad de forma rápida y a baja temperatura.

Curso Grulac

Angelica Acuña Benito, OT NBQ

Durante los días 14 a 25 de junio de 2010, se impartió el "Curso para el análisis de sustancias químicas de la convención sobre la prohibición de armas químicas en el marco de los *Proficiency Tests* en el laboratorio de verificación (LAVEMA) del Instituto Tecnológico La Marañosa (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 primer curso de esta naturaleza llevado a cabo en idioma español, siendo los beneficiarios del mismo 12 representantes de distintos países miembros del Grupo de Países de América Latina y Caribe (GRULAC).

El objeto del curso ha sido transmitir los conocimientos necesarios para participar en los *Proficiency Tests*, ejercicios de suficiencia técnica organizados por la OPAQ para designar laboratorios de verificación de agentes de guerra química. Actualmente, hay 18 laboratorios designados de 16 países y, dado que el LAVEMA es el único laboratorio designado (desde 2004) perteneciente a un país de habla hispana, la OPAQ



solicitó a este laboratorio la impartición de este curso.

El contenido del curso abarca todos los temas relevantes para que los laboratorios candidatos puedan participar en los *Proficiency Test*, organizados anualmente por la OPAQ. Los laboratorios que superan estos test de forma reiterada pueden pasar a ser laboratorios designados.

En las 60 horas de curso se impartieron conocimientos sobre los compuestos incluidos en la Convención de Armas Químicas, tratamiento de muestras de distintas matrices, detección por cromatografía de gases y de líquidos de alta resolución, identificación por espectrometría de masas, software de

deconvolución de espectros de masas AMDIS, librerías de espectros de masas, rutas de síntesis de familias de compuestos de la Convención, norma de calidad ISO17025 (también necesaria para ser laboratorio designado) y los requisitos para la elaboración del informe de resultados del ejercicio.

Además de recibir clases teóricas, los alumnos realizaron ejercicios prácticos,

incluyendo un *Proficiency Test* simulado, de modo que el desarrollo del curso fue dinámico y consiguió transmitir lo que significa participar en un *Proficiency Test*.

Este curso es continuación de la colaboración entre la OPAQ y el LAVEMA para la formación de personal de los países de habla hispana. La colaboración se inició en años anteriores con la visita de investigadores del LAVEMA a Bolivia y Perú para impartir cursos en sus respectivos laboratorios.

El éxito obtenido en la organización de este curso y el interés mostrado tanto por los alumnos como por la OPAQ por los resultados obtenidos, hace prever que esta iniciativa tendrá continuación.

Tecnologías Emergentes

REDES TÁCTICAS: el reto de SOA en niveles tácticos

Ignacio Hernández Novo, RTO-IST-090 y
Unidad Mando y Control, ITM

The objective of Task Group IST-090 of the NATO Research and Technology Organization's Information Systems Technology panel is to identify improvements for making SOA applicable at tactical level, which typically includes communication grids that are disadvantaged by losses of connections, low bandwidth, intermittent availability, etcetera. IST-090 will provide requirements for using SOA over disadvantaged grids and build demonstrations that show how the challenges can be mitigated.

This paper will describe the approach used by IST-090, including the following topic studies: Simulated and synthetic environment, Data Distribution Service, Service Discovery, and Web Services.

El objetivo del grupo de trabajo RTO-IST-090 del Panel IST (*Information Systems Technology*) de la RTO (*NATO Research and Technology Organization*) es identificar mejoras para hagan que SOA (siglas en inglés de Arquitectura Orientada a Servicios) sea aplicable en el nivel táctico (redes en desventaja), lo que significa hacerlo eficiente en redes de comunicación con pérdida de conexiones, bajo ancho de banda, disponibilidad intermitente, etc. El IST-090 proporcionará los requisitos para el uso de SOA en redes en desventaja y desarrollará demostradores de cómo mitigar los problemas.

Este artículo describe el enfoque que ha dado el grupo IST-090, que incluye los siguientes temas de estudio:

- entorno de simulación,

- DDS (*Data Distribution Services*),
- descubrimiento de servicio y
- servicios web.

Antecedentes

El grupo nace como continuación del grupo exploratorio IST-ET-046, en el que se decidió crear un grupo de trabajo donde se demostrase que el uso de SOA es factible dentro de las redes tácticas.

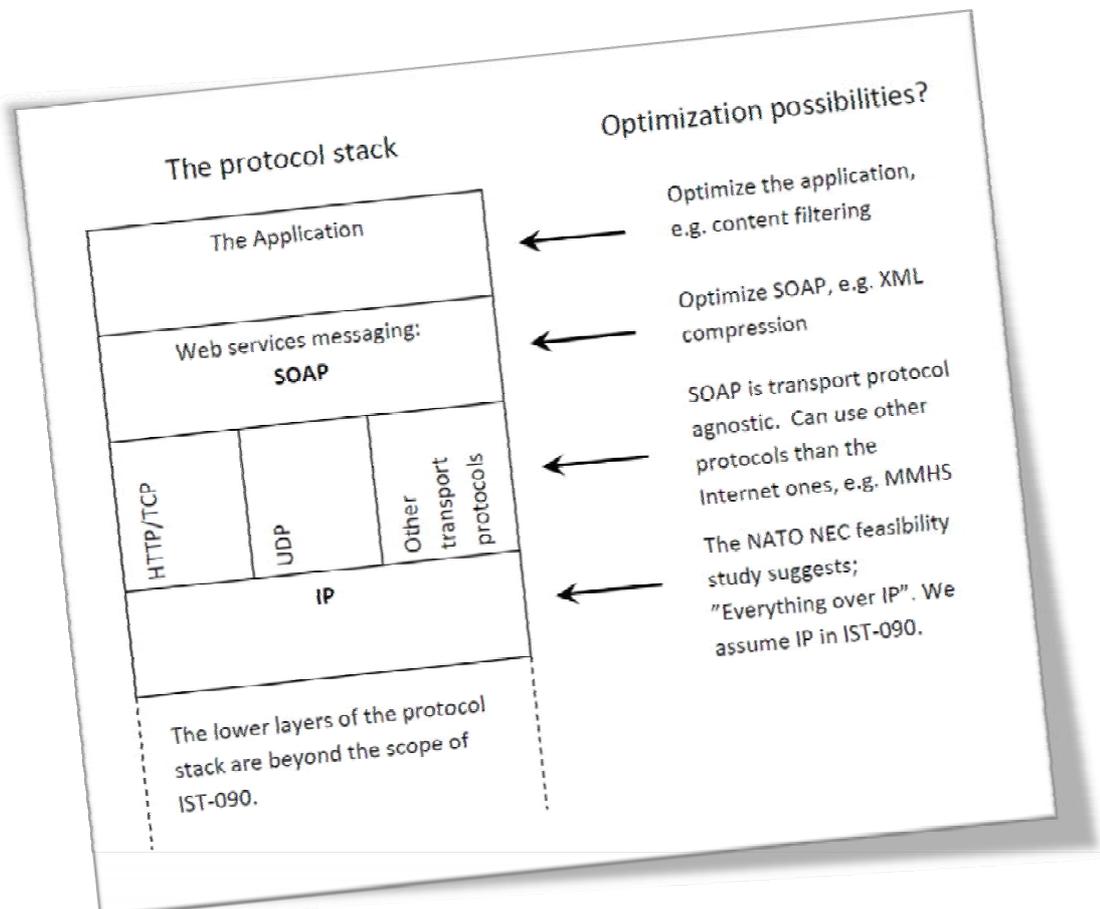
Los primeros trabajos estuvieron encaminados a investigar tecnologías que ayuden a encontrar soluciones a los problemas inherentes al uso de SOA en redes en desventaja. Se recopilaron estudios de diferentes naciones acerca de CORBA (*Common Object Request Broker Architecture*), tipos de compresión, filtrado de la información, RMI (*Remote Method Invocation*), tipologías de red,... que fueron la base para el comienzo de los trabajos del grupo IST-090.

Sobre SOA

La Arquitectura Orientada a Servicios (SOA) se basa en el concepto de encapsular las capacidades del software como servicios. En este contexto, un servicio es una pieza del software que ofrece sus capacidades en forma de interfaces estandarizados.

El uso de SOA ha emergido con una mayor tendencia en el sector comercial y en el militar entre naciones que desarrollan capacidades NNEC (*NATO Network Enabled Capabilities*).

Además, es un paradigma de diseño o arquitectura que entre otras cosas, en el mundo militar, puede usarse para que las funcionalidades C2 (*Command & Control*) estén disponibles como servicios en una red. Algunos ejemplos de tales funcionalidades C2, pueden ser: informes de observadores, estados de unidades, COP (*Common Operational Picture*), chat, voz sobre IP (*Internet Protocol*). De esta manera, SOA permite que los servicios C2 estén dispo-



nibles de una forma flexible y escalable. Para el usuario final, no debe de haber ninguna diferencia con respecto a las implementaciones actuales, excepto por el hecho de que tendrá acceso a más información específica que estará disponible más fácilmente.

No obstante el uso de SOA tiene adhiridas una serie de desventajas:

- El uso de SOAP (*Simple Object Access Protocol*) como formato de intercambio de mensajes es un problema, ya que está basado en XML, el cual es pesado y por lo tanto necesita un gran ancho de banda. El uso de tecnologías de compresión podría usarse para mitigarlo.
- El uso de protocolos orientados a conexión como http / TCP (*Transmission Control Protocol*) (la forma más común para transportar mensajes SOAP) puede ser poco eficiente en una red táctica por su limitación en los enlaces de comunicaciones. Sin embargo es posible usar otros mecanismos de transporte como UDP (*User Datagram Protocol*), y otros protocolos más eficientes en términos de uso de ancho de banda como DDS o MMHS (*Military Message Handling System*).

WebServices

Hay diferentes tecnologías a utilizar para implementar un SOA. La forma más común es utilizar servicios web, que más específicamente son una colección de estándares. La siguiente figura muestra una vista de alto nivel de la pila de comunicaciones de los servicios web.

Como se puede ver en la figura, hay espacio suficiente para optimizaciones en la pila del protocolo. Se puede com-

primir la información en la capa SOAP o se podría filtrar la información a nivel de aplicación. En cuanto a la forma de comprimir, un estudio previo llamado *Using NFFI (NATO Friendly Force Information) Web Services on the tactical level: An evaluation of compression techniques* [Johnsen and Hafsøe, 2008] ha demostrado que estándares como GZip y EXML comprimen XML de una forma eficiente. Otra forma de tratar de optimizar la información es la de no utilizar TCP como protocolo de transporte, sino UDP o MMHS (basado protocolos de transporte táctico).

En cuanto a la capa de red, se asume que será IP desde que el estudio de viabilidad de NNEC lo ha identificado como el protocolo de interoperabilidad en red.

Enfoque del trabajo del grupo

Se ha decidido subdividir el grupo en 4 temas de estudio:

1. Simulación: permitirá definir los parámetros que definen a una red en desventaja (pérdidas de conectividad, bajo ancho de banda,...) y proporcionar al resto de subgrupos un entorno de simulación.
2. DDS: estándar de la OMG de intercambio de datos basado en un modelo publicación/subscripción que usa RTPS como protocolo de transportes. La clave del uso eficiente de DDS se basa en la correcta utilización de las calidades de servicio proporcionadas por los diferentes implementadores. Este subgrupo está liderado por España
3. Servicios web: es la forma más común del uso de tecnología basado en SOA. Actualmente son usados en entornos de gran capacidad, y esta tecnología necesita ser adaptada para su uso en redes tácticas.

4. Descubrimiento de servicios: cualquier entorno de una arquitectura orientada a servicios debe de disponer de una forma de encontrar los servicios que se pueden consumir. Tanto *Web Services* como DDS lo implementan.

Intereses de España

España, es líder del subgrupo DDS y participa en el de simulación. En este grupo el objetivo fundamental es tratar de parametrizar las redes en desventaja de forma que se parezcan lo máximo posible al entorno táctico español. En cuanto a DDS, España está demostrando estar a la cabeza en este tipo de tecnología, involucrando al resto de naciones al uso del estándar. Los trabajos que hasta ahora ha realizado España se basan en la publicación de los servicios DDS que la JCISAT (Jefatura de los Sistemas de Información, Telecomunicaciones y Asistencia Técnica del Ejército de Tierra) ha diseñado, entre los cuales se encuentran un servicio de unidades, mensajería táctica y distribución de ficheros.

Además, está sondeando la posibilidad de que diferentes industrias colaboren de alguna forma en el grupo.

El objetivo fundamental es, promover el uso de DDS de forma que se pueda estandarizar como interfaz de datos tácticos.

Otros trabajos iniciados por España son la creación de servicios que informen de las trazas captados por sensores (radar y cámara) de vigilancia y un proxy que permita el paso de los servicios DDS a *WebServices*.

El grupo prevé terminar su trabajo en el año 2011, y como objetivo se ha marcado el desarrollo de un demostrador que implemente los aspectos anteriormente mencionados.

enlaces de interés

Documentos del Análisis del IEEE

En esta página se pueden encontrar los Documentos del Análisis del IEEE, que son documentos elaborados por los analistas/investigadores del Instituto, en los cuales se aborda un tema de interés y actualidad relacionado con la seguridad y la defensa, y que incluyen un análisis crítico de la cuestión.

El Instituto Español de Estudios Estratégicos (IEEE) es un organismo del Ministerio de Defensa de España dependiente de la Dirección General de Relaciones Institucionales.



http://www.ieee.es/publicaciones/docs_analisis/

Desarrollo de sistemas hiperespectrales

Yolanda Navarro Herraiz, Área de Optrónica y Acústica del ITM

In the electromagnetic spectrum, human vision is inside the region called "visible radiation". The eye could be compared with a sensor that works like a photographic camera, consisting of an optics system: a cornea and a clear crystal that creates images in the detector, in this case the retina.

cameras As with detectors in photographic cameras, the retina provides three types of receptors (cones), and its sensibility maximums are close to red, green and blue. The result of the combination of signals coming from the different types of cones is the colour vision. The capacity to distinguish or associate colours depends on the proportion of the detectors in the retina.

Multispectral systems integrated into unmanned platforms were introduced with the objective of exceeding human colour vision limits.. The aeroplanes and satellites can carry out aerial missions of recognition. Multispectral systems can record information in specific areas of the electromagnetic spectrum, and hyperspectral systems can record information in continuous areas of the spectrum. A hyperspectral device consists essentially of optics that collect radiation, a wavelength selector and a detector. Different devices can be classified depending on the type of the wavelength selector and the detector.

These devices amplify the human range vision to other spectrum regions: NIR, MWIR... This is why the hyperspectral systems field has been extended to a wide variety of applications: identification of ground, forensic analysis, spectroscopy of textiles.

La visión diurna humana se localiza dentro de la región del espectro electromagnético denominada "radiación visible". El ojo, visto como un sensor, funciona esencialmente como una cámara fotográfica. Es decir, se compone de un sistema óptico: córnea y cristalino, que permiten formar la ima-



Fig. 1. Configuración del sistema imagen hiperespectral en visible.

gen sobre el detector, en este caso la retina. Al igual que ocurre con los detectores de las cámaras fotográficas, la retina dispone de tres tipos de receptores (conos), cuyos máximos de sensibilidad se localizan en torno al rojo, verde y azul respectivamente. La combinación de las señales que provienen de los distintos tipos de conos, da como resultado la visión en color. La capacidad de distinguir o asociar colores depende de la proporción con que aparecen cada uno de estos detectores en la retina. Es bien conocido que la falta de un tipo de detector o su diferente proporción (daltonismo), produce una menor capacidad para discriminar los colores.

La mimetización es una habilidad presente en la naturaleza que consiste en que seres u objetos con diferente composición química presentan diferencias de color imperceptibles. El uso de camuflajes como pinturas, uniformes o redes miméticas, entre otros, pretenden simular este mecanismo, mediante la reducción del contraste cromático y por tanto enmascarándolos con su entorno. Con objeto de superar las limitaciones de la visión

humana en color, se introdujeron los sistemas multispectrales en plataformas de detección remota, realizando tareas de reconocimiento aéreo como las llevadas a cabo por aviones y satélites. Si bien los sistemas multispectrales registran información en zonas concretas del espectro electromagnético, los sistemas hiperespectrales permiten registrar la escena en tramos continuos del espectro.

Un dispositivo hiperespectral consiste esencialmente en una óptica encargada de recolectar la radiación de la escena, un selector de longitudes de onda y un detector. Los diferentes dispositivos se pueden clasificar dependiendo del tipo de selector de longitud de onda y del detector. Dentro de los diferentes tipos de selectores de longitudes de onda, cabe distinguir entre: difractivos, Fourier, acusto-ópticos o filtros de cristal líquido. En el caso de los detectores, las diferencias se establecen dependiendo de la región del espectro a analizar o de su arquitectura: puntual, lineal o matricial.

tecnologías emergentes

La utilización de estos dispositivos permite ampliar el rango de detección de la visión humana a otras regiones del espectro: infrarrojo cercano (NIR), infrarrojo medio (MWIR), etc. Por este motivo, en los últimos años el campo de aplicación de los sistemas hiperespectrales se ha extendido hasta cubrir un amplio abanico de disciplinas: identificación de suelos (cultivos o materiales artificiales), análisis forense, espectroscopia de tejidos,...

El interés del Laboratorio de Bajas Luminancias, Área de Optrónica y Acústica del ITM, en el desarrollo de este tipo de tecnología partió de la necesidad de caracterizar escenarios espectralmente, así como comprobar la efectividad de los diferentes tipos de camuflaje. Para ello se desarrollaron dos sistemas hiperespectrales, uno para la zona del visible (VIS) y el otro en el NIR hasta los 1000nm.

La caracterización de escenarios implica trabajar con un gran nivel de detalle, bajo diferentes condiciones de iluminación y diferentes rangos de temperatura. Por tanto, se escogió como un detector CCD (*Charge Coupled Device*) de bajo ruido, lineal, de amplio rango dinámico y de alta resolución. Como elemento selector de longitudes de onda, se eligieron filtros sintonizables basados en cristal líquido, por su precisión y estabilidad, ya que no implican partes móviles.

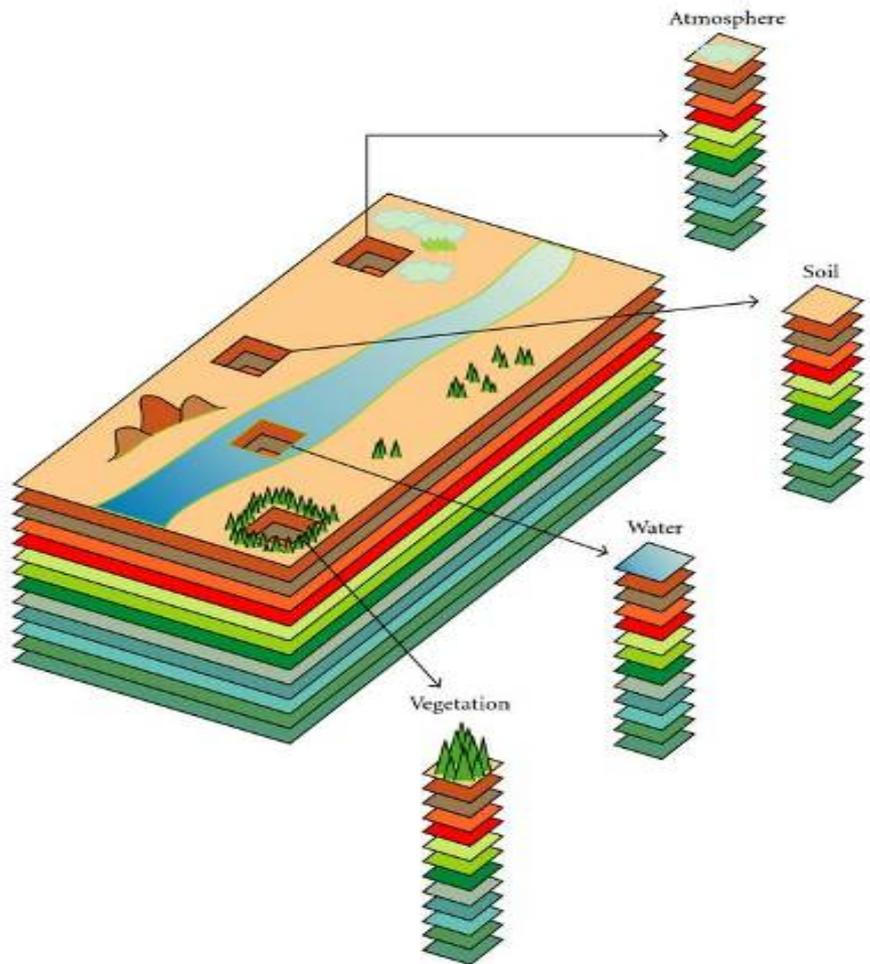


Fig. 2. Cubo de imágenes hiperespectral.

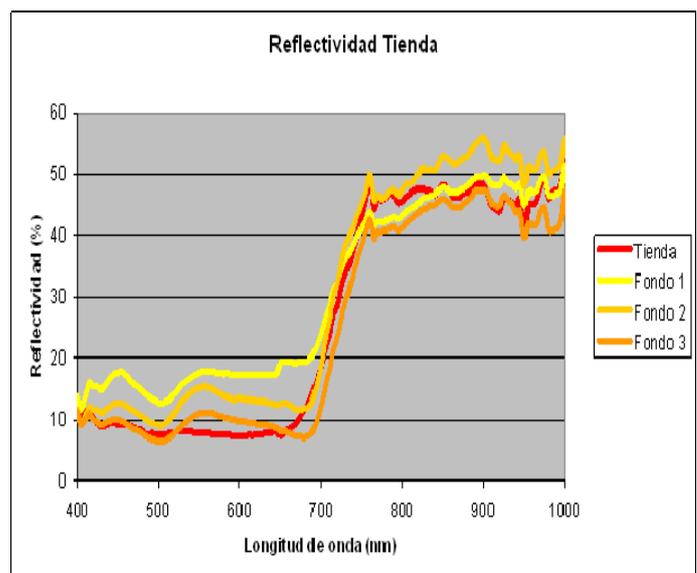


Fig. 3. a) Imagen donde se han seleccionado los diferentes fondos de la escena, junto a la muestra a caracterizar. b) Curvas de reflectancia espectral de los materiales seleccionados en la imagen.

De esta manera cada uno de los sistemas está compuesto por (figura 1): un sensor CCD, una lente transportadora apocromática, un filtro sintonizable VIS o NIR y un objetivo apocromático intercambiable. De modo que el conjunto permite descomponer el espectro visible desde los 400-1000nm, en pasos de 1nm con un ancho de banda de 20nm. El sistema ha sido calibrado para que se comporte como un sensor plano, de esta manera se puede obtener el espectro de escenas y materiales, teniendo en cuenta que la responsividad del sistema puede ser muy baja en algunas zonas del espectro.

Una medida hiperespectral típica consiste en seleccionar un rango del espectro y un paso con el que se muestrea, lo que da como resultado un cubo de imágenes hiperespectrales, donde los ejes X e Y localizan la posición de los puntos dentro de la imagen, mientras que en el eje Z quedan registradas las imágenes de las diferentes longitudes de onda. Cada píxel de la imagen contiene información de la radiación reflejada por la escena, a medida que se registran las diferentes longitudes de onda.

También, se desarrollaron herramientas de procesamiento de señal que permiten caracterizar materiales de manera

cromática y espectral. A partir del espectro obtenido para cada píxel del cubo de imágenes, se obtienen las coordenadas cromáticas en los diferentes espacios de color. Se incluye una herramienta de visualización que reconstruye la imagen, tal y como se obtendría con una cámara fotográfica. Lo que permite aplicar herramientas típicas del procesamiento de imagen espacial. La enorme cantidad de información a procesar hace necesario reducir en la medida de lo posible el número de datos. Esto se consigue aplicando un análisis de componentes principales (PCA), que agrupa la información minimizando el error cuadrático medio. De este modo la dimensionalidad espectral del cubo se reduce. Los algoritmos de máxima verosimilitud (EM) son clasificadores que pueden refinar clasificaciones previamente obtenidas pero no crear nuevas. El refinamiento se realiza mediante un algoritmo iterativo de Bayes-Gauss, al que se le introduce una clasificación previa que consiste en relacionar todos los espectros mediante la técnica denominada Mapa de Ángulos Espectrales (SAM) que consiste en asociar un vector al espectro de cada píxel de la imagen, para posteriormente recorrerlos y compararlos entre sí.

Los trabajos realizados han dado lugar a publicaciones de ámbito nacional. Además, el equipo ha participado en pruebas de campo, para la medida de la reflectancia espectral de escenas y materiales, dentro del programa del COMbatiente del FUTuro (COMFUT), así como la caracterización de pinturas en vehículos, redes de camuflajes y textiles de campaña para Infantería de Marina.

En la figura 3 se muestran los distintos procesados que se realizan sobre la imagen hiperespectral de una tienda de campaña cuyo tejido dispone de un patrón de camuflaje. En la figura 3a, se muestra la imagen donde se han seleccionado diferentes fondos de la escena, junto con una región de la tienda de campaña que se quiere caracterizar. En la figura 3b, se muestran las curvas de reflectancia espectral de los materiales seleccionados en la imagen. En la figura 3c, puede verse como a partir del espectro de cada píxel se ha recuperado la imagen RGB (*Red Green Blue*), tal y como se obtendría con una cámara fotográfica. En la figura 3d, se muestra la imagen resultado de la clasificación espectral de los materiales presentes en la escena.

Class Number = 71

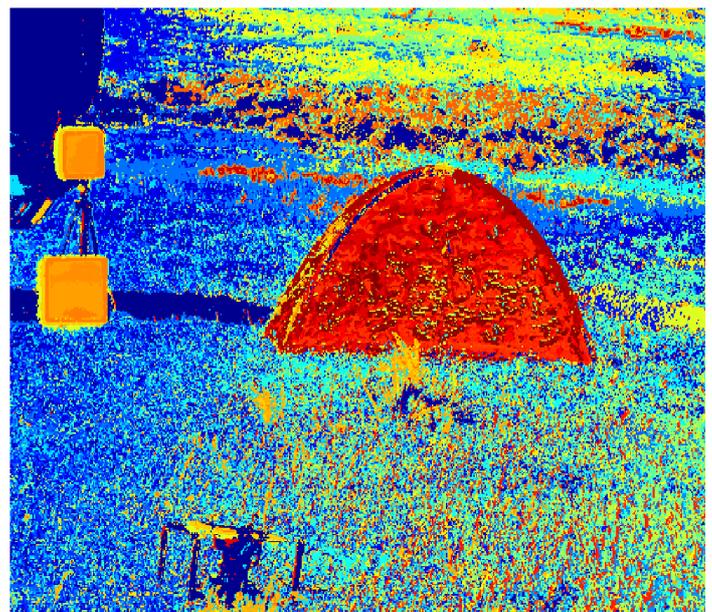


Fig. 3. c) Reconstrucción de las coordenadas cromáticas de la escena a partir del cubo hiperespectral. d) Imagen clasificada espectralmente.

Sistemas Preventivos contra Explosiones BLEVE

Luis Miguel Requejo, OT MAT, y Juan Carlos Mañero, Explostop

Around 3000 Spanish military personal take part in peace missions throughout the world, Afghanistan, the Lebanon, Somalia etc. The risk of fuel storage tank explosions must be considered as well as the risk of large scale fires caused by Molotov cocktails being fired at these storage facilities. These types of explosions are more commonly known as BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion) and are produced in pressurised tanks where inflammable liquids or gases are subject to great temperatures.

Amongst the measures proposed by the NTP 294 to improve the security of these pressurised containers is the limitation of excessive pressure through the design and installation of a safety valve and burst disks, rigorous control of the filling of these containers and the ability to quickly empty those containers considered to be at risk.

Alrededor de 3000 efectivos militares españoles desarrollan misiones de paz en distintos lugares del mundo: Afganistán, Líbano, Somalia, etc. El riesgo de explosión de sus depósitos de combustible es grande si un proyectil los atraviesa. Pero no solamente hay que contemplar el riesgo de explosión sino los efectos de un gran incendio

originados por el lanzamiento de cócteles molotov, etc.

Este tipo de explosiones reciben el nombre de BLEVE (*Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion*). Se producen en tanques que almacenan líquidos o gases licuados a presión sometidos a una gran temperatura. Cuando se origina un incendio sobre el depósito (motivado por diferentes causas) se genera un aumento de presión en su interior, que repentinamente puede sufrir una bajada de presión por una ruptura o fuga del tanque o al ser atravesado por un proyectil o un fragmento. Esta bajada de presión es la causante de la nucleación espontánea, dando lugar a la evaporación de toda la masa del líquido de modo muy rápido.

Las BLEVE siguen unas pautas:

1. Escape del combustible con motivo de un accidente.
2. Este escape se pone en contacto con un punto de ignición (chispa, fuego, etc.) y se incendia calentando el depósito con el combustible.
3. Si tiene válvula de seguridad, se

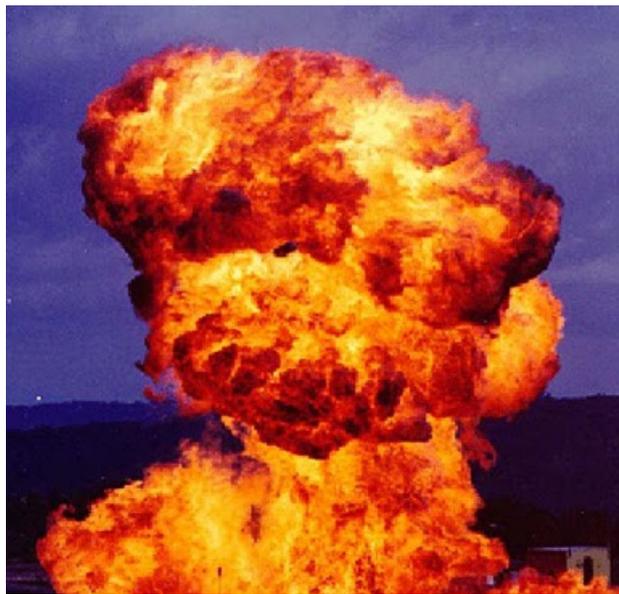


Fig. 1. Bola de fuego producida por una BLEVE.

abre para liberar presión y combustible.

4. Aumento de la presión y rotura de la pared del depósito (por disminución de la resistencia del material o perforación) produciendo la bajada repentina de presión. Este hecho junto con el líquido sobrecalentado genera la nucleación espontánea y la posterior combustión de todo el gas.

Entre las medidas que propone la NTP 294 (Norma Técnica de Prevención española), para incrementar la seguridad en los depósitos que contengan líquidos y gases inflamables se

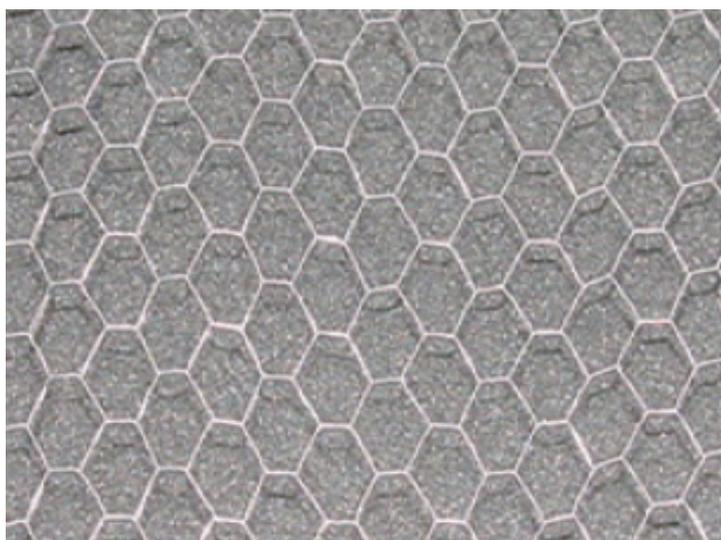


Fig. 2. Malla de aleación de aluminio formado por celdas hexagonales.



Fig. 3. Malla de aleación de aluminio en forma de rollo cilíndrico.

contempla:

- Limitar la sobrepresión excesiva mediante el diseño adecuado de válvula de seguridad y discos de ruptura, el control riguroso del nivel de llenado de los depósitos y la capacidad de vaciado rápido de los contenedores en riesgo.
- Limitación de temperaturas excesivas, mediante cubetas de retención, refrigeración de los recipientes con agua y aislamiento térmico de los depósitos.
- Prevenir roturas en las paredes de los depósitos mediante la observación o interposición de barreras contra impactos.

Existen una serie de sistemas retardantes de la nucleación espontánea, como son la utilización de espumas de poliuretano, geles retardantes de la nucleación y mallas o esferas metálicas.

La espuma de poliuretano es el sistema más utilizado. Desde hace varias décadas, se han fabricado espumas con tamaños de poros controlados con precisión que son capaces de proteger los tanques de combustible contra explosiones, mitigar ruidos y controlar el efecto de la agitación. Actualmente, estas espumas se encuentran instaladas en aviones militares de transporte y reconocimiento tales como el C130 Hércules y P3 Orión, aviones de combate tales como el F-4, F-5, F-14, F-15, F-18, A-10, A-37 y el T-1A de entrenamiento, así como en helicópteros, carros de combate y vehículos de transporte militar.

La aplicación de geles retardantes de nucleación es un área todavía en fase de experimentación. Cuerpos de bomberos han llevado a cabo pruebas y se han observado buenos resultados en



Fig. 4. Malla de aleación de aluminio en forma de esferas.

la adición al fluido combustible de ciertos geles, dispersados homogéneamente en toda la masa del líquido y que inhabilita las propiedades incendiarias y explosivas para que no entre en ignición.

Las mallas o esferas metálicas son los sistemas más novedosos. Consisten en un enrejillado metálico formado por láminas expandidas de una aleación de aluminio en forma de celdillas hexagonales, aplicado en el interior de los recipientes como un rollo cilíndrico o en forma de esferas o bolas (más práctico para depósitos de forma irregular). Las diferentes formas se muestran en las figuras 2, 3 y 4.

La red o las esferas metálicas actúan de modo que en caso de incendio, el calor recibido en la superficie del recipiente se distribuye por toda la masa del líquido y del gas, retrasando la aparición de fisuras en el depósito y por lo tanto retardando o anulando la nucleación espontánea.

Al lograrse una mejor distribución del calor recibido la presión no aumentará tan rápidamente como cuando se calienta mayormente la fase gas, debido a que la energía cinética de los gases disminuye al interponerse la red en su movimiento hacia las paredes. Además, si en el recipiente entrara aire formándose concentraciones dentro del campo de inflamabilidad, la malla de las celdillas actuaría a modo de apagallamas por dispersión del calor generado.

La norma NFPA69 americana "Standard on Explosion prevention systems" acepta el uso de espumas de poliuretano y de mallas metálicas como medidas preventivas frente a explosiones.

La malla metálica presenta una serie de ventajas con respecto a las espumas de poliuretano:

- Mayor vida útil.
- Mayor absorción del calor.
- Mayor temperatura de fusión y una



Fig. 5. Depósito similar al utilizado en las pruebas antes de ser sometido a fuego directo.



Fig. 6. Estado del depósito que no contenía la malla metálica en su interior después de haberlo sometido a fuego directo.



Fig. 7. Estado del depósito que contenía la malla metálica en su interior después de haberlo sometido a llamas directas.

- menor generación de residuos.
- Mayor facilidad de aplicación.
- Mayor facilidad de reparación de depósitos, ya que permite realizar procesos de soldadura.
- Menor capacidad de retención de líquido.
- Elimina las cargas electrostáticas.

Con respecto a los geles retardantes, la malla presenta las siguientes ventajas:

- Menor coste.
- Reduce la presión.
- Mayor vida útil frente a un solo uso del gel.
- Mayor reducción del movimiento de líquidos.

No obstante, este sistema (y de manera común en los demás) presenta una serie de aspectos susceptibles de mejora, como por ejemplo:

- Su relativo alto coste.
- Se pierde volumen real del recipiente (aproximadamente un 2%).
- Aumenta el peso muerto alrededor de 1 Kg por cada 3035 litros de

carburante (importante a la hora de aplicar en plataformas aéreas).

- Problemas de falta de fluidez cuando se utilizan líquidos viscosos.
- Complica las revisiones internas de los tanques.
- Los sistemas comunes de medición del nivel de combustible en depósito que consisten en flotadores tienen que ser sustituidos por otros sistemas.

La empresa española EXPLOSTOP ha patentado y desarrollado un proceso que mejora las características de este tipo de redes de aluminio y se han llevado a cabo, en el LQCA (Laboratorio Químico Central de Armamento), ahora Área de Armamento del ITM, unas pruebas para evaluar este sistema. Las pruebas realizadas fueron de calentamiento rápido (depósito sometido a fuego directo) y de impacto de bala.

Las pruebas se han realizado utilizando depósitos de aluminio y de chapa conteniendo como combustible gasoil (con un llenado de aproximadamente la mitad de la capacidad de

dichos depósitos). Los resultados de las pruebas han demostrado que mientras que en los depósitos sin rejilla metálica se producían violentas explosiones quedando éstos visiblemente dañados, en los que la contenían, apenas se producían pequeñas explosiones, ya que la llama no llegaba a la salida de los gases. Y es más, en algún caso en el que la llama llegó a la salida de los gases, se produjo un pequeño incendio, que debido al efecto apagallamas de la rejilla, con el tiempo consiguió extinguirse. En las pruebas con impacto de bala no se apreció una reacción de combustión a la salida de los gases.

En definitiva, se trata de un sistema, que si bien no llega a garantizar que no se vayan a producir explosiones en el 100% de los casos, en gran medida previene y evita que éstas se produzcan, mejorando la seguridad en los depósitos de almacenamiento de combustible y reduciendo la vulnerabilidad de los vehículos y, por tanto, aumentando la seguridad de sus ocupantes.

Análisis por Elementos Finitos del Tubo Cañón

Cap. Antonio Cantero Obregón, Jesús Pérez González, Ángel Mateo Palacios, Área de Armamento del ITM

One of the R+D programmes being run from the department of Armaments in the ITM, is the modeling and analysis of the behavior of gun barrels by means of codes of finite elements, including the simulation of the interior ballistic.

This programme originates from the Armed Forces need to reinforce the elements available for the investigation into the causes of accidents in arms systems in distinct army units. In practice, various possible accident or incident situations inside the gun barrel have been analysed, such as excessive gunpowder, excessive particle accumulation or a blockage in the bore.

Uno de los programas de I+D que se impulsan desde el Área de Armamento del ITM es la modelización y análisis del comportamiento de un tubo cañón mediante códigos de elementos finitos, incluyendo la simulación de la balística interior.

El origen de este programa se encuentra en la necesidad de reforzar los elementos de que se disponían para el estudio de las causas de accidentes en los sistemas de armas de dotación en las distintas unidades de los ejércitos. En la práctica se han analizado varias situaciones de posibles accidentes o incidencias en el interior del tubo tales como el exceso de pólvora de la munición, la acumulación excesiva de partículas o la presencia de un obstáculo en el ánima.

Para el análisis de los tubos, en una primera etapa, se ha utilizado un código explícito de elementos finitos en el que se ha simulado la interacción de un fluido (Euler) con elementos estructurales (Lagrange) con objeto de conocer el movimiento del proyectil dentro de un tubo de calibre medio y las cargas dinámicas que se generan.

A continuación se ha modelado, mediante la programación y el refinamiento de un algoritmo propio de generación de gases, la deflagración de la pólvora y su aplicación a la base del proyectil para obtener el adecuado impulso.

Con objeto de poder completar los estudios de defectos y accidentes, se ha incluido en el modelizado del tubo la siguiente casuística: variaciones de parámetros de la balística interior, modificaciones en las características mecánicas y dimensiones del material tanto del tubo como del proyectil y cambios de los efectos dinámicos del movimiento del proyectil empleando distintas temperaturas iniciales del tubo.

Otro aspecto considerado en el análisis ha sido el estudio térmico. Se ha analizado la carga térmica sobre el tubo debido a ráfagas cortas y secuencia continua de disparos y el posterior estudio estructural.

Adicionalmente, se ha modelizado el comportamiento cinemático de una espoleta de impacto y su acciona-

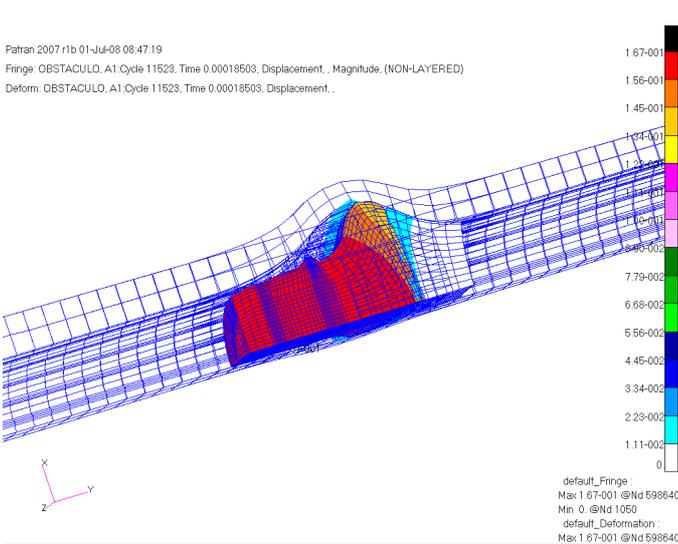


Fig. 1. Tubo cañón de 30 mm. Comportamiento de proyectil al pasar sobre un tubo abombado.

miento mecánico frente a distintas incidencias, como son fallo de armado por no alcanzar el número de revoluciones mínimas de diseño o los efectos del impacto del proyectil con otro elemento dentro del tubo, en el caso de alineamiento del tren de fuego y funcionamiento accidental de la cadena explosiva.

Como conclusión, se ha visto la gran utilidad de emplear este tipo de herramientas de análisis para completar los datos de cualquier estudio o informe sobre armamento. Como aportación se tiene capacidad y rapidez en el análisis de la problemática relacionada con los tubos o ante cualquier nece-

sidad relacionada con las armas y sistemas de armas.

Para disponer de una herramienta flexible que permita adaptarse a nuevas configuraciones, se ha abierto una nueva línea de trabajo sobre simulación del disparo de un lanzagranadas, con tubo conformado de materiales compuestos y técnica Davis basada en el principio de acción-reacción granada-contramasca. Los análisis de resistencia estructural y comportamiento térmico del tubo lanzador generan la posibilidad de obtener importantes reducciones de peso, permitiendo un conjunto más aconsejable desde el punto de vista logístico y operativo.

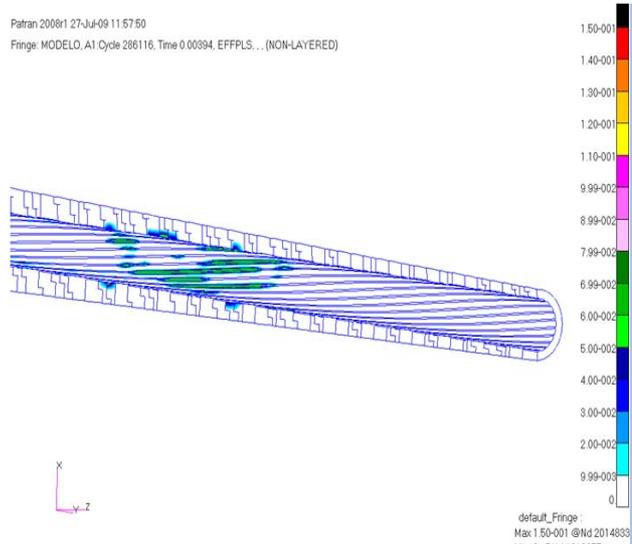


Fig. 2. Daños tras un impacto dentro del tubo.

Así mismo permite variar cualquier parámetro del sistema tubo-granada para conseguir una distinta configuración del conjunto según otras variables de diseño (velocidad de salida en boca de la granada, peso de la granada,...).

Para terminar, se ha visto la gran utilidad de emplear este tipo de herramientas de análisis para completar los datos de cualquier estudio o informe sobre armamento. Como aportación se tiene capacidad y rapidez en el análisis de la problemática relacionada con los tubos cañón o ante cualquier necesidad relacionada con las armas y sistemas de armas.

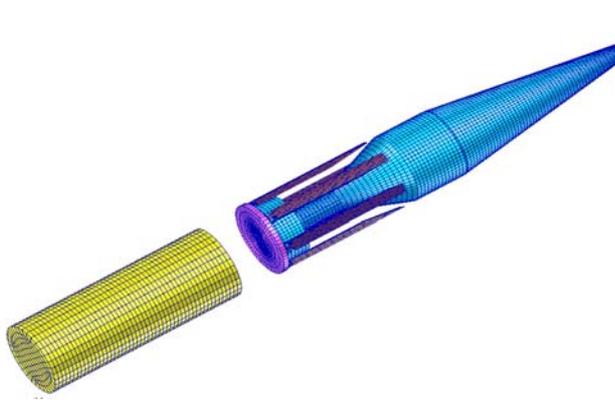


Fig. 3. Lanzagranadas de 90 mm. Sistema Davis. Granada y contramasca.

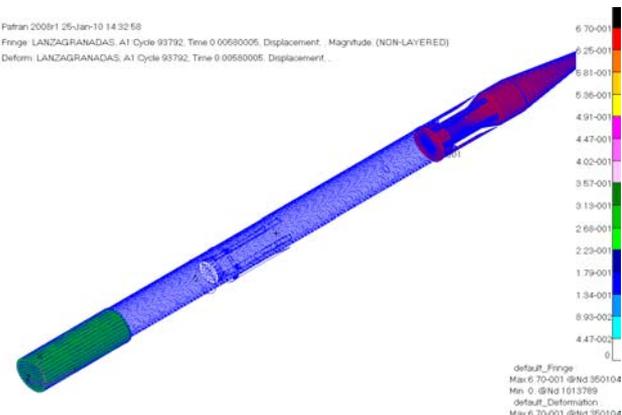


Fig. 4. Lanzagranadas de 90 mm. Sistema Davis. Tubo, granada y contramasca.

Detección de explosivos con DMA

Silvia López Vidal. Dpto I+D, RAMEM

This article shows the latest results obtained from a collaboration research project between the Spanish Ministry of Defence and RAMEM. The PETN (Proyecto Español de Técnicas Novedosas en detección de explosivos) project from the Coincidente program deals with the development of new analytical techniques to analyse and detect traces of military, civilian or homemade explosives, the latter mainly used in terrorist attacks. The instrument developed is a high resolution Differential Mobility Analyser (DMA) and it is a special kind of aspiration type Ion Mobility Spectrometer. Ion Mobility Spectrometers (IMS) are widely used in airports for the detection of traces of explosives and narcotics. DMA is based on the measurement of the same physical property as in IMS, the electrical mobility of the molecular ions of the analyte. Some of the advantages of the DMA technique are higher resolving powers than in commercial IMS, which can potentially deliver a lower false positive and negative rates, and higher sensitivity. The experiments described in this report are made using a new prototype patented and Ultra-Violet (UV) light as ion source. The development of the prototype has been made in company's facilities and tests have been made at the ITM. For the first time, nitro-based and homemade explosives have been detected using UV light and DMA. These results open a huge amount of possibilities either in explosives analysis or in detection for security.

Introducción

El Análisis Diferencial de Movilidad (DMA, siglas en inglés) y las técnicas relacionadas basadas en la medida de la movilidad eléctrica de iones moleculares tienen importancia tecnológica debido a las múltiples aplicaciones que pueden derivarse de su uso en muchos sectores en los que tradicionalmente se ha empleado la cromatografía o la espectrometría de masas (MS) como técnicas analíticas. El DMA presenta la ventaja de que puede utilizarse a presión atmosférica y con aire ambien-

tal como gas portador. Inicialmente el DMA y las técnicas relacionadas se conciben para el análisis de volátiles. Los ejemplos más estudiados son los asociados con la seguridad para detección de sustancias prohibidas tal y como pueden ser explosivos, marcadores de los mismos o drogas.

La tecnología DMA está basada en la clasificación de partículas nanométricas cargadas o iones en función de su movilidad eléctrica. Las técnicas basadas en movilidad eléctrica han cobrado un interés creciente en los últimos años debido a su gran sensibilidad, coste razonable y su capacidad de adaptación a procesos de monitorización en tiempo real. Debido a que no es necesario trabajar en alto vacío, tal y como sucede en MS, han sido muchas las aplicaciones surgidas para trabajos de campo.

La movilidad eléctrica se define como la relación entre la velocidad de deriva que adquiere una partícula (o una molécula) cargada a una presión cercana a la atmosférica en el seno de un campo eléctrico. Dependiendo de la masa de la molécula, de su volumen, de su forma y de la carga asociada al ión, diferentes moléculas presentan diferentes movilidades en presencia del mismo campo eléctrico y a la misma presión de gas circundante. En general, la movilidad eléctrica disminuye con la masa y el volumen (tamaño) del ion y aumenta con la carga del mismo. De esta forma, especies iónicas de la misma carga pero distinta masa, volumen o forma, se desplazan a distinta velocidad en un mismo campo eléctrico y, por tanto, se pueden diferenciar y detectar por separado. Éste es el principio en el que se basan las técnicas que utilizan la movilidad eléctrica para la detección y/o análisis de sustancias volátiles en el aire ambiente.

La aplicación tecnológicamente más madura de la detección por movilidad eléctrica es la Espectrometría de Movilidad Iónica de tiempo de deriva (drift-time-IMS). Los espectrómetros de movilidad iónica clásicos son conceptualmente análogos a los espectrómetros de masas de tiempo de vuelo (MS-TOF), en los que se detectan moléculas ionizadas también. Sin embargo existe una diferencia fundamental, que consiste en que los MS-TOF funcionan

en alto vacío, tanto en la fase en la que se ionizan las moléculas, como en la fase en la que se diferencian y se detectan. Por el contrario, en los IMS y DMAs todos los procesos se realizan a presión atmosférica, lo que implica ciertos requerimientos técnicos. Con respecto a la ionización de las moléculas, el hecho de realizarla a presión atmosférica en IMS o DMA, limita el tipo de fuentes de ionización que se pueden usar a solamente algunas de las disponibles en espectrometría de masas. Por lo tanto, es necesario desarrollar nuevas fuentes o modificar las existentes para poder utilizarlas en IMS o DMA.

En cuanto a la separación, también la circunstancia de trabajar a presión atmosférica conlleva problemas técnicos que es necesario resolver. Concretamente el hecho de generar iones a presión atmosférica comporta fenómenos de agregación de iones (*clustering*) que complican la interpretación de los espectros obtenidos puesto que se generan los iones de la molécula de interés, pero también se pueden formar aductos de éstos con moléculas de agua u otros interferentes que puedan interaccionar con las moléculas ionizadas. Si las concentraciones de analito son suficientemente altas pueden formarse dímeros o trímeros de las moléculas objeto de estudio. La detección a presión atmosférica también implica problemas técnicos como la imposibilidad de utilizar multiplicadores de electrones que permitan amplificar la señal, como suceden en espectrometría de masas. De este modo, las señales obtenidas (corrientes cedidas por los iones al ser detectados) corresponden al número de iones que impactan contra el colector por unidad de tiempo.

Como ventajas de las técnicas basadas en movilidad iónica con respecto a la espectrometría de masas, la principal es que no son necesarias bombas de alto vacío para evitar colisiones moleculares. Al poder analizar moléculas a presiones atmosféricas, los equipos IMS o DMA requieren un nivel de complejidad técnica mucho menor. Esta mayor simplicidad técnica, junto con la posibilidad de su uso a presión atmosférica, implica la posibilidad de que la técnica se pueda adaptar a su uso en campo. Otra de las ventajas de

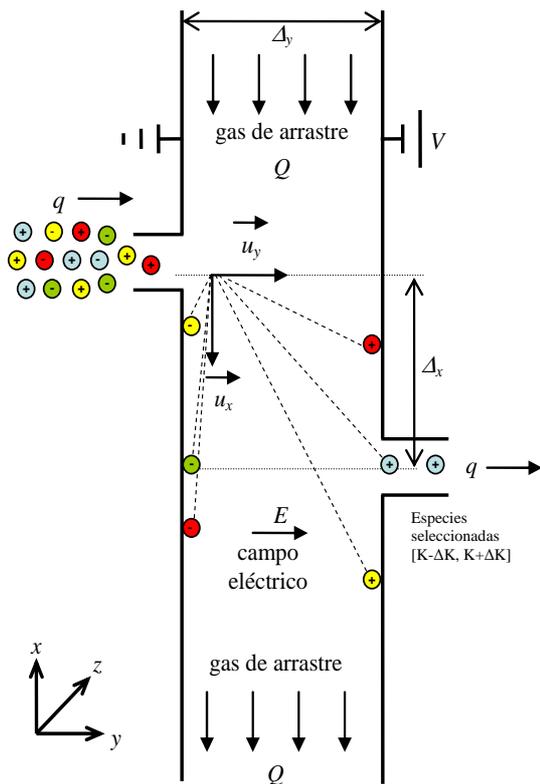


Fig. 1. Funcionamiento del DMA de electrodos planos desarrollado.

las técnicas basadas en movilidad eléctrica es la capacidad para separar isómeros puesto que la forma que presentan los iones es diferente y los tiempos de vuelo a presión atmosférica asociados también se distinguen.

Al igual que en IMS, la técnica de DMA también clasifica las moléculas en función de su movilidad eléctrica. Sin embargo, en DMA se separan las moléculas no en función del tiempo que tardan en llegar a un detector, sino que se inyectan los iones en un gas de arrastre, denominado sheath, que es perpendicular a un campo eléctrico. Los iones son deflectados de la trayectoria definida por las líneas de campo eléctrico por el caudal de gas, y en función de la relación caudal/campo llegan a un determinado lugar del electrodo a alta tensión. Cambiando las condiciones de campo y de caudal se pueden seleccionar los iones que llegan al detector. Si se realiza un barrido en una de las variables, típicamente el campo eléctrico, manteniendo la otra constante, se podrán elegir los

iones de una determinada movilidad para que lleguen al detector. La figura 1 muestra un esquema del funcionamiento de un DMA de electrodos planos desarrollado por RAMEM.

Las ventajas de los DMAs con respecto a los IMSs tradicionales son diversas. Una de ellas estriba en la capacidad de los DMAs de clasificar y detectar iones en continuo, a diferencia de los IMSs que trabajan en pulsos. Esta capacidad de trabajar en continuo hace que los detectores (que son electrómetros) funcionen durante todo el tiempo de estabilización de la señal (típicamente 3 veces el factor RC del electrómetro) en lugar de sólo durante una fracción de este tiempo, que es el tiempo en el que el obturador de iones está abierto. Por otro lado, los DMAs aceptan típicamente

hasta 10 veces más caudal de muestra que los IMS. Todo esto hace que la sensibilidad sea mayor para los DMAs que para los IMSs. También el uso de altos caudales de sheath y altos campos eléctricos proporciona a los DMAs una mayor resolución. Por otro lado, el precio a pagar por estas mejores prestaciones es la necesidad de generar altos caudales de gas de arrastre de los iones a través del DMA (gas de sheath) en condiciones laminares.

Técnicas de ionización

Para poder separar las diferentes moléculas según el campo eléctrico, es necesario ionizarlas y para ello se pueden emplear múltiples métodos. Cuando el DMA o el IMS se utilizan para el análisis de volátiles, normalmente se manejan fuentes de ionización radiactiva, si bien se están buscando alternativas dados los problemas legales y de salud laboral que dichas fuentes llevan asociados. Dos de los sistemas de ionización que pueden

sustituir a la ionización mediante fuentes radiactivas, son la fotoionización y la ionización mediante descarga de corona, ya sea directa o indirecta.

La fotoionización implica el uso de una fuente de radiación ultravioleta para provocar la ionización de los volátiles. En este caso, los volátiles se ionizan, en general, perdiendo un electrón y por tanto mayoritariamente se producen iones positivos. El último electrón de las moléculas está ligado a éstas mediante fuerzas que dependen de la constitución de la propia molécula, de modo que la energía proporcionada por la radiación será capaz de ionizar algunas moléculas mientras que otras quedarán inalteradas. Esta propiedad puede utilizarse de manera ventajosa para ionizar las moléculas de interés de forma selectiva, de este modo la clasificación en el DMA será más fácil puesto que habrá menos iones diferentes que clasificar. En particular se pueden encontrar ciertas lámparas de cátodo hueco de 10,6 y 9,5 eV que ionizan gran cantidad de gases y volátiles presentes en el aire, sin ionizar los componentes principales de éste (N_2 , O_2 , CO_2 , H_2O , Ar).

Es importante destacar que para la detección de explosivos con IMS se emplean fuentes radiactivas, fuentes de descarga corona o electro spray además de emplearse gases dopantes que aumenten la selectividad de la ionización. No se ha encontrado en la bibliografía ningún caso en el que se haya empleado radiación UV para la detección de explosivos. Por las ventajas que presenta, se ha empleado esta técnica y, por lo que se conoce, es la primera vez que se ha conseguido.

La tecnología DMA

En las instalaciones de la empresa y utilizando un equipo diseñado y fabricado por la misma compañía, se están llevando a cabo diversos proyectos de investigación que tienen por objetivo detectar sustancias peligrosas tales como explosivos, agentes de guerra química o drogas en concentraciones de trazas. En el campo de análisis de volátiles también se está trabajando en el análisis de contaminantes orgánicos que normalmente están presentes en ambientes públicos cerrados y que pueden ser perjudiciales para la salud de las personas.



Fig. 2. DMA modelo X2 diseñado y construido en RAMEM.

El DMA desarrollado consta de dos electrodos planos paralelos, entre los que se establece una diferencia de potencial V (véase figura 1). En el DMA entra, a través de una ranura practicada en el electrodo a tierra, un flujo determinado de especies iónicas con movilidades comprendidas en un intervalo. En el interior del DMA las especies migran bajo la acción del campo eléctrico externo E y del gas de arrastre o sheath Q , de forma que, para un caudal Q , sólo las especies de determinadas movilidades alcanzan el detector que se halla en el electrodo opuesto al de entrada y situado a una distancia Δx aguas abajo de la ranura de entrada a un caudal q .

El DMA opera a presión atmosférica por lo que la resolución del instrumento puede verse afectada por la difusión Browniana, debido a las colisiones de los iones con las moléculas del gas de sheath. Para limitar el efecto de la difusión, los DMAs se diseñan para operar en condiciones de flujo laminar y se optimizan ajustando diversos parámetros, como la tensión V , o los caudales de gases. Estos instrumentos presentan un sofisticado diseño aerodinámico y para su fabricación se emplean técnicas de mecanizado de alta precisión.

El DMA IONER X1 para el análisis de iones alcanza una resolución de 50 para iones de movilidad en torno a $1\text{cm}^2/V\cdot\text{s}$ ($\sim 1\text{ nm}$) con caudales del gas de sheath del orden de 800 lpm.

El DMA no sólo proporciona resultados cualitativos, es decir un espectro o huella dactilar de un tipo de moléculas, sino que también proporciona resultados cuantitativos. Esto es posible puesto que la señal que se

obtiene en el DMA para un analito es proporcional a la concentración de dicho analito en la muestra, pudiendo así cuantificarse la cantidad contenida en una muestra a partir de la intensidad de señal que presenta su espectro.

Experimentos de detección de explosivos en ITM

Una vez diseñado el prototipo de DMA para el análisis de explosivos, y empleando una lámpara de UV como fuente de iones, se han llevado a cabo pruebas en los laboratorios del Instituto Tecnológico La Marañosa (ITM) del Ministerio de Defensa. El ITM proporcionó diversos explosivos para comprobar la respuesta cualitativa del DMA a estas muestras.

Con respecto a la introducción de muestra, el analito se sitúa en un vial pequeño similar a los empleados en electroforesis capilar, que a su vez se introduce en un frasco de Pyrex con un tapón y dos tubos de PTFE que se introducen mediante pasamuros herméticos. El montaje puede verse en la figura 3. Por uno de los tubos se introduce el gas portador que barre el espacio de cabeza del frasco de Pyrex y que sale por el otro tubo de PTFE dirigiéndose al DMA, en el cual únicamente se introducen los iones generados mediante ionización UV. Entre dos medidas consecutivas se realiza siempre la medida de un blanco (aire sintético) para comprobar la ausencia de contaminaciones cruzadas. Cuando no se recupera el blanco se procede a la limpieza del sistema de introducción de muestra. Es necesario destacar que la totalidad del análisis y del muestreo se realiza a temperatura ambiente. Posteriores desarrollos del prototipo implicarían



Fig. 2. Sistema de introducción de muestra para análisis de espacio de cabeza mediante UV.

sistemas calefactados tanto en el muestreo como en el instrumento para poder analizar los explosivos de menores presiones de vapor.

En los experimentos realizados en el ITM, se han detectado diversos explosivos por primera vez utilizando ionización UV y DMA para la posterior detección de iones. Se muestran en la figura 4 los espectros resultantes de analizar el espacio de cabeza del vial contenedor de explosivos basados en grupos nitro, como el nitrotolueno (NT), pólvora (nitroglicerina, NG y nitrocelulosa), trinitrotoueno (TNT) o dinitrotolueno (DNT). Tal y como puede observarse en esta figura, para algunos de los explosivos, se obtienen espectros tanto en polaridad positiva como en polaridad negativa, lo que facilita su reconocimiento. En la figura 5 se muestran los espectros resultantes del análisis de explosivos caseros, concretamente TATP y HMTD, que también presentan espectros claros tanto en modo positivo como en modo negativo. Con el fin de obtener espectros puros y evaluar la respuesta cualitativa del prototipo, se ha empleado N_2 como gas portador.

Una vez realizado un primer estudio cualitativo de los espectros resultantes del análisis del espacio de cabeza de viales conteniendo los diversos explosivos, se han realizado pruebas ciegas de reconocimiento de explosivos. De las sustancias detectadas se han asignado correctamente el 100% de las muestras. Es conveniente remarcar que una de las muestras se identificó como DNT cuando en realidad era TNT. Sin embargo, al no poder conocer la antigüedad de la muestra y por el proceso de descomposición que sufre

el TNT, éste podría contener DNT, por lo que se considera válida la identificación. Las sustancias que no han sido detectadas corresponden a los explosivos con menores presiones de vapor, y será necesario emplear temperaturas superiores para comprobar si estas sustancias también son detectadas. También, una disminución de las pérdidas de iones o bien mejoras en la sensibilidad de los electrómetros pueden proporcionar resultados positivos en la detección de explosivos con menores presiones de vapor.

Conclusiones

En primer lugar, y desde el punto de vista general, cabe destacar que en el marco del proyecto se ha diseñado y construido un prototipo de DMA con un poder de resolución de en torno a 50, siendo el poder de resolución de los equipos comerciales de IMS de en torno a 20. Esta mejora pone las bases para reducir la tasa de falsos positivos y negativos con DMA y aumentar la fiabilidad de la medida.

Por otra parte, se han detectado diversos explosivos muestreando el espacio de cabeza de un vial contenedor de los mismos, sin que se haya realizado ninguna preparación de muestra. Únicamente se ha analizado la composición del gas del contenedor en el que se han situado los explosivos y se han detectado aquellos que tienen la mayor presión de vapor.

Se han detectado por primera vez diversos explosivos, tanto basados en

grupos nitro como explosivos caseros, utilizando ionización UV y DMA. Este hecho es muy importante puesto que se ha demostrado la estabilidad de los iones positivos para algunos de los nitro-explosivos y por tanto se abre la posibilidad de que puedan detectarse en modo positivo además de en modo negativo. Por otra parte, se ha demostrado que la ionización mediante radiación UV es una alternativa a la ionización radiactiva que debe ser considerada para la detección de explosivos tanto en modo positivo como en modo negativo.

Una vez realizado un análisis cualitativo de los explosivos disponibles, se han analizado muestras ciegas, es decir, muestras de las que se desconocía su composición. Para estas muestras se ha efectuado posteriormente una comparación con la base de datos de espectros de explosivos obtenida a partir de los explosivos suministrados por el ITM.

Los prometedores resultados obtenidos utilizando radiación UVA como fuente de iones y DMA como detector, refuerzan el interés por continuar la investigación iniciada, especialmente para explosivos de menores presiones de vapor empleando calentamiento. Como áreas que serían objeto de posteriores desarrollos se puede citar el estudio de la influencia del gas portador en los espectros, el estudio de las interferencias, el estudio del uso de gases dopantes para la ionización

selectiva y por último el estudio del empleo de membranas de muestreo para el análisis del aire ambiental. Una vez completo un primer estudio cualitativo de los explosivos, habría que abordar los aspectos cuantitativos con objeto de comprobar la posibilidad de realizar un análisis cuantitativo on-line del aire para comprobar no solo si hay trazas o no de explosivos, sino en qué proporción.

Teniendo en cuenta que los espectros de los explosivos son parecidos en muchos de los casos, vuelve a ponerse de manifiesto la importancia de tener un buen poder de resolución para poder diferenciar picos con movilidades muy próximas y así poder distinguir entre explosivos o bien entre explosivos y posibles interferentes en una muestra. Tal y como se ha mencionado en este artículo, los poderes de resolución alcanzados por los DMAs son de más del doble que los alcanzados por IMSs comerciales, por lo que se confirma el potencial de los DMAs como posibles sustitutos o complementos a los IMSs comerciales.

Agradecimientos

Este proyecto ha sido parcialmente financiado por el Ministerio de Defensa de España y el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio bajo el proyecto español de Técnicas Novedosas en Detección de Explosivos (PETN). Especial agradecimiento al ITM y a la Subdirección General de Tecnología y Centros de la DGAM por el apoyo recibido para la realización del proyecto.

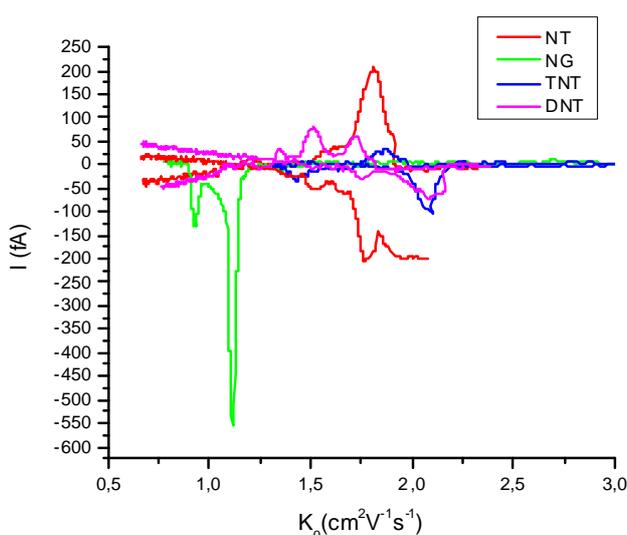


Fig. 4. Espectros en polaridad positiva y negativa de explosivos basados en grupos nitro analizados mediante fotoionización y DMA.

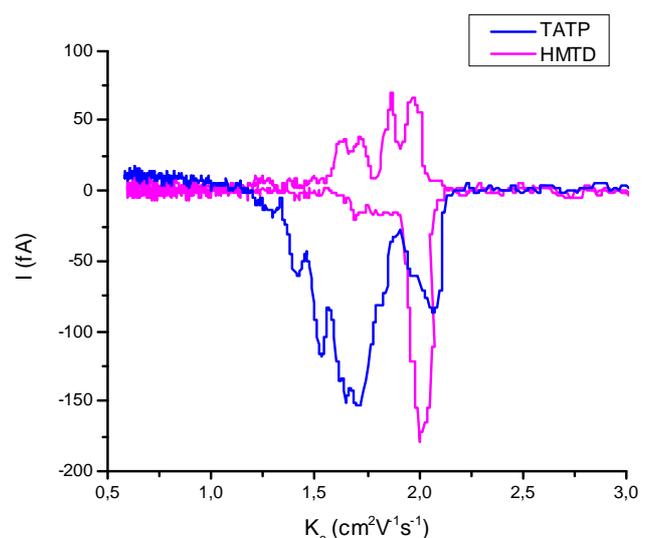


Fig. 3. Espectros en polaridad positiva y negativa de explosivos de fabricación casera analizados mediante fotoionización y DMA.

Detección e identificación de material nuclear y radiológico

Angélica Acuña Benito, OT NBQ

The increased cross-border traffic of people and goods due to globalization, has led to an increased risk in the smuggling of radioactive materials for terrorist purposes. As a result, it has been necessary to reinforce security measures for protection at border points (ports, airports, land borders) and critical infrastructures through the acquisition of radiation detectors, as well as increasing the investment in research activities to improve the technologies currently in use. In this article a review of identification and detection technologies currently in use and incorporated into field equipment, as well as future technological trends in this area are carried out.

Actualmente, la principal amenaza de uso de armas nucleares es el uso de dispositivos de dispersión radiológica (DDR), también conocidos como "bombas sucias". Los DDR son fáciles de fabricar puesto que consisten en un explosivo convencional adosado a un recipiente de material radiactivo de forma que al explotar se produzca la mayor dispersión posible del material radiactivo provocando daños en la

salud de las personas expuestas o la inutilización de infraestructuras debido a la contaminación. Esta amenaza se ha incrementado en los últimos años como consecuencia de la globalización que ha supuesto un incremento en el tráfico transfronterizo de personas y bienes, y del riesgo de contrabando de elementos radiactivos para propósitos terroristas. Esto ha supuesto que, las medidas de seguridad para protección de infraestructuras críticas, puertos, aeropuertos, fronteras terrestres, etc., se han visto reforzados a través de la adquisición de equipos de detección de la radiación.

Los dispositivos empleados para la detección de la radiación ionizante (alfa, beta, gamma y neutrónica) son genéricos y se basan fundamentalmente en el conocimiento de la interacción de la radiación con la materia. Las radiaciones depositan energía en los materiales, principalmente a través de la ionización y excitación de sus átomos, pero también puede haber emisión de luz, cambio de temperatura, o efectos químicos, todo lo cual puede ser un indicador de la presencia de radiación.

En este artículo se van a repasar las diferentes tecnologías actualmente en uso para la detección de material radiológico y nuclear y señalar cuál es la tendencia futura en esta área.

Tipos de detectores

Los detectores de radiación ionizante se pueden clasificar según el fenómeno físico de funcionamiento, el tiempo de respuesta, atendiendo a su uso y desde el punto de vista operacional.

a) Fenómeno físico de funcionamiento. Principalmente se distinguen dos tipos: por ionización o por excitación.

- **Detectores por ionización.**

Son básicamente recintos cerrados que contienen en su interior un material aislante (un gas o un semiconductor). Cuando la radiación atraviesa este material provoca la ionización de sus átomos, de forma que al someterse a un campo eléctrico se producen iones cargados que pueden ser medidos y por tanto se puede conocer la intensidad de la radiación. En este tipo se incluyen las cámaras de ionización, los contadores proporcionales y los detectores Geiger-Muller (G-M) y los semiconductores. Las *cámaras de ionización* detectan partículas en el aire y pueden medir el número de iones en un medio si bien no son sensibles a niveles bajos de energía. Los *contadores proporcionales* son muy versátiles, y utilizan mucho en protección radiológica y metrología de radiación. Los *detectores G-M* son ampliamente utilizados debido a su bajo coste y robustez, aunque no sirven para cuantificar. Por último, los *semiconductores* el Germanio, para detección de radiación gamma, y el Silicio, para detección de partículas alfa.

- **Detectores por excitación.**

Se basan en el uso de materiales luminiscentes o "centelleadores", capaces de emitir luz al ser excitados cuando absorben la energía de la radiación. Cuando el material se desexcita emite luz visible que se transforma mediante un fotocátodo en señal eléctrica, que es directamente proporcional a la cantidad de energía absorbida en la sustancia luminiscente, por lo que además de detectar las partículas permite medir el número de iones en el medio. El material luminiscente puede encontrarse en estado sólido o líquido. Estos materiales normalmente son el Yoduro Sódico con trazas de Talio, para la detección de rayos gamma, y el Sulfuro de Zinc con trazas de Plata, para detección de partículas alfa. Los detectores de



Fig.1. Simulacro atentado con bomba sucia en París.
(Ref. www.observadorglobal.com/adjuntos/1542.jpg)

excitación sólidos se emplean en detectores portátiles, mientras que los líquidos se emplean en Medicina, principalmente en Radioinmunología. Sin embargo, estos detectores son sensibles a la filtración de luz y dependientes de la energía.

b) Según el tiempo de respuesta, pueden ser:

- **Inmediatos.** Aquellos que dan una respuesta inmediata. En esta categoría se encuentran las cámaras de ionización, los contadores proporcionales, los tubos G-M, los semiconductores, y los detectores de centelleo.

- **Retardados.** Son aquellos que requieren de un tiempo para obtener la respuesta. En este grupo se encuentran los dosímetros de película fotográfica y los termoluminiscentes.

c) *Atendiendo a su uso*, los detectores pueden ser:

- **Dosímetros**, miden la exposición a la radiación. Pueden ser personales (monitorización del personal) o de área (mide la radiación del ambiente). Los dosímetros personales son equipos de vigilancia personal que miden la dosis acumulada de radiación por el personal durante un periodo de tiempo. Los más empleados hasta el momento son los de película fotográfica y las cámaras de ionización de bolsillo. Sin embargo, actualmente existe un gran interés por los termoluminiscentes y los digitales. En los primeros, los materiales más empleados son el fluoruro de litio o el fluoruro de calcio, y los digitales, generalmente emplean detectores G-M.

- **Contadores o monitores**, miden la contaminación y la tasa de exposición. Normalmente se emplean cámaras de ionización, si los niveles de radiación esperados son altos, y detectores G-M y de centelleo si los niveles son bajos. Los contadores proporcionales se emplean para la detección de neutrones, para la medida de contaminación superficial y para la medida de radiación beta-gamma.

- **Espectrómetros**, miden la energía de la radiación incidente, por lo que, además de detectar, identifican el tipo de material.

d) Desde el punto de vista operacional, los detectores pueden ser:



Fig. 2. Ejemplos de detectores de radiación ionizante.

- **In situ o puntuales**, que permiten la detección sobre superficies, materiales o personal en puntos concretos.

- **Standoff o a distancia**, permiten la detección a distancia desde cientos de metros a kilómetros, advirtiendo de la proximidad de nubes contaminadas.

- **Remotos**, son detectores puntuales o a distancia que se manejan en remoto, evitando la exposición del personal a la contaminación.

Los detectores, a su vez, pueden estar integrados en sistemas portátiles para alerta temprana, sistemas fijos o desplegables, para protección de infraestructuras críticas (normalmente, son portales fijos, desplegables o sistemas de imagen remotos) o en sistemas móviles, normalmente empleados en reconocimiento de áreas contaminadas.

Los detectores convencionales, basados en el principio de la "detección directa", requieren la entrada en el campo de la radiación para llevar a cabo la detección. Esto implica la exposición del personal a la radiación. Por tanto, disponer de capacidad para detectar la radiación a distancia evitaría la exposición directa del personal. Actualmente, las tecnologías empleadas para la detección a distancia e incorporadas en algunos prototipos y demostradores son técnicas de Es-

pectroscopia gamma, radar de ondas Milimétricas y detectores de imagen en el UV, que operan en remoto.

Sin embargo, actualmente no existe ningún equipo comercial disponible que aporte esta capacidad por lo que son numerosas las líneas de I+D en marcha relacionadas con este aspecto y centradas en la búsqueda de métodos de detección indirecta, donde lo que se mide es la emisión luminosa consecuencia del efecto de la radiación en el aire circundante a la fuente de radiación.

Identificación de material radiológico y nuclear

La identificación de los radionucleidos se lleva a cabo a través de técnicas de espectrometría alfa, espectrometría gamma y de separación radioquímica. Tanto la espectrometría alfa como la separación radioquímica son dos técnicas analíticas de laboratorio, aún no implementadas para su uso en campo. Actualmente, los equipos de identificación de campo disponibles están basados en espectrometría gamma.

La espectrometría gamma es una técnica muy eficaz que permite determinar la energía y la intensidad de los fotones procedentes del material radiactivo cercano al detector. La espectrometría gamma se basa en que la respuesta del detector es proporcional a la energía del rayo gamma detectado, lo que permite obtener su es-

en profundidad

pectro de energías. Los factores que determinan el espectro de energía son el tipo de detector utilizado (centelleo sólido o semiconductor), la energía de la radiación, el tamaño del detector, los materiales que se emplean en el blindaje, etc.

Tradicionalmente, la espectrometría gamma se asociaba a detectores de *centelleo sólido*, con cristales de Yoduro de Sodio activado con Talio. Sin embargo, actualmente han empezado a asociarse con Semiconductores (Silicio, Germanio, Teluro de Cadmio, Yoduro de Plomo y Yoduro de Mercurio), lo que ha permitido una mejora en cuanto a su eficiencia debido a su elevado poder de resolución. Recientemente, se ha conseguido un poder de resolución

aún superior con los últimos detectores semiconductores que han salido al mercado, los detectores de Germanio hiperpuro (HPGe).

Tendencias Futuras

En los últimos años se ha realizado un gran esfuerzo en la mejora de las tecnologías de detección convencionales en cuanto a:

- Búsqueda de detectores de bajo coste.
- Incremento de la eficacia y resolución de energía de los equipos de detección basados en tecnologías tradicionales (centelleo, semiconductores, tubos G-M, etc.), disminuyendo la frecuencia de falsas alarmas y el tiempo necesario para llevar a cabo la

detección.

- Incorporación de métodos activos y pasivos para la discriminación entre neutrones y rayos gamma.

- Mejora de la potencia y de la resolución espectral así como la disponibilidad del material sensor en volúmenes significativos. Se están probando nuevos cristales de centelleo como el *Bromuro de Lantano*, que es un cristal de centelleo de reciente desarrollo que mejora la eficiencia óptica del Yoduro de sodio y que tiene mayor potencia. Sin embargo no está disponible en grandes volúmenes y es mucho más caro. Así mismo, los semiconductores a temperatura ambiente como el *Teluro de Zinc* y *Cadmio*, disponibles en pequeños volúmenes, tienen una alta potencia, y su pequeño tamaño y su posible integración en sensores arrays le permite tener una aplicación potencial en detectores personales para la identificación del isótopo y la dirección en la que se encuentra la fuente radiactiva.

- Desarrollo de software y de algoritmos para la evaluación de imágenes que permitan detectar anomalías en las imágenes de video-vigilancia, de forma que se reduzca el tiempo necesario para la inspección y las falsas alarmas.

- Mejora de la sensibilidad de los portales fijos y móviles empleados para la inspección de contenedores y vehículos.

No obstante, el principal reto a superar en esta área es la obtención de capacidad de detección a distancia. El único tipo de radiación que se detecta a través de equipos a distancia es la radiación gamma y la neutrónica, ya que el rango de energía de las partículas alfa y beta es demasiado pequeño para contribuir a la detección directa. Recientemente, se han logrado avances en tecnologías no tradicionales para la detección de radiación ionizante, que ofrecen el potencial para el desarrollo de sistemas de detección a distancia que permiten la mejora de los requisitos militares para misiones de contraterrorismo, vigilancia y alerta temprana. Los proyectos actualmente en marcha están dirigidos principalmente al desarrollo y obtención de sistemas activos o pasivos móviles, para su integración en todo tipo de plataformas (vehículos, UGVs

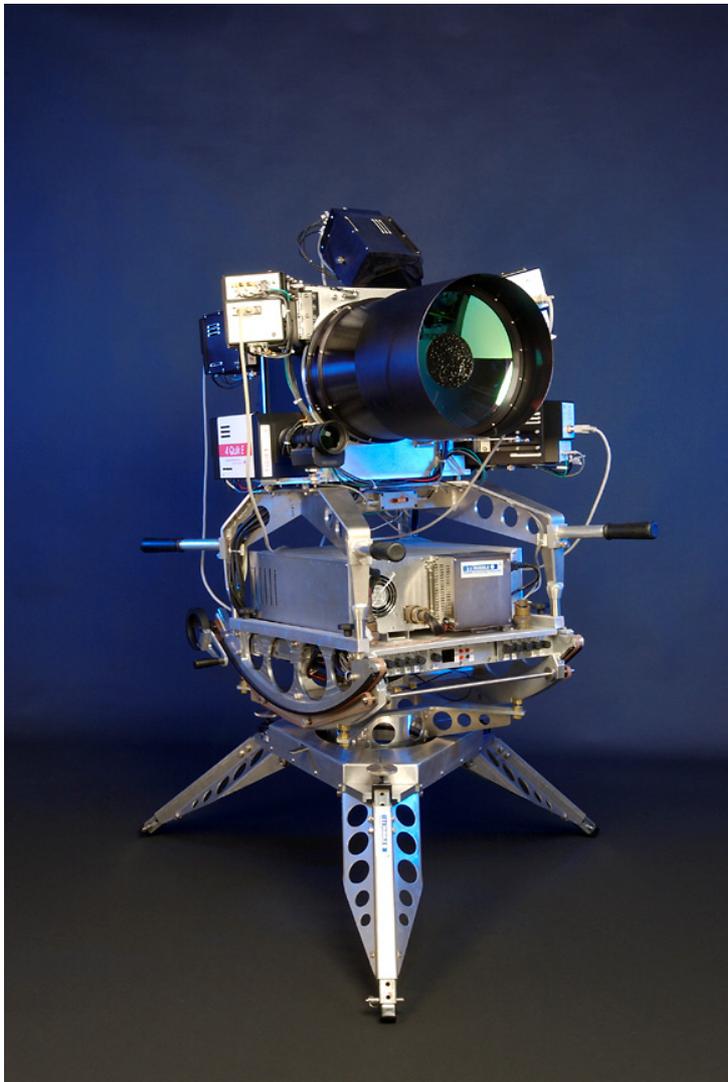


Fig. 3. Prototipo del sistema multispectral de detección pasiva a distancia, SMSI, desarrollado por el DRDC. (Ref. CBRNE World, ed. winter 2006)

o robots, UAVs, aviones, helicópteros, etc.).

En este sentido, hay que destacar el trabajo que se ha realizado en el marco de la OTAN, a través del grupo de trabajo **NIAG SG 112**, que ha revisado el estado de arte de las tecnologías con mayor potencial en la detección a distancia de material radiológico, distinguiendo entre tecnologías de alta, media o baja prioridad a su potencial aplicación en esta área. El principio básico de la detección en la que se basan las tecnologías revisadas en este estudio ha sido:

- Detección de los efectos secundarios en los materiales circundantes como la fluorescencia o excitación consecuencia de la ionización por parte de la radiación.
- Detección de las especies químicas nuevas producidas en las zonas circundantes a la fuente.
- Detección del incremento de la temperatura debida a la absorción de radiación.

Entre las tecnologías consideradas como de **alta prioridad** se encuentran aquellas consideradas como muy prometedoras y cuya incorporación en un sistema de uso en campo se realizaría a corto plazo. Estas tecnologías basan su detección en la medida de los efectos de la radiación sobre su alrededor (normalmente sobre la atmósfera), la medida de las propiedades del material radiactivo o de las emisiones del material circundante que son inducidas por la emisión de la muestra o de manera externa. Entre estas tecnologías se encuentran:

- Aquellas con potencial aplicación en la detección a distancia de material

radiológico, y que basan su detección en el efecto de la radiación en los materiales circundantes, que son, entre otras, la espectrometría infrarroja con transformada de Fourier (FTIR), *Light Detection and Ranging*, LIDAR, por absorción diferencial (DIAL), fluorescencia inducida por láser (LIF), o la determinación de las densidades de electrones libres por Radar.

Otra tecnología prometedora, cuyo principio de detección reside en las propiedades del material radiactivo, está basada en el uso de los calixarenos. Se trata de moléculas orgánicas que se unen selectivamente a elementos específicos, de forma que permiten su detección a distancia de forma pasiva sobre viento o flujos de agua.

- Otras consideradas de alta prioridad y cuyo principio de detección se basa en la medida de las emisiones del material circundante, inducidas por la emisión de la muestra o de manera externa. Principalmente, son la Fluorescencia inducida en el aire por la radiación, Centelleo de los materiales circundantes, Firma Térmica de la radiación o la detección por Microondas Pasiva.

En cuanto a las tecnologías consideradas con **prioridad media**, son aquellas que aun siendo prometedoras sus aplicaciones están limitadas, y por tanto se recomienda su investigación. En esta categoría se encontraban entre otras la Espectroscopia de plasma inducida por láser (LIBS) o la luminiscencia por estimulación óptica.

Por último, el estudio enumera una serie de tecnologías de **baja prioridad**, que aun mostrando alguna ventaja, se encuentran o bien limitadas en su aplicación o bien su uso está muy ligado a

las condiciones y, por tanto, la inversión en ellas sólo se realizaría en función de la disponibilidad de recursos. Estas tecnologías podrían obtenerse a largo plazo (10-20 años) y entre ellas se encuentran la tomografía muónica de rayos cósmicos o interrogación activa con muones.

Como conclusión final, se puede señalar que la necesidad de mejorar la seguridad en espacios fronterizos, infraestructuras críticas, etc., hace prever una elevada demanda de portales de monitorización de la radiación a corto-medio plazo. Por tanto, existe una gran inversión y esfuerzo en actividades de I+D en este sentido, y principalmente orientadas hacia el uso de cristales de yoduro de sodio y de germanio, como medios para la detección de la radiación, en combinación con los últimos avances en algoritmos de detección y de software. El uso de yoduro de sodio en la detección de la radiación no es una tecnología nueva. Sin embargo, la combinación de esta tecnología robusta con los avances en el software, permitirá una nueva generación de portales de monitorización capaces de utilizar la espectroscopia para identificar el isótopo específico que se está detectando. De igual modo, el empleo de germanio permitirá la optimización de la sensibilidad y la probabilidad de detección, y por tanto una disminución de las falsas alarmas. La eficacia del germanio es superior a la del yoduro de sodio ya que la capacidad de detección es mayor y además permite la obtención y representación del espectro nuclear completo. Sin embargo, son más caros y difíciles de utilizar y mantener en campo.

agenda

Jornada tecnológica: “Sistemas de generación de energía y eficiencia energética en operaciones internacionales”

La jornada es una iniciativa de la Subdirección General de Tecnología y Centros (SDG TECEN), con el fin de incentivar la integración de nuevas tecnologías de generación de energía y mejora de la eficiencia energética en el contexto de las misiones internacionales que desarrollan las Fuerzas Armadas.

La jornada tendrá lugar el 3 de noviembre de 2010 en el Instituto Tecnológico “La Marañosa” (San Martín de la Vega, Madrid).

Inscripciones, antes del 29 de octubre, en: observatecno@oc.mde.es



Boletín de Observación Tecnológica en Defensa

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