Boletín DE OBSERVACIÓN TECNOLÓGICA EN DEFENSA

DIRECCION GENERAL DE ARMAMENTO Y MATERIAL
ARMAMENTO Y MATERIAL

SUBDIRECCIÓN GENERAL DE TECNOLOGÍA Y CENTROS
Boletín de Observación Tecnológica en Defensa nº 22 • 1er Trimestre de 2009

Metamateriales
Vulnerabilidad de Plataformas

- Novedades en Link 22
- Biocombustibles de Nueva Generación
- Sistemas de detonadores sin explosivo primario

boletín de observación tecnológica en defensa nº 22

Nodo Gestor (NG)
C.F. Ing. José María Riola Rodríguez
SDG TECEN C/ Arturo Soria 289
Madrid 28033
jriorod@fn.mde.es

Observatorio de Armas, Municiones, Balística y Protección (OT AMBP)
T.Col. CIP Nicolás Braojos López
nbraojos@oc.mde.es

Observatorio de Electrónica (OT ELEC)
C.N. Ing. Arturo Montero García
amonterog@oc.mde.es

Observatorio de Energía y Propulsión (OT ENEP)

Observatorio de Defensa NBQ (OT NBQ)
T.Col. Alfredo Fernández López
aferlop@oc.mde.es

Observatorio de Materiales (OT MAT)
Cte. CIESO Jesús M. Aguilar Polo
jaguilarp@oc.mde.es

Observatorio de Óptica, Optrónica y Nanotecnología (OT OPTR)
Ing. D. Fernando Márquez de Prado Urquía
fmarquezu@oc.mde.es

Observatorio de UAVs, Robótica y Sistemas Aéreos (OT UAVs)
Ing. D. José Ramón Sala Trigueros
jsaltr1@oc.mde.es

Observatorio de Sistemas Terrestres y Navales (OT STN)
Col. CIP Manuel Engo Nogués
mengnog@et.mde.es

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

www.mde.es/dgam/observatecnoF.htm

Edita:

GOBIERNO DE ESPAÑA · MINISTERIO DE DEFENSA · SECRETARÍA GENERAL TÉCNICA · SUBDIRECCIÓN GENERAL DE DOCUMENTACIÓN Y PUBLICACIONES

NIPO: 076-09-042-9

Depósito legal: M-8179-2009

Autor: Sistema de Observación y Prospectiva Tecnológica, Subdirección General de Tecnología y Centros de la DGAM.

DGAM
Subdirección de Tecnología y Centros

CONTENIDOS

3 Editorial

4 Actualidad

Agencia Europea de Defensa (EDA)

4 Modelización y simulación numérica de escenarios NBQ
5 Sesión Informativa: los JIPs de la EDA
5 CapTech ESM-04 Human Factors and NBC Protection
6 Las estrategias de la EDA

OTAN

7 Munition Safety & Standardization Database MSAS–08

Otras noticias

8 II Jornadas de Interoperabilidad del ET: TACOMS
9 Novedades Link-22

9 Enlaces de interés

10 Tecnologías Emergentes

10 Sistemas de detonadores sin explosivo primario
11 Biocombustibles de nueva generación

13 En profundidad

13 Los metamateriales
16 Vulnerabilidad de plataformas

En enero de 2009 se ha iniciado un nuevo ciclo de Planeamiento de la Defensa, 2009-2012. El ciclo de planeamiento precedente, 2005-2008, ha supuesto la implantación de una nueva metodología de planeamiento basado en capacidades. A nivel internacional esta metodología de planeamiento se considera como la más adecuada al entorno estratégico actual.

En el ámbito del Armamento y Material, el ciclo culminó con la elaboración del Plan a Largo Plazo de Armamento y Material (PLP-AM) y el Plan Director de Armamento y Material (PDAM), que fueron presentados a la industria en la Jornada de Comunicación de la Secretaría de Estado de Defensa, celebrada en el 11 de diciembre de 2008 en el CESEDEN. Con estos planes se pretende aportar a la industria una visión a medio y largo plazo de las necesidades de las FAS, así como ayudarla a planificar sus inversiones y dimensionar sus esfuerzos hacia las áreas tecnológicas sobre las que se van a sostener esas capacidades.

Para el nuevo ciclo, además de la propia consolidación del planeamiento basado en capacidades, se plantean nuevos retos a acometer para mejorar los procesos de obtención de los sistemas adecuados a las capacidades demandadas y el sostenimiento de los ya existentes.

Dentro de este marco y en lo que se refiere al ámbito tecnológico, entre las actuaciones más destacadas se encuentra la integración de los centros tecnológicos de la DGAM en un centro de referencia nacional, el Instituto Tecnológico de la Marañosa (ITM). Su creación ayudará a fomentar el desarrollo de actividades de innovación tecnológica y de desarrollo de conceptos y experimentación (CD&E).

Adicionalmente, se tiene como objetivo generar la máxima sinergia entre la I+D de defensa y los diferentes planes de I+D nacionales, especialmente en las áreas de creciente base común.

Finalmente, se prevé continuar fomentando la participación en programas de investigación tecnológica internacional como medio para mejorar la integración de la base tecnológica e industrial de defensa en la base de I+D europea. Un ejemplo de ello es la participación del Ministerio en los JIPs (Joint Investment Programmes) de la EDA a través de la Subdirección General de Tecnología y Centros de la DGAM, cuyo objetivo es fortalecer esta base tecnológica e industrial.

En la consecución de estos objetivos, las capacidades de vigilancia y prospectiva tecnológica de la DGAM, a través de su Sistema de Observación y Prospectiva Tecnológica (SOPT), deberán jugar un papel muy relevante, como elemento para ayudar a focalizar las actividades de investigación tecnológica y apoyar la obtención de sistemas con alto contenido tecnológico.

José Manuel García Sieiro

DIRECTOR GENERAL DE ARMAMENTO Y MATERIAL

.

Agencia Europea de Defensa (EDA)

Modelización y simulación numérica de escenarios NBQ

José Luís Santiago, Anne Dejoan, Alberto Martilli, Fernando Martín y Alfredo Pinelli, CIEMAT

El desarrollo y la validación de herramientas de modelización y simulación numérica de escenarios NBQ ha constituido el objetivo principal de la colaboración entre el Ministerio de Defensa y el CIEMAT (Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas), a través de la Unidad de Contaminación Atmosférica, del Departamento de Medio Ambiente, y la Unidad de Simulación Numérica y Modelización de Procesos Tecnológicos y Ambientales del Departamento de Energía. En el marco de esta colaboración se ha participado en el proyecto de la EDA B0155-GEM3-ERG "*NBC Modelling & Simulation*" junto con FOI (Suecia), FFI (Noruega), CEB (Francia), FMI (Finlandia), Ministerio della Difesa (Italia), Universidad de Bolonia (Italia) y TNO (Holanda). Dentro de este proyecto se eligieron y simularon varios escenarios participando España en los siguientes:

- **Escenario *indoor*** (propuesto por el FOI), consistió en la simulación de la dispersión de un agente tóxico emitido a través de la salida del sistema de aire acondicionado en un centro de congresos. La emisión del agente, considerado como un contaminante pasivo, tenía una duración de algunos minutos.

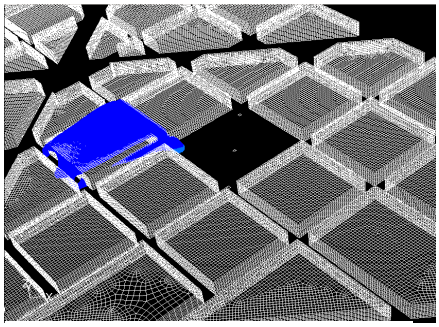


Fig. 1. Ejemplo de dispersión con una emisión desde una esquina de la plaza.

La tarea de la simulación consistió en la predicción de la concentración en función del tiempo desde el principio de la emisión hasta el final.

- **Escenario urbano** (propuesto por el CIEMAT), se basó en la simulación de la dispersión de un trazador pasivo dentro de una matriz de contenedores representando edificios y calles de una ciudad. Este escenario se corresponde con experimentos, llamados MUST, realizados a cielo abierto por varias instituciones norteamericanas. De esta manera se realizó también una comparación con datos experimentales.

- **Escenario nuclear** (propuesto por FMI), consistió en simular la dispersión de agentes radiactivos que surgieran de una explosión nuclear sobre una ciudad.

Independientemente de estos escenarios correspondientes al proyecto de la EDA, se profundizó en la dispersión de agentes en entornos urbanos al considerarlo interesante desde el punto de vista de la temática del proyecto para defensa. El estudio de la dispersión de agentes dentro de entornos urbanos es de gran importancia por diferentes motivos. Primero, porque es en las ciudades donde hay un mayor número de personas y un posible ataque terrorista podría tener un impacto mayor. Y segundo, la complejidad de las circulaciones de aire y de la dispersión que ocurre en estos entornos hace que los modelos simples no funcionen bien bajo estas condiciones.

Por estos motivos, se pretende proveer de información útil aplicable a situaciones de emergencia a través de simulaciones numéricas detalladas realizadas mediante modelos complejos como los CFD (*Computational Fluid Dynamics*). Para esto, se ha partido de un escenario real como escenario piloto, representativo de lo que pueda suceder en una plaza estándar de cualquier ciudad española, analizando varias situaciones.

Además se continúa trabajando para crear una batería de simulaciones con CFD para distintas situaciones, representando varias configuraciones urbanas básicas, pero representativas de nuestras ciudades. De esta manera, en caso de emergencia se podría recurrir a los resultados de las simulaciones CFD de la configuración con las características más parecidas al lugar donde se ha producido el incidente. Así se podrá gestionar la emergencia con más información del suceso.

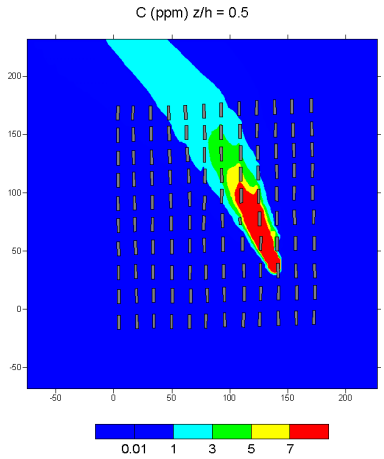


Fig. 2. Isocontornos de concentración a z/h=0.5 en una simulación del escenario MUST.

En la última parte del presente proyecto se está trabajando en estas simulaciones, aunque una guía mucho más completa requeriría de un proyecto a varios años, ya que el tiempo de cálculo necesario para cada simulación, así como el tiempo necesario para un adecuado tratamiento de los datos, es bastante elevado.

Otra futura línea interesante a seguir, comenzada en este proyecto con uno de los escenarios, son las simulaciones CFD sobre configuraciones de tipo *indoor*. Un número reducido de estas instalaciones (aeropuertos, estaciones de metro, etc.), sensibles a ataques terroristas, se podrían simular de manera precisa debido a que sus condiciones de contorno se conocen con bastante exactitud.

Como conclusión final cabe destacar que con este proyecto se ha comenzado a utilizar en España la simulación numérica con modelos CFD aplicada a escenarios NBQ y se ha mostrado su utilidad en situaciones de planificación de emergencias.

Sesión Informativa: los JIPs de la EDA

Patricia López Vicente, NG y Comité de Gestión JIP ICET

El 30 de marzo de 2009, se celebró una sesión informativa sobre los *Joint Investment Programmes* (JIPs) de la Agencia Europea de Defensa (EDA). El acto tuvo lugar en la Universidad Carlos III de Madrid (UC3M), y contó con la colaboración del Parque Científico de dicha Universidad y de Afarmade.

La sesión se organizó con motivo del lanzamiento de la 2ª convocatoria del JIP ICET (*Innovative Concepts and Emerging Technologies*), el pasado 18 de febrero, y tuvo como ponentes al coordinador de la EDA en la SDG TECEN y a los representantes nacionales en los dos JIPs puestos en marcha por la EDA. La inauguración de las jornadas estuvo a cargo de Dª Paloma Domingo, Subdirectora del Parque Científico de la UC3M.

La sesión comenzó con una breve presentación del Ministerio de Defensa y la Subdirección de Tecnología y Centros, para pasar inmediatamente a exponer la organización de la EDA, centrándose en su Dirección de I+T y en los CapTechs[1]. A continuación se expusieron los aspectos generales de los *Joint Investment Programmes*, haciendo especial hincapié en el proceso de participación. Se concluyó con la presentación de los resultados del JIP *on Force Protection* (JIP FP) y de la 2ª convocatoria del JIP ICET.

Del JIP FP cabe destacar el buen retorno de la inversión obtenido, situándose en casi un 130% del dinero aportado por el Ministerio de Defensa, a falta de los resultados de la 4ª convocatoria. En el marco de este programa se han contratado 4 proyectos con participación de entidades nacionales, dos de ellos liderados por entidades españolas.

Dentro del programa ICET, a falta de la evaluación de las propuestas presentadas en la 1ª convocatoria, se puede resaltar que más de la mitad de las entidades registradas son instituciones académicas y centros de investigación, además de más de un 25% de PYMES. Por último, cabe destacar la participación de entidades nacionales en la mitad de las propuestas presentadas en esta convocatoria.

La 2ª convocatoria del JIP ICET, *Sens & Detect*, se centra en los siguientes 4 objetivos de I+T:

- *Remote Detection of Hidden Items,*
- *Nanostructures Electro-optical and Other,*
- *Radar Technologies / Processing,*
- *Radar Technologies / Components*.

El primer paso participar en esta convocatoria es remitir, por correo electrónico, el formulario de inscripción que se encuentra en la página Web de la EDA (http://www.eda.europa.eu/genericitem.aspx?id=368) a los representantes nacionales. El periodo de registro concluirá el **2 de junio de 2009**. Tras el registro de las entidades, la EDA proporcionará acceso al foro de la convocatoria, donde se encuentra toda la información necesaria.

Puede solicitar la presentación realizada en esta sesión a plopvic@oc.mde.es.

[1] *Más información en anteriores Boletines y en el Especial del nº 21*

[2] *Más información sobre los JIPs de la EDA en los Boletines nº 18 y nº 19.*

CapTech ESM04 Human Factors and NBC Protection

Angélica Acuña de Benito, OT NBQ

En la última reunión del CapTech ESM04, celebrada en Bruselas entre los días 9 y 11 de febrero, se presentó a los coordinadores nacionales, expertos gubernamentales y no gubernamentales las nuevas propuestas de proyectos de I+D para las áreas de protección NBQ y factores humanos.

En protección NBQ, se presentó el programa ad-hoc de categoría B BIO EDEP, que engloba a su vez 8 posibles proyectos cuyo objetivo es la obtención de materiales para la protección individual, protección de unidades y capacidades específicas de defensa biológica. El Ministerio de Defensa español va a participar en la redacción de los requisitos de técnicos de dos de los ocho proyectos, uno destinado al desarrollo de un biodosimetro y otro para el diseño y desarrollo de un laboratorio biológico desplegable. Para este último, España se ha ofrecido como líder, y en los seis restantes se va a participar en categoría de observador.

Por otro lado, y muy relacionado con el programa BIO-EDEP, existe la necesidad de establecer un concepto, a nivel europeo, para la estandarización y armonización de los procedimientos y métodos para la realización de los ensayos y la evaluación del equipamiento de protección biológica, tanto en laboratorio como en campo. En este sentido, Noruega ha presentado una propuesta formal de proyecto en la cuenta con el apoyo de Holanda y Chipre, y en la que otros, como Francia, Alemania y Suecia, estarían inicialmente interesados.

Para finalizar con los aspectos relacionados con protección NBQ, se discutió sobre posibles temas a tratar en futuras actividades, como la detección a distancia de agentes biológicos, la estandarización de métodos y procedimientos de evaluación de equipos y contramedidas médicas. En este sentido, se va a organizar un *workshop* técnico sobre "Estandarización de los métodos de prueba y evaluación de equipos de detección biológica" en primavera o verano de 2009.

En el área de factores humanos, se discutió sobre la estrategia a seguir para potenciar la participación y promover nuevas actividades, evitando la duplicidad con las actividades desarrolladas en la RTO (OTAN). Las nuevas propuestas de proyectos se centraron en el diseño de interfaces hombre-maquina, en la estimación de los límites de uso de sistemas ESV (*Enhanced and Synthetic Vision*) y en la búsqueda de soluciones para minimizar el riesgo de "diferencias no tolerables" entre las representaciones mentales elaboradas por estos sistemas y la situación real.

LAS ESTRATEGIAS DE LA EDA

C.F. Ing. José María Riola Rodríguez y José Agrelo Llaverol (SDG TECEN)

LAS DISTINTAS ESTRATEGIAS DE LA EDA[1]

No cabe duda de que cualquier organización de cierta envergadura debe tener una estrategia a seguir para asegurar el cumplimiento de sus objetivos, en un plazo más o menos largo. Por ello, es frecuente encontrar referencias sobre las estrategias de la Agencia de Defensa Europea (EDA), bajo sus diferentes siglas. Este artículo pretende esquematizar las distintas estrategias de la EDA y la conexión entre ellas, para facilitar la comprensión y alcance de su entramado político-administrativo.

Para conseguir sus objetivos, el *Steering Board* de la EDA ha aprobado, a lo largo del último año, una serie de estrategias conectadas entre sí. Estas estrategias son herramientas que permitirán alcanzar los objetivos de mejora de las capacidades de defensa de Europa, apoyando la Política Europea de Seguridad y Defensa (PESD). Así, cada una de las cuatro misiones[2], que le asigna la Acción Común a la EDA, se desarrolla por medio de una estrategia.

Plan de Desarrollo de Capacidades CDP (*Capability Development Plan*) (08/07/08)

Es el documento estratégico más importante de la EDA. El CDP define las capacidades militares que Europa debe desarrollar o mantener. Además, proporciona una fuente de análisis de necesidades, tendencias y potenciales carencias hasta el horizonte de 2025. Por otro lado, el CDP proporciona una base de datos de planes y prioridades nacionales que ayudan a identificar áreas de interés común. Del CDP se concluye:

- la importancia de compartir inteligencia e información en operaciones de entornos complejos,
- la necesidad de proporcionar respuestas flexibles y ágiles a nuevas amenazas, y
- la necesidad de coordinar las actividades civiles y militares en operaciones de gestión de crisis.

Para su puesta en marcha, se ha acordado potenciar, a corto plazo (2009-2011), las 4 siguientes áreas de trabajo: sistemas contra ManPADS[3], sistemas contra IEDs, medidas contra minas marítimas en aguas litorales y defensa NBQR.

Estrategia EDRT (*European Defence Research and Technology*) (10/11/08)

Esta estrategia desarrolla la colaboración en investigación básica, aplicada y en demostradores tecnológicos que proporcionen las tecnologías adecuadas para el desarrollo de capacidades militares. Se articula en tres pilares estratégicos:

- FINES: definición de tecnologías clave para la I+T. La EDRT estableció inicialmente una lista de 22 áreas tecnológicas prioritarias y posteriormente la cruzó con las 12 prioridades del CDP, con el objetivo de concretar las tecnologías clave.
- MEDIOS: desarrollo de las herramientas adecuadas para alcanzar los fines. La EDRT pretende mejorar la integración de la DTIB[4] en una cadena de suministro más amplia, promocionando la componente tecnológica y la eficacia de la colaboración en I+T.
- CAMINOS: realización de los fines y los medios con hojas de ruta y planes de acción.

Estrategia EDTIB (*European Defence Technological and Industrial Base*) (14/05/07)

Se entiende la EDTIB como un elemento que favorece la disponibilidad de equipos y sistemas europeos de defensa. La EDTIB debe orientarse por capacidades, y deberá ser competente y competitiva. Esta estrategia pretende aumentar la transparencia, la confianza mutua y la convergencia de las diferentes políticas de defensa europeas, apoyando las bases tecnológicas e industriales.

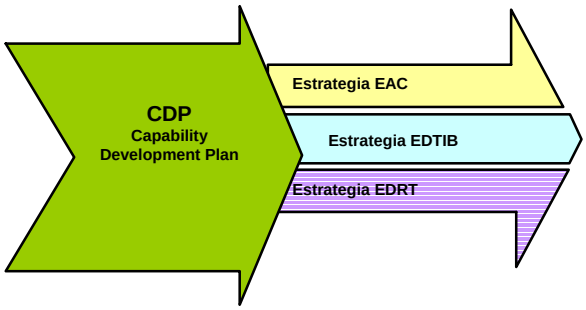
El papel de los gobiernos será:

- clarificar las prioridades en capacidad (CDP) y en tecnologías industriales clave,
- armonizar los requisitos de material para plataformas compatibles,
- colaborar en las decisiones de adquisición,
- garantizar la seguridad de suministro en cualquier parte de Europa,
- favorecer la competencia en las adquisiciones y, cuando no sea posible, mejorar la cooperación.

Estrategia EAC (*European Armaments Cooperation*) (15/10/08)

Esta estrategia promueve y mejora la cooperación europea en armamento para satisfacer las necesidades de capacidades militares. Se articula en tres objetivos estratégicos, con las siguientes acciones:

- Generación y promoción de programas cooperativos. La EDA facilitará la armonización de CSTs y CSRs[5], promoviendo que los países informen de sus requisitos para optimizar las oportunidades de colaboración.
- Garantizar que la EDTIB y su inversión esté orientada por capacidades y apoye futuros programas cooperativos. Se fomentará el intercambio de información entre gobiernos e industrias sobre planificaciones a largo plazo e inversión industrial. Transparencia y compatibilidad de políticas de adquisición, planificación y ciclos presupuestarios.
- Mejorar la cooperación europea en armamento. Implantar y mantener la Guía Conceptual DTEB[6]. Mantener la Guía para la Mejor Práctica en Cooperación de Armamento: compras conjuntas, ciclo de vida y costes para tomas de decisión, etc.



[1] *Estos documentos están publicados en la página Web de la EDA: http://www.eda.europa.eu/documents.aspx*

[2] *Developing defence capabilities; Promoting Defence Research and Technology (R&T); Promoting armaments co-operation; Creating a competitive European Defence Equipment Market and strengthening the European Defence, Technological and Industrial Base.*

[3] *ManPADS: Man-Portable Air-Defense Systems.*

[4] *DTIB: Defence Technological and Industrial Base.*

[5] *CST: Common Staff Target; CSR: Common Staff Requirement.*

[6] *DTEB: Defence Test & Evaluation Base.*

OTAN

Munition Safety & Standardization Database MSAS–08

Cte. Roberto Jenaro de Mencos (LQCA-ITM)

LA AGENCIA OTAN "MSIAC" CREADORA DE "MSAS"

La Agencia de la OTAN MSIAC (*Munitions Safety Information Analysis Center*), antes conocido como el NIMIC (*NATO Insensitive Munitions Information Center*), es un proyecto OTAN, dependiente directamente de la CNAD (Conferencia de Directores Nacionales de Armamento), que se ocupa de la seguridad de las municiones (incluyendo, pero no limitado, a la insensibilidad de las mismas) en todo su ciclo de vida.

La oficina del proyecto, radicada dentro del Cuartel General de la OTAN en Bruselas, consiste en un equipo internacional de expertos en las siguientes áreas:

- Materiales energéticos.
- Tecnología de cabezas de guerra.
- Tecnología de propulsión.
- Sistemas de municiones.
- Almacenamiento, transporte y logística de municiones.

Este equipo, bajo el control del Comité Director de las doce naciones miembro[1], produce distinto software (bases de datos de explosivos, de resultados de ensayos sobre municiones, herramientas de cálculo y análisis, etc.), elabora documentos técnicos (tanto abiertos como limitados) y responde a preguntas de las industrias o gobiernos.

Por su especial utilidad para un amplio abanico de potenciales usuarios de las FAS, en este número del Boletín se reseña la base de datos MSAS (v.2008).

UTILIDAD DE MSAS-08

Para aquella persona u organización en el ámbito de la Defensa cuyos cometidos estén relacionados con las municiones (su diseño, adquisición, mantenimiento, ensayo, logística, seguridad de uso, prestaciones, desmilitarización,…) puede llegar a ser todo un desafío el tener una visión global sobre cuál es la normativa oficial que debe consultar o cuáles los grupos o subgrupos a cargo de una determinada documentación.

La base de datos MSAS da respuesta a esta doble pregunta:

- Conocer quién está haciendo qué dentro de la OTAN, en cuanto a municiones y seguridad de las mismas.
- Acceder a la documentación que precisa, facilitándose así la implementación de la diferente normativa y su conocimiento.

MSAS pone de manifiesto otras interesantes conclusiones, como, por ejemplo, la necesidad de una mayor colaboración entre los distintos grupos OTAN, tal como se ordena en los "términos de referencia" (TOR) de cada organismo.

CONTENIDO DE MSAS-08

MSAS es una completa hoja de cálculo que contiene:

- Una lista organizada de todos los STANAGs (acuerdos de normalización), APs (publicación aliadas), normas nacionales, europeas, de Naciones Unidas o tratados internacionales relativos a municiones; con enlaces a dichos documentos en formato electrónico.
- La interrelación de la documentación anterior ya sea por temática, por grupo OTAN responsable de su elaboración, etc.
- La organización de la OTAN y de sus distintos grupos y cometidos respectivos.

La versión 2008 (cerrada en julio de 2008) contiene:

- 239 STANAGs;
- 64 APs;
- 621 US mil standards;
- 278 UK Defence standards;
- Normas francesas;
- Normas suecas;
- Normas de la Unión Europea;
- Normas de Naciones Unidas;
- Tratados y legislación internacional;
- Vídeos de accidentes con explosivos y municiones,

Toda la información anterior es relativa a municiones y su seguridad.

Si bien deben señalarse las siguientes limitaciones:

- La base de datos contiene únicamente documentos no clasificados.
- MSIAC tiene la intención de actualizar MSAS anualmente, por lo que el usuario puede encontrarse con que algunos de los documentos no estén en su última edición.

La representación española en MSIAC radica en el Instituto Tecnológico de la Marañosa, Laboratorio Químico Central de Armamento (ITM-LQCA). Los interesados en disponer de este u otros productos de MSIAC pueden dirigirse al Cte. D. Roberto Jenaro de Mencos (rjenaro@oc.mde.es).

La información relativa al MISAC se puede encontrar en su página Web: http://www.msiac.nato.int/.

[1] *Austria, Canadá, España , Estados Unidos Finlandia, Francia, Grecia, Holanda, Italia, Noruega, Reino Unido y Suecia.*

¿QUIERE COLABORAR EN EL BOLETÍN?

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

Contacto: C.F. Ing José María Riola Rodríguez

Tlf.: 913954631, jriorod@fn.mde.es

Otras noticias

II Jornadas de Interoperabilidad del ET: TACOMS

Cte. CIP José Luis Molina García, Álvaro Rodríguez Soler (PEC-ITM)

Durante los días 24 al 28 de noviembre de 2008 han tenido lugar las II jornadas de interoperabilidad del ET, en el Regimiento de Transmisiones nº2 de Madrid. En estas jornadas, organizadas por la JCISAT del ET, han participado diversas unidades y organismos.

El Polígono de Experiencias de Carabanchel, dependiente de la Subdirección de Tecnología y Centros de la DGAM, ha colaborado en estas jornadas aportando la Plataforma de Experimentación TACOMS. De esta manera se han cubierto todos los aspectos de conectividad para la interoperabilidad en las comunicaciones tácticas, atendiendo a los STANAGS (*Standardisation Agreement*) 4637 a 4647.

Las jornadas han tenido una doble finalidad:

- Mostrar la Interoperabilidad de los Sistemas de Información y Telecomunicaciones (CIS) en un despliegue nacional o internacional.
- Preparar los ejercicios Combined Endeavour 09 en los que España viene participando desde hace varios años, y que se celebrarán en septiembre de 2009.

Los servicios que se han desplegado, mostrando su funcionalidad e interoperabilidad, se han dividido en cuatro áreas principales:

- Data Transmission System.
- *Core Services.*
- Telefonía IP (VoIP).
- Protección de la Información (*Information Assurance*).

DATA TRANSMISSION SYSTEM

Este área concentra las capacidades de conectividad en red mediante la implementación de los servicios de encaminamiento y calidad de servicio conforme a TACOMS (STANAG 4644).

La plataforma de experimentación TACOMS proporciona encaminamiento entre clientes y servidores de la zona segura, de la zona no clasificada, y de un enclave externo. Éstos últimos a través de un Punto de Interoperabilidad TACOMS (IOP), que representa la manera en la que las naciones aliadas deben conectarse para interoperar.

La Plataforma TACOMS permite cumplir con las condiciones de seguridad exigidas tanto en las redes CLASIFICADAS como NO CLASIFICADAS, con aislamientos lógicos y físicos. Asimismo su diseño modular permitió ser actualizada a nuevas necesidades o modificaciones de hardware y/o software.

CORE SERVICES

Este área contiene los servicios de red y las pasarelas para soporte multiprotocolo, que se detallan a continuación:

- Servicio de Nombres de Dominio (DNS), configurado con los parámetros requeridos para la interconexión de las naciones participantes en los ejercicios de *Combined Endeavor*.
- Servicio de asignación dinámica de direcciones, independiente en cada zona de acceso.
- Servicio de correo de SIMACET (Sistema de Apoyo al Mando y Control de ET), y pasarela multiprotocolo entre diferentes sistemas de correo.
- Servicio de gestión de usuarios mediante directorio, e integración con directorios de otras naciones.
- Servicio de integración de los modelos de datos de SIMACET y otros Sistemas de Apoyo al Mando y Control basados en MIP (*Multilateral Interoperability Programme*) Bloque II.
- Servicio Web seguro.

VoIP

El área mostró el funcionamiento de los servicios de telefonía sobre IP a través de una red de procesadores de llamadas propios de una infraestructura TACOMS.

Los ejercicios se realizaron en dos niveles:

- Empleando protocolos IP habilitados en la plataforma TACOMS.
- Integrando el servicio de telefonía de la Red Básica de Área (Sistema de comunicación de nivel táctico que proporciona enlace a puestos de mando desplegados), a través de un interfaz de interoperabilidad según TACOMS (STANAG 4647).

INFORMATION ASSURANCE

Mediante un conjunto de mecanismos se proporcionó protección de la información manejada en el sistema, contra la pérdida de confidencialidad, integridad y disponibilidad.

Fueron tres los elementos fundamentales de la estructura Information Assurance:

- Control de acceso para la autorización de conexión de un dispositivo a la infraestructura de comunicaciones.
- Seguridad perimetral para la protección de los recursos de la red ante tentativas de intrusión o usos no autorizados.
- Infraestructura de Clave Pública (PKI), proporcionando los mecanismos de notificación de credenciales de usuario y protección de la información transmitida.

Conclusión

Estas jornadas han permitido la búsqueda de soluciones de integración e interoperabilidad internacional entre sistemas de información y servicios de comunicación de apoyo al mando y control, con el fin de participar en operaciones conjuntas multinacionales.

Fig. 1. Pasarela TACOMS.

Novedades en Link22

María Dolores Ladrón de Guevara Martínez y José Carlos Fortea Marín (CIDA-ITM), Luis Rodríguez Palencia (SDG TECEN)

Como continuación del artículo "Laboratorio móvil Movilink-22", publicado en el Boletín nº 20, en el que se introducía el Link22, se pasa ahora a narrar los últimos avances realizados desde esa fecha.

El 24 de octubre de 2008 se consiguió por primera vez en España el enlace de dos unidades Link22 utilizando la cadena completa de equipos (DLP, SNC, LLC, SPC y radios HF[1]). Este logro permitió la comunicación de un escenario táctico entre los dos laboratorios Link22 del CIDA: el laboratorio fijo, situado en sus instalaciones, y el laboratorio móvil Movilink22. Las dos radios se unieron por cable de radio frecuencia a través de atenuadores.

Mediante el Evalink22, se pudo distribuir información táctica entre los dos laboratorios. El Evalink22 es un software de pruebas desarrollado por el CIDA, consistente en un procesador de Data Link (DLP) para Link22, que permite además simular las capacidades tácticas de una unidad real. Su finalidad es realizar las pruebas Link22 de las plataformas nacionales. Se intercambió información de los dos participantes en la red Link22 y de las trazas simuladas generadas por cada equipo.

Posteriormente, en diciembre de 2008, se trasladó el Movilink22, con el software de pruebas Evalink22 integrado, a las instalaciones que tiene la empresa Tecnobit en Valdepeñas (Ciudad Real). Dicho traslado tuvo como objeto realizar las pruebas de aceptación en fábrica de la fase inicial del desarrollo de la capacidad Link22 en el sistema Linpro, cuyo desarrollo se inició a finales de 2006 mediante un expediente de Asistencia Técnica de la DGAM.

El sistema Linpro es un DLP, desarrollado por esta empresa. En su primera versión operativa implementa capacidades Link11, Link16 y *Data Forwarding* (reenvío de información táctica entre ambos Data Link), y que actualmente se encuentra instalado en los buques "Castilla" y "Galicia".

Fig. 1. Interior del laboratorio Movilink22.

Durante tres semanas, se realizaron pruebas utilizando el mismo enfoque de las pruebas de octubre; es decir, enlazando dos cadenas completas Link22, una de ellas integrada en Movilink22, incluyendo el software de pruebas Evalink22, y la otra en el laboratorio de Tecnobit, con el sistema Linpro como procesador de *data link*. Se verificaron todas las capacidades Link22, tanto tácticas como de gestión de red, especificadas para esta primera fase de desarrollo Link22 en el sistema Linpro, con resultados satisfactorios.

Finalmente, España ha participado en unas pruebas internacionales Link22 con Francia y Alemania. Estas pruebas se desarrollaron del 16 al 20 de marzo, de 2009 y la participación española se realizó desde el Escuadrón de Vigilancia Aérea (EVA) número 4 que tiene el Ejército del Aire en la localidad de Rosas (Girona).

Para ello, se transportó el Movilink22 al EVA 4 y se utilizaron alternativamente los dos procesadores de *data link* (DLP) españoles (sistema Linpro y Evalink22) en distintos días de pruebas.

Pese a la sencillez del escenario táctico utilizado, el éxito logrado en estas pruebas constituye un importante hito, de gran valor por lo que supone la consecución de resultados en un sistema completo, con participación de varios países, cada uno con sus propios equipos, lográndose sin embargo la plena interoperabilidad entre las plataformas tácticas participantes.

Las pruebas fueron presenciadas por observadores internacionales, tanto de la oficina NILE (*NATO Improved Link Eleven*) *Project Management Office* (PMO), como de naciones NILE[2] y de otras naciones OTAN interesadas en la adquisición de equipos Link22.

[1] *DLP: Data ; SNC: System Network Controller; LLC: Link Level Cripto; SPC: Signal Processing Controller; HF: High Frequency.*

[2] *Naciones NILE: Alemania, Canadá, España, Francia, Estados Unidos, Italia y Reino Unido.*

enlaces de interés

2009 Año Europea de la Creatividad y la Innovación

España, a través del Ministerio de Ciencia e Innovación, con la coordinación de la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología (FECYT), se suma a la celebración del Año Europeo de la Creatividad y la Innovación (AECINN).

La declaración por la Comisión Europea de un Año Europeo de la Creatividad y la Innovación es una forma eficaz de hacer frente a estos desafíos a través de la sensibilización de la opinión pública, la difusión de información sobre buenas prácticas y la promoción de la investigación y el debate.

http://www.innovacion2009.es

Tecnologías emergentes

Sistemas de detonadores sin explosivo primario

Julio Estrella Molina, NTGS SL

Abstract

The traditional multipliers of mine fuses, mortars and grenades etc. rely on a primary explosive (mercury or silver fulminate, ammonic trioxide etc) These explosives are known for their great sensitivity, although the power is modest and requires a small amount of energy to activate it.

These multipliers serve as initiators for the activation of the main explosive charge of the secondary type ammunition (like the penthrite, tolite, explosive, etc.), that are much less sensitive although their explosive power is considerably greater.

The mines and sub munitions that don't detonate and are left abandoned in a conflict zone carry a risk of involuntary detonation causing harm to civilians. One of the measures that has recently been adopted is the banning of the use of cluster bombs, due to the high failure rate of the fuses of the sub munitions on arms such as these, which don't detonate and are abandoned posing great risk to the civilian population

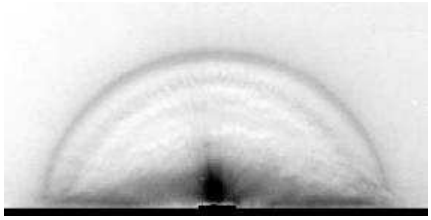


Fig.1. Imagen cámara de alta velocidad del frente de onda generado en la vaporización de una sección de cobre.

Los multiplicadores tradicionales de las espoletas de las minas, submuniciones, granadas de mortero, etc. cuentan con un explosivo primario (fulminato de mercurio o plata, triyoduro amónico, etc.). Estos explosivos se denominan primarios por su gran sensibilidad, aunque su potencia es modesta y requieren una pequeña cantidad de energía para activarse. Estos multiplicadores sirven de iniciadores para la activación de la carga explosiva principal de la munición de tipo secundario (como la pentrita, trilita, hexógeno, etc.), que son mucho menos sensibles aunque su potencia explosiva es considerablemente mayor.

Las minas y las submuniciones que no detonan y quedan abandonadas en una zona de conflicto, conllevan un riesgo de detonación involuntaria para los no combatientes. Con el objeto de eliminar dicho riesgo, los países industrializados celebraron una convención en Ottawa en 1997. Una de las medidas que se ha adoptado recientemente es la prohibición del uso de bombas de racimo, por la gran tasa de fallos de las espoletas de las submuniciones de algunas de estas armas, que no detonan y quedan abandonadas, con el mencionado riesgo para la población civil.

El problema reside en la gran sensibilidad del iniciador (explosivo primario). Si no existiera este iniciador únicamente quedaría en el suelo la carga de explosivo secundario que es muy poco sensible a los golpes, cambios de temperatura, paso del tiempo, etc. De hecho el explosivo secundario puede molerse, prensarse y mecanizarse sin apenas riesgos. Si se sustituye el iniciador por algún sistema que permitiera activar la carga y que en caso de no detonación pudiera derivar su energía de forma controlada de tal forma que lo único que quedara fuera la carga de explosivo secundario en el suelo, habríamos conseguido la solución técnica para evitar este tipo de accidentes.

Dentro de la iniciativa del Programa COINCIDENTE de la SDG TECEN se ha finalizado el proyecto para un demostrador de SIE (Sistema de Iniciación Electroexplosiva). Gracias a la ayuda y colaboración del Laboratorio Químico Central de Armamento (LQCA), perteneciente al Instituto Tecnológico de La Marañosa (ITM), se ha desarrollado un demostrador cuyo objetivo era conseguir la detonación de explosivo secundario sin un iniciador de explosivo primario previo (como sería en el caso tradicional), sino con la energía de una onda de presión generada por el fenómeno electroexplosivo.

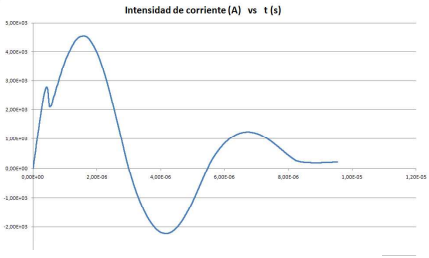


Fig. 2. Intensidad de corriente vs tiempo.

El fenómeno electroexplosivo se conoce desde hace muchos años. Básicamente se trata de hacer conducir una corriente eléctrica muy intensa (varios kiloamperios) por un hilo conductor de unas pocas décimas de milímetro de sección durante un tiempo extremadamente corto (varios nanosegundos). De esta forma, el material conductor se vaporiza instantáneamente transformándose en plasma. El material se expande a muy alta velocidad, produciendo una onda de choque cuya energía se emplea para activar el explosivo.

Durante el proceso electroexplosivo aparecen fenómenos muy intensos y de muy poca duración que hay que medir. Para ello se ha empleado instrumentación de altas prestaciones, cámaras de visión de alta velocidad y se fabricaron bobinas especiales para medir con precisión los pulsos ultracortos de corriente eléctrica de varios miles de amperios. Para producirse la vaporización del material, la energía suministrada debe ser mayor que la energía de vaporización del material. En nuestro demostrador empleamos hilo de cobre de 4 décimas. Si la energía no era suministrada con la rapidez adecuada aparecían fenómenos termodinámicos de transición en el hilo de cobre y la vaporización no se producía o lo hacía parcialmente, lo que generaba en el mejor de los casos una onda de choque sin energía suficiente para activar la pentrita.

En la Fig. 2 se muestra la intensidad de corriente frente al tiempo en uno de los ensayos realizados. Se aprecia el instante de la vaporización del material que ocurre a 0,4 µs. La corriente eléctrica sigue aumentando mientras el hilo vaporizado comienza a expandirse. A los 1,8 µs ha desaparecido el hilo conductor.

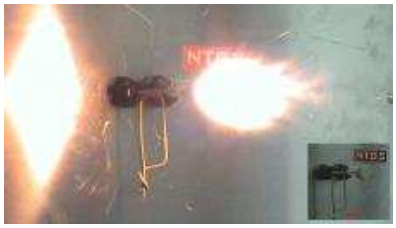


Fig. 3. Detonación de 1g de pentrita mediante la onda de choque generada en vaporización.

Uno de los retos consistía en reducir lo máximo posible el tamaño del demostrador, que funciona con 3 baterías de 3,7 V y es de tamaño similar a las espoletas actuales de las armas de zona. Además, tiene un circuito de seguridad controlado por tiempo que deriva toda la energía almacenada en las baterías y los condensadores a tierra por lo que si se abandona queda completamente desactivado.

Las conclusiones que se derivan de este proyecto son que para armas de zona es posible un sistema de iniciación sin explosivo primario. Se emplean elementos COTS y son todos de bajo coste. Su industrialización no requeriría esfuerzos económicos exagerados.

Para las espoletas de las submuniciones la barrera es tecnológica; aún son necesarios sistemas de almacenamiento de energía de tamaño mucho más reducido. En el momento actual no existe una alternativa real al uso de explosivos primarios.

Biocombustibles de Nueva Generación

Héctor Criado de Pastors, OT ENEP

Abstract

Use of petroleum-based fuels is to be reduced due to energy security and climate change problems, therefore new fuels will be required both in civil and military transport sectors. Furthermore, the NATO Single Fuel Policy sets higher restrictions on the use of alternative fuels.

Current biofuels present several non-solved issues such as food security or high use of resources (land, water). Therefore, new generation biofules are required in order to fulfil these requirements. As second generation biofuels (i.e. non-food crops, cellulose conversion, BTG) are mainly focused on improving the efficiency of production and transformation processes, third generation biofuels will be based on the industrial culturing of algae.

Future use of biofuels for the military environment will be based mainly on synthetic fuels since their characteristics can be standardized, and are non dependant of their origin.

Introducción

El uso intensivo de combustibles derivados del petróleo ha sido constante a lo largo del siglo XX en el sector del transporte. Sin embargo, diversos problemas, principalmente los relativos a la seguridad energética (escasez, incremento de precios, inestabilidad de suministro) y al cambio climático, recomiendan la diversificación de combustibles.

Uno de los campos más prometedores en cuanto al uso de combustibles alternativos al petróleo es el de los biocombustibles. A partir de materia prima de origen biológico (habitualmente vegetal) se realiza un proceso de transformación para obtener hidrocarburos o alcoholes.

Los futuros cambios en el sector de los combustibles afectarán tanto al sector civil como al militar, debido a que el sistema de producción, distribución y venta de combustible son en gran parte comunes. Sin embargo, como se vio en el artículo "El Reto de los Combustibles en el Sector Militar" (Boletín nº 16), existen problemas específicos asociados: logística, calidad del combustible, seguridad asociada a la seguridad de suministro e interoperabilidad.

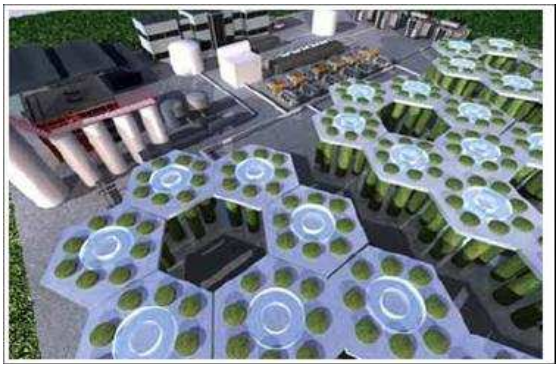


Fig. 1. PBR: fotobioreactor. Bio Fuel Systems S.L.

Para ello, el NPC[1] ha impulsado el Concepto de Combustible Único (SFC – *Single Fuel Concept*), seleccionando el keroseno de aviación JP-8. Por tanto, se debe tener en cuenta que, para su uso militar, cualquier combustible futuro deberá cumplir los requisitos de la política de SFC, lo que aún no han logrado los biocombustibles actuales.

Biocombustibles actuales

Dentro del amplio sector de los biocombustibles, el campo que mayor impacto ha tenido a nivel global es el de los cultivos energéticos. Se trata de especies que, dado su alto contenido energético, son cultivadas específicamente para su transformación en combustible. Estos cultivos se pueden dividir en:

- alto contenido en aceites vegetales, que se transforman en biodiésel (p.ej. palma, colza, soja),
- alto contenido en azúcares que se fermentan para obtener etanol (p.ej. caña de azúcar, maíz).

Los biocombustibles tienen, así mismo, la ventaja desde el punto de vista medioambiental respecto a sus equivalentes derivados del petróleo, de no contener azufre ni hidrocarburos aromáticos.

A pesar de su creciente importancia y el impulso que se está dando a su uso, estos biocombustibles presentan varios aspectos controvertidos. Por un lado, la mayoría de esos cultivos son también materias primas alimentarias, por lo que su uso a gran escala podría disminuir las reservas de alimentos disponibles para una población mundial creciente, provocando problemas de seguridad alimentaria. Por otro lado, su cultivo requiere el uso de gran cantidad de recursos (agua, superficie agrícola) por lo que distan mucho de ser neutros respecto al efecto en el medio ambiente. Además, dadas las diferencias en normativa y calidad de los biodiésel actuales, existen

[1] *NPC: NATO Pipeline Comittee. Grupo de la OTAN del cual dependen los temas relacionados con combustibles, lubricantes y productos asociados, tanto logiaticamente como técnicamente. www.nato.int/docu/handbook/2001/hb140206.htm)*

reticencias sobre su uso para aplicaciones militares.

Segunda generación

Actualmente existen 3 líneas de investigación consideradas como "segunda generación" de biocombustibles, que intentan reducir los problemas de los biocombustibles actuales.

La primera línea prioritaria es el desarrollo de biocombustibles a partir de especies que necesiten una menor cantidad de recursos o que incluso puedan desarrollarse en entornos no agrícolas. Cabe destacar el cultivo de jatropha, un arbusto que puede crecer en terrenos áridos y cuyos frutos poseen un alto contenido en aceites vegetales.

La segunda línea se ocupa de mejorar el rendimiento energético de los cultivos. Actualmente sólo se emplean ciertas partes de plantas que poseen una alta concentración en aceites y/o azúcares. Sin embargo, existe un gran potencial energético tanto en especies leñosas como en residuos vegetales, ya sea el resto de la planta de los actuales cultivos energéticos u otros residuos vegetales que no se pueden ser aprovechados para producir combustible de manera eficiente.

Esta ineficiencia se debe a la existencia de celulosa en la mayoría de células vegetales. La celulosa es una molécula de una gran longitud que dota a las células vegetales de protección y rigidez, pero que debido a sus características químicas es muy difícil romper. Una vez logrado un proceso eficiente de ruptura de la celulosa, ésta se puede tratar como cualquier otro carbohidrato y ser transformada en etanol. Por tanto, la determinación de procesos que permitan el uso de partes celulósicas aumentaría el rendimiento energético por superficie de los cultivos energéticos actuales y abriría la posibilidad de emplear otras especies alternativas, como el mijo perenne (*switchgrass*) que crece en llanuras de toda América sin consumir apenas recursos.

Una tercera línea, quizá la más importante desde un punto de vista militar es la del proceso de gasificación y conversión mediante el proceso Fischer-Tropsch de biomasa a hidrocarburos líquidos (BTL, *Biomass To Liquid*). Dicho proceso, definido en la década de 1920, permite la transformación de gas de síntesis ($CO + H_2$) en cualquier combustible requerido mediante procesos de refino. Este proceso fue empleado inicialmente para obtener combustible líquido a partir de carbón, pero puede emplearse para transformar cualquier tipo de hidrocarburo (incluyendo biomasa) en gas de síntesis y posteriormente en un combustible sintético, con las mismas características que, por ejemplo, la gasolina o el keroseno.

Tercera generación

En un estado menos avanzado se encuentran los estudios sobre biocombustibles creados a partir de algas. Este campo de investigación fue desarrollado desde los años 70 por el Departamento de Energía en EE.UU., tras la primera crisis del petróleo.

Su objetivo principal fue la identificación de especies de microalgas y su clasificación según su velocidad de crecimiento, de reproducción y su contenido energético. Tras la cancelación de este programa, en los últimos años las investigaciones han ido encauzadas a obtener especies mediante selección y modificación genética que permitan el cultivo de algas para su uso como materia prima para la producción de biocombustibles de forma rentable.

Actualmente, se encuentran en desarrollo diversos prototipos a escala comercial, la mayoría de ellos basados en foto-biorreactores (PBR – *Photo-BioReactors*). Los PBR son grandes contenedores transparentes dentro de los cuales se cultivan microalgas que pueden realizan la fotosíntesis en un entorno controlado. En estos PBR se les suministran los nutrientes necesarios y se evita el contacto con el medio para prevenir la contaminación del cultivo.

El cultivo de microalgas en PBR se espera que alcance rendimientos por superficie 20 veces mayores que mediante los cultivos energéticos actuales, logrando además una producción continua anual de tipo industrial. Además, dado que se necesita una alta concentración de CO_2 como nutriente, se están desarrollando algunos sistemas conectados a centrales térmicas (carbón, ciclo combinado de gas) que permiten la captura directa de CO_2.

Dado el amplio espectro de demanda a cubrir (hidrocarburos ligeros, gasolina, diésel, etc.), existen numerosas variedades de microalgas destinadas por sus características a su conversión en un tipo específico de combustible.

Sin embargo, otras investigaciones apuntan al uso de especies de rápido crecimiento y su posterior conversión en combustibles sintéticos, lo que permitiría una mayor versatilidad de los productos finales y un mayor rendimiento de las instalaciones de producción de biomasa.

Iniciativas en España

El sector de los biocombustibles presenta numerosas iniciativas. Entre ellas cabe destacar la investigación básica y aplicada realizada por el CSIC, el IDAE o el CIEMAT, la construcción de numerosas plantas comerciales para la obtención de bioetanol y biodiésel, y el papel puntero de algunas empresas nacionales. Las líneas de trabajo más destacables son cultivos autóctonos de alto rendimiento y/o de escaso consumo de recursos y producción de algas.

Aplicabilidad a Defensa

Dada la política de combustible único establecida por al OTAN y la necesidad de emplear combustibles de alto rendimiento energético en las aplicaciones militares, es importante destacar la necesidad de lograr combustibles estándar y que se puedan producir a nivel global. Por tanto, los combustibles actualmente disponibles, como por ejemplo el biodiésel de primera generación, son sólo útiles a nivel nacional y presentan problemas no resueltos de comportamiento a altas y bajas temperaturas. Del mismo modo, los sistemas basados en etanol son descartables para aplicaciones en plataformas, dado el menor poder energético de este combustible y su disponibilidad sólo en ciertos mercados.

Por tanto, la forma idónea de emplear biocombustibles en el sector militar sería aprovechar cultivos energéticos de alto rendimiento y producción de algas a gran escala para ser transformados en JP-8 sintético aprovechando los sistemas actuales de distribución y sin necesidad de adaptar las plataformas actuales a nuevos combustibles.

De este modo, cultivos energéticos de primera o segunda generación con rendimientos en sus procesos mejorados (Ej. transformación celulósica) o producción a gran escala de algas pueden ser transformados en combustibles de características estándar.

En profundidad

Los Metamateriales

Luis Miguel Requejo Morcillo (OT MAT) y Fernando Iñigo Villacorta (OT ELEC)

Materials that can reverse the direction of natural light (and generally any kind of electromagnetic radiation) have already been manufactured. The development of these kinds of material (known as metamaterials) could lead to a technology capable of forming the basis for obtaining optical images with higher resolution, creating invisible surfaces, nanocircuits for high processing, power microprocessors and new antennas for applications in the aerospace and telecommunication areas.

One of the main drawbacks of metamaterials is that they cannot be found in nature. These materials are artificial structures that, in many cases, need to be manufactured by using nanotechnology techniques. Today, these techniques are neither mature nor costeffective, and do not allow largscale production.

¿Qué son los metamateriales?

Los metamateriales se definen en sentido amplio como estructuras artificiales, homogéneas desde el punto de vista electromagnético[1], que exhiben propiedades físicas insólitas no presentes en la naturaleza.

Los metamateriales más conocidos son los denominados materiales "zurdos" o LH (LeftHanded)[2]. En estos materiales, tanto la permitividad eléctrica (ε) como la permeabilidad magnética (μ) toman un valor negativo, lo que hace que presenten un índice de refracción (n) también negativo.

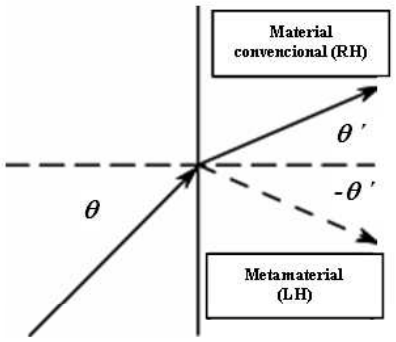


Fig. 1. Refracción en un medio convencional (RH) y en un medio LH.

Ningún material de la naturaleza conocido hasta el momento presenta un índice de refracción negativo. Por esta razón, los metamateriales LH dan lugar a fenómenos físicos extraordinarios, entre los que destacan los siguientes:

- Inversión de las Leyes de Snell[3] y, por lo tanto, refracción negativa en la interfase de un metamaterial LH con un material convencional (RH)[2](Fig. 1).
- Intercambio de los efectos de convergencia y divergencia en lentes convexas y cóncavas respectivamente).
- Inversión del Efecto Doppler[4]. La frecuencia de las ondas disminuye en lugar de aumentar al acercarse el objeto que emite dichas ondas.

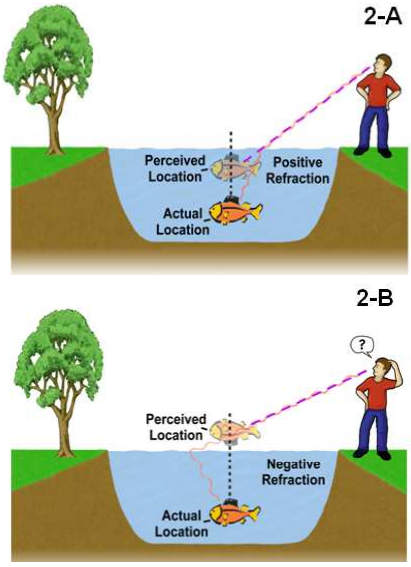


Fig. 2. Ilustración de cómo percibe el observador un pez que nada en un medio convencional o de refracción positiva (2A) y de cómo lo percibiría si el medio fuera LH (2B) (Fuente: UC Berkeley).

Para dar una idea más gráfica del comportamiento de un material "zurdo", se podría decir que si el agua tuviese un índice de refracción negativo, un pez que estuviese nadando parecería estar haciéndolo en el aire, por encima de la superficie del agua (Fig. 2). Es necesario aclarar que los metamateriales LH no presentan este tipo de comportamientos en todo el espectro electromagnético, sino sólo en determinados rangos de frecuencias.

Además de los materiales zurdos, se pueden sintetizar metamateriales con un amplio rango de propiedades insólitas, como por ejemplo los que absorben casi por completo la luz que incide sobre ellos, los que sólo tienen la permitividad eléctrica o magnética (ε o μ) negativa, etc.

La fabricación de los metamateriales

El comportamiento de un material frente a las ondas electromagnéticas está determinado por el valor de su permitividad eléctrica (ε) y de su permeabilidad magnética (μ). En los materiales ordinarios, el valor de ε y de μ depende de los elementos constituyentes del mismo (átomos y moléculas).

Para modificar los valores de ε y de μ es necesario distribuir uniformemente en el material elementos que alteren la respuesta de dicho material a las ondas electromagnéticas. Si la longitud de onda de la señal incidente es mucho mayor que el tamaño de estos elementos, entonces la estructura se comporta como si fuera un material

---

[1] *Un material se puede considerar homogéneo cuando el tamaño de su unidad constitutiva es mucho menor que la longitud de onda λ_g de la señal electromagnética que se propaga por él.*

[2] *La denominación LH viene del hecho de que, en estos materiales, los vectores de campo eléctrico (**E**), campo magnético (**H**) y el vector de la constante de fase (**β**) están relacionados por la regla de la mano izquierda. Mientras que los materiales convencionales (materiales RH o Righ Handed) se rigen por la regla de la mano derecha.*

[3] *Las leyes de Snell se emplean para el cálculo de los ángulos de reflexión y refracción de la luz al atravesar una superficie de separación entre dos medios de índice de refracción distinto.*

[4] *Efecto Doppler es el cambio de frecuencia de la onda observada con respecto a la emitida, cuando el emisor de las ondas está en movimiento con respecto al observador.*

convencional, pero con propiedades extraordinarias.

Por ejemplo, para conseguir que un determinado material adquiera valores de ε y μ simultáneamente negativos, se introducen en él un conjunto de hilos metálicos y de anillos metálicos (ver Fig. 3). Así, cuando la longitud de onda de la señal electromagnética es mucho mayor que el tamaño de estos elementos, las ondas electromagnéticas percibirán un material "homogéneo" con valores de ε y de μ negativos (los hilos inducen una ε negativa y los anillos inducen una μ negativa).

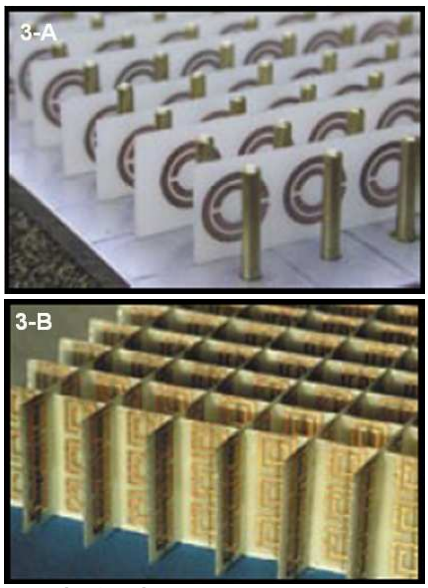


Fig. 3. Primeras estructuras LH experimentales, construidas por el equipo de D.R. Smith, Universidad de California, San Diego. 3A: Estructura LH monodimensional. 3B: Estructura LH bidimensional. Ambas estructuras están basadas en hilos metálicos y en anillos resonantes (C.F.: Scientific American).

El metamaterial de la Fig. 3 presenta comportamiento LH a frecuencias de microondas. Como la longitud de onda de estas señales es del orden de centímetros, no resulta demasiado difícil sintetizar hilos y anillos de tamaño mucho menor (unos pocos milímetros). El problema surge al abordar la síntesis de metamateriales LH a frecuencias ópticas. En este caso, la reducida longitud de onda de la señal (400700 nm) obliga a utilizar hilos y anillos de un tamaño de pocos nanómetros, por lo que, para fabricar estos elementos, se hace imprescindible emplear la nanotecnología. A día de hoy, las técnicas de nanotecnología ni están muy desarrolladas, ni son baratas, ni permiten una producción a gran escala. El desarrollo de este tipo de tecnologías de fabricación y, por tanto, de los propios metamateriales para frecuencias ópticas, se plantea como un gran reto para los investigadores.

Aplicaciones de los metamateriales

Los metamateriales tendrán una gran importancia en el desarrollo de tecnologías dentro de los campos de la óptica y del electromagnetismo y serán utilizados tanto en sistemas civiles como militares. Entre las principales aplicaciones de los metamateriales se pueden destacar las siguientes:

Invisibilidad en determinados rangos del espectro EM

La búsqueda de la invisibilidad ha sido y es uno de los objetivos más ansiados por los científicos durante muchos años. Desde el punto de vista militar, la posibilidad de disponer de plataformas indetectables por los sensores radar y ópticos del enemigo, proporcionaría una ventaja táctica decisiva, incrementando la efectividad de los ataques y asegurando la supervivencia de la gran mayoría de las unidades.

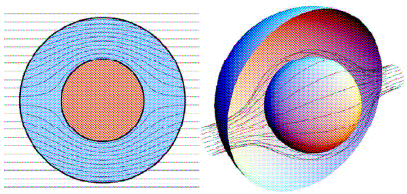


Fig. 4. Concepto de invisibilidad: los rayos de luz (líneas negras) rodean el objeto (esfera interior) gracias al material que lo recubre (esfera exterior) (fuente: J.B. Pendry, Science).

Para conseguir esta invisibilidad, un material necesitaría curvar completamente las ondas de luz, de forma que, si envolvemos un objeto con dicho material, la luz rodearía el objeto que se desea hacer invisible, (ver Fig. 4), de forma similar al agua de un río cuando rodea una roca. Así, el objeto ni absorbería ni reflejaría la luz, volviéndose invisible.

El camino de la luz en el material se puede controlar por medio de variaciones en el índice de refracción de dicho material. Debido a que los metamateriales permiten la síntesis teórica de estructuras con valores de ε y de μ arbitrarios (y, por tanto, con valores del índice de refracción arbitrarios), sería posible utilizarlos para curvar de manera controlada las ondas electromagnéticas. Por esta razón, los metamateriales se podrían emplear como recubrimientos para ocultar objetos a una determinada frecuencia, haciéndolos invisibles a los sensores que operasen en dicha frecuencia.

En la Fig. 5 se muestran los resultados experimentales obtenidos en un metamaterial diseñado para ocultar objetos, a frecuencias de microondas. Si se sitúa un cilindro metálico en el interior de este metamaterial, se observa que el metamaterial, usado como recubrimiento, consigue reducir la radiación reflejada y la intensidad de la sombra producida por el cilindro. Aunque la "invisibilidad" del cilindro metálico aún dista de ser completa, este experimento demuestra la viabilidad del mecanismo de ocultación de la Fig. 4.

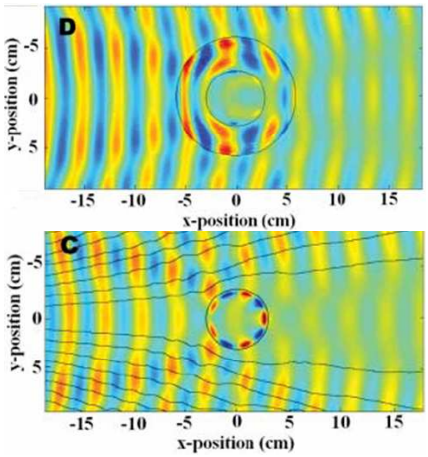


Fig. 5. Medida experimental de la intensidad del campo eléctrico a 8.5 GHz: c) Cilindro metálico sin recubrimiento; d) Cilindro metálico con recubierto del metamaterial de la Fig.5 (fuente: D. Schurig, Science).

Superlentes: resolución más allá del límite de difracción

Debido a los fenómenos de difracción de la luz, existe un límite fundamental de la resolución que se puede obtener con los sistemas ópticos convencionales. Este límite se debe a que, en un sistema óptico, no es posible discriminar objetos cuyo tamaño sea inferior a la longitud de onda de la radiación empleada para iluminar dichos objetos. Este efecto se produce ya que los detalles de menor tamaño de la imagen iluminada "viajan" en unas ondas que se atenúan muy rápidamente con la distancia (ondas evanescentes), por lo que dicha información no llega al sistema óptico que reconstruye la imagen del objeto.

Sin embargo, J.B. Pendry y otros autores sostienen que el esquema que aparece en la Fig. 6 (formado al insertar, en un medio de índice de refracción n=1, una pieza plana de metamaterial LH de índice de refracción n= 1) actuaría como una lente perfecta o "superlente", en el sentido de que sería capaz de discriminar detalles de la imagen de tamaño inferior al límite de difracción. Esto sería posible debido a que los metamateriales LH amplifican las ondas evanescentes presentes en el sistema óptico.

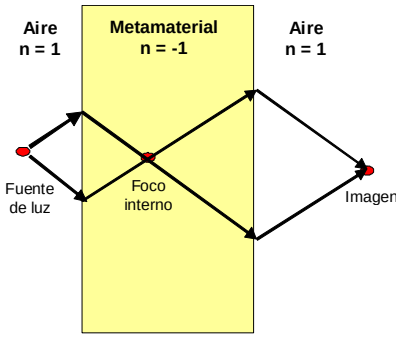


Fig. 6. Esquema de la lente perfecta o "superlente "de Pendry.

La ruptura del límite de difracción permitiría la realización de dispositivos ópticos con prestaciones verdaderamente revolucionarias, entre las que se destacan:

- Sistemas ópticos de muy alta resolución para objetos lejanos, que serían aplicables a sistemas ISTAR.
- Microscopios ópticos capaces de apreciar hasta el movimiento de virus individuales o moléculas de ADN dentro de una célula humana, lo que supondría una revolución en la investigación y el diagnóstico de enfermedades.
- Sistemas de fotolitografía de circuitos integrados de muy alta resolución (nanómetros), lo que permitiría incrementar de manera drástica el número de transistores por unidad de superficie en la oblea semiconductora.
- Posibilidad de incrementar en un factor varias veces superior a cien el volumen de información que se puede leer y almacenar en discos ópticos (DVDs).

En 2005, el grupo de Xiang Zhang de la Universidad de Berkeley demostró el funcionamiento real de una "superlente" consistente en una lámina de plata de 35 nm de espesor ($\varepsilon = 1$) (Fig. 7). Al utilizar la superlente, se consiguió una imagen con detalles más finos que la longitud de onda de la luz incidente (365 nm).

En cualquier caso, es importante señalar que muchos científicos dudan de que en estos sistemas se esté superando realmente el límite de difracción, cuestión que está siendo en la actualidad objeto de intensos debates[5]. La paradoja se explica por el hecho de que sistemas como el de la Fig. 6 no son realmente lentes (en el sentido de sistemas que cumplen con las reglas de la óptica geométrica), sino "dispositivos adaptadores" que enfocan la energía hacia puntos más pequeños que la longitud de onda. Además, este enfoque de energía se produce a distancias muy reducidas en comparación con la longitud de onda, lo que limita su utilidad práctica.

Otras aplicaciones

La utilización de metamateriales en el diseño de algunos dispositivos ópticos y de radiofrecuencia convencionales permitiría mejorar las prestaciones de dichos dispositivos. Entre las mejoras que se pueden conseguir destacan la miniaturización de resonadores y filtros (con lo que se podrían diseñar dispositivos más compactos), la síntesis de componentes bibanda, el diseño de circuitos con nuevas funcionalidades, etc.

Por otro lado, los metamateriales permiten sintetizar estructuras con comportamiento de conductor magnético (PMC[6]), lo que podría utilizarse para diseñar nuevos tipos de antenas o mejorar las prestaciones de las ya existentes.

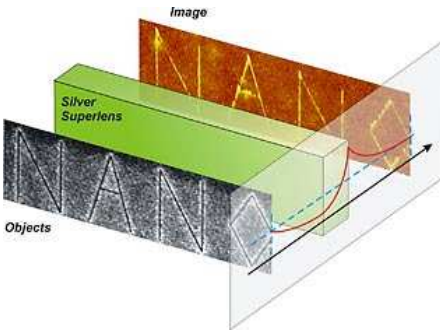


Fig. 7. Sistema óptico que utiliza una superlente de plata para conseguir una resolución superior al límite de difracción. La línea roja indica la amplificación de las ondas evanescentes al pasar por la superlente. (Fuente: Cheng Sun, UC Berkeley).

Estado actual

En la actualidad, ya se han podido crear metamateriales bidimensionales en frecuencias ópticas, pero los tridimensionales con refracción negativa sólo se han producido en longitudes de ondas microondas. Últimamente, se ha conseguido fabricar por primera vez un metamaterial en el extremo rojo del espectro visible (la longitud de onda más pequeña obtenida hasta ahora) con un índice de refracción de 0,6. En agosto de 2008, revistas de prestigio reconocido como Nature y Science publicaron artículos sobre la creación, por parte de un equipo de investigadores, de un material que no refleja la luz visible, lo que podría en un futuro hacer "desaparecer" objetos de cualquier tamaño. A pesar del optimismo que despiertan avances como los descritos, los ingenieros advierten que todavía están muy lejos aplicaciones tales como la invisibilidad, entre otras, ya que los metamateriales fabricados son muy frágiles.

En definitiva, el desarrollo de los metamateriales es una línea de investigación disruptiva o no evolutiva, que podrá aportar avances revolucionarios que dejen obsoletas otras líneas de investigación convencionales o evolutivas. Y lo cierto es que en poco tiempo se ha pasado de imaginar ciertas propiedades a tener materiales con dichas propiedades.

La posibilidad de sintetizar materiales con valores arbitrarios de las permitividades eléctrica y magnética (ε y μ) abre la posibilidad de fabricar dispositivos con propiedades extraordinarias, como recubrimientos para hacer invisible un objeto o "superlentes" con una altísima resolución óptica. Estas aplicaciones están cada vez más cerca de convertirse en una realidad y pueden suponer una más que notable mejora tecnológica de los sistemas de defensa.

[5] *La ruptura del límite de difracción podría suponer la violación de importantes principios físicos, como el de incertidumbre de Heisenberg.*

[6] *PMC: Perfect Magnetic Conductor.*

Vulnerabilidad de plataformas

Fernando Echeverría Lucena, Patricia García Fernández, Cte. Roberto Jenaro de Mencos, (LQCA-ITM) y TCol. Guillermo Jenaro de Mencos, (CGE MALE–DISA)

The principle threat in the conflicts of Afghanistan and Lebanon come from terrorist attacks using IEDs (improvised Explosive Devices), RPG (Remote Propelled Grenade), buried mines or gun attacks. In these cases the survival of vehicles is complex and critical, especially for the lightweight most vulnerable vehicles. It is important to have a tool capable of quantifying the vulnerability of such vehicles within distinct threatening situations that can also propose various improvements.

Within the ballistics laboratory of The ITM (Instituto Tecnologia de la Marañosa), through the Lethalness and Vulnerability Project (LyV), exists the capability to carry out analysis surrounding the lethality of ammunitions and the vulnerability of platforms.

This article aims to provide knowledge of the work carried out, the experience and capabilities acquired and the possibilities that the work carried out in the LyV project has to offer in distinct yet related environments where platforms are vulnerable..

INTRODUCCIÓN

Las principales amenazas en conflictos en Afganistán y Líbano vienen de ataques terroristas con dispositivos IED (*Improvised Explosives Devices*), RPG (*Remote Propelled Grenade*), minas enterradas o ataques con fusil. En este contexto, la supervivencia de los vehículos es compleja y crítica, especialmente para los vehículos ligeros, más vulnerables. Es importante tener una herramienta capaz de cuantificar la vulnerabilidad de los vehículos ante distintos escenarios de amenaza y que sea útil para proponer mejoras en los mismos. El ITM, y dentro de éste el laboratorio de Balística con el proyecto de Letalidad y Vulnerabilidad (LyV), tiene la capacidad de realizar análisis sobre la letalidad de municiones y la vulnerabilidad de plataformas.

El objeto de este artículo es dar a conocer el trabajo realizado, la experiencia y capacidades adquiridas, y las posibilidades que ofrece la línea de trabajo LyV a distintos ámbitos relacionados con la vulnerabilidad de plataformas.

CONCEPTO DE VULNERABILIDAD

La supervivencia de una plataforma frente a un entorno hostil depende de tres niveles o estados: susceptibilidad, vulnerabilidad y recuperabilidad.

- La **susceptibilidad** de una plataforma es su habilidad para evitar ser alcanzada por una amenaza.
- La **vulnerabilidad** es la habilidad de la plataforma para resistir los mecanismos de daño de una amenaza que ha conseguido impactar sobre la misma.
- La **recuperabilidad** es la habilidad para, usando recursos del vehículo y tras la decisión del comandante de la misión, restaurar parcial o completamente los valores de supervivencia de la plataforma.

Estos niveles aparecen sintetizados en la gráfica de resistencia de plataformas (la conocida como "*onion survivability*"), donde se van analizando por capas la supervivencia de la plataforma. Esto permite elegir entre diferentes tipos de protecciones en un vehículo para resistir unas amenazas definidas que pueden diferir de una misión a otra. Una metodología de cálculo de la vulnerabilidad permite analizar las plataformas y evaluar su nivel de protección. El ITM tiene esta capacidad de simulación a través del programa LyV.

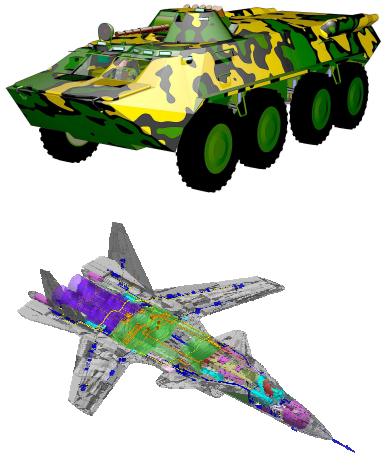


Fig. 1. Plataforma aérea y vehículo del grupo AVT-127.

ANTECEDENTES: GRUPO AVT-127

El grupo AVT-127 del panel AVT (*Applied Vehicle Technology*) de la RTO (OTAN), contó con la participación de 5 países: (Francia (DGA Gramat), Alemania (IABG), Holanda (TNO), España (ITM-LQCA) y Reino Unido (Dstl), y trabajó en el análisis e intercomparación de modelos de cálculo de Letalidad y Vulnerabilidad (LyV) en aplicaciones para los tres ejércitos. Cada país utilizó sus propias herramientas de simulación para determinar el comportamiento de una cabeza de guerra de misil antiaéreo contra un avión de combate, y un proyectil de energía cinética contra un vehículo blindado medio para el transporte de tropas. Se desarrollaron modelos comunes tanto de las municiones como de los blancos, dentro del grupo de trabajo y los resultados de las simulaciones se compararon.

El objetivo principal del grupo era el intercambio de información entre países sobre métodos de cálculo de vulnerabilidad de plataformas y letalidad de armas, y estandarizar criterios entre naciones OTAN para estas aplicaciones.

El panel acabó en el año 2007 y fue todo un éxito, ya que para España supuso dotarse de una capacidad de cálculo en el campo de la vulnerabilidad de plataformas que antes no se tenía, y superar un retraso que se tenía con respecto a otros países aliados.

Fig. 2. Esquema de funcionamiento de las simulaciones.

SOFTWARE DE CÁLCULO

Para el cálculo de vulnerabilidad se cuenta con un software específico que hace uso de un modelo estocástico de cálculo. Este modelo se basa en resultados probabilísticos, que llevan asociados una incertidumbre que será tanto menor cuanto mejores sean los datos de entrada en la simulación y mayor el número de ciclos. En la simulación se trabaja con ciclos de Monte Carlo, que consisten en realizar N disparos aleatorios alrededor de un objetivo.

El estudio de la vulnerabilidad de una determinada plataforma es un complejo proceso en el que se analiza la misma con detalle, siendo cada fase de desarrollo básica para conseguir un modelo realista. Dicho modelo debe ser capaz de representar la plataforma sometida a análisis con el detalle suficiente que permita un tiempo de cálculo razonable y unos resultados suficientemente fiables.

DEFINICIÓN DE ESCENARIOS

El primer paso es definir el escenario donde la plataforma va a operar. La manera de hacerlo es dividir el escenario en misiones. Así, en el ejemplo propuesto (Fig. 4) se consideran dos tipos de misiones: “Patrulla” (bajo nivel de combate) y “Combate” (alto nivel de combate). Estas misiones se subdividen en perfiles de misión, por ejemplo área urbana y área terrestre para misiones terrestres.

Para cada perfil de misión las amenazas se clasifican según el tipo en fuego directo y fuego indirecto. El fuego directo es el efectuado por uno o varios tiradores sobre la plataforma. El fuego indirecto aparece con una fuente de fragmentación (IED, minas, HE (*High Explosive*) warhead, etc.) En este caso

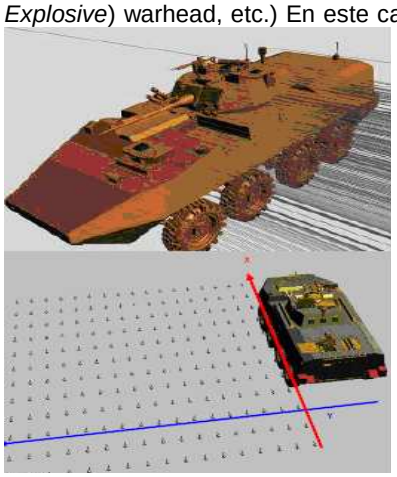


Fig. 3. Superior: fuego directo. Inferior: escenario de IED en fuego indirecto.

Misión	Frec.	Perfil de Misión	Frec.	Tipo de arma	Frec.	Tipo de munición	Frec.	Actitud (º)	Frec.
Patrulla	0,65	Area rural	1,00	Fuego Directo	0,60	Rifle de asalto 7,62mm AP, a 100m	0,40	0;0	0,30
								90;0	0,25
								180;0	0,20
								270;0	0,25
						Ametralladora 12,70mm AP, a 200m	0,30	0;0	0,30
								90;0	0,25
								180;0	0,20
								270;0	0,25
						Munición anti-tanque 100mm, a 150m	0,30	0;0	0,50
								90;0	0,50
				Fuego Indirecto	0,40	Mortero 80mm a 1500m	0,25	0;-75	0,40
								90;-75	0,60
						IED 155mm	0,75	90;0	1,00
Combate	0,35	Area rural	1,00	Fuego Directo	0,60	Rifle de asalto 7,62mm AP, a 100m	0,40	0;0	0,30
								90;0	0,25
								180;0	0,20
								270;0	0,25
						Ametralladora 12,70mm AP, a 200m	0,30	0;0	0,30
								90;0	0,25
								180;0	0,20
								270;0	0,25
						Munición anti-tanque 100mm, a 150m	0,30	0;0	0,50
								90;0	0,50
				Fuego Indirecto	0,40	Mortero 80mm a 1500m	0,25	0;-75	0,40
								90;-75	0,60
						IED 155mm	0,75	90;0	1,00

Fig.5. Ejemplo de definición de escenario operativo. La parte amarilla muestra como un IED de 155mm influencia la misión de patrulla en el uso de un vehículo terrestre.

la posición de disparo corresponde con la de la cabeza de guerra.

Para cada tipo de fuego se especifica un arma, con su munición y el ángulo con que se recibe el impacto. Para completar la tabla se anotan las frecuencias relativas de ocurrencia de cada tipo de amenaza, que se conocerán previo al despliegue de tropas. Con esta tabla se puede hacer un estudio de probabilidades ante diferentes amenazas para poder evaluar la vulnerabilidad del vehículo.

DESCRIPCIÓN DE LA AMENAZA

La amenaza es el proyectil o artefacto explosivo que se dispara o hace explosionar contra el blanco durante la simulación. Se define con uno o varios tipos de cabezas de guerra: proyectil de energía cinética, carga hueca, *Explosively Formed Penetrador* (EFP), o cabeza de fragmentación. El arma consta de un sistema de espoletas definido por varios tipos de sensores: impacto, proximidad, retardo, altura, láser

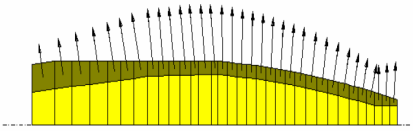


Fig. 4. Ejemplo de definición de cabeza de guerra de proyectil artillería de 155mm con dirección inicial de fragmentación.

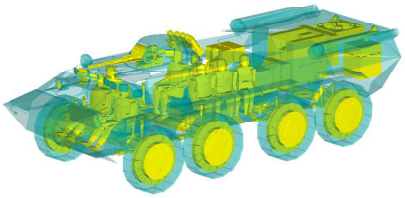


Fig. 6. Vehículo blindado de transporte personal 8x8. Componentes vitales en amarillo y estructurales en azul.

o IR. Los datos de entrada como posición, masa y velocidad de los fragmentos, energía liberada por el explosivo, etc. pueden provenir de ensayos experimentales o modelos numéricos contrastados.

DESCRIPCIÓN DEL BLANCO

El siguiente paso es definir la plataforma blanco de la que se va a estudiar su vulnerabilidad. El vehículo terrestre en estudio se divide en varios subsistemas: control, motor, dirección, tripulación y munición.

Cada uno de ellos habrá que definirlo por su geometría y materiales, criterio de daño, e interrelacionarlo con un árbol de fallos para determinar los eventos finales (*top events*), que en el caso del vehículo serían movilidad, potencia de fuego, tripulación o una combinación de todas.

GEOMETRÍA Y MATERIALES

Para definir los distintos componentes que forman la plataforma, a cada uno de ellos se le asigna el tipo de geometría que tiene y la función que desempeñará dentro del sistema total.

Atendiendo a la función que desempeñe cada uno de los elementos dentro del sistema los clasificaremos en elementos vitales y estructurales. Los elementos estructurales son básicamente protecciones y blindajes (pasivos o activos) y los vitales conforman el árbol de fallos del vehículo. Los vitales son aquellos que neutralizados, individual o de forma combinada, resultan en el fallo de los subsistemas del vehículo.

A cada geometría se le asocia un material con propiedades físicas y mecánicas (densidad, módulo de Young, coeficiente de Poisson, etc.) que hay que introducir en la lista de materiales.

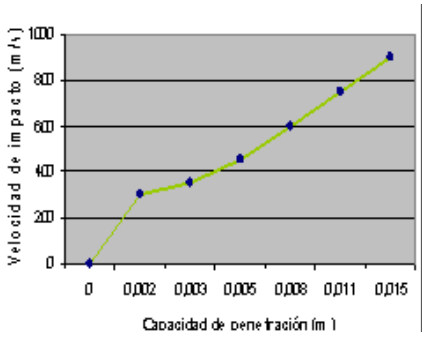


Fig. 7. Capacidad de penetración acero RHA en función de velocidad de impacto.

CRITERIOS DE DAÑO

Una vez creada la geometría del modelo se detallan los denominados "criterios de daño". Éstos se pueden definir como una serie de hipótesis, fundamentalmente obtenidas mediante la experiencia (ensayos o datos recopilados con el tiempo), que proporcionan la probabilidad de que un determinado componente vital de la plataforma quede "fuera de servicio". Por cada ciclo de simulación y cada tiempo de evaluación, se comprueba si un componente vital ha sido neutralizado.

Hay mecanismos de daño por penetración del proyectil, carga hueca, impacto de fragmentos, onda aérea, fuego, aceleración, pérdida de combustible, así como otros efectos colaterales.

El propósito final de los mecanismos de fallo es relacionar la probabilidad de neutralizar un componente con alguna característica de la amenaza. En el caso del impacto de un fragmento sobre una estructura esta característica sería la penetración y el tamaño del cráter generado.

ÁRBOL DE FALLOS

El árbol de fallos es la lista de los componentes vitales que pueden ser neutralizados. Es una estructura lógica con ramas que representan los diferentes subsistemas y componentes vitales. Estas ramas se relacionan mediante nodos con operadores booleanos del tipo AND, NOT, OR que combinan distintos efectos sobre el blanco. La salida, anteriormente definida en el propio árbol de fallos, es un evento/s o solución/es finales.

En el árbol de fallos se definen los eventos finales (*top events*) que caracterizan la vulnerabilidad de la plataforma. Para vehículos terrestres normalmente se incluyen eventos finales de: pérdida de movilidad, pérdida de potencia de fuego y bajas en la tripulación, aunque no se excluyen otros como las comunicaciones, etc. Dependiendo del diseño, algunos componentes serán redundantes, lo cual debe ser tenido en cuenta en el árbol de fallos.

SIMULACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

La definición de las simulaciones debe representar al menos las diferentes amenazas y actitudes de disparo del escenario previsto en la figura 4. El software lo hace a través de dos pasos:

1. El primer paso es la **definición del caso**. Incluye el tipo de arma con su cabeza de guerra, el blanco, punto de disparo, ángulos de impacto (sobre la horizontal y la vertical), distribución de impactos, número de ciclos de Monte Carlo y número de salvas si las hubiere. Se define una malla uniforme alrededor del blanco y dentro de cada celda (típicamente de 1cm de lado) un punto de impacto y una desviación típica para así ajustar una distribución realista de impactos. En cada celda se efectúan N disparos correspondientes a los N ciclos de Monte Carlo y se saca el valor medio de la Probabilidad de Fallo, Pk (*Kill Probability*), de los *eventos finales* definidos previamente en el árbol de fallos.

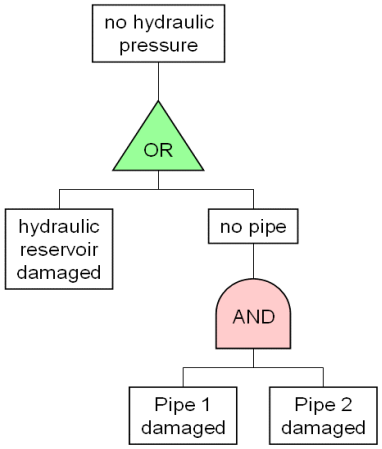


Fig. 8. Ejemplo de rama del árbol de fallos. El evento fallo del sistema hidráulico del motor se relaciona con los subeventos fallo en el depósito ó fallo de las tuberías 1 y 2.

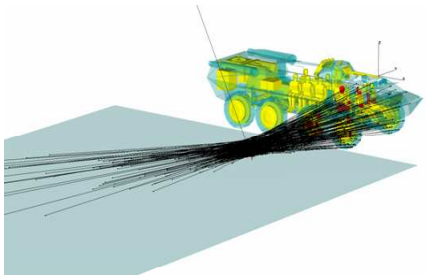


Fig.9. Simulación de un IED de 155mm a una distancia de 3m del vehículo. En rojo las partes vitales alcanzadas.

2. El segundo paso es **definir la simulación**. Esta definición usa uno o varios casos siendo así posible simular el efecto en una plataforma de varios ataques simultáneos. Incluye información de los fenómenos que pueden presentarse (iniciación de explosivos, fuego, pérdida de combustible, etc.) y de los tiempos de evaluación de estos fenómenos sobre el blanco.

Una vez lanzada la simulación y tras un tiempo de cálculo que dependerá de la exactitud del modelo y del número de

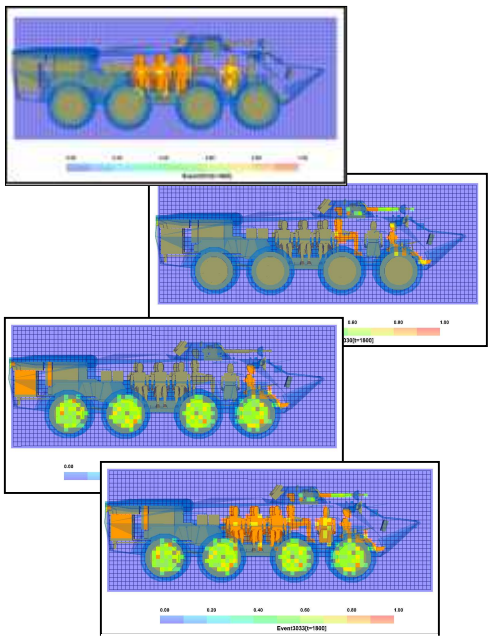


Fig. 10. (a) Tripulación, (b) Fuego (c) Movilidad, (d) Completo.

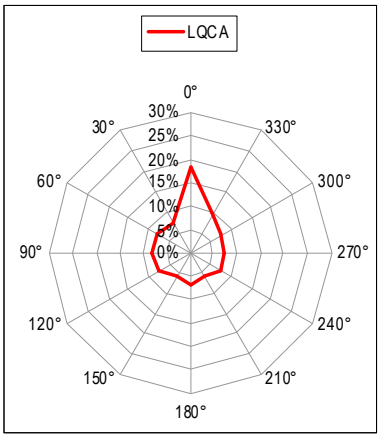


Fig. 11. Área vulnerable de capacidad de fuego en función de ángulo de impacto.

ciclos de Monte Carlo se obtienen los primeros resultados.

El programa da como salida una serie de ficheros de datos que son un listado de los componentes vitales del vehículo y su probabilidad de fallo en la simulación.

Gráficamente se presentan en la figura 10 la malla de vulnerabilidad, con los Pk en una escala de colores del 0 al 100% (de menos a más vulnerable) de cada uno de los eventos finales.

El fichero de datos de salida de la simulación se puede tratar con una hoja de cálculo para hallar otros valores cuantitativos de vulnerabilidad como es el área vulnerable del vehículo. Este valor permite determinar los ángulos de impacto donde el vehículo es más vulnerable y aplicar en esa zona más esfuerzos en mejorar la protección.

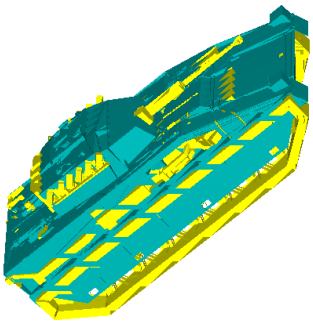


Fig. 13. Modelo del vehículo

APLICACIONES DE LyV

Mejora en la vulnerabilidad de plataformas

Permite hacer estudios paramétricos de distintas soluciones para disminuir la vulnerabilidad de una plataforma. En el ejemplo desarrollado en este artículo se presentan cuatro posibles mejoras y su estudio comparativo en la figura 12:

- Configuración A – Básica, modelo de partida.
- Configuración B – Protección de granadas de humo para disminuir la probabilidad de impacto.
- Configuración C – Cambio en el material del blindaje exterior.
- Configuración D – Introducción de *spall liners* para evitar fragmentos en cabina.

Actualmente, el programa LyV está inmerso, con la ayuda de la empresa General Dynamics – Santa Bárbara Sistemas, en el desarrollo del modelo completo del vehículo blindado Pizarro para estudiar su vulnerabilidad en combate. El modelo incluye la barcaza, el tren de rodaje, lanzadera de misiles y cañón Mauser de 30mm. El Pizarro forma parte actualmente de las FAS y su fase de implantación finaliza en el 2012.

Letalidad de Municiones

Se puede estudiar la letalidad de diferentes cabezas de guerra frente a todo tipo de objetivos. Se está estudiando la letalidad desde misiles antiaéreos a munición de mortero o para torpedos.

Otras aplicaciones futuras

Otras aplicaciones factibles podrían ser:

- Extender los trabajos realizados sobre el Pizarro a otros vehículos de interés (nuevos vehículos anti-minas LMV y RG-31).
- Realizar un análisis de la vulnerabilidad del A400M frente a amenazas realistas: desde armamento ligero a ametralladoras de 14.5 mm API, RPGs ó MANPADS tipo SA-7.
- Estudio de la vulnerabilidad de plataformas navales frente a explosiones subacuáticas.

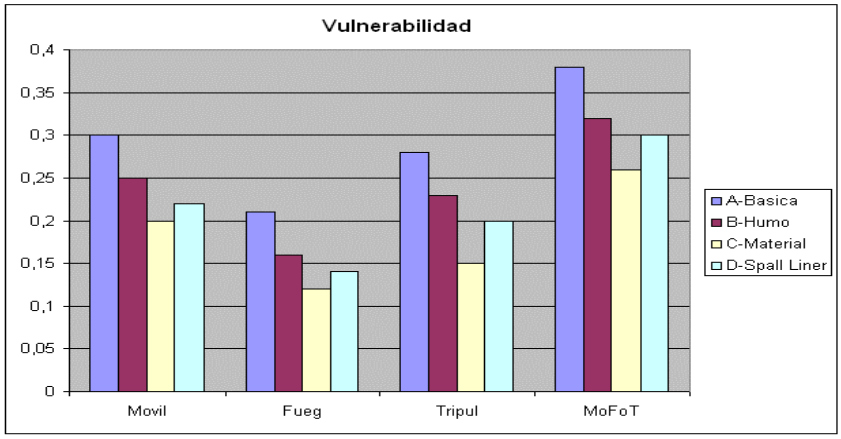


Fig.12. Estudio de soluciones para disminuir la vulnerabilidad del vehículo

CONCLUSIONES

En este artículo se ha presentado de forma resumida la línea de trabajo que está desarrollando actualmente el equipo del LyV dentro del Área de Armamento del ITM. Este grupo de trabajo posee la capacidad para poder llevar a cabo análisis exhaustivos de distintas plataformas y amenazas para conseguir resultados de la vulnerabilidad / letalidad de las mismas con el objetivo final de poder ofrecer posibles mejoras en los distintos modelos. Además, el ITM y su Sección de Balística de Efectos tienen amplia experiencia en todo tipo de ensayos de vulnerabilidad de plataformas: cabezas de fragmentación frente a blindajes, proyectiles EFP, minas anticarro,… Esta capacidad de hacer ensayos, unida a la herramienta de simulación AVAL, permite estudiar en la actualidad la vulnerabilidad de todo tipo de plataformas militares. Su interés para Defensa es obvio para el estudio de cualquier vehiculo antes de ser enviado a una operación internacional.

Actualmente, aparte de las actividades desarrolladas por el laboratorio de balística (línea LyV) del ITM-LQCA, no existe ningún otro centro del Ministerio de Defensa con la capacidad de evaluar la vulnerabilidad de sus propias plataformas; con la línea citada se pretende crear un núcleo de especialistas en vulnerabilidad que permita dar apoyo a los tres ejércitos, así como participar en grupos internacionales (RTO, EDA) en esta ámbito.

Para mayor información o contacto en este ámbito, pueden dirigirse al Cte. D. Roberto Jenaro de Mencos (rjenaro@oc.mde.es), Fernando Echeverría Lucena (fechluc@oc.mde.es) o Patrícia García Fernández (pgarfe@oc.mde.es).

Boletín de Observación Tecnológica en Defensa

Disponible en http://www.mde.es/dgam/observatecnoF.htm

CREATIVIDAD INNOVACIÓN
AÑO EUROPEO 2009

SOPT
SISTEMA DE OBSERVACIÓN Y PROSPECTIVA TECNOLÓGICA

GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE DEFENSA
DIRECCIÓN GENERAL DE ARMAMENTO Y MATERIAL
SUBDIRECCIÓN GENERAL DE TECNOLOGÍA Y CENTROS