Boletín DE OBSERVACIÓN TECNOLÓGICA EN DEFENSA

DIRECCIÓN GENERAL DE ARMAMENTO Y MATERIAL
ARMAMENTO Y MATERIAL

SUBDIRECCIÓN GENERAL DE TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN
Boletín de Observación Tecnológica en Defensa nº 33 • 4º Trimestre de 2011

Supervisión en salud estructural en plataformas aeroespaciales mediante sensores de fibra óptica

Diseño y desarrollo de formas alternativas de carenas

- Biotecnología: aplicación en Defensa
- Movilidad de vehículos: parámetros y estimación
- Proyecto EDA: *Networked Multi-Robot Systems* (NM-RS)
- RTO-SET-112: identificación no cooperativa de aeronaves mediante radar
- RTO-SET-124: terahercios para detección a distancia

boletín de observación tecnológica en defensa nº 33

Edita:

MINISTERIO DE DEFENSA

Subdirección General de Publicaciones
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 e Innovación (SDGTECIN) de la Dirección General de Armamento y Material (DGAM). C/ Arturo Soria 289, 28033 Madrid; teléfonos: 91 395 46 31 (Dirección), 91 395 46 87 (Redacción); observatecno@oc.mde.es.

Director: CF Ing José María Riola Rodríguez.
Redacción: Patricia López Vicente.

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

Portada: imagen SIVA, artículo "Supervisión en salud estructural en plataformas aeroespaciales mediante sensores de fibra óptica" (Fuente: INTA).

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

Colaboraciones y suscripciones:
observatecno@oc.mde.es

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

SOPT

DGAM
Subdirección General de Tecnología e Innovación

CONTENIDOS

3 **Editorial**

Actualidad

4 Congreso IberSim 2011

4 Enlaces de interés

5 Jornada sobre el programa LANZA NAVAL

6 El grupo EDA "Database of Biological Agents" en el ITM

6 Conferencias "La situación de la I+D+i de Defensa y Seguridad en Europa"

7 Jornada "Información en los centros de investigación en defensa y seguridad"

8 LWAG 2011

9 Programa AMIGOS en el BOLD QUEST 2011

Tecnologías Emergentes

10 RTO-SET-124: terahercios para detección a distancia

11 Agenda

12 RTO-SET-112: identificación no cooperativa de aeronaves mediante radar

14 Proyecto EDA: *Networked Multi-Robot Systems*

16 Movilidad de vehículos: parámetros y estimación

18 Biotecnología: aplicación en Defensa

En profundidad

20 Diseño y desarrollo de formas alternativas de carenas

24 Supervisión en salud estructural en plataformas aeroespaciales mediante sensores de fibra óptica

Difundiendo información

El apoyo del Ministerio a la industria de defensa debe materializarse desde diferentes ámbitos. Uno de ellos es el que contempla la difusión de nuestras actividades e intenciones a medio y largo plazo además de las diferentes oportunidades de I+D+i. Así, la Estrategia de Tecnología e Innovación para la Defensa (ETID) cuenta con un Eje de Información que agrupa todas aquellas iniciativas conducentes a la difusión de la información y al fomento del conocimiento mutuo y cooperación de los distintos agentes involucrados en la I+T de defensa, entre los que se encuentran las universidades, centros tecnológicos, PYMES y grandes empresas.

El principal objetivo de este Eje de Información es servir de punto de encuentro, permite promocionar y acelerar el lanzamiento de iniciativas, promover nuevas líneas de investigación sobre temas y necesidades prioritarias para el Ministerio además de fomentar la generación de nuevas ideas, repercutiendo todo ello de manera directa en la mejora de la competitividad y excelencia del tejido industrial nacional de defensa.

Parte de las actividades que concentra este Eje se materializan en la realización de diferentes jornadas tecnológicas, promovidas por el Sistema de Observación y Prospectiva Tecnológica (SOPT), en las que confluyen todos los actores involucrados en una determinada tecnología. Estas jornadas sirven adicionalmente para presentar los resultados de programas específicos de investigación y desarrollo que han sido llevados a cabo por la Dirección General de Armamento y Material (DGAM). Al mismo tiempo, desde el SOPT, y atendiendo al Eje de Información, se presentan puntualmente los procedimientos para la participación del entramado industrial nacional en los diferentes programas de investigación y desarrollo, tanto a nivel nacional, como es el caso del programa COINCIDENTE, como los que son de cooperación internacional a través de la Agencia Europea de Defensa (EDA).

A modo de ejemplo, de entre las diversas jornadas tecnológicas de difusión que han sido llevadas a cabo por la DGAM, podemos destacar las jornadas monográficas del SIRAMICOR y LANZA NAVAL, en las que se dieron difusión a los resultados obtenidos en estos programas de ámbito naval, el primero orientado a un sistema de rastreo de minas de influencia por control remoto y el segundo a la navalización e integración del radar 3D LANZA en la plataforma LHD; el simposio de tecnologías disruptivas en la RTO, en el que se centró la atención en las diferentes iniciativas relacionadas con la identificación de tecnologías disruptivas para defensa y seguridad; la jornada sobre “Soluciones Tecnológicas en C-IED” (*Counter Improvised Explosive Devices*) o la jornada de difusión sobre el Programa EFC-JIP CBRN, que dio a conocer a la industria, centros de investigación y universidades las oportunidades de participación en proyectos de I+T en el ámbito NBQR a través de este programa de la EDA.

Dado su interés, desde esta editorial os animamos a participar en estas jornadas, señalando que su anuncio se realiza habitualmente desde la DGAM bien a través de estos Boletines o en su página *web*.

Actualidad

Congreso IberSim 2011

Patricio Jiménez, Área TICS, ITM

El pasado mes de octubre, los días 26 y 27, tuvo lugar en la Universidad Rey Juan Carlos el congreso IBERSIM 2011 (http://www.ibersim.com). El congreso representa el punto de encuentro a nivel nacional de la industria, universidad y organismos públicos relacionados con los sistemas de simulación y de entrenamiento tanto en el área de defensa como civil, reuniendo a usuarios finales con desarrolladores e investigadores.

Durante los días de celebración, el congreso tuvo dos actividades principales, por un lado conferencias impartidas por diversos autores, y por otro, una zona donde diversos fabricantes demostraban sus productos.

La temática de las conferencias impartidas fue muy amplia, con diversos autores nacionales e internacionales, destacando sobre el resto las presentaciones acerca del uso de herramientas de simulación en los procesos *Concept Development and Experimentation* CD&E (Instituto Tecnológico La Marañosa, ITM), simulación de tráfico rodado y entornos de simulación para vehículos *Unmanned Aerial Vehicule* UAV (Tecnalia), el uso de simuladores para analizar la seguridad de navegación en puertos (CEDEX de Ministerio de Fomento), sistemas de proyección que estimulan la visión de gafas reales de visión nocturna (*Projection Design*), nuevas tecnologías de simulación para sistemas de aprendizaje basados en computador (NADS y DiSTI), así como nuevas herramientas de inteligencia artificial aplicadas a la simulación de población e insurgencia para el adiestramiento de tropas previo a su despliegue en zona de operaciones (Boston Dynamics).

Fig. 1. Logotipo del congreso IberSim.

En la zona de exposición destacaron los sistemas de proyección, cuyas prestaciones están mejorándose día a día, consiguiendo disminuir el coste de mantenimiento. También se presentaron diferentes COTS (*Commercial Off the Shelf*) de simulación, así como sistemas realistas de simulación de humanos.

Cabe destacar que se trata del tercer año de celebración de este congreso IberSim, con un mayor nivel de participación. Este es el único evento nacional permanente relacionado con las tecnologías de la simulación en defensa frente a eventos internacionales de participación masiva como el ITEC, I/ITSEC o los congresos organizados por SISO (*Simulation Interoperability Standards Organization*), por lo que se considera un excelente vehículo de comunicación nacional que permite estrechar vínculos entre diferentes actores relacionados con las tecnologías de la simulación.

enlaces de interés

Instituto Universitario General Gutiérrez Mellado

El Instituto es un centro de investigación y de docencia especializado en cuestiones relacionadas con la búsqueda de la paz, la seguridad y la defensa. Estas investigaciones se caracterizan por la confluencia de diversas disciplinas científicas y sociales.

Sus trabajos se publican por el propio Instituto como por medio de los servicios de publicaciones de la Universidad, o del Ministerio de Defensa, con lo que se fomenta la difusión de obras de interés para ambas instituciones. Muchas de ellas están accesibles a través del enlace a “publicaciones” de su página *web*.

Nació en el año 1997, por iniciativa del Ministerio de Defensa, en el seno de la Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED).

http://iugm.es/

Jornada sobre el programa LANZA NAVAL

Yolanda Benzi Rabazas, OT ELEC

El pasado 17 de noviembre de 2011, se celebró la jornada tecnológica sobre el programa de I+D LANZA NAVAL, finalizado con éxito en diciembre de 2009. Esta jornada se ha organizado desde el Sistema de Observación y Prospectiva Tecnológica (SOPT) de la Subdirección General de Tecnología e Innovación (SDGTECIN) y la Jefatura de Apoyo Logística de la Armada (JAL), donde tuvo lugar el evento.

Como en otras jornadas organizadas por el SOPT, el objetivo que se persigue es la difusión de los resultados de los programas de I+D contando con los actores principales que han intervenido en su desarrollo.

La jornada se articuló en diez presentaciones que han pretendido dar una visión completa de las actividades llevadas a cabo, destacando los aspectos principales del programa, las innovaciones tecnológicas conseguidas, la integración en el buque LHD (*Landing Helicopter Deck*) y los nuevos retos tecnológicos y futuros desarrollos. Las presentaciones las realizaron los principales actores que han intervenido en el programa: Indra, Isdefe, la Universidad Politécnica de Madrid (UPM) y Navantia.

A lo largo de la jornada se resaltaron aspectos notables que se han alcanzado a lo largo del desarrollo del programa:

- El LANZA NAVAL es un radar 3D de exploración aérea para aplicación naval, desarrollado por la empresa Indra para su instalación en el buque LHD. Es una evolución y adaptación del radar LANZA terrestre.
- Se han construido dos sistemas con antenas completas (excepto amplificadores de potencia) con objeto de simultanear pruebas ambientales con pruebas funcionales y poder continuar realizando pruebas con la antena instalada en el LHD.
- Dado que no es posible simular en tierra todas las condiciones en las que se encontrará el sistema una vez se haya instalado en el buque, para disminuir el riesgo se exigieron pruebas exhaustivas en el CEAR (Centro de Evaluación y Análisis Radioeléctricos) y se realizaron simulaciones de diferentes aspectos del desarrollo. No obstante, se dispuso de un periodo de pruebas en el buque antes de las pruebas finales de aceptación. En la actualidad se han realizado pruebas de puerto y mar y se encuentra plenamente operativo en el buque LHD.
- Es de especial relevancia la Instalación del radar a bordo y su integración con el sistema de combate SCOMBA del LHD.

El programa LANZA NAVAL ha marcado el hito de ser el primer radar 3D de exploración área, desarrollado íntegramente en España para su instalación en una plataforma naval, en el buque Juan Carlos I. El desarrollo de este programa ha permitido consolidar a la industria nacional como proveedora de radares de alerta temprana, con compensación electrónica de los movimientos del buque.

Como conclusión, se ha de destacar que el programa ha supuesto una oportunidad de capacitación e investigación tanto para la universidad como para la empresa, dentro de un área de alto contenido tecnológico y que va a servir para continuar progresando en las áreas tecnológicas recogidas en la Estrategia de Tecnología e Innovación para Defensa (ETID). En esta línea, los avances y el conocimiento generado dentro de programas como éste servirán de soporte para los nuevos retos que el Ministerio de Defensa asumirá durante los próximos años. Muestra de ello es el programa "mástil / superestructura integrada" que se presentó en las últimas ponencias de la Jornada.

Las presentaciones están disponibles en la intranet de Defensa en la dirección:

http://observatecno/observatorios/?q=node/1837.

Fig. 1. Ponencia de la jornada.

Fig. 2. Radar LANZA NAVAL instalado en el buque Juan Carlos I.

El grupo EDA "*Database of Biological Agents*" en el ITM

TCol. Juan Carlos Cabria Ramos, Área NBQ y Materiales, ITM

Los días 15 y 16 de noviembre de 2011 se celebraron en el ITM unas sesiones de trabajo del grupo "*Database of Biological Agents*" de la Agencia Europea de Defensa (EDA), que significaron, además, la clausura de un ciclo de trabajo de 3 años de duración. Se trata de un proyecto de la EDA Categoría B, perteneciente a la CapTech ESM04, *Human Factors and CBRN Protection*. A la reunión asistieron, además de los representantes españoles, 19 representantes de 11 países de diferentes universidades y centros militares y civiles dedicados a la defensa biológica.

Los agentes biológicos constituyen una amenaza permanente para las personas, animales o plantas, no solo en Europa sino en cualquier lugar del mundo. Una correcta identificación implica conocer el agente causal de un brote infeccioso, pero también su origen geográfico, ayudando a discernir si se trata de un brote natural, como consecuencia de ser una enfermedad endémica de un área o región, o si es producto de una actuación maliciosa o intencionada.

Distinguir un brote infeccioso de agentes biológicos deliberado o accidental de uno natural es una tarea difícil, que requiere un alto grado de conocimiento y especialización, tanto en la identificación del agente como en la trazabilidad y caracterización del mismo en diferentes tipos de matrices que lo puedan contener.

La identificación forense precisa la aplicación de un conjunto de metodologías diversas, que abarcan desde análisis microbiológicos, pruebas bioquímicas, técnicas de biología molecular o de análisis instrumental, hasta estudios epidemiológicos.

Uno de los objetivos principales de este grupo ha sido el establecimiento y gestión de una Red Europea de Laboratorios para la Defensa Biológica (EBLN), que permitirá aumentar las capacidades europeas frente a la amenaza biológica. En este grupo de trabajo, en el que participan otros once países además de España (AUS, BEL, CZE, FIN, FRA, DEU, ITA, NLD, NOR, POL, SWE), se ha creado una base de datos europea que contiene las huellas genotípicas y fenotípicas de diferentes especies de agentes biológicos susceptibles de ser empleados como armas biológicas. El proyecto permitirá también confirmar de una forma forense el uso de un agente de guerra biológica, en cumplimiento de uno de los objetivos primordiales de la Convención para la Prohibición de Armas Biológicas y Toxínicas (CABT).

Fruto de los trabajos realizados por los representantes españoles ha sido la publicación de un artículo en la revista internacional "*Epidemiology and Infection*", titulado "*Phenotypic and genetic analyses of 111 clinical and environmental O1, O139, and non O1/O139 Vibrio cholerae strains from different geographical areas*".

Como resultado del buen éxito de los logros obtenidos en este grupo de trabajo, se ha propuesto a la EDA una segunda fase, que si es aprobada, permitirá continuar trabajando en la ampliación de esta base de datos de agentes biológicos. España ya ha manifestado su intención de continuar.

Conferencias "La situación de la I+D+i de Defensa y Seguridad en Europa"

Luis Miguel Requejo Morcillo, SOPT

El pasado 30 de noviembre, el Grupo Atenea, con la colaboración del Ministerio de Defensa (DGAM e ITM) y el Ministerio del Interior, organizó las conferencias "La situación de la I+D+i de Defensa y Seguridad en Europa". La jornada se celebró en las instalaciones del Instituto Tecnológico "La Marañosa" (ITM). Durante la jornada, expertos procedentes de distintas instituciones, universidades y empresas analizaron desde diferentes puntos de vista la situación y el futuro del I+D+i de Defensa y Seguridad a nivel nacional y en Europa.

I+D+i militar y civil

Los procesos de colaboración en lo que se refiere al I+D+i militar y civil han crecido bastante en los últimos tiempos, aunque cierto es que aún queda bastante margen de mejora. En este sentido, el papel que la Agencia Europea de Defensa (EDA) está siendo muy importante, ya que promueve el desarrollo de las capacidades de defensa de la UE y fomenta una investigación en defensa integrada en un marco de I+D europeo único.

Uno de los aspectos a mejorar es la aplicación del I+D+i a la producción de nuevos sistemas de defensa. Para ello, la participación del usuario final (y posible comprador) en todas las fases del desarrollo es fundamental, dejando claro desde el inicio el objetivo, aplicación o necesidad a cubrir por el producto a desarrollar (I+D+i ligado a las adquisiciones), para que además proporcionen retornos a la inversión.

I+D+i en el Ministerio del Interior

El Ministerio del Interior no tiene una política de I+D+i tan desarrollada como el de Defensa, en tanto que no son promotores ni generadores de tecnología. Además, las necesidades de los cuerpos de seguridad han de ser cubiertas más a corto plazo. Por estos motivos, resulta difícil pensar en grandes programas de I+D+i, como los que existen en Defensa.

Para fomentar la generación de tecnologías en el Ministerio del Interior, existe el "Grupo Técnico Permanente sobre I+D+i en Seguridad". Además, desde Interior se ha propuesto la crea-

ción de un organismo que impulse el I+D+i para las Fuerzas y los Cuerpos de Seguridad y que desarrolle sistemas a medida, al igual que ocurre en otros países.

El tejido industrial y tecnológico nacional de defensa

El futuro del sector de Defensa y Seguridad está claramente marcado por un descenso de los presupuestos. Este escenario obligará a buscar sinergias y la colaboración entre los distintos actores nacionales con el objetivo de no perder competitividad con el resto de Europa.

La externalización de las empresas y su participación en los organismos europeos permitiría aumentar su proyección, lo que facilitaría sus negocios en el exterior.

Por otro lado, España dispone de personal muy cualificado en universidades y centros de investigación que cubren una labor que no realiza la empresa. Es necesario que aquí se apueste por "producir negocio" y no solo tecnología, pensando en las posibles aplicaciones duales de las tecnologías durante la propia fase de innovación.

En definitiva, todos los actores que componen la totalidad del tejido industrial y tecnológico nacional de defensa deben participar de un modo cooperativo y teniendo claras sus funciones:

- Centros I+D+i: desarrollo de una investigación más aplicada.
- PYME: generación de nuevas soluciones innovadoras (son flexibles y su capacidad de reacción es rápida).
- Grandes empresas: complementar necesidades de las PYME (gestión, internacionalización, industrialización, etc.) y capacidad integradora para la obtención de sistemas más complejos.
- Administración: dar cobertura financiera.
- Cliente: generar una demanda basada en necesidades.

Jornada "Información en los centros de investigación en defensa y seguridad"

Guillermo González Muñoz de Morales, NG, SOPT

Entre los numerosos recursos que los centros de investigación del Ministerio de Defensa deben saber planificar, gestionar y explotar, la información es de los recursos más importantes. Más aún si se trata de información procesada y convertida en conocimiento.

Sin embargo, la intangibilidad de la información y los diferentes usos y aplicaciones que tiene, facilita que cada centro planifique, gestione y explote la información y el conocimiento de diferentes maneras.

La importancia de este recurso y esta diversidad en su tratamiento, motivó que el Centro de Documentación de Defensa organizara unas jornadas con el objetivo de compartir experiencias en el ámbito de la gestión de la información y el conocimiento.

Las jornadas se celebraron los pasados días 2 y 3 de noviembre de 2011, en el Instituto Tecnológico "La Marañosa. El interés del tema, la agenda de presentaciones, reuniendo los centros más importantes relacionados con la investigación en Defensa y Seguridad, facilitaron el éxito de la convocatoria en audiencia y resultados. De manera general, las diferentes sesiones abordaron principalmente los siguientes temas:

La gestión del conocimiento. Donde los agentes de I+D de la Secretaría de Estado (CEHIPAR, INTA, Isdefe, ITM y SDGTECIN) expusieron tanto sus singularidades a la hora de gestionar documentación como sus modelos de explotación de las bases de datos de referencia científica. Por parte de la SDGTECIN, se presentó la experiencia y lecciones aprendidas en la gestión del conocimiento tecnológico durante los casi 10 años de existencia del Sistema de Observación y Prospectiva Tecnológica (SOPT). Hay que destacar, entre otras experiencias, el papel que ha tenido en la gestión del conocimiento tecnológico en Defensa, herramientas como este Boletín de Observación Tecnológica.

La importancia de **la organización y gestión de la información**, como herramienta de la medicina preventiva de la Defensa. Con presentaciones realizadas por representantes del Instituto de Toxicología de la Defensa, del Instituto de Medicina Preventiva de la Defensa "Capitán médico Ramón y Cajal".

El papel de la información para la investigación y la difusión de la cultura de la defensa, con ponencias sobre la cultura de la paz, la seguridad y la defensa, por parte del IEEE y el Instituto Universitario General Gutiérrez Mellado.

Los recursos de información y la obtención de inteligencia a partir de estos recursos. Por un lado el Centro de Documentación de Defensa y el Centro Superior de Estudios de la Defensa Nacional (CESEDEN) expusieron los diferentes recursos de información y documentación al servicio de la investigación en seguridad y defensa. Por otro lado, el Real Instituto Elcano y el Instituto de Investigación en Inteligencia para la Seguridad y la Defensa, Universidad Carlos III de Madrid presentaron sus actividades y planteamientos para convertir los recursos de información en inteligencia y conocimiento estratégicos.

LWAG 2011

Luis Miguel Requejo Morcillo, OT MAT

LWAG (*Light Weight Armour Group*) es un grupo internacional de expertos interesados en el estudio del comportamiento balístico de los materiales, que se reúne anualmente para dar una serie de conferencias sobre los últimos avances en el contexto de los sistemas de protección de plataformas frente a impactos balísticos y explosiones. Los ponentes son principalmente expertos en ciencia e ingeniería de materiales y en física dinámica, procedentes de centros de investigación, universidades y empresas mayoritariamente europeas.

Los días 27 y 28 del pasado mes de octubre, tuvo lugar en la Universidad de Aveiro (Portugal) las conferencias LWAG 2011 (*New design concepts in lightweight armour for vehicles*) sobre las novedades en el área de los blindajes con aplicación en plataformas militares.

Entre los temas expuestos durante las conferencias se destacan algunos de los avances que representan el futuro a corto y medio plazo de los blindajes a emplear en las plataformas militares.

Nuevos materiales

Laminados híbridos. Son materiales formados por capas alternadas de un metal (acero, aluminio y titanio son los más utilizados) y material compuesto (fibra de vidrio, de carbono, de aramida, etc. en resina epoxi), aptos para mejorar la protección de plataformas frente a impactos balísticos y explosiones.

Paneles sándwich. Son estructuras formadas por láminas de alta resistencia y un núcleo compuesto por una espuma, con alta capacidad de absorción de energía de impacto y muy ligeros.

Materiales cerámicos. Empleados en blindajes por su alta dureza y bajo peso. Se están llevando a cabo numerosos estudios sobre la mejora del rendimiento balístico y sobre el desarrollo de mejoras en los procesos de fabricación de estos materiales.

Diversas entidades entre las que se encuentran algunas universidades y empresas del Reino Unido, Alemania y Francia, entre otros, desarrollan trabajos muy interesantes relacionados con los materiales anteriormente mencionados.

En futuros números de este Boletín, se hablará de un modo más profundo sobre estos materiales y sobre las mejoras que suponen los mismos frente a los blindajes actualmente utilizados.

Blindajes adicionales

Se están investigando mejoras en lo que se refiere a los blindajes adicionales que llevan las plataformas terrestres, como son los blindajes reactivos-pasivos no explosivos y los blindajes de barras. Son más efectivos frente a cargas huecas y armas anticarro, capaces de perforar blindajes más convencionales.

Simulación del comportamiento balístico

El Departamento de Mecánica de Medios Continuos y Teoría de Estructuras de la Universidad Carlos III de Madrid presentó algunos de sus avances en el desarrollo de modelos matemáticos que expliquen el comportamiento de los materiales frente al impacto a alta velocidad. Estos sirven como herramienta de simulación para evitar tener que hacer un número elevado de ensayos, lo que supondría una reducción de costes importante en la fase de desarrollo de un sistema de protección frente a impactos.

El LWAG, por tanto, es un foro muy provechoso para todo aquel interesado en conocer las últimas novedades en el desarrollo de sistemas de protección pasiva, tanto desde el punto de vista de los nuevos materiales como del diseño de blindajes.

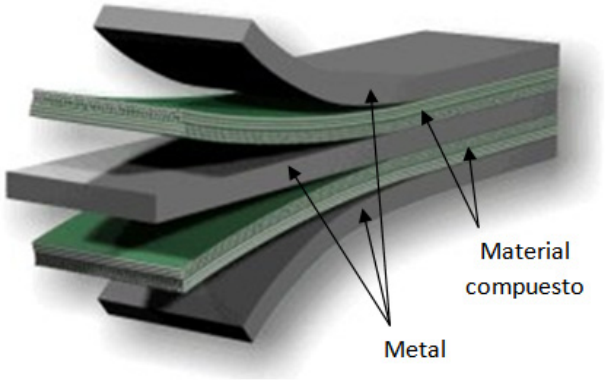


Fig. 1. Estructura tipo de un laminado híbrido.

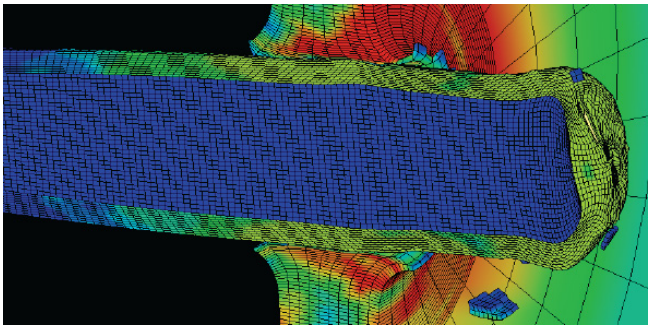


Fig. 2. Simulación del impacto de un proyectil.

Fig. 3. Blindaje de barras en un vehículo blindado ligero.

Programa AMIGOS en el BOLD QUEST 2011

Cte. Manuel Ferré Romero y Nuria Barrio Santamaría, SDG TECIN

AMIGOS (*Advanced Military Identification for Ground Operational Systems*) es un sistema de identificación de amigo/desconocido tierra-tierra basado en el estándar OTAN STANAG 4579 (BTID *Battlefield Target Identification Device*). El sistema ha sido diseñado y desarrollado mediante un programa de I+D de la Subdirección General de Tecnología e Innovación (SDG TECIN) de la DGAM.

Este programa se inició en el año 2003, con una primera fase de estudio de viabilidad atendiendo a los Requisitos de Estado Mayor Conjunto para vehículos acorazados y mecanizados. Esta fase finalizó con éxito en el 2005 y dio lugar al lanzamiento de la Fase II consistente en el diseño, desarrollo y definición de especificaciones y requisitos de sistema, fabricación de prototipos, pruebas en laboratorio y pruebas en campo.

Durante este año 2011, se han podido completar las dos fases del programa. En primer lugar, se realizaron las pruebas bilaterales de interoperabilidad OTAN entre el sistema BTID español y el estadounidense de Raytheon. Estas pruebas se desarrollaron el pasado mes de julio en el campo de maniobras de El Goloso, en Madrid, con el apoyo del personal de la Brigada Acorazada XII. El resultado de estas pruebas fue muy satisfactorio.

Posteriormente y, como parte del contrato del Programa AMIGOS se trasladó el sistema BTID español a los Ejercicios de Bold Quest ´11 (BQ) para demostrar su interoperabilidad en un entorno multinacional de coalición.

La última edición de estos ejercicios BQ tuvo lugar en Camp Atterbury, Indiana (Estados Unidos), del 8 al 23 del pasado mes de septiembre. El principal objetivo de estos ejercicios ha sido la identificación del soldado a pie, para lo que se analizaron y ensayaron todas aquellas tecnologías relacionadas con la identificación en combate de vehículos. En este escenario, representantes de la oficina de Mando de Apoyo Logístico y de la JCISAT (Jefatura CIS y Asistencia Técnica) de Ejército de Tierra español, apoyaron al personal de INDRA, integraron el BTID español y consiguieron demostrar su interoperabilidad con otros equipos de ejércitos aliados.

Fig.1. Logotipo ejercicios Bold Quest ´11.

Además de la funcionalidad básica de identificación a través del método de interrogación/respuesta, INDRA ha implementado dentro del sistema AMIGOS la capacidad de intercambio de datos (*Datalink modos DEM, Data Exchange Mode,* y DDL, *Digital Data Link*) que vienen descritos en el STANAG.4579 como opcionales. Esta nueva funcionalidad contribuye a incrementar la capacidad de seguimiento de fuerzas amigas (FFT *Friendly Force Tracking*), dotando al sistema AMIGOS de una mayor funcionalidad para mejorar la conciencia situacional (SA *Situational Awareness*) de las fuerzas propias y aliadas, y por tanto la seguridad en las misiones multinacionales.

La capacidad Datalink ha permitido una completa integración del sistema en diversos escenarios del BQ´11, en concreto en la categoría de SA, conectándose al servidor de identificación en combate y proporcionando al grupo de análisis la información relativa a las posiciones de las plataformas “amigas” y de la suya propia.

Como conclusión, cabe destacar que la participación en estos ejercicios multinacionales ha permitido demostrar la interoperabilidad del BTID español con los otros dos únicos sistemas de identificación existentes en la actualidad, el estadounidense de Raytheon y el equipo de Thales, fabricado en colaboración entre Francia y Gran Bretaña. El sistema español fabricado por INDRA ha despertado gran interés entre los asistentes a estos ejercicios. Representantes del Cuerpo de Marines de los EE.UU. y de los ejércitos de Polonia, Turquía, Hungría y Suecia, entre otros, se han interesado por las características del sistema español. Además, y no por ello menos importante, se ha adquirido una experiencia en la participación en estos importantes ejercicios bianuales orientados a probar nuevos desarrollos de sistemas de identificación para ejércitos aliados actuando en misiones conjuntas.

Fig.2. Vehículos con sistema AMIGOS.

RTO-SET-124: terahercios para detección a distancia

Carlos Callejero Andrés, Alfa Imaging

En la actualidad, existe un elevado interés por parte de diversos países del entorno OTAN en dotar a sus fuerzas terrestres de la capacidad de detección e identificación a distancia de materiales explosivos o sustancias susceptibles de formar explosivos en combinación con otras. Esta capacidad permitiría descubrir con la suficiente antelación la presencia de artefactos explosivos improvisados (IED), lo que contribuiría a reducir radicalmente el número de bajas causadas por estos dispositivos en misiones como la de ISAF en Afganistán.

Entre las tecnologías con mayor potencial para conseguir este objetivo destaca la de ondas de terahercios (THz). Por esta razón, en el año 2007, se creó el grupo OTAN RTO SET-124 "*THz Wave Technology for Standoff Detection of Explosives and Other Military and Security Applications*", cuyos trabajos finalizaron en diciembre de 2010.

El grupo SET-124 ha contado con la participación de 13 países (Alemania, Bélgica, Canadá, Dinamarca, Eslovenia, España, Estados Unidos, Francia, Holanda, Italia, Noruega, Lituania y Reino Unido), además de la Agencia C3 de la OTAN (NC3A). La industria española ha estado representada por la empresa Alfa Imaging, que ha tenido una participación muy activa en el grupo.

Actividades del grupo

El grupo organizó entre 2007 y 2010 siete reuniones de trabajo y finalizó en 2010 con la realización de unas pruebas de campo. Entre las actividades realizadas se pueden destacar las siguientes:

- Obtención de firmas en la región del espectro THz de los explosivos más comúnmente utilizados.
- Sensado remoto y creación de imágenes basado en ondas THz en tiempo real.
- Estudio sobre el estado actual de la tecnología para la detección de explosivos ocultos.
- Estudio sobre el estado del arte de la tecnología de sensado / imágenes submilimétricas / THz.
- Identificación de los requisitos de los sensores y emisores necesarios para lograr la identificación de objetivos en tiempo real.
- Demostración de conceptos innovadores en la integración de futuros sensores THz.
- Demostración del funcionamiento de varios sistemas portátiles de THz.
- Identificación a distancia en espacio libre mediante técnicas fotónicas de THz

Además, el grupo ha colaborado en la organización de diversas conferencias y actividades, como los *Specialists' Meetings* SET-129 "*Terahertz Wave Technology for Standoff Detection of Explosives and other Military and Security Applications"* y SET-159 "*Terahertz and Other Electromagnetic Wave Techniques for Defence and Security"*

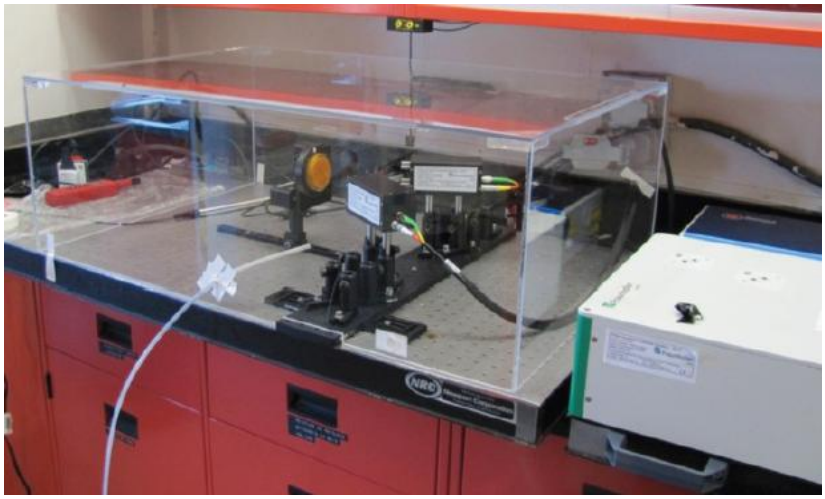
Pruebas y Experimentos

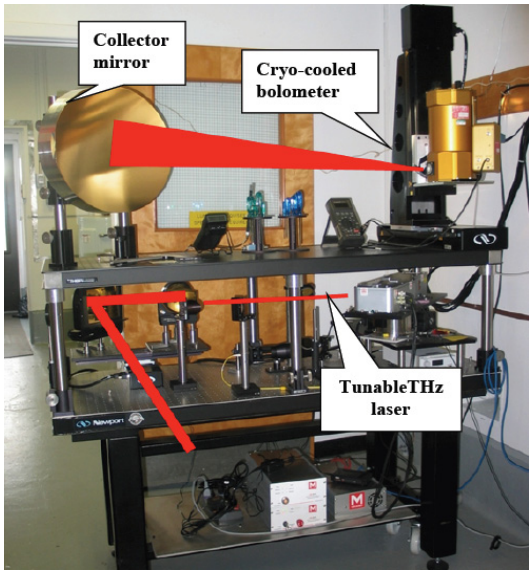
La agencia canadiense DRDC (*Defence Research & Development Canada*) organizó las pruebas destinadas a demostrar la detección remota de materiales explosivos en sus instalaciones de Valcartier. Los países participantes fueron Alemania, Canadá, Estados Unidos, Noruega y Reino Unido.

El experimento permitió la obtención de medidas de reflexión de varios explosivos. También, se investigó la capacidad de penetración a través de diferentes barreras tras las que se pueden encontrar ocultos los explosivos en una situación real. Se utilizaron dos sistemas diferentes de espectroscopia de THz, un sistema de espectroscopia directa basado en una fuente sintonizable de THz (figura 1.a) y otro sistema de dominio en el tiempo (que se puede ver en la figura 1.b).

Gracias a estas pruebas, ahora se comprenden mejor los retos en la detección remota de explosivos utilizando ondas THz. Se requiere todavía mucho trabajo para ser capaces de

Fig. 1. a) Sistema de espectroscopia noruego; b) Sistema de espectroscopia canadiense.





aplicar la tecnología en escenarios reales. Esto es de particular relevancia para las operaciones de la OTAN en países extranjeros y se recomienda poner especial énfasis en la transición de los sistemas de THz desde el laboratorio hasta el escenario de operaciones.

Resultados y retos futuros

Como principales logros del grupo, se pueden destacar el desarrollo y demostración tecnológica de un sistema de THz portátil para la detección a distancia de explosivos y el desarrollo y demostración tecnológica de un sistema de imágenes submilimétricas de detección a distancia de objetos ocultos.

En el grupo se ha diseñado un método para detectar a distancia ondas THz. Muchas moléculas tienen modos rotacionales y vibracionales en este rango espectral que las caracterizan unívocamente. Al mismo tiempo estas ondas son capaces de atravesar tejidos, plástico, papel y otros materiales, proporcionando capacidad de identificación de explosivos ocultos.

El reto todavía pendiente es la atenuación sufrida por estas ondas como consecuencia del vapor de agua presente en la atmósfera. Recientemente el grupo ha informado de una nueva técnica para la generación y detección que utiliza un plasma inducido por un láser como fuente y detector. El láser a 800 y 400 nm se utiliza para crear plasma en nitrógeno. La radiación en el rango de THz acelera o frena la velocidad de los electrones, de esta manera la información de la onda de THz se codifica en la fluorescencia ultravioleta (UV) del plasma. Este método se ha denominado *"THz radiation-enchanced-emission-of-fluorescence"*. El grupo ha demostrado la generación de THz hasta 30m y la detección a 10m en experimentos separados.

En un entorno real, la luz solar de fondo dificulta este proceso, ya que provoca la saturación del tubo fotomultiplicador de UV. Para solventar este problema se ha decidido medir la onda fotoacústica, es decir la onda de sonido que se produce en el plasma al incidir el láser. En el estudio más reciente se ha encontrado que midiendo la variación en la amplitud del plasma provocado por las ondas en THz, se puede conocer la amplitud de dichas ondas. Esta investigación se ha publicado recientemente en Optics Letters (*"Laserinduced photoacoustics influenced by single-cycle terahertz radiation*" B. Clough, J. Liu, and X.-C. Zhang, Vol. 35, No. 21, November 1, 2010).

RTO-SET-112: Identificación no cooperativa de aeronaves mediante radar

David Poyatos, Antonio Jurado, Borja Errasti, Raúl Fernández y David Escot, Laboratorio de Detectabilidad y Guerra Electrónica, INTA.

Introducción

Enmarcado en las actividades de la *Research & Technology Organisation* (RTO) de la OTAN, y dentro del panel *Sensors and Electronic Technologies* (SET), se ha desarrollado el grupo de trabajo SET-112/RTG-063 *"Advanced analysis and recognition of radar signatures for non-cooperative air target identification"*, dedicado a la investigación en el ámbito de la identificación no cooperativa de aeronaves (NCTI/R, *Non-Cooperative Target Identification / Recognition*) mediante radar.

El origen del SET-112 se remonta a los años 80, en los que el Panel 10 RSG.12 del *Defence Research Group* (DRG) de la OTAN determinó la potencialidad de las técnicas de identificación no cooperativas e hizo una primera revisión de las tecnologías inicialmente viables. A partir de ahí, y ya dentro de la estructura de la RTO, se llevaron a cabo diversos estudios centrados en el uso de técnicas radar de alta resolución para NCTI/R (SET-040 y SET-068), para desembocar finalmente en el SET-112, en el que se han tratado estos temas con un enfoque más operacional.

El grupo ha desarrollado su actividad entre los años 2006 y 2010, y ha estado compuesto por expertos procedentes de organismos de investigación e industria de nueve naciones diferentes, aunque la composición de los asistentes ha cambiado a lo largo de los años, concluyendo la labor los siguientes países: Noruega, Francia, Alemania, Grecia, Estados Unidos y España.

Dentro del trabajo desarrollado cabe destacar la realización de hasta cuatro campañas de medida conjuntas, así como la celebración de reuniones con otros grupos de trabajo tanto del panel SET como del SCI (*Systems Concepts and Integration*). A estas actividades habría que añadir la organización del simposio SET-160 *"NCI/ATR in Air-Ground and Maritime Applications based on Radar and Acoustics"*.

Identificación no cooperativa de aeronaves (NCTI)

En los últimos años, una de las principales preocupaciones de las fuerzas

Fig. 1. Esquema de identificación basado en radar de alta resolución.

aéreas ha sido el desarrollo de un sistema de identificación fiable que sea capaz de reconocer todos los objetos presentes en el espacio aéreo, con el fin de reaccionar en tiempo y forma a la posible amenaza que representen y, adicionalmente, minimizar el fratricidio entre fuerzas aliadas.

De hecho, el conocimiento del tipo y/o la identidad de todos los objetos presentes en el campo de batalla (esto es, blancos aéreos, terrestres o marinos) es imperativo para los centros de mando y control en el combate actual y resulta imprescindible para el manejo adecuado y efectivo de los sistemas de armas modernos. En concreto, en la defensa del espacio aéreo, la velocidad y letalidad de las plataformas aéreas requiere una reacción rápida, si es posible más allá del alcance máximo del armamento. Esto significa que el blanco debe ser reconocido de forma rápida y fiable.

Por tanto, la principal tarea de un sistema de identificación es la realización de una clasificación adecuada del blanco, bien en grupos diferentes (amigo, hostil o neutral), o en clases (aviones civiles de pasajeros, aviones caza, etc.) o incluso en tipos (F-16, Tornado, Mig-29, etc.).

Las técnicas investigadas para la resolución de este problema pueden clasificarse en cooperativas o no cooperativas.

Las técnicas cooperativas (normalmente referidas como IFF – *Identification Friend or Foe*), son plenamente operativas en la actualidad, pero necesitan que el blanco colabore con el sistema de identificación, de manera que sólo blancos amigos con un transpondedor funcionando correctamente pueden ser reconocidos. De hecho, la identificación positiva de blancos hostiles o neutrales no es posible con estos sistemas. Así, surgen las técnicas no cooperativas en las que la colaboración del blanco no es requerida. En este ámbito, la tecnología radar ha demostrado un gran potencial para la identificación de aeronaves. Esta técnica se basa en la comparación entre la firma radar del blanco en vuelo y la firma radar de distintos aviones tomadas como referencia y almacenadas en una base de datos.

Actividad realizada. Técnicas radar aplicables a NCTI/R

La NCTI/R mediante radar puede ser llevada a cabo mediante el análisis de la modulación producida por los motores de la aeronave (JEM - *Jet Engine Modulation*), pero esta técnica presenta ciertas desventajas (por ejemplo, necesita que el radar ilumine al avión en unas determinadas direcciones y con una alta relación señal a ruido (S/N)). Para subsanar estas deficiencias surgen las técnicas basadas en imágenes radar: perfiles de alta resolución (HRRP, *High Resolution Range Profiles*), imágenes ISAR (*Inverse Synthetic Aperture Radar*) e imágenes doppler (*range-doppler images*), que proporcionan la posibilidad de identificación para cualquier dirección de iluminación del blanco.

Trabajo realizado

A lo largo de los años, más de diez campañas de medida de aviones en vuelo y medidas estáticas de modelos a escala se han llevado a cabo usando distintos sistemas radar, transmitiendo en distintas frecuencias y con anchos de banda diferentes. Además, se han creado modelos CAD (*Computer-Aided Design*) en 3D muy precisos de aviones reales mediante escáneres láser, y se han usado diversos códigos de predicción de sección radar (RCS, *Radar Cross Section*) para ser probados frente a las medidas reales.

Recientemente, se han llevado a cabo medidas estáticas de un avión no tripulado (UAV, *Unmanned Aerial Vehicle*) en las instalaciones del INTA, en Torrejón de Ardoz. Ésta y otras campañas del grupo fueron financiadas en parte por la RTO.

Con toda esta actividad, el grupo ha sido capaz de generar una extensa base de datos de firmas radar con la que desarrollar nuevas técnicas para NCTI/R, algunas de ellas implementadas en la actualidad en sistemas radar operativos.

En concreto, se ha demostrado la viabilidad de la identificación a partir de HRRP tomados sobre aviones en vuelo, ya que dichos perfiles varían con la geometría del avión y con el ángulo de iluminación o ángulo de aspecto y, por tanto, aportan información útil para realizar la clasificación e identificación. El problema de esta técnica radica en que la alta variabilidad de los perfiles requiere, por un lado, disponer de una base de datos extensa (tipo de avión, configuración, ángulo de aspecto, etc.) y, por otro, tener clasificadores con alta capacidad

Fig. 2. Medidas de firma radar de un UAV en INTA-Torrejón.

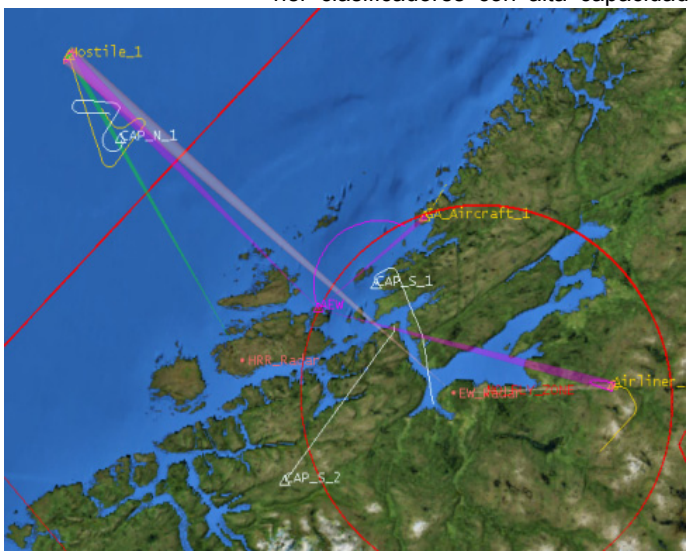


Fig. 3. Imagen del escenario virtual.

de cómputo.

Para la generación de la base de datos existen diversas posibilidades, como son campañas de medidas de aviones en vuelo o en tierra, medida de modelos a escala y predicciones obtenidas mediante modelado CAD en 3D y herramientas de simulación electromagnética. Ésta última (disponer de una base de datos sintética) parece ser la opción más viable, porque requiere un menor coste y permite tener información de todos los posibles blancos, rangos de frecuencia, ángulos de aspecto y configuraciones. No obstante, presenta otros inconvenientes como la calidad de los modelos CAD y de las simulaciones.

Otra posibilidad estudiada por el grupo ha sido combinar el análisis de los datos radar, en concreto HRRP, con los datos procedentes de otros sensores para la extracción de características tales como altura de vuelo, velocidad, trayectoria, tamaño de la aeronave, etc., de modo que se pueda determinar qué clase de aeronave es (identificación de clase). Esta clasificación se puede usar como tal para responder a la posible amenaza o bien como información previa hacia una posible clasificación de tipo, es decir, de qué avión se trata e, incluso, qué configuración posee.

En este sentido, el grupo ha creado un escenario virtual para demostrar la viabilidad del concepto de clasificación combinada. Se trata de la protección de un importante líder mundial que visita un país extranjero en una época de tensión internacional alta. En esta situación, el control del espacio aéreo es de vital importancia. Para recrear el escenario se han simulado las trayectorias de los aviones presentes (incluyendo aviones comerciales y cazas tanto de patrulla aérea como hostiles) mediante simuladores de vuelo comerciales y se han usado datos radar procedentes de campañas de medida para realizar el proceso virtual de clasificación.

Conclusiones

Tanto los resultados de investigación como las conclusiones finales de la actividad del grupo han sido recogidos en el informe final del mismo, que estará disponible en la RTO a lo largo del 2012. Cabe destacar los siguientes aspectos:

1. La base de datos de firmas radar de aviones ha sido ampliada con nuevos tipos de aviones, incluyendo una aeronave del tipo UAV.

2. Se han incluido nuevos aviones en la base de datos de modelos CAD 3D y se ha mejorado el conocimiento acerca del modelado y la predicción de firma radar de aviones reales y su uso para identificación. De hecho, España, y en concreto el Laboratorio de Detectabilidad y Guerra Electrónica del INTA, ha realizado los primeros experimentos sobre una novedosa metodología de identificación basada en imágenes radar de aviones en vuelo (HRRP + ISAR) utilizando una base de datos generada exclusivamente con datos simulados mediante *software*.

3. Se ha propuesto un método combinado de identificación de clase, basado tanto en datos radar como en datos procedentes de otras fuentes y sensores.

4. Se ha conseguido una mejor comprensión de la vulnerabilidad de los sistemas de NCTI/R ante *jamming* de engaño.

5. Como continuación a la actividad del grupo, el SET-180/RTG-099 "*Analysis and Recognition of Radar Signatures for Non-Cooperative Identification of Unmanned Aerial Vehicles*" ha comenzado su trabajo en 2011. Su acción se va a centrar en la detección e identificación de aeronaves no tripuladas, ya que en los conflictos actuales los UAV están ganando protagonismo. Por tanto, poder detectar, clasificar e identificar este tipo de blancos se prevé crucial en un futuro no muy lejano.

Agradecimientos

La participación española en este grupo ha sido financiada por el proyecto INTA titulado "Guerra Electrónica: Identificación de Blancos no Cooperativos"

agenda

Conferencia anual de la EDA "Refocusing Defence: an European perspective on Defense cooperation in a time of financial challenge"

31 de enero de 2012, EDA, Bruselas.

Más información en www.eda.europa.eu

Conferencia "Joint forces simulation & training. Preparing for Current & Future Military Operations 2012"

25 y 26 de enero de 2012, Londres

Más información en www.jointforcestraining.com

5th International Symposium on Optronics in Defence and Security

Del 6 al 8 de febrero de 2012, Paris

Más información en www.optro2012.com

Graphene 2012 International Conference

Del 10 al 14 de abril de 2012, Bruselas

Más información en www.graphene2012.com

RTO Specialist Meeting: "Social Media: Risks and Opportunities in Military Applications"

Del 16 al 18 de abril de 2012, Tallin

Más información en www.rto.nato.int

Proyecto EDA: Networked Multi-Robot Systems

Michael Hardt González, SENER; Jaime del Cerro Giner, Universidad Politécnica de Madrid

El proyecto *NM-RS Networked Multi-Robot Systems*, de categoría B de la Agencia Europea de Defensa (EDA), tiene por objetivo el desarrollo de técnicas y algoritmos destinados a controlar un conjunto de robots móviles autónomos que deben cooperar en actividades dentro del ámbito de la Defensa y Seguridad. El proyecto se enmarca dentro del interés de las estructuras de defensa europeas por aumentar el nivel tecnológico de sus sistemas y procedimientos. El origen de este proyecto se remonta al año 2004, en el que se celebró un *workshop* de la OTAN en el que participaban representantes de Defensa, industria, investigación y otros ministerios de 16 países europeos. En aquel *workshop* se reconoció la brecha existente entre las necesidades reales militares y el nivel tecnológico disponible dentro de la robótica. En esta reunión se realizó una predicción de cuál sería esa brecha en el año 2008 y y se propusieron medidas para, en lo posible, disminuirla. De entre las medidas propuestas nació el proyecto NM-RS que, ha sido desarrollado entre los años 2007 y 2010, por parte de un consorcio de organizaciones europeas, del que forma parte la empresa española de ingeniería y tecnología SENER y la Universidad Politécnica de Madrid.

Uno de los objetivos del proyecto es intentar valorar las capacidades de un grupo heterogéneo de robots que trabajen cooperativamente mediante la simulación por ordenador. Para ello ha sido preciso proponer, desarrollar y evaluar sistemas y algoritmos para guiado, navegación y control de robots terrestres, algoritmos y técnicas de percepción sensorial, simulación de sistemas de comunicaciones mediante el uso de redes inalámbricas y tácticas de coordinación móvil al más alto nivel tecnológico. La simulación detallada de estos aspectos evita el elevado esfuerzo asociado a la definición, desarrollo e integración de los sistemas reales, lo que permite concentrar los esfuerzos en los aspectos de inteligencia y control, que son en sí el objetivo del proyecto.

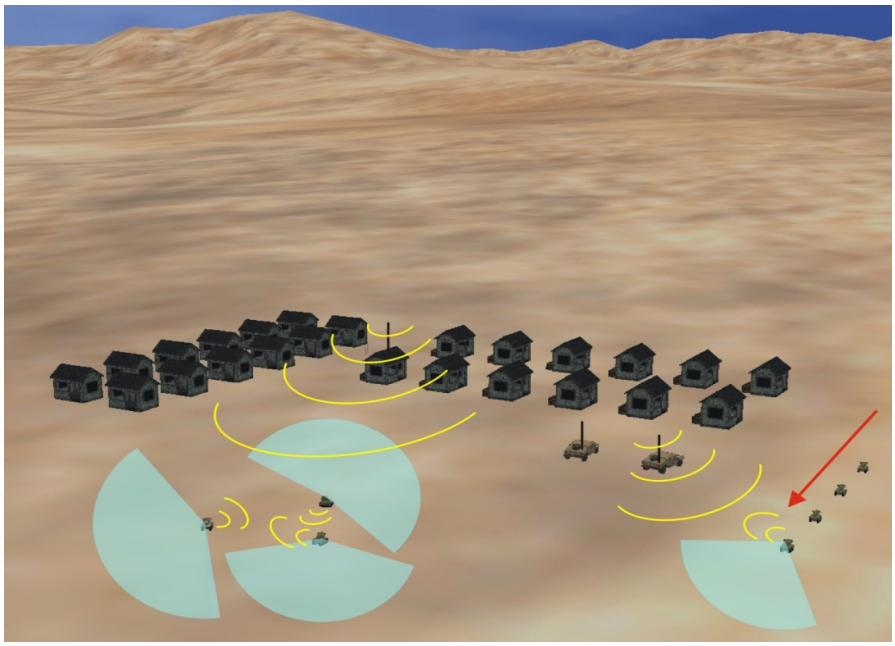


Fig. 1. Representación del Sistema Multi-Robot en un campamento.

Como elemento diferencial del NM-RS se encuentra la concepción de sistema multi-robot frente al concepto de un grupo de robots. Los sistemas multi-robot permiten una mejor coordinación y gestión del sistema, ya que las interfaces del puesto de mando y control están orientadas al sistema completo, no suponen una colección de interfaces particulares, si bien se mantiene la completa disponibilidad para supervisar u operar un robot de forma aislada.

Esta característica permite la integración de robots heterogéneos, además de posibles reconfiguraciones en caso de pérdida de uno de los miembros del equipo o reconfiguración automática de los sistemas de comunicaciones.

El entorno y las herramientas de simulación desarrollados en el proyecto permitirán evaluar técnicas de movilidad para vehículos autónomos con capacidad para realizar su labor tanto en entornos estructurados como no estructurados, los sistemas de control cooperativos y las redes de sensores móviles.

La simulación representa, con el adecuado nivel de detalle en todos los niveles, los componentes de *hardware* y *software*, permitiendo así demostrar que su integración maximiza las capacidades de éxito en la misión encomendada, gracias a las características de flexibilidad y escalabilidad propias de los sistemas multi-robot. En definitiva, el objetivo final del NM-RS es demostrar cómo equipos de múltiples robots con capacidades cooperativas y escasa participación humana son capaces de realizar una gran variedad de tareas, propias de la defensa y seguridad, de una manera más eficiente y robusta que varios robots trabajando de forma individual.

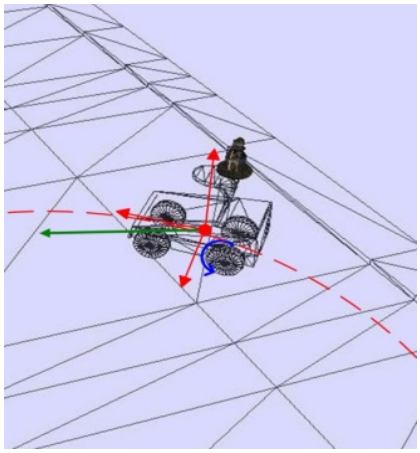


Fig. 2. Modelo físico de un robot móvil dentro del simulador.

El proyecto ha terminado en 2010, después de tres años, con una demostración de alta fidelidad mediante el uso de un sistema de simulación integral basado en la herramienta Microsoft Robotics Studio.

La herramienta creada permite simular varios robots moviéndose de forma

estratégica por un entorno urbano, en una búsqueda de potenciales enemigos. La simulación se lleva a cabo en un entorno tridimensional en la que se integran terrenos de características heterogéneas y la presencia de diferentes tipos de obstáculos.

Hay que destacar que este simulador es fruto de una estrecha colaboración por parte de todos los participantes del proyecto, en el que además del grupo español, formado por SENER Ingeniería y Sistemas, S.A. y el grupo de Robótica y Cibernética de la Universidad Politécnica de Madrid, han participado empresas, centros de investigación y universidades de Alemania, Italia y Bélgica.

Las tareas que los robots deben resolver incluyen, entre otras, el reconocimiento y mapeo simultáneo 3D del entorno, la planificación de trayectorias y la localización de objetivos, todo ello de forma cooperativa.

Los robots deben por lo tanto coordinarse, repartiéndose el trabajo de manera eficiente, tratando de aprovechar al máximo sus propias capacidades de desplazamiento y percepción del entorno a través de sus diferentes sensores, para lograr, de esta manera, una mayor eficacia que si actuaran individualmente.

Sin duda, este desarrollo será determinante para que los responsables de la Defensa y Seguridad de los países que forman parte de la EDA sean capaces de evaluar si los sistemas multi-robot son adecuados para participar con efectividad en tareas que habitualmente son desarrolladas solo por personas.

Como valor añadido, el simulador desarrollado permitirá no solo evaluar diferentes tácticas antes de ponerlas en práctica, posibilitando así la selección de la más adecuada, sino también el entrenamiento de los operadores encargados de la monitorización y supervisión de la actuación de los robots desde el puesto de mando.

El sistema puede configurarse infiriendo diferentes niveles de autonomía al sistema multi-robot, que van desde la operación centralizada en la que se hace llegar toda la información a un operador, que toma las decisiones de alto nivel en la base central de mando, hasta un modo totalmente descentralizado de los robots en que éstos requieren un mínimo de intercomunicación para realizar su misión, si bien ésta se realiza de una forma coordinada y siempre con supervisión de un operador.

De entre muchas otras posibles aplicaciones, un escenario de gran interés para la defensa es el uso de un sistema de robots para el reconocimiento de un entorno urbano hostil, permitiendo reemplazar o acompañar al personal de las Fuerzas de Seguridad del Estado que habitualmente realizan estas tareas de alto riesgo. En este tipo de misiones, el equipo de robots realizaría la aproximación coordinada a la zona de interés para, una vez en el escenario de la operación, reconocer de manera coordinada el terreno, realizando un mapa detallado del mismo. Esto permitiría la localización de los posibles obstáculos y la identificación de las posibles ubicaciones de puntos de resistencia o elementos hostiles.

Realizar un reconocimiento de forma coordinada permite garantizar que se cubrirá la totalidad del área de interés, lo que permitirá, a su vez, adaptarse de forma dinámica a las posibles pérdidas de algún miembro del equipo o modificaciones del entorno con respecto a la información inicial disponible. Para ello, la propia configuración del sistema multi-robot tiene que tener en cuenta las distancias y disposición de sus miembros con respecto a su estación base en su estrategia de misión, de modo que se asegure la comunicación entre ellos. El sistema debe permitir el envío de mensajes a través de sus canales seguros desde cualquier robot a la estación de dicha base utilizando la propia red del sistema multi-robot.

Esta colaboración, además de establecer una comunicación continua con todos los miembros del equipo, supone una mejora en la seguridad de los mismos.

La información recibida en la estación base permitirá evaluar con gran seguridad y nivel de detalle el modo de intervenir sobre la zona, lo que aumentará notablemente la probabilidad de éxito no sólo en la realización de la misión de exploración en sí, sino también en la posterior posible fase de intervención. Un ejemplo sería la búsqueda coordinada por el entorno urbano. En cuanto el objeto buscado fuera detectado y confirmado por un operario a través una foto o vídeo enviado a la estación base, el operario podría entonces cambiar la misión a una de seguimiento o incluso de persecución.

En todo caso se considera indispensable la continuación natural del proyecto mediante la construcción de los prototipos que permitan probar, bajo condiciones reales, el concepto y desarrollos de los sistemas que se han alcanzado en la primera etapa.

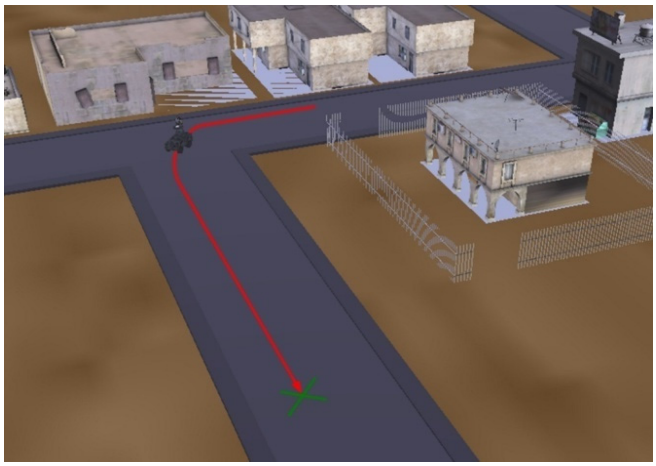


Fig. 3. Entorno urbano del escenario de pruebas en el simulador.

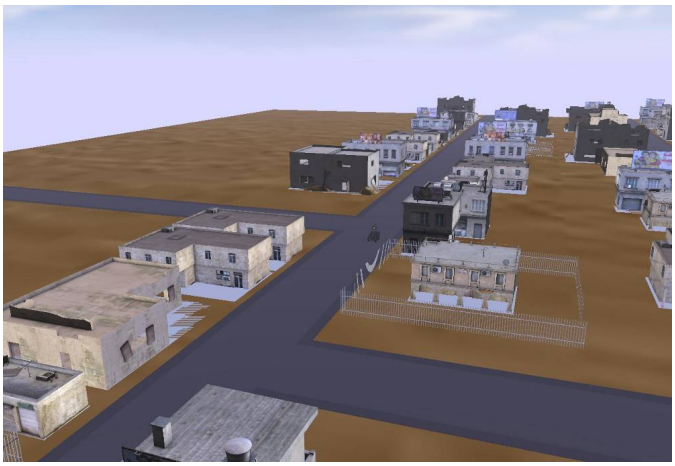


Fig. 4. Trayectorias calculadas en el entorno identificado y reconocido por el robot.

Movilidad de vehículos: parámetros y estimación

Coronel CIP Manuel Engo Nogués. Coordinador OT STN, Manuel P. Pindado, ISDEFE

Introducción

Uno de los parámetros prestacionales más importantes de cualquier vehículo y más aún de un vehículo militar es su movilidad, entendida como la capacidad para atravesar un terreno con unas características definidas sin quedarse bloqueado. Algunas tendencias modernas consideran incluso a la movilidad como parte importante de la capacidad de supervivencia del vehículo.

La movilidad es un concepto amplio, compuesto por varios parámetros. Uno de estos parámetros es la capacidad del vehículo de circular por terrenos blandos, lo que por comodidad llamaremos en este documento "transitabilidad" (del término inglés, *trafficability*). Este factor está relacionado con la presión que ejerce el vehículo sobre el suelo y forma parte, por ejemplo, de la clásica discusión entre vehículos de cadenas o de ruedas. Gracias al desarrollo de la ciencia de la mecánica del terreno (*Terramechanics*) se ha podido analizar este parámetro con cierto detalle y desde un enfoque analítico.

Existen dos grandes metodologías clásicas de estimación de la transitabilidad: el modelo de los EE.UU. basado en el parámetro VCI (*Vehicle Cone Index*) y el modelo del R.U. (Reino Unido) basado en el parámetro MMP (*Mean Maximum Pressure*), cuya descripción se dará posteriormente. Ambos parámetros, que a primera vista pueden resultar confusos, tienen una importancia histórica y práctica, pues se vienen usando hace años como primeros estimadores de la movilidad de vehículos.

Movilidad: parámetros que la componen. El modelo R.U.

Como ya se ha dicho en la introducción, el concepto de movilidad es muy amplio, compuesto de varios parámetros que pueden cambiar según la interpretación de cada individuo u organización. Pese a ello, se han hecho algunos intentos de estandarizar los requisitos de movilidad, siendo el más concreto el realizado en Reino Unido.

La norma DEF-STAN 23-6 [1] clasifica los vehículos militares logísticos en varias categorías de acuerdo a su carga útil, y establece una lista de criterios cuantitativos para valorar su movilidad, definiendo cinco clases de movilidad para cada categoría de carga (tabla 1). Llama la atención que dicha DEF-STAN 23-6 identifica dos criterios principales:

1. la presión sobre el terreno, a través del parámetro MMP (*Mean Maximum Pressure,* en kPa),
2. la relación potencia/peso, y varios parámetros secundarios, relacionados principalmente con la geometría del vehículo y con su suspensión.

	Prioridad	
Criterios	**Deseable**	**Esencial**
Principales		
Presión sobre el suelo (MMP en kPa)	Menor de 230	Menor de 280
Cociente potencia peso (kW/t (HP/t))	Mayor de 19(25)	Mayor de 10,5(14)
Secundarios		
Distancia mínima al suelo (mm)	480	400
Radio de giro	Pivot turn	Pivot turn
Cociente longitud/anchura	1,2-1,8	1,1-1,9
Profundidad de vadeo (m)	-	1,5
Pitch ratio, máximo	1,5	2
Escalón vertical		
Anchura máxima (m)	3,5	-
Altura máxima (m)	3	4
Periodos de la suspensión		
vaivén, mínimo	0,75	0,65
cabeceo, mínimo	1,5	1,0
Amortiguamiento: % del crítico	30-45	25-50
Recorrido disponible de la suspensión, mínimo (mm)	260	200
pendiente lateral máxima	40º	35º

Tabla 1. Estándares de movilidad de vehículos blindados de combate pesados (más de 30 toneladas). Adaptado de Larminie [2], 1988.

Esta DEF-STAN 23-6 tiene su origen en los trabajos de J. C. Larminie [2]. Pese a que Larminie fijó también valores para los criterios aplicables a vehículos blindados de combate, distinguiendo entre ligeros y pesados, estos no se han plasmado, a diferencia de los logísticos, en una DEF-STAN. La tabla 1 reproduce los valores de la referencia [2] para un vehículo blindado de combate de más de 30 toneladas. El mayor interés de la tabla reside en la primera columna, los criterios establecidos, ya que los valores numéricos reflejan el nivel tecnológico de la época (1988), ya superado.

Un enfoque similar, más moderno, se puede encontrar en la norma australiana DEF(AUST)8033, de 2006, '*Mobility Categories*'. Esta norma incluye también el parámetro VCI, que se explicará más adelante, y trata el problema de la vibración de los ocupantes usando el criterio de 6W de energía absorbida.

Presión sobre el terreno y transitabilidad

La presión que un vehículo ejerce sobre el suelo es un factor principal para su movilidad todo-terreno, especialmente en terrenos blandos. Esto, que puede resultar intuitivo, está incluso articulado en normas militares, como se ha visto en el apartado anterior.

Resulta por tanto deseable ser capaz de predecir y comparar con exactitud las prestaciones en terreno blando de los vehículos militares (sean de cadenas o de ruedas, obsérvese que hasta ahora no se ha hecho ninguna distinción). Esto puede ser útil para el diseñador, a la hora de decidir los parámetros del diseño, o para el evaluador, que dispone así de un método rápido para valorar la transitabilidad.

Históricamente se han usado dos aproximaciones a este problema:

- Los EE.UU. utilizan el modelo basado en el parámetro *Vehicle Cone Index* (VCI),
- R.U. utiliza el modelo basado en el parámetro *Mean Maximum Pressure* (MMP), ya mencionado al hablar de la DEF-STAN 23-6, en la tabla 1.

Ambas técnicas se presentan aquí en forma resumida. Los dos parámetros, VCI y MMP, han sido usados por los ejércitos de EE.UU. y R.U. en sus especificaciones.

El modelo de EE.UU.: *Mobility Index* (MI) y *Vehicle Cone Index* (VCI)

El parámetro *Vehicle Cone Index* (VCI) fue propuesto y desarrollado por el *Engineer Research and Development Center* (ERDC) del ejército de los EE.UU., que lo definió como la mínima resistencia de un terreno necesaria para que un vehículo autopropulsado realice de forma consistente un número determinado de pasadas sin quedar inmovilizado. Se define así un VCI para una pasada (VCI1) y un VCI para cincuenta pasadas (VCI50), que son los más típicos. Es decir, el VCI es un parámetro del terreno, y se puede medir y predecir.

El método desarrollado por el ERDC está basado en más de 50 años de ensayos de campo sobre diferentes terrenos y con una gran variedad de vehículos. Este método sólo es aplicable a vehículos con tracción total. ERDC desarrolló un conjunto de ecuaciones empíricas, que aquí llamaremos "método ERDC de predicción del VCI", que predicen VCI1 y VCI50 a partir de características del vehículo relativamente sencillas.

Método ERDC de predicción del VCI

Para la predicción del VCI se usa un parámetro intermedio, el *Mobility Index* (MI), que es una agregación de 8 factores diferentes, cada uno relacionado con una característica concreta del vehículo:

- FPC=Factor de presión de contacto.
- FP= Factor de peso del vehículo.
- FM= Factor del Motor.
- FET= Factor de los elementos de la transmisión.
- FC= Factor de cadena. (FC=1 para vehículos de ruedas sin cadenas.)
- FT= Factor de la transmisión.
- FDS= Factor de distancia al suelo.
- FCR= Factor de carga por rueda.

Una explicación más detallada sobre cada factor se puede encontrar en las referencias [3] y [4]. Baste decir aquí que para el cálculo de MI sólo es necesario disponer de datos sencillos del vehículo. Existe también para vehículos de cadenas, la cual se puede encontrar, por ejemplo en [4].

Una vez calculado MI existen fórmulas empíricas que permiten calcular VCI. Cuanto menor sea el MI, y por lo tanto el VCI, mayor será la movilidad.

El modelo de R.U.: *Mean Maximum Pressure* (MMP)

El Ministerio de Defensa de Reino Unido teorizó que el parámetro más importante para la interacción de un vehículo con el terreno era la presión de contacto. El parámetro *Mean Maximum Pressure* (MMP) se desarrolló inicialmente para vehículos de cadenas, y se adaptó luego a los vehículos de ruedas. Conviene destacar que la MMP aplicada a vehículos de ruedas es un parámetro sin ningún significado físico concreto y que no coincide con valores medidos, y a partir del cual se pueden deducir la capacidad de tracción y la transitabilidad del vehículo en un terreno determinado.

Cuando dos vehículos, sean de cadenas o de ruedas, tienen el mismo valor calculado de MMP, serán capaces de generar el mismo esfuerzo de tracción sobre el mismo terreno y tendrán por lo tanto prestaciones comparables.

El modelo MMP fue desarrollado por Rowland en los años 70, usando resultados obtenidos por ERDC y ensayos propios.

Método de predicción de la MMP

Este modelo se emplea para vehículos de ruedas, para terrenos arcillosos de grano fino, y también para vehículos de cadenas. El modelo utiliza las expresiones Rowland y los parámetros:

- W= peso del vehículo
- n= número medio de neumáticos por eje (normalmente n=2)
- m= número total de ejes
- K= parámetro función de m (véase, p.ej. la referencia [3])
- b= anchura media del neumático
- d= diámetro medio exterior de la rueda
- δ= deflexión media del neumático sobre superficies duras.
- h= altura media de la sección del neumático.

Para los vehículos más modernos, dotados de sistemas de ajuste de la presión del neumático (CTIS), son las características del neumático desinflado las que deberían intervenir en los cálculos, por lo que las predicciones indicarán una mayor movilidad.

En los años 80 y 90 surgieron críticas a las expresiones de Rowland, argumentando que favorecían a los vehículos de cadenas frente a los de ruedas, dando a los primeros valores de MMP menores, y llevando a R.U. a un predominio de adquisiciones de vehículos de cadenas. MacLaurin [5] desarrolló una corrección de las ecuaciones.

CONCLUSIONES

La movilidad de un vehículo es un concepto compuesto y, en cierta medida, interpretable. No obstante, algunos países han realizado intentos de estandarizar sus componentes y de proporcionar valores deseables y/o exigibles para ellos.

Existe consenso en que uno de los factores más importantes en la movilidad es la presión que el vehículo ejerce sobre el terreno. Según algunas referencias, como [3], los dos métodos de estimación presentados en 3.1 y 3.2 proporcionan predicciones razonables de la resistencia mínima que debe tener un terreno para el paso de un vehículo y son, por tanto, buenas estimaciones de la transitabilidad sobre terrenos blandos. El método ERDC (EE.UU.) parece algo más preciso si se compara con mediciones reales, pero las diferencias son mínimas.

No obstante, existen también algunos estudios críticos con estos métodos, como [6] y [7], en los que estimaciones realizadas con diferentes expresiones conducen a resultados aparentemente contradictorios.

Ambos parámetros, VCI y MMP, han sido usados por gobiernos tan importantes como EE.UU. y RU, respectivamente, para elaborar especificaciones de vehículos. Además, el VCI tiene una especial relevancia por utilizarse en el modelo NRMM, cuyo uso parece estar extendiéndose.

REFERENCIAS

[1] DEF-STAN 23-6: Technology Guidance for Military Logistics Vehicles.
[2] J.C. Larminie (1988). Standards for the Mobility Requirements of Military Vehicles, Journal of Terramechanics, Vol. 25, No.3.
[3] J.D. Priddy (2006). Clarification of vehicle cone index with reference to mean maximum pressure. *Journal of Terramechanics*, Vol. 43.
[4] J.Y. Wong, Ed. Wiley and Sons. *Theory of Ground Vehicles*, 4th edition.
[5] B. MacLaurin (2007). Comparing the NRMM (VCI), MMP and VLCI traction models, *Journal of Terramechanics*, Vol.44.
[6] J.G. Hetherington (2001). The applicability of the MMP concept in specifying off-road mobility for wheeled and tracked vehicles. *Journal of Terramechanics*, Vol. 38.
[7] Cranfield University (2000). Wheels and Tracks study (10 – 25 ton Armoured Fighting Vehicles).
[8] RSA-MIL-HDBK-62: Handbook for design, simulation, test and evaluation of wheeled vehicle mobility.

Biotecnología. Aplicación en Defensa

Angélica Acuña Benito, OT NBQ

La Convención sobre la Diversidad Biológica define la biotecnología como "cualquier aplicación tecnológica que usa los sistemas biológicos, organismos vivos, o derivados de los mismos, para obtener o modificar productos o procesos para uso específico".

Desde los años 70, los desarrollos en genómica, genética, ingeniería celular y tisular han identificado un rango de posibles nuevas aplicaciones que han impulsado este campo. Su convergencia con la nanotecnología, materiales y tecnologías de la información ha impulsado la investigación y el desarrollo de nuevas tecnologías con amplias aplicaciones en asistencia sanitaria, agricultura, medioambiente y producción industrial.

Desde el punto de vista de Defensa, los nuevos avances en biotecnología podrían ser útiles para mejorar la salud y supervivencia del soldado, principalmente a través del desarrollo de nuevas vacunas y productos modificados genéticamente, resolviendo los problemas de logística y transporte, suministrando una infraestructura de comunicaciones eficaces, y facilitando fuentes de energía alternativas. Las principales áreas de aplicación de la biotecnología en este área son:

- **Electrónica e informática**: sistemas basados en proteínas, bioinformática, sistemas híbridos biomoleculares.
- **Materiales**: ingeniería tisular, biomimetismo, sistemas híbridos moleculares.
- **Sensores**: en análisis de ensayos, métodos de detección, arquitecturas de chips.
- **Logística**: miniaturización de dispositivos biológicos, fuentes de energía de naturaleza biológica (biofuel), fuentes de energía renovables, etc.
- **Terapia**: genómica, Proteómica, antibióticos y vacunas, sistemas para liberación controlada de fármacos, alimentos funcionales, etc.

El rápido avance de la biotecnología promete mejoras significativas en el campo de la salud como el desarrollo de vacunas y antibióticos de origen molecular para el control de variedad de enfermedades genéticas e infecciosas: herramientas avanzadas de diagnóstico para prevención del riesgo; técnicas quirúrgicas no invasivas para minimizar el dolor; terapia génica, avances en regeneración celular y tisular, biochips implantables para monitorizar *in vivo* la salud del combatiente y la liberación controlada de antibióticos. Las aplicaciones basadas en la genómica podría erradicar muchas de las enfermedades comunes y sin tratamiento, mejorar la calidad de la salud humanas y extender la esperanza de vida y mejorar las capacidades físicas y cognitivas humanas.

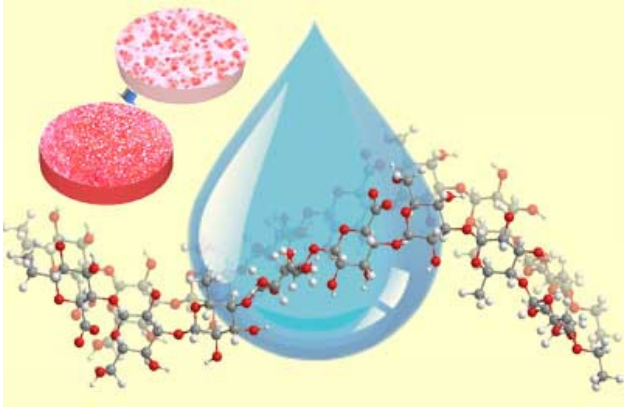


Fig.1. Aditivo alimentario que estimula la regeneración de tejidos (www.biotecnologica.com).

Por otro lado, la biotecnología tiene otras aplicaciones no relacionadas con la salud, más emergentes y para las que se espera un mayor impacto inmediato, como es la obtención de cultivos genéticamente modificados, informática basada en biomateriales, análisis forense de ADN, ingeniería genética, energía, etc. Algunas de estas aplicaciones se recogen en la tabla 1.

El uso de moléculas biológicas podría ser, a largo plazo, una alternativa viable a la electrónica e informática basada en semiconductores. Un ejemplo de este tipo de moléculas es la bacteriorodopsina, proteína bacteriana cuyas principales ventajas son su estabilidad, bajo coste, tamaño compacto, memoria óptica en 3D, que permite el almacenaje de tres veces más información, capacidad de procesamiento en paralelo, alta tolerancia a la radiación electromagnética y cósmica, y además es sumergible en agua durante meses sin pérdida de datos.

El potencial para explotar las propiedades químicas de las proteínas bacterianas podría ofrecer nuevos materiales para la ropa de protección e incrementar la protección del soldado. La tecnología podría ser usada para obtener pinturas no reflectantes y recubrimientos capaces de absorber radiación, que podrían ser rociados sobre tanques y aviones y proteger de la detección por el radar enemigo. Así mismo, se podrían desarrollar uniformes de combate que se mimetizan con el medioambiente que le rodea, o blindajes ligeros, flexibles y más duraderos que supongan la reducción de la carga logística del soldado. Por último, se podrían desarrollar materiales biosellantes, para prevenir el sangrado y las hemorragias en soldados heridos.

En cuanto a la aplicación de biosensores, destacar que los sistemas *lab-on-chip* podrán ser implantados en el soldado para la monitorización de la salud frente a la exposición a agentes amenazantes, de forma que se obtuviese una respuesta rápida, ultrasensible y a tiempo real. Este tipo de sistema podría alertar de la necesidad de tomar las medidas de protección oportunas (administración de antídotos, ponerse el EPI, etc.). Su potencial para producir sistemas del tamaño de un sello que pueda ser llevado como relojes de pulsera y no intrusivos le permitiría adoptar una gran variedad de funciones.

Por otro lado, la obtención de alimentos genéticamente modificados podría mejorar la eficacia en combate y reducir la carga logística. Esta tecnología también podría permitir la obtención de alimentos funcionales, con un extra de nutrientes, que requieran menos refrigeración o almacenaje, alimentos mejorados que incorporen enzimas digestivas o bio-marcadores que permitan monitorizar los movimientos de las tropas durante operaciones de combate o de mantenimiento de la paz. Los alimentos altamente nutritivos podrían reducir la cantidad a transportar a zona. También se podría aplicar en la obtención de cosechas de rápido crecimiento y maduración (días), de forma que se asegurase un

suministro continuo de fruta y/o vegetales frescos.

Asimismo, la incorporación de vacunas en alimentos comunes tales como las patatas podrían proteger a los soldados de enfermedades comunes, tales como la diarrea y otras enfermedades infecciosas endémicas de localizaciones exóticas.

La convergencia de las tecnologías NBIC (nanotecnología, biotecnología, tecnologías de la información y ciencias cognitivas) podría mejorar los atributos cognitivos, comportamentales y físicos de los soldados. Las mejoras mentales y físicas podrían tener aplicaciones directas en el teatro de operaciones. Los implantes sensoriales para medir la química cerebral, los antídotos y las drogas basadas en genética podrían permitir la asistencia de soldados durante períodos de estrés críticos y proporcionar la posibilidad de escanear y seleccionar individuos para tareas específicas en base a sus características fisiológicas y/o psicológicas.

La secuenciación genómica, la biología molecular y la ingeniería genética han producido gran cantidad de información y conocimiento sobre la genética, y particularmente de la función biológica en patógenos y hospedadores. Este conocimiento si bien puede aplicarse a la mejora de la salud, presenta el inconveniente de que puede ser utilizado para el desarrollo de nuevas armas biológicas (La Convención de Armas Biológicas prohíbe el desarrollo, producción y almacenaje de este tipo de armamento). Además, otra desventaja es que podría permitir la mejora de los agentes de guerra biológica desde el punto de vista de la capacidad de evitar las contramedidas médicas actuales y futuras mediante:

- Por un lado, la alteración genética de microorganismos benignos, modificando su toxicidad o dándoles la capacidad de producir toxinas, venenos o biorreguladores (microorganismos resistentes a antibióticos, vacunas estándar y terapias, microorganismos alterados inmunológicamente para evadir la detección e identificación estándar y los mecanismos de diagnósticos).
- Por otro lado, los avances en microbiología, biología molecular e ingeniería genética pueden contribuir en la calidad de la vida humana, fácil acceso a la información disponible, lo que desafortunadamente proporciona oportunidades ilimitadas para el desarrollo de armas biológicas.

Es importante tener en cuenta, que la utilidad militar de la biotecnología probablemente vaya más allá de la protección médica y la obtención de armas biológicas, y se centre en aspectos insospechados hasta el momento, relacionados con el carácter de la agresión. Los avances en varias áreas relacionadas con la biotecnología e ingeniería genética hacen que la guerra biológica sea una opción más viable, no sólo para las organizaciones terroristas. El crecimiento exponencial de la tecnología implica mantener una atención minuciosa centrada en los aspectos relacionados con el desarmamento.

No obstante, todas estas aplicaciones dependerán de diferentes factores, entre los que se encuentran principalmente la aceptación social y cultural del cambio tecnológico, los niveles de tecnología y el grado de inversión de cada país, entre otros. Desde el punto de vista militar, la biotecnología supone una oportunidad de cambios radicales en un amplio rango de capacidades, especialmente en la mejora de la preparación del soldado, lo que podría traducirse en avances significativos en las próximas dos décadas.

	DESCRIPCIÓN
Electrónica resistente a la radiación	Componentes basados en proteínas: sistemas híbridos biomoleculares, diodos biomoleculares, etc.
Reducción de tamaño y peso	Procesos basados en células; electrónica molecular; biochip; nanotecnología
Detección en el campo de batalla	Lab-on-chip para detectar e identificar amenazas químicas, biológicas y ambientales en el teatro de operaciones, y también para diagnóstico y terapia
Redes de sensores	Sensores remotos montados sobre vehículos y llevados por los soldados para aumentar la inteligencia sobre la amenaza
Terapia para soldados	Drogas para contrarrestar el shock; terapias basadas en genómica, terapias directas, capacidad de respuesta óptima a las vacunas
Energía portátil para soldados	Fotovoltaicas biológicas, sistemas de energía basados en células
Reconocimiento de blancos	Sistemas basados en proteínas para reconocimiento de patrones; inteligencia artificial
Desarrollo de vacunas	Tiempos reducidos de desarrollo y producción para requisitos de pequeña escala para responder a enfermedades exóticas endémicas o locales
Cura de heridas	Ingeniería de piel, tejidos, y órganos. Tratamientos y cura dirigidos hacía la disminución de sangrado y aceleración de la cicatrización.
Camuflaje y ocultación	Biomateriales con características de sigilo; pinturas y recubrimiento que no se iluminan.
Identificación	Marcadores biológicos para distinguir soldados amigos de enemigos
Informática	Ordenadores de ADN para resolver problemas especiales, modelos biológicos para algoritmos informáticos.
Fusión de datos	Memorias asociativas y otros sistemas basados en proteínas, inteligencia artificial
Alimentos funcionales	Aditivos para mejorar la nutrición; mejora de la digestión_ mejora de las características de almacenaje, plantas de rápido crecimiento
Monitorización de la salud	Biosensores para monitorizar la salud del soldado, clasificación de heridos vía remota, etc.
Almacenaje de datos de alta capacidad	Memorias robusterizadas
Imagen de alta resolución	Alternativas de alta resolución a los semiconductores
Blindajes ligeros	Protección para soldados y sistemas de combate; sistemas con características vivas
Nuevos materiales	Biomimetismo; consumibles biodegradables; recursos renovables.
Rendimiento mejorado	Implantes corticales, mejora sensorial, monitorización de expresión génica, etc.

Tabla 1. Principales aplicaciones de la biotecnología en las Fuerzas Armadas.

En Profundidad

Diseño y desarrollo de formas alternativas de carenas

Amadeo García Gómez, CEHIPAR;
Juan Jesús Díaz Hernández, OT SNAV

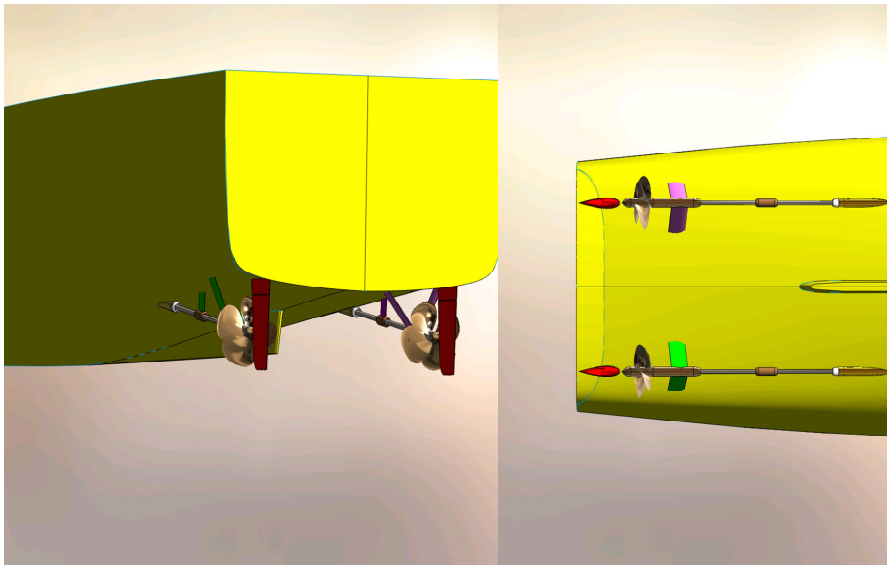


Fig. 1. Formas adaptadas a dos líneas de ejes convencionales.

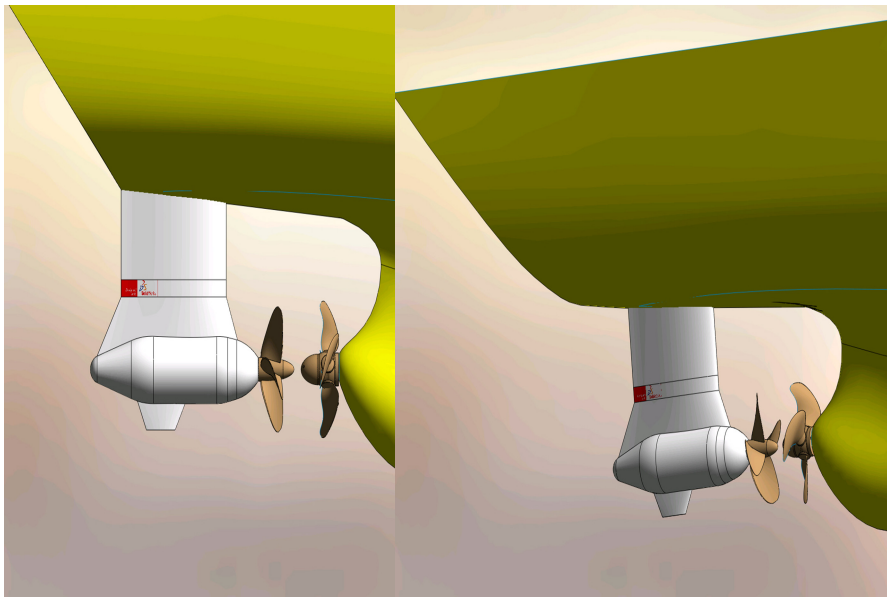


Fig. 2. Hélices contra rotatorias con POD enfrentado.

Introducción

El pasado día 5 de septiembre de 2011 quedó formalizado el acuerdo de encomienda de gestión entre la Dirección General de Armamento y Material (DGAM) y el Canal de Experiencias Hidrodinámicas de "El Pardo" (CEHIPAR) para realizar el programa de I+D "Diseño y desarrollo de formas alternativas de carenas para buques de escolta oceánicos".

Dada la complejidad de los futuros escenarios en que pueda ser requerida la presencia de buques de guerra, es cada día más evidente la necesidad de realizar estudios que permitan llevar a cabo un ejercicio de evaluación, en todos los múltiples campos que afectan a su diseño, más allá de lo que sería una simple evolución de lo que hasta hoy se ha establecido como estándar para este tipo de plataformas.

El diseño del futuro buque de guerra condicionará de forma sustantiva su operatividad y es por ello de la máxima importancia, el realizar un ejercicio teórico-experimental inicial que ayude a los órganos competentes en la evaluación de distintas alternativas hidrodinámicas de proyecto, de manera que le proporcione suficiente conocimiento técnico para la toma de una decisión final, así como conocer las posibles desviaciones en cuanto a eficacia propulsiva y operatividad en mares agitados.

Desde el punto de vista del proyecto de formas, propio del trabajo del CEHIPAR, son varias las alternativas que permiten definirse como soluciones posibles. Este estudio preliminar pretende ser de la máxima utilidad para el Ministerio de Defensa, y está abierto a que en un futuro se puedan incorporar nuevos

avances tanto en el campo de optimización de las formas de carena, como en el de apéndices y sistemas propulsivos.

Aún cuando existiese la posibilidad de que un proyecto de renovación o ampliación de la actual flota de la Armada se lleve a cabo en un futuro mediante un posible acuerdo de cooperación internacional con otros países, este hecho no disminuye el interés de poder disponer de una información de primera mano y cualificada procedente de un centro tecnológico del Ministerio que ayude a la elaboración de criterios comunes.

Este proyecto de I+D pretende proveer al Ministerio de Defensa de una información totalmente fiable sobre lo que cabe esperar, tanto desde el punto de vista propulsivo como de comportamiento en la mar, de distintas alternativas de proyecto.

Descripción general del proyecto

El proyecto parte de una definición inicial de las características de diseño de un buque en cuanto a un desplazamiento del buque a estudiar y sus velocidades máxima y operativa. Los principales paquetes de trabajo en los que se ha dividido este proyecto son:

- Selección y dimensionamiento de dos tipos de plataforma: monocasco y multicasco. Preparación de una herramienta de predicción del comportamiento propulsivo en base a la información propia y/o contenida en la literatura técnica publicada.
- Para las alternativas seleccionadas, proyecto de las correspondientes formas de carena y estudio teórico-práctico de sus cualidades propulsivas y de comportamiento en la mar, mediante programas de hidrodinámica numérica (CFD – *Computational Fluid Dynamics*).
- Comprobación experimental de las alternativas que se hayan considerado como más interesantes.
- Análisis de resultados y evaluación de los procedimientos utilizados para la realización de los estudios teórico-prácticos.

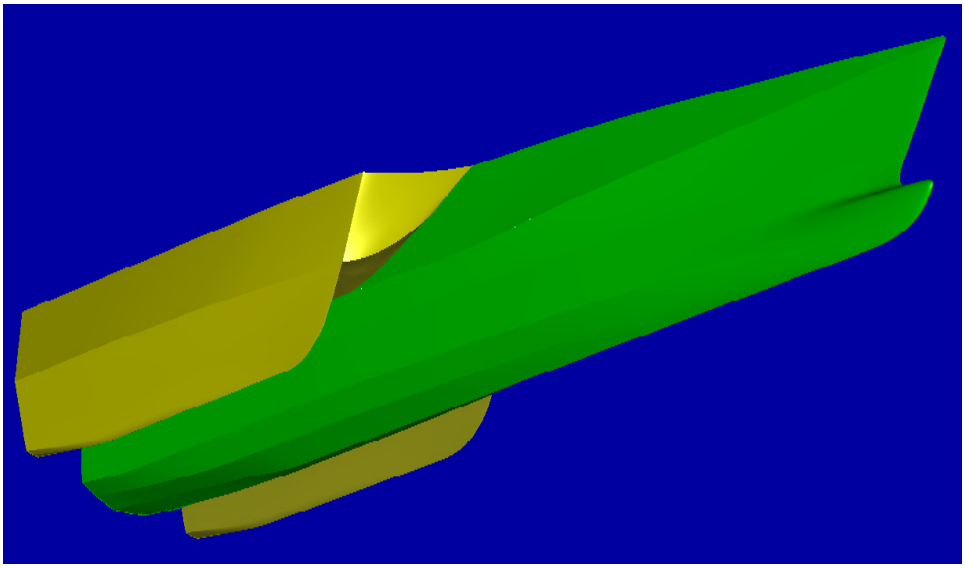


Fig. 3. Posibles formas trimarán.

Tipos de plataformas a estudiar

Si bien es posible plantear numerosas alternativas, con el fin de concentrar esfuerzos, en el presente proyecto se ha propuesto estudiar los dos tipos de plataformas que tienen una mayor posibilidad de convertirse en un proyecto de buque real.

1. Monocasco.

Partiendo de un dimensionamiento inicial para la versión monocasco y de la velocidad punta que se desea desarrollar, se procederá a proyectar unas formas de carena con dos alternativas de popa.

Formas adaptadas a un sistema de propulsión basado en hélices montadas de forma convencional en dos líneas de ejes (figura 1).

Formas adaptadas para propulsión con hélices contra-rotatorias, utilizando para ello una línea de ejes central de tipo convencional y enfrentada a ella un propulsor azimutal tipo POD con la hélice girando en sentido contrario, para aprovechar la energía contenida en el flujo de salida del propulsor convencional[1] (figura 2).

2. Multicasco.

Una vez realizado el dimensionamiento, diseño de formas y estimación de potencia para la carena del buque monocasco se procederá a definir las dimensiones de un buque equivalente en desplazamiento y velocidad pero con configuración trimarán (figura 3).

En la definición de las formas del casco central se tendrá en cuenta que el sistema de propulsión seleccionado será mediante *waterjets*.

Los cascos laterales se diseñarán considerando la posibilidad de formas simétricas y asimétricas en toda o en parte de su eslora. Además, en cada caso y para las velocidades deseadas, se estudiará la posición más ventajosa, tanto en manga como en eslora de los mismos.

Ventajas e inconvenientes

A continuación se enumeran las principales ventajas e inconvenientes de la configuración trimarán sobre la monocasco, al

[1] *Sobre la optimización de la propulsión con un sistema contra-rotatorio, el CEHIPAR está llevando a cabo la experimentación correspondiente al proyecto de investigación TRIPOD promovido por empresas españolas y finlandesas y presentado a la Comisión Europea dentro del 7º Programa Marco. El know how que se obtenga será muy útil para el estudio objeto de este proyecto.*

menos desde un punto de vista teórico. Se pueden señalar las siguientes ventajas:

- Reducción de la resistencia al avance a altas velocidades, que puede estimarse en un 20% para buques tipo fragata a una velocidad de 30 nudos.
- Proporciona más alternativas y posibilidades de sistemas propulsivos.
- Mejora la estabilidad.
- Mejor comportamiento en la mar.
- Mayor estabilidad de ruta.
- Ofrece una mayor posibilidad de admitir futuros incrementos de pesos y por lo tanto, mayor capacidad de futuras remodelaciones en el equipo.
- Mayor área de cubierta (aproximadamente un 40%).

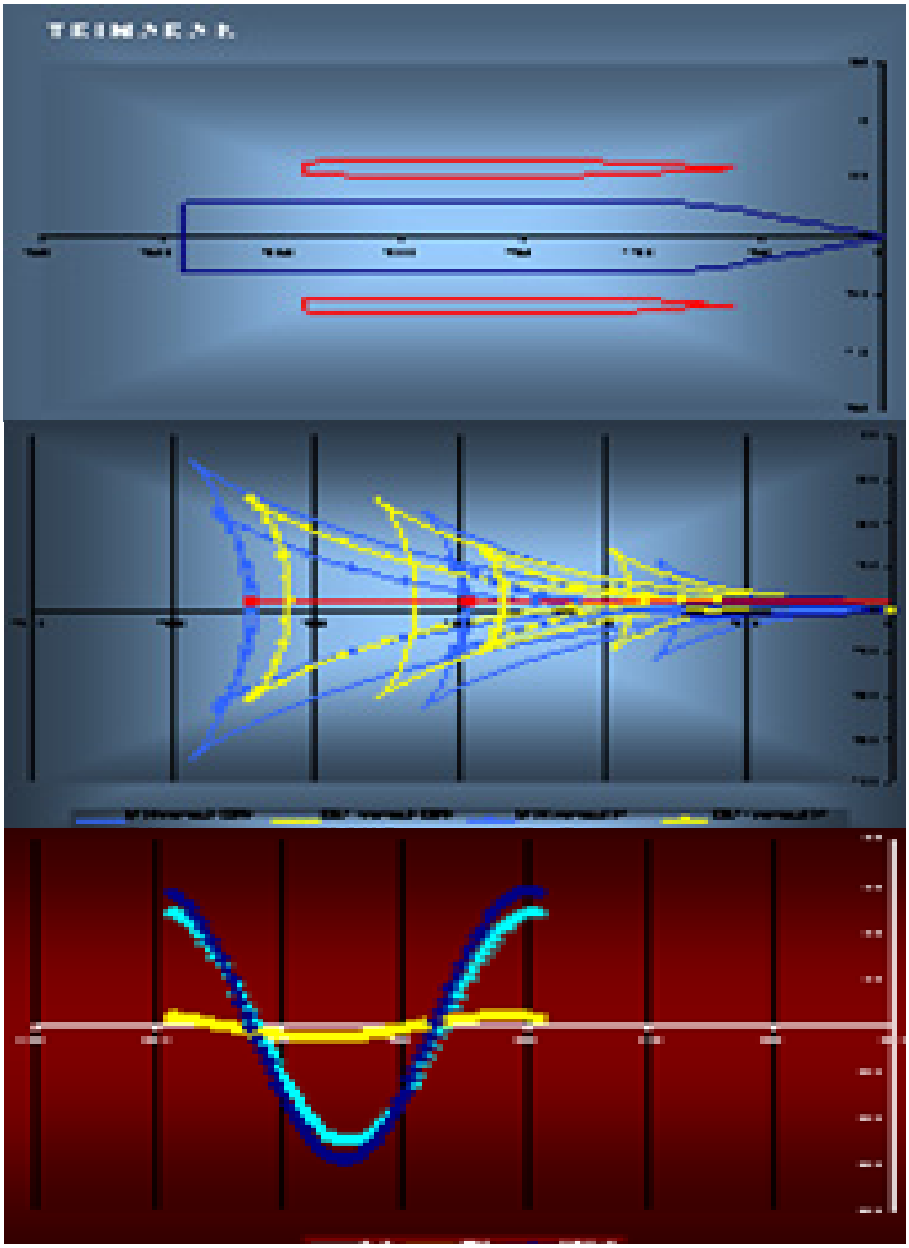


Fig. 4. Herramientas de cálculo y simulación.

- Mayor facilidad para montar radares de alto alcance y/o mástiles integrados.
- Mayor posibilidad de reducir las firmas radar e infrarroja.
- Mejor disposición general para lanzar vectores a tierra.

Entre las posibles desventajas del trimarán frente al monocasco cabe citarse:

- El aumento de manga y también de eslora puede afectar a la entrada en dique.
- La industria nacional no cuenta con experiencia en la construcción de grandes trimaranes en acero.
- Existe un mayor riesgo en el cálculo de la estructura ya que las tensiones y esfuerzos son mayores, principalmente en la cubierta de unión de los cascos laterales con el central.
- Es previsible que la construcción de la plataforma pueda resultar más cara.
- Un aumento de resistencia a bajas o moderadas velocidades debido al incremento de superficie mojada.
- Menor volumen interno en el casco principal, lo que afecta a la disposición de la cámara de máquinas.
- Posible inestabilidad en el caso de pérdida por avería o inundación en combate de uno de los cascos laterales.

Desarrollo científico del proyecto

Para los tipos de plataforma propuestos y que se han descrito anteriormente se realizarán los siguientes estudios:

1. Procedimientos teóricos: estudios empíricos y numéricos.

Dentro del programa de I+D se elaborará un procedimiento de estimación del comportamiento propulsivo para cada uno de los dos tipos de plataformas seleccionados.

Durante la fase inicial de definición y proyecto de las formas del buque monocasco, se utilizará CFD po-

tencial para comprobar su optimización.

Posteriormente se realizarán cálculos de CFD viscoso para las formas optimizadas.

Una vez obtenidos estos cálculos se procederá a elaborar una estimación de las cualidades propulsivas de cada proyecto de formas que haya sido considerado satisfactorio.

Finalmente se efectuará un estudio mediante CFD del comportamiento en la mar de cada una de estas carenas.

2. Procedimientos experimentales: resistencia y propulsión.

La extensión del programa de ensayos que se ha previsto se plantea al objeto de satisfacer los objetivos en una triple vertiente:

- Disponer de datos experimentales y por tanto muy fiables, sobre un prototipo monocasco y un prototipo trimarán.
- Servir como base para la optimización de proyectos futuros que resulten como consecuencia de ajustes en operatividad, costes, etc. de los tipos de plataformas estudiados.
- Validar los procedimientos de estimación utilizados en este estudio y, en el caso de ser procedimientos de desarrollo propio, revisar y ajustar sus algoritmos de cálculo.

3. Procedimientos experimentales: comportamiento en la mar.

A través de estos estudios se pretende obtener datos experimentales comparativos sobre el comportamiento en mares agitados de ambas formas.

Incluirá el análisis de la adecuación de los cálculos obtenidos con los programas de CFD específico para *seakeeping*.

Y finalmente permitirá la evaluación de la necesidad de diseñar elementos o sistemas de amortiguación en base a los distintos movimientos para cada tipo de buque.

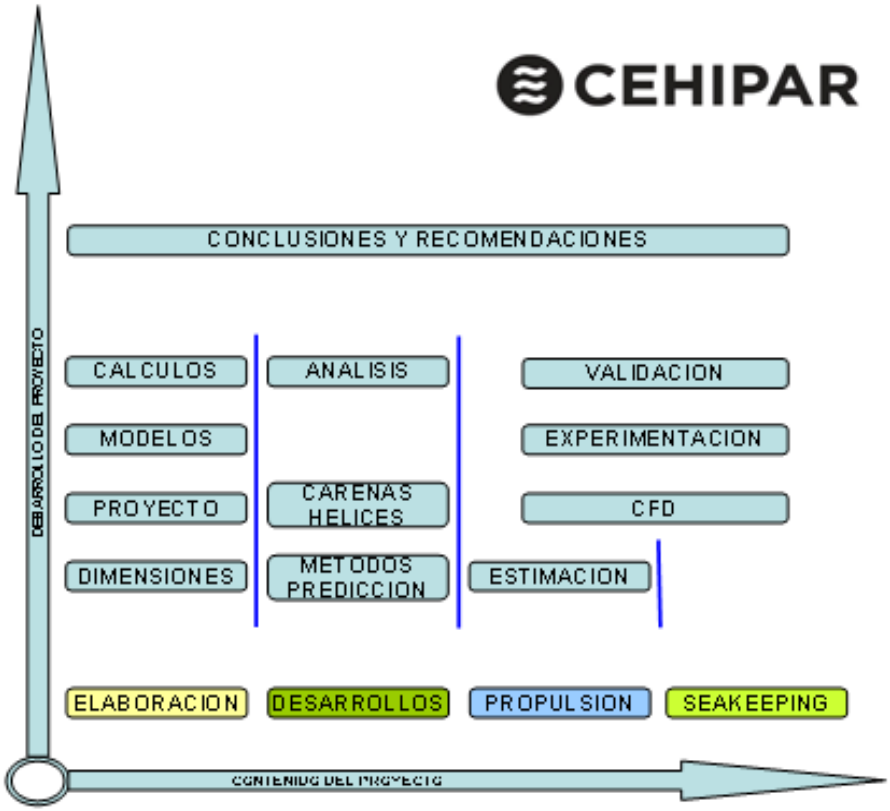


Fig. 5. Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

Este artículo pretende señalar por un lado que las armadas de los países más avanzados llevan años trabajando en un sentido análogo al aquí expuesto.

Por otra parte, queremos reflejar que gracias a los esfuerzos que se contemplan en esta actividad, se pueden conseguir muy buenos rendimientos tanto en el aspecto técnico del proyecto de un futuro buque como en el de formación científica cualificada, no sólo para colaborar en futuros desarrollos sino también como interlocutor con otros posibles responsables y/o socios de los mismos.

A modo resumen, la figura 5 pretende definir las principales acciones dentro de este marco de actuación que se acomete con el fin de proveer a la Armada Española y, por ende, al Ministerio de Defensa de una información totalmente fiable sobre lo que cabe esperar, tanto desde el punto de vista propulsivo como de comportamiento en la mar, de distintas alternativas de proyecto.

Finalmente reseñar que este proyecto se llevará a cabo bajo un estricto control de calidad en base al sistema de gestión de la calidad del CEHIPAR, que se apoya en entregar el máximo valor añadido de los trabajos de experimentación e investigación de forma efectiva en coste y tiempo[2].

[2] *El CEHIPAR cuenta con las siguientes certificaciones: ISO 14001, ISO 9001.*

Supervisión en salud estructural en plataformas aeroespaciales mediante sensores de fibra óptica

J.G. Carrión, M. Frövel y J. M. Pintado, Dpto. de Materiales y Estructuras, INTA

Introducción

Las plataformas aeroespaciales (aviones, lanzadores, etc.) son, en esencia, un conjunto de sistemas complejos integrados en otro: una estructura de bajo peso y alta resistencia y rigidez, capaz de soportar estados de carga que, en el caso de las aeronaves militares, pueden ser especialmente severas.

Para asegurar la viabilidad estructural en los aviones, debe realizarse un programa de mantenimiento extenso y costoso, en el que el vehículo se supervisa en tierra, generalmente mediante técnicas de inspección no destructiva. La introducción de tecnologías de supervisión de salud estructural, SSE, (popularizadas del inglés como SHM, *Structural Health Monitoring*) busca mejorar el concepto clásico de mantenimiento, con las ventajas añadidas de aumentar los tiempos entre inspecciones y facilitar comprobaciones en sitios de difícil acceso, sin desmontar grandes partes del avión. En la propia estructura puede integrarse un "sistema sensorial" que vuelque datos sobre una unidad que analice en tierra o en vuelo la integridad mecánica de la estructura. La comprobación de los datos, ya sea en el propio aparato o en tierra, optimizaría significativamente los tiempos de mantenimiento.

Entre el conjunto de técnicas SSE, el uso de los llamados sensores de fibra óptica tipo red de Bragg (FBGS, *Fibre Bragg Grating Sensor*) resulta ser especialmente apropiado para la supervisión de estructuras fabricadas en material compuesto de matriz polímero reforzada con fibra de carbono, por la baja intrusividad que supone la fibra óptica soporte de los FBGS dentro del material huésped. Otras ventajas notables son la capacidad de introducir varios FBGS en una misma fibra óptica ("multiplexación"), lo que permite supervisar varios puntos en una misma línea, y la inmunidad de este tipo de sensores frente a la radiación y campos electromagnéticos.

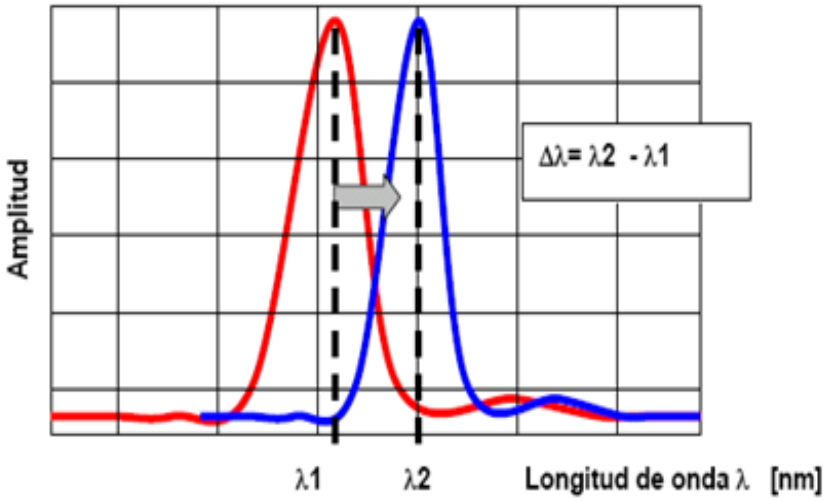


Fig. 1. Representación del espectro de una red de Bragg y su desplazamiento o variación de longitud de onda debido a una deformación *estructural.*

El Área de Materiales Compuestos del departamento de Materiales del INTA ha acumulado una experiencia de más de diez años de investigación y desarrollo sobre el uso de FBGS en estructuras de material compuesto. En pocas líneas, el trabajo realizado se ha centrado en:

- La caracterización del funcionamiento de los FBGS en condiciones típicas de servicio.
- Las tecnologías de integración en estructuras de material compuesto.
- La supervisión de cargas en vuelo de estructuras de una aeronave no tripulada mediante FBGS.

En este artículo se pretende revisar los conocimientos adquiridos en el INTA sobre esta técnica y dejar patente su interés para su aplicación en aeronaves militares.

Sensores de fibra óptica

Un sensor FBGS relaciona una señal óptica con una deformación mecánica, permitiendo, a través de una medida óptica, conocer qué deformación se está produciendo en el entorno del sensor. Para fabricarlos, el núcleo de una pequeña zona de fibra óptica (fibra de vidrio fotosensible) se somete a un

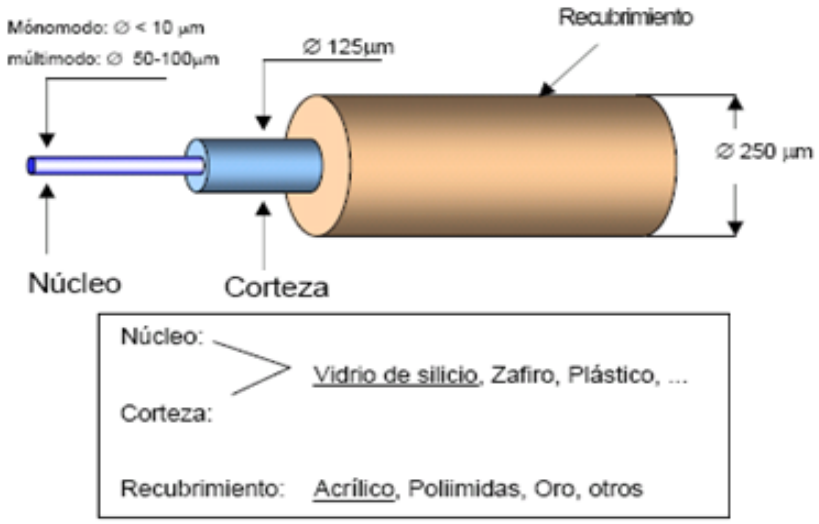


Fig. 2. Esquema de la estructura de una fibra óptica.

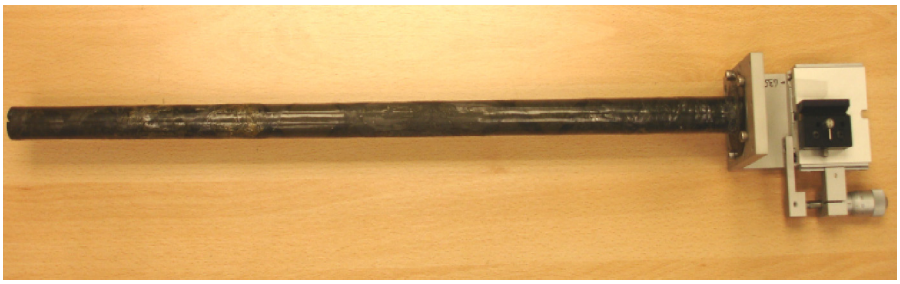


Fig. 3. Dispositivo diseñado en el INTA para realizar ensayos con las fibras libres.

tratamiento con una fuente láser, cuya acción, debido a la presencia de determinados dopantes, produce una variación periódica en el índice de refracción del núcleo. Iluminando el sensor con luz láser monocromática, se obtiene un pico de intensidad para una longitud de onda, λ, característica, y que depende del estado de deformación del sensor. Este pico se desplaza, en unidades de longitud de onda, de su posición inicial cuando la fibra es deformada (figura 1).

Sin embargo, el pico se desplaza no únicamente por efecto de un esfuerzo mecánico, sino también por efectos térmicos (variación del índice de refracción con la temperatura y expansión térmica de la fibra de vidrio), de manera que ambos se suman, y es preciso discernirlos para no deducir resultados confusos.

La relación entre variación de longitud de onda y deformación mecánica (sin considerar el efecto térmico) es lineal. Además, el coeficiente de sensibilidad, que es el término característico del sensor, engloba a los factores ópticos propios del material de la fibra de vidrio, y que no es constante con la temperatura. Resulta obvio expresar que es fundamental determinar el valor de coeficiente de sensibilidad para usar correctamente este tipo de sensores.

En sensores embebidos, su respuesta se ve influida por las características elásticas del material huésped y las de la propia fibra óptica, además de por los factores ópticos.

Un elemento a tener en cuenta en la determinación de la sensibilidad de los FBGS es el material de recubrimiento de la fibra óptica. Las fibras de vidrio se recubren, generalmente, con material plástico, que reduce su fragilidad y facilita enormemente su manejo (ver esquema en la figura 2).

Las características elásticas y de resistencia térmica del material de recubrimiento influyen en la señal, por lo que, de nuevo, resulta imprescindible realizar la caracterización del FBGS, pues K(T) también toma diferentes valores dependiendo de dicho recubrimiento. Generalmente, el material de recubrimiento es polimérico (acrílico, poliimida), pero ya se han introducido en el mercado los recubrimientos de tipo organocerámico (Ormocer), que ofrecen mayor estabilidad térmica.

Caracterización de las señales de FBGS

A lo largo de los proyectos en los que el Área de Materiales Compuestos del INTA ha venido trabajando en este tema, se ha tenido oportunidad de evaluar FBGS libres, adheridos y embebidos.

La caracterización de sensores libres puede no parecer importante, pero es necesaria para su calibración. Para caracterizar sensores libres, se requiere un medio de introducción precisa y controlada de deformación mecánica. En el INTA, se ha construido y utilizado el dispositivo mostrado en la figura 3.

La fibra óptica se ancla a la mesa de apoyo, se hace pasar por el interior del tubo de material compuesto, (con una orientación de las fibras de carbono que hace despreciable su deformación térmica), y se sujeta en el extremo final con un tope. Todo el conjunto se introduce dentro de una cámara climática por un pasamuros y se realizan las medidas a diferentes temperaturas. En la mesa de apoyo, la fibra está amordazada en una base acoplada a un tornillo micrométrico, de manera que la fibra puede deformarse una cantidad conocida y calibrada.

Por su especial interés, la experiencia con FBGS embebidos es muy amplia. En los distintos proyectos en los que se ha intervenido, se ha comprobado la respuesta de estos sensores, embebidos en probetas y elementos de diversas configuraciones estructurales (uni- y multidireccionales), condiciones ambientales y estados de carga.

Los resultados demuestran un comportamiento muy uniforme y repetitivo en todos los ensayos. La sensibilidad prácticamente no se ve afectada por los intervalos de temperatura investigados (de -100ºC a 160ºC), los diferentes tipos de cargas (tracción y compresión), ni por ciclos de fatiga, con cargas y tiempos que simulan una vida entera a fatiga de una estructura aeronáutica.

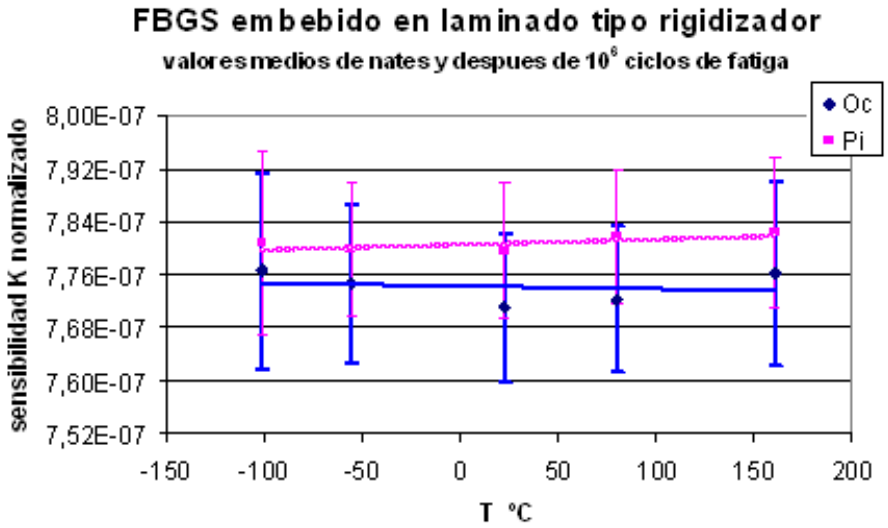


Fig. 4. Valores medios de la variación del coeficiente de sensibilidad normalizado K(T) con la temperatura y antes y después de 106 ciclos de fatiga para FBGSs recubiertos con poliimida y Ormocer embebidos en un laminado tipo rigidizador.

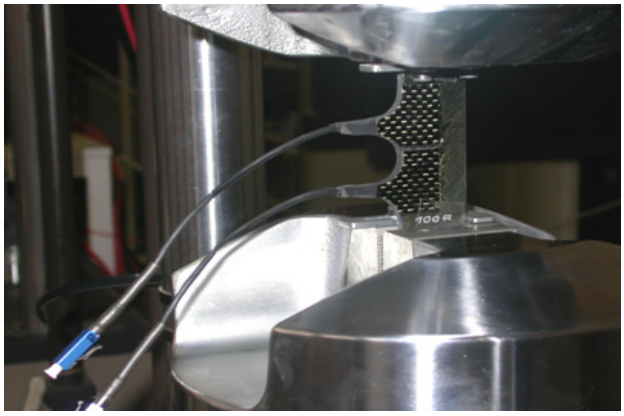


Fig. 5.a. Elementos de material compuesto con FBGS embebidos.

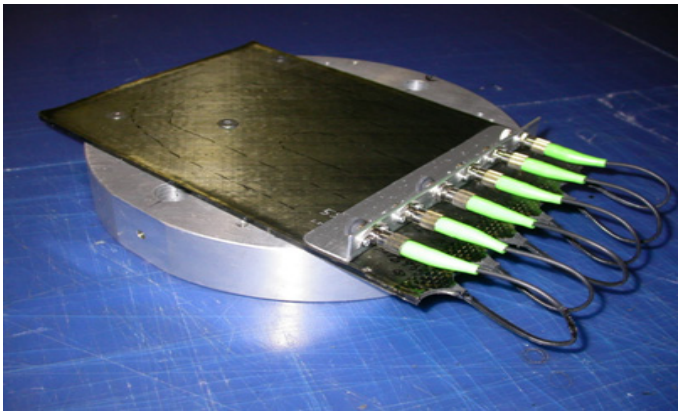


Fig. 5.b. Salidas de las fibras ópticas robustas ensayados a fatiga y aceleraciones.

Las variaciones totales de las sensibilidades de los sensores en todo el rango de temperaturas y condiciones de fatiga son del orden de ±1,5%, un valor que es muy bueno pensando en aplicaciones con amplios rangos de temperaturas y una utilización del sensor de por vida dentro de una estructura huésped. La figura 4 muestra resultados medios obtenidos con FBGS embebidos con recubrimiento de poliimida y de Ormocer, en ensayos combinados de tracción y compresión en el rango de ± 0,2% de deformación, y antes y después de un millón de ciclos de fatiga en el mismo rango de deformaciones.

Una de las preocupaciones principales para valorar la viabilidad del uso de los FBGS embebidos es la influencia que el sensor mismo puede tener en las propiedades mecánicas de la estructura. En otras palabras, conocer hasta qué punto la presencia de una fibra óptica, cuyo diámetro es unas 20 veces mayor que las fibras de carbono del elemento estructural, cambia las propiedades del elemento que la acoge.

Este hecho se valoró dentro de las distintas actividades del grupo español dentro del proyecto AHMOS-II, de la EDA. A este respecto, la conclusión más importante del trabajo, realizado sobre casi 800 probetas normalizadas de material compuesto de matriz epoxi M21 reforzada con fibra de carbono T800, es que sólo resultaba significativa la presencia de fibras ópticas cuando éstas se ubicaban en dirección perpendicular a la principal del laminado y bajo esfuerzos de compresión (en el entorno del 20% de reducción en resistencia).

Fig. 6. SIVA instrumentado con un sistema de supervisión de cargas en vuelo basados en unos 20 sensores de fibra óptica.

Tecnologías de integración de FBGS

La integración de sensores FBGS dista mucho de ser trivial, ya sean adheridos o embebidos a la estructura de material compuesto que se pretende supervisar. Para empezar, los FBGS precisan ser conectados a los dispositivos de lectura de señal, luego la fibra óptica ha de ser, en las zonas de acceso y salida de la estructura, protegida cuidadosa y convenientemente (lo que también mejora su manejo), e integrada en un conector.

Cuando el FBGS se emplaza sobre la superficie de la estructura huésped, puede fijarse como si se tratara de una galga extensométrica: se precisan limpieza superficial (mecánica y/o química) y aplicación de adhesivo.

Más crítico es el embebido dentro de un laminado de material compuesto y, especialmente, lo que respecta a la entrada y salida de la estructura. En dichos puntos, la fibra óptica se recubre con la resina termoestable que fluye durante el curado del compuesto, aumentando la fragilidad de la fibra. Se necesita una protección es-pecial, de manera que, primero, se retenga el flujo de resina termoestable y, después, la salida sea suficientemente robusta, pero con la flexibilidad que precisa la conexión posterior.

También en el proyecto AHMOS-II, se comprobó la robustez de las salidas de fibras ópticas embebidas en material compuesto, sometiendo los laminados a ensayos de fatiga, vibración y aceleración, con resultados siempre óptimos. El sensor embebido y las interfaces ópticas funcionaron durante y después de las campañas de ensayo,

no detectándose cambios significativos en los parámetros operativos (longitud de onda, amplitud, etc.). Las condiciones de ensayo simularon las típicas de servicio en aeronaves militares. En las figuras 5.a y 5.b, se aprecia la configuración de los ensayos de fatiga y vibración/aceleración, mostrándose las probetas y las interfaces ópticas.

Supervisión de cargas en vuelo mediante FBGS

La supervisión de cargas en vuelo en aeronaves militares ya se viene realizando mediante extensometría. Así, se ha documentado que el avión EF2000 incorpora hasta 16 puntos de medida en la estructura (en fuselaje, alas o empenaje), y también otros aviones, como el Harrier-II o el F18, se han instrumentado de esta forma. Frente a las galgas extensométricas, los sensores FBGS resultan mucho menos intrusivos, son más estables en ambiente húmedo y, como ya se ha citado anteriormente, no son afectados significativamente por ciclos de fatiga y deformaciones altas ni por radiaciones electromagnéticas.

Todas estas ventajas permiten prever la sustitución de la supervisión de cargas en vuelo mediante extensometría por la supervisión con FBGS. En el INTA, se ha sacado provecho del desarrollo de la plataforma no tripulada SIVA (Sistema Integral de Vigilancia Aérea), actualmente en uso por el RACA 63 (Regimiento de Artillería de Campaña con base en Ferral de Bernesga, León) del Ejército de Tierra, para comprobar la capacidad de medida de cargas en vuelo con este tipo de sensores.

En la figura 6 se observa la situación de la "red" de FBGS, todos adheridos, dispuestos en uno de los aviones, que fue probado en el aeródromo de Corral de Ayllón (Segovia).

El conjunto se completó con un sistema lector embarcado, que registró las señales procedentes de todos los sensores y que fueron, al final del vuelo, procesadas en tierra con un analizador de espectro óptico. En esencia, el sistema lector realiza un barrido en las fibras ópticas, recogiendo las longitudes de onda procedentes de los diferentes FBGS y almacenándolas en una memoria, que es la que se descarga y analiza en tierra.

La figura 7 muestra el resultado de la supervisión de cargas de vuelo en el SIVA en el momento de aterrizaje. Como se aprecia, los FBGS permiten distinguir las fases de aproximación, la toma de tierra y el carreteo. La necesaria compensación térmica que precisan los sensores está incluida en los algoritmos de cálculo de los resultados y hace las veces de termómetro.

Perspectivas de la tecnología

En la actualidad, el Área de Materiales Compuestos del INTA mantiene su participación en diferentes proyectos de SSE, profundizando en el conocimiento del uso y aplicación de los FBGS. Dentro de la EDA, se ha manifestado interés por optar a los nuevos proyectos supranacionales sobre supervisión de plataformas militares, especialmente en helicópteros.

En otra línea de actividad, se está desarrollando el uso de los sensores de fibra óptica para supervisar reparaciones de estructuras de aviones metálicas realizadas con materiales compuestos. Los resultados están demostrando el alto potencial de los FBGS para evaluar periódicamente las reparaciones, con un mínimo de tiempo y personal necesario a lo largo de la vida de la estructura reparada.

Por otra parte, el desarrollo de vehículos no tripulados en el INTA (SIVA, y el nuevo MILANO) supone una oportunidad incuestionable para incorporar y probar estos prometedores sistemas de SSE, cuyo potencial es enormemente prometedor para su aplicación en prácticamente cualquier sistema estructural, aéreo o no, de la defensa.

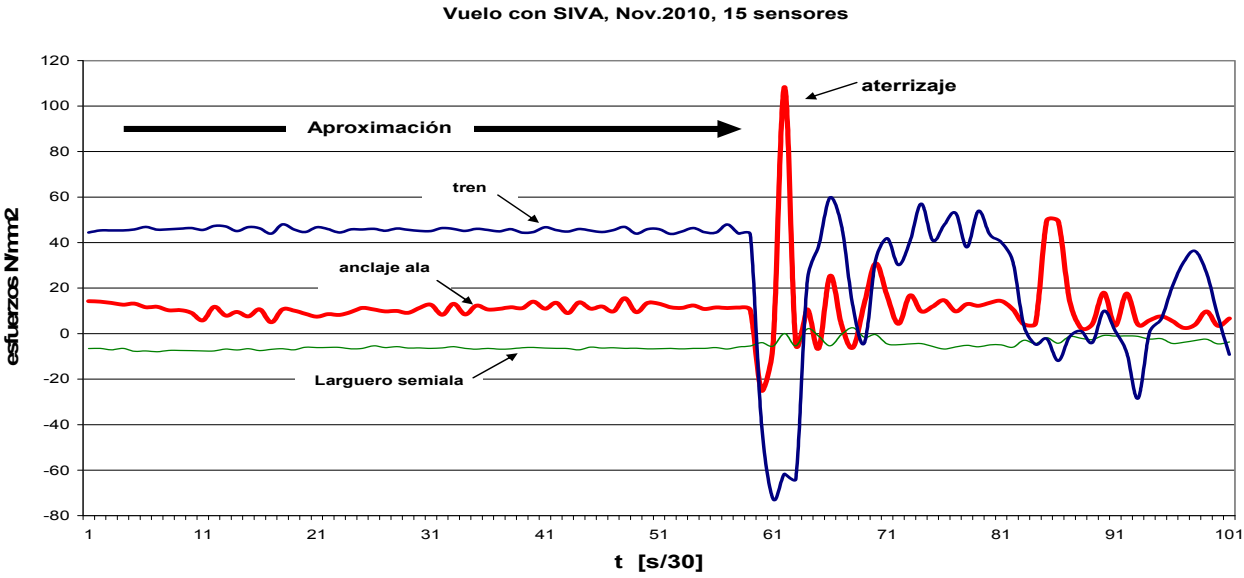


Fig. 7. Detalle de 3 segundos del momento de aterrizaje de un anclaje del ala al fuselaje (rojo), el tren de aterrizaje (azul) y de un larguero del semiala izquierda.

Boletín de Observación Tecnológica en Defensa

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

SOPT
SISTEMA DE OBSERVACIÓN Y PROSPECTIVA TECNOLÓGICA

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