

# Boletín

## DE OBSERVACIÓN TECNOLÓGICA EN DEFENSA



SUBDIRECCIÓN GENERAL DE TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN  
Boletín de Observación Tecnológica en Defensa nº 30 • 1<sup>er</sup> Trimestre de 2011

### Materiales Superconductores en Defensa

### Programa Combatiente del Futuro



30

30 NÚMEROS DE BOLETÍN



Edita:



NIPO: 075-11-165-4 (papel)  
NIPO: 075-11-164-9 (en línea)  
Depósito legal: M-8179-2009

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

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

**Consejo Editorial:** Cap. Aurelio Hinarejos Rojo, Oscar Jiménez Mateo. **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:** figura 1 "Puntos cuánticos en disolución coloidal irradiados con luz ultravioleta", del artículo "Nanofotónica: ultrasensibilidad y visión en el infrarrojo".

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](mailto:observatecno@oc.mde.es)

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



DGAM  
Subdirección General de Tecnología e Innovación

## CONTENIDOS

- 3 **Editorial**
- 4 **Actualidad**
- 4 Agencia Europea de Defensa (EDA)
- 4 Actividades de la EDA en el año 2009
- 5 Programa UMS
- 6 Programa MIDCAS de la EDA
- 8 **OTAN Research and Technology Organization (RTO)**
- 8 Panel AVT
- 9 Jornadas sobre Tecnologías Disruptivas en la RTO
- 10 **Tecnologías Emergentes**
- 10 Nanofotónica: ultrasensibilidad y visión en el infrarrojo
- 12 **En profundidad**
- 12 Programa Combatiente del Futuro
- 19 Materiales Superconductores en Defensa
- 23 **Agenda**

## Seguridad y Defensa

La separación entre seguridad y defensa, si es que la hay, es una frontera permeable cuyo principal objetivo es básicamente reducir riesgos y amenazas. Cualquier modelo nacional de seguridad y defensa debe ser capaz de responder a qué hay que proteger y con qué capacidades se puede enfrentar a ello, emergiendo en este análisis la importancia de enfrentarse a los continuos desafíos en el ámbito del desarrollo tecnológico. Desde este punto de vista tecnológico, los riesgos cambian continuamente en el tiempo en función de de la evolución del contexto en que nos encontremos y de los logros en las capacidades para mitigarlos.

España tiene, por un lado, riesgos y amenazas compartidos con otros países debido a formar parte de la Unión Europea o por su integración como miembro de diferentes organismos como la Organización de Naciones Unidas o la OTAN, estos riesgos son gestionados a través de instituciones de seguridad colectiva. Y por otro lado, tiene una serie de riesgos y desafíos específicos centrados en el ámbito nacional en los que la forma de afrontarlos se basa en las propias capacidades nacionales.

Las industrias del sector de defensa deberían ser capaces de progresar en un entorno dinámico y complejo, aportando soluciones que garanticen su propia competitividad. En este entorno de la defensa y la industria de dicho sector, se ha celebrado el Salón Internacional de Tecnologías para la Seguridad y la Defensa, HOMSEC 2011, con una participación de alrededor de 75 empresas e instituciones, entre las que se encontraban como expositores los tres Ejércitos, la UME y la Secretaría de Estado de Defensa (SEDEF). Este último stand congregaba el I+D de Defensa, con la participación de los tres institutos ejecutores de I+D; CEHIPAR, INTA e ITM, además de la Subdirección General de Tecnología e Innovación (SDG TECIN) e Isdefe. Este año el salón ha destacado el importante papel que deben satisfacer las empresas de seguridad y defensa españolas en los actuales mercados de Iberoamérica, donde gracias al activo acumulado a través de la experiencia con nuestras FAS, les deberá permitir posicionarse frente a las inversiones y adquisiciones que prevén realizar dichos países emergentes en este sector.

# Agencia Europea de Defensa (EDA)



## Actividades de la EDA en el año 2009

Fernando Iñigo, UCT-SDG TECIN

En el mes de septiembre del pasado 2010 la Agencia Europea de Defensa (EDA) marcó un nuevo hito al publicar su primer informe anual de actividades desde la fecha de su creación. Este informe, que lleva por título “*EDA Annual Report 2009*”, cubre las actividades llevadas a cabo por la Agencia durante dicho año 2009 y llega en un momento especialmente significativo: cinco años después de la constitución de la EDA y poco después de la entrada en vigor del Tratado de Lisboa a finales de 2009, el cual convierte a la Agencia en una de las piedras angulares de la Política Común de Seguridad y Defensa (CSDP).

En estos cinco años la EDA ha alcanzado su madurez, comenzando a producir resultados tangibles para la mejora de las capacidades de defensa Europeas. En la actualidad, la Agencia tiene más de 80 líneas de trabajo en marcha. Su cartera de proyectos en el 2009 sumó un valor de 160 millones de euros, y hasta la fecha el valor medio anual de dicha cartera ha sido de 125 millones de euros.

### Actividades destacadas

A continuación se describen algunas de las actividades más relevantes promovidas desde las cuatro áreas funcionales de la EDA durante el 2009:

- **MUSIS** (*Multinational Spacebased Imaging System*): Lanzado en marzo del 2009, su objetivo es reemplazar la capacidad europea actual de observación militar de la tierra desde el espacio y asegurar la continuidad de este servicio desde el 2015 en adelante. Seis países de la EDA participan en este proyecto: Alemania, Bélgica, España, Francia, Grecia e Italia.
- **FTH** (*Future Transport Helicopter*): En mayo de 2009 se lanzó este proyecto, impulsado por Alemania y Francia. El objetivo es la preparación de un programa que permita en el largo plazo desarrollar un nuevo helicóptero de transporte pesado que pueda reem-

plazar a la flota actual de este tipo de helicópteros.

- **MIDCAS** (*MIDair Collision System Avoidance*): El proyecto, iniciado en junio de 2009, tiene como objetivo desarrollar para el año 2012 un demostrador de sistema aéreo no tripulado (UAS) equipado con tecnologías “*sense and avoid*”. Estas tecnologías son críticas para conseguir que los UAS puedan volar en un espacio aéreo no regulado junto con las aeronaves tripuladas de la aviación civil. En este proyecto participan Alemania, España, Francia, Italia y Suecia.
- **EATF** (*European Air Transport Fleet*): En noviembre de 2009, catorce países europeos, entre los que se incluye España, firmaron la “*Letter of Intent*” del EATF, que tiene como objetivo mejorar la capacidad de transporte militar aéreo de los países de la UE, optimizando el uso de las plataformas existentes y futuras.
- **HTP** (*Helicopter Training Programme*): A finales del año 2009 se aprobó este programa, basándose en los resultados obtenidos en el primer ejercicio real de helicópteros de la EDA, que tuvo lugar en los Alpes franceses en marzo de 2009.
- **JIP-FP** (*Joint Investment Programme – Force Protection*): En 2009 se lanzaron diez nuevos proyectos dentro de esta iniciativa, con un valor total de 37,13 millones de euros.
- **JIP-ICET** (*Joint Investment Programme – Innovative Concepts and Emerging Technologies*): Este programa está enfocado al desarrollo de tecnologías con poco nivel de madurez, pero que encierran un gran potencial para aplicaciones militares futuras. En 2009 se lanzaron las dos primeras convocatorias del programa, y los primeros proyectos se contrataron a finales de dicho año.
- **MARSUR** (*Maritime Surveillance*): Dentro de esta importante iniciativa, durante el año 2009 se ha seguido avanzando en las tres áreas principales de trabajo: Red de Vigilancia Marítima, FUAS (*Future Unmanned Aerial System*) y MMCM (*Maritime Mine Counter Measures*), Durante el 2009 la

EDA impulsó también la elaboración de un documento conceptual sobre Vigilancia Marítima, realizado por un equipo de expertos operativos de alto nivel (el denominado “*Wise Pen Team*”).

- **Plataforma TLPS** (*Third Party Logistic Support*). El 1 de Julio de 2009 se puso en marcha esta plataforma, consistente en un “mercado electrónico” para compradores y suministradores de servicios comerciales logísticos. Se puede acceder a esta plataforma desde la dirección web [www.eda.europa.eu/tpls/](http://www.eda.europa.eu/tpls/) y su utilización en operaciones civiles y militares ha permitido obtener hasta la fecha unos ahorros en costes de hasta 5 millones de €.
- **BIOEDEP** (*Biological Equipment Development and Enhancement Programme*). En 2009 se lanzó este programa cuyo objetivo es la mejora del equipamiento de defensa NBQ de las FAS en el marco de la UE, y en concreto del equipamiento para la detección, identificación y monitorización biológica
- El 1 de julio de 2009 también entró en vigor el “Código de Conducta sobre los Retornos Industriales” (también denominados *offsets*). Este código mejora la transparencia de los acuerdos industriales de justo retorno en los procesos de adquisición de sistemas de defensa, contribuyendo a reforzar la competitividad de la Base Tecnológica e Industrial Europea de Defensa.

Finalmente, uno de los hitos más destacados del 2009 fue sin duda el lanzamiento del EFC (*European Framework Cooperation*)<sup>1</sup>, que permitirá la suma eficaz de esfuerzos entre la EDA, la ESA y la Comisión Europea en la investigación y el desarrollo de nuevas tecnologías de aplicación tanto al ámbito civil como al militar.

La versión electrónica del informe de actividades 2009 se puede descargar desde la página web de la EDA ([www.eda.europa.eu](http://www.eda.europa.eu)).

<sup>1</sup>Más información en el Boletín nº 28.

## Programa UMS

CF Ing. José M<sup>a</sup> Riola Rodríguez, SOPT-SDG TECIN, y Juan Jesús Díaz Hernández, OT SNAV

Durante el pasado mes de diciembre tuvo lugar en la EDA (*European Defence Agency*) la última reunión de su Junta Directiva. En ella los Ministerios de Defensa de Alemania, Bélgica, España, Finlandia, Francia, Holanda, Italia, Polonia y Suecia han firmado el acuerdo de programa (*Programme Arrangement - PA*) para el UMS (*Unmanned Maritime Systems*), al que también contribuye Noruega. Este programa cuenta inicialmente con un presupuesto de más de 50 millones de euros.

El objeto del mismo es elaborar un novedoso concepto de sistema de sistemas que incluya vehículos no tripulados de superficie y submarinos (USVs, UUVs) que permitan mejorar las capacidades europeas en una gran variedad de operaciones navales (MCM - *Mine Counter-Measures*, ASW - *Anti-Submarine Warfare*, Vigilancia Marítima, Protección de Puertos...).

Este concepto incluirá diferentes aspectos, entre ellos estandarización, interoperabilidad o modularidad, en base a los cuales se pretende producir demostradores tecnológicos de componentes y módulos que permitan conectar las diversas plataformas navales no tripuladas europeas.

El programa comprende actuaciones prácticas que afectan a diferentes aspectos tecnológicos: operación autónoma y cooperativa de diferentes UXVs; obtención de "*Situational Awareness*" a partir de la fusión de información recogida por UXVs de diversos PMS; normas industriales para poder conectar los módulos e intercambio de los mismos, etc.

Como se recordará, en septiembre de 2009 tuvo lugar en la Subdirección de Tecnología y Centros de la DGAM (actual Subdirección de Tecnología e Innovación) una jornada informativa para la industria sobre el nuevo programa que se estaba preparando en la EDA<sup>1</sup>. En esta jornada se indicaba que estaba previsto firmar a finales de 2010

<sup>1</sup> Más información en el Boletín de Observación Tecnológica en Defensa nº 24: "Jornada informativa: nuevo JIP Cat. B de la EDA: UMS".

el acuerdo de colaboración entre las naciones y su posterior arranque.

El UMS supone un nuevo hito en la EDA e incorpora a esta Agencia una nueva manera de abordar un programa conjunto. Este hecho ha sido posible gracias a la aprobación por parte de su Junta Directiva, el 7 de noviembre de 2009, de un nuevo tipo de programa que combina los tradicionales programas de categoría A y categoría B. Por tanto el UMS cuenta con diversos programas de categoría B que estarán bajo el paraguas de un programa de categoría A que se encargará de garantizar la coordinación e interoperabilidad de los trabajos de los diferentes proyectos acometidos.

La principal ventaja que aporta este nuevo modelo es la reducción considerable de carga jurídico / administrativa, ahorrando tiempo y dinero, asegurando la coordinación entre los diversos programas que lo componen.

Los proyectos en los que España participará a partir de 2011 son los siguientes:

- "*Standards and Interfaces for more interoperable European Unmanned Maritime Systems*" STANDIN – Cuyo objetivo concreto es establecer recomendaciones sobre las interfaces / estándares comunes para sistemas marítimos no tripulados (excluyendo UAV). No está enfocado hacia una plataforma UXV europea única, sino hacia la mejora de la interoperabilidad, la innovación, la posibilidad de introducir mejoras y actualizaciones en el futuro y la capacidad "*plug & play*".
- "*Network Enabled Cooperation System of Autonomous Vehicles*" NECSAVE – Persigue desarrollar, probar y evaluar las herramientas y metodologías relacionadas con las tecnologías de enjambre (*swarms*) de vehículos aéreos y navales no tripulados bajo la filosofía NEC para su utilización en operaciones donde el entorno sea adverso.

Este concepto de enjambre NEC en vehículos heterogéneos se basa en la interoperación de redes de comunicaciones con posibles intermitencias en nuevos escenarios operativos. En estos escenarios las interacciones se

realizan aprovechando sinergias para lograr el nivel de comportamiento deseado del sistema global que de modo independiente no hubiese sido posible lograr.

- "*Signature Response Analysis on Multi-influence Mines*" SIRAMIS – En este caso el principal objetivo es ampliar el conocimiento de la respuesta a firmas de influencia por medio de la recopilación de una base de datos de las mismas, así como potenciar el entendimiento de la interacción de firmas (de campo cercano) de buques con minas multi-influencia en escenarios reales y relevantes. Proporcionará una base de datos con información de firmas multi-influencia de buques mercantes, base para la evaluación operacional de sistemas de rastreo de minas existentes y futuros. Ampliará el conocimiento sobre la interacción firma-mina en áreas típicas de operación. Contribuirá a establecer herramientas operativas que apoyen el uso de sistemas MCM durante su ciclo de vida. Capacitará a las naciones participantes para mejorar y establecer puntos de referencia en sus modelos de interacción buque-mina.
- "*Systems Integration*" SI – En este proyecto participan al igual que en el STANDIN todas las naciones. Su objetivo es contribuir a la construcción del concepto técnico del futuro sistema de sistemas identificará posibilitadores / facilitadores para llevarlo a cabo (tecnologías clave, conceptos de interoperabilidad y modularidad), identificará a los principales actores (incluye a las propias naciones, organismos de la EDA - PT, IDTS, CapTechs, etc. -), la UE u otras organizaciones internacionales), y finalmente determinará los plazos para llevar a cabo la implementación (proporcionando las hojas de ruta necesarias de manera coordinada).

En estos proyectos participarán a nivel nacional el Ministerio de Defensa, y otras organizaciones nacionales como Navantia, SAES y la UCM.

# Programa MIDCAS de la EDA

Jesús López Pino, OT UAVs

## Origen del Programa

El Programa MIDCAS (*MIDair Collision Avoidance System*) tiene por objeto demostrar las soluciones básicas para una función que evite las colisiones en vuelo (incluyendo la separación entre aeronaves) aplicable a Sistemas Aéreos no Tripulados (UAS). Se pretende que esta función sea aceptable por el conjunto de la comunidad de aviación tripulada y que pueda ser aplicable a la operación de UAS en espacio aéreo no segregado en torno al año 2015.

El programa cubre la fase de vuelo en ruta y considera tanto la existencia de tráfico aéreo cooperativo como no cooperativo. Se excluyen los UAS de menos de 150 kg de peso, la colisión con aeronaves especiales de gran maniobrabilidad o de baja observabilidad, con paracaídas, etc. En una primera fase del programa se cubrirán los vuelos controlados de UAS bajo reglas IFR y en espacios aéreos A, B y C, en los cuales la separación es proporcionada por el control de tráfico aéreo (ATC). En una segunda fase, se analizará la auto-separación de los UAS en espacios aéreos de clase D, E y F.

Se trata de un programa de Categoría B de la Agencia Europea de Defensa (EDA), en el que participan Alemania, España, Italia, Francia y Suecia (que actúa como coordinador). La EDA actúa como autoridad de contratación.

El contrato fue firmado por la EDA en nombre de los Ministerios de Defensa de los países participantes en París en junio de 2009. El programa está sujeto a la supervisión y autoridad de las cinco naciones participantes a través de un "Project Arrangement Management Group" (PAMG), compuesto por representantes de los



ministerios de defensa y de la EDA.

Las actividades comenzaron el

15 de septiembre de 2009 y está previsto un periodo de ejecución de 4 años y un coste de alrededor de 50 M€, compartidos en porcentajes variables entre gobiernos e industrias.

## El MIDCAS y las iniciativas sobre Integración de UAS

El programa MIDCAS se enmarca en la línea establecida desde 2005 por la EDA para el desarrollo de tecnologías de UAS orientadas a la inserción en el tráfico aéreo:

- 2006: "Digital Line of Sight & Beyond Line of Sight Data Links"
- 2007: "Technology demonstration study on Sense & Avoid Technologies for LE UAV (R&T 05-003)"
- 2008: "UAS Insertion into General Air Traffic (07-ARM-001)"
- 2009-2013: "MIDCAS (B-0802-ARM-GC)"

El Programa MIDCAS atiende a una de las tecnologías clave para la integración de los UAS en el espacio aéreo no segregado, como se identificaba en el *roadmap* sobre integración, propuesto por el consorcio Air4All en el programa "UAS Insertion into General Air Traffic".

A diferencia de los programas anteriores, desarrollados con fondos del presupuesto operacional de la EDA (*Operational Budget-OB*), la dotación presupuestaria del MIDCAS lo convierte en el programa más ambicioso de los planteados por la EDA en este sector.

## Naciones e Industrias participantes

- Por Suecia: Saab.
- Por Francia: Sagem y Thales.
- Por Alemania: Diehl BGT Defence, DLR, Cassidian, ESG Elektroniksystem.
- Por Italia: Alenia Aeronautica,

Selex Galileo, Selex Comms, Selex SI, CIRA.

- Por España: Indra Sistemas.

## Requisitos básicos del MIDCAS

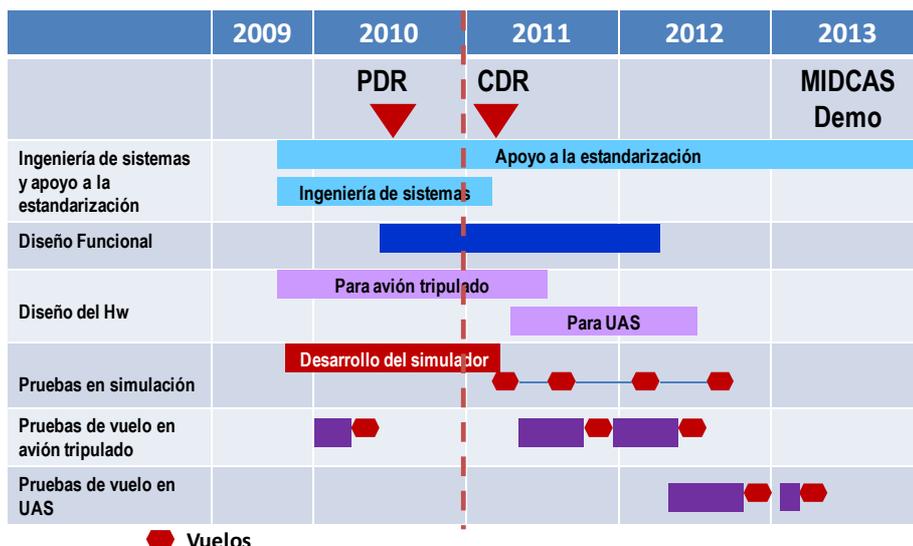
Los requisitos del sistema se deducen o se imponen a través de las cláusulas técnicas del contrato (SOW) así como de diferentes documentos de referencia:

- "Specification for the use of military UAV as operational air traffic outside segregated airspace" de Eurocontrol.
- NATO FINAS "S&A requirements for UAV systems operating in non-segregated airspace".
- STANAG 4671 (USAR).
- STANAG 4670 (DUO).
- Doc 9863 de OACI sobre ACAS.
- Safety Management Manual, Doc. 9859 de OACI.
- RTCA-SC203 UAS Guidance Material.
- Reglas del Aire de OACI.
- etc.

Como consecuencia, el sistema propuesto deberá satisfacer una serie de requisitos denominados "High Level Technical Requirements" (HLTR), entre los que destacan:

- proporcionar a los operadores del UAS, información de separación de tráfico para que éstos actúen si es preciso, de acuerdo a las reglas del aire;
- proporcionar al UAS la posibilidad de ejecución de maniobras de último recurso en evitación de colisiones, con independencia del operador del UAS;
- proporcionar al UAS una solución para la función de S&A en vuelos IFR en condiciones de IMC o VMC, con un nivel de seguridad equivalente al aplicable a la aviación tripulada;
- ser compatible con la lógica de los sistemas ACAS (como el TCAS);
- ser auto-compatible con tráfico (UAS o aviación tripulada) que pudiera estar equipado con MIDCAS.





aceptación de las soluciones propuestas.

- Vuelos con un avión tripulado, un CASA C-212 francés proporcionado por el "DGA Essais en Vol", para evaluación de los sensores EO/IR y posteriormente para evaluación de las funcionalidades del propio MIDCAS.
- Vuelos con un UAS equipado con la solución MIDCAS propuesta (un Sky-Y proporcionado por Alenia Aeronautica)
- Vuelos finales de un UAS en espacio aéreo no segregado

**Estado actual del proyecto**

La figura muestra a grandes rasgos el calendario de ejecución del programa.

Los vuelos de prueba de sensores en avión tripulado se han llevado a cabo entre junio y septiembre de 2010 en Istres (Francia), equipando el C-212 con dos cámaras EO y una cámara IR. Como tráfico intruso se utilizaron un PC-7 y un Falcon 20 Mystere, realizando un total de 20 horas de vuelo.

Durante los ensayos, se han grabado una gran cantidad de imágenes que están siendo analizadas con vistas a preparar el desarrollo de algoritmos de proceso adecuados para la detección automática de intrusos.

Como parte de las actividades de coordinación con los diferentes agentes (*stakeholders*), el Programa ha organizado dos *workshops* en febrero de 2010 y en octubre de 2010.

En el segundo *workshop* celebrado en las instalaciones de Eurocontrol en Bruselas en octubre de 2010, además de la información relativa al MIDCAS, se incluyó un resumen de los resultados más significativos de diferentes iniciativas sobre Sense and Avoid, desarrolladas por la FAA (*FAA sponsored S&A Workshop*), Eurocontrol (*CAUSE Study de QnetIQ*) o la Comisión Europea (Programa INOUI). Posteriormente se abrió un coloquio en el que se discutieron aspectos de la integración de UAS con los participantes.

El contenido de estos dos *workshops* puede consultarse en la web que el Programa MIDCAS ha habilitado al efecto: <http://www.midcas.org>.

**Desarrollo del Proyecto**

El proyecto se desarrolla en cuatro grandes áreas:

**Apoyo a la estandarización**

Ésta es una de las actividades primordiales del programa, ya que es fundamental que la solución genérica que proponga el programa MIDCAS sea compatible con el correspondiente estándar de "Sense and Avoid" que se desarrolle. Por ello, el programa proporciona información técnica de utilidad a los agentes y grupos de trabajo en este campo, sobre todo el *Working Group* (WG) 73 de EUROCAE en el cual se participa. Además, se ha previsto la organización de varios *workshops* en los que participen los agentes implicados o afectados por la integración de UAS en el espacio aéreo (autoridades de certificación y navegación aérea, proveedores de servicios de navegación aérea, EUROCONTROL, OACI, asociaciones de pilotos y controladores, etc.) tanto

para recibir información como para proporcionar sus opiniones,

**Diseño funcional**

Definición de la arquitectura que permita el desarrollo de productos con diferentes niveles de capacidad operacional, más allá del alcance del proyecto MIDCAS.

El diseño propuesto fusiona datos procedentes de una familia de sensores (función See), como un conjunto de sensores electro-ópticos (pasivos y no cooperativos), un sensor radar (activo y no cooperativo) y sistemas cooperativos del tipo TCAS o ADS-B, y desarrolla e implementa los algoritmos de *Avoidance* compatibles con las características del tráfico "intruso" detectado en la función See.

**Demostración y simulación**

Desarrollo de un demostrador funcional diseñado y construido con las restricciones técnicas y económicas impuestas en el proyecto (utilización de componentes COTS en lugar de componentes ad hoc y de un simulador funcional (*desktop simulator*)) en apoyo al diseño funcional y a la validación de las funcionalidades del MIDCAS.

**Vuelos de prueba y evaluación**

Se han previsto diversos vuelos de prueba, en diferentes plataformas y en diferentes escenarios al objeto de proporcionar o corroborar datos de diseño, así como para apoyar la



Fig. 1. Equipamiento de sensores exteriores en el morro del C-212.

# OTAN Research and Technology Organization (RTO)



## PANEL AVT

CF Ing. José M<sup>a</sup> Riola Rodríguez, SOPT-SDG TECIN, y Juan Jesús Díaz Hernández, OT SNAV

El panel AVT (*Applied Vehicle Technology*) de la RTO tiene como propósito mejorar las capacidades, accesibilidad y seguridad de los vehículos a través del desarrollo de las tecnologías apropiadas, que de forma resumida se pueden concretar en tecnologías asociadas a sistemas mecánicos, estructuras y materiales; sistemas de propulsión y potencia; tecnologías de estabilidad, control, y física de fluidos.

Todas estas tecnologías se encuentran englobadas en dos grandes áreas: tecnologías aplicadas a plataformas y vehículos; y tecnologías aplicadas a propulsión y energía.

Como exponente de los trabajos del panel que han tenido un fuerte impacto en la sociedad, se pueden citar las investigaciones realizadas en el campo de las nanotecnologías aplicadas al sector de defensa (proporcionando materiales más resistentes y de menor peso, de mayor rigidez, revestimientos



Fig. 2. National Theatre in Sofia.

de diferentes tipos de aleaciones, etc.).

Otra línea de investigación y capacitación, ha sido orientada hacia la determinación de diferentes sistemas de generación de energía, que permitirán una reducción significativa del consumo y de las emisiones; alternativas de fuentes de energía cada vez más ligeras; pilas de combustibles, etc.

Finalmente mencionar las nuevas tecnologías aplicables a los sistemas no tripulados, tanto aéreos, marinos o terrestres, que cubren diferentes aspectos que parten desde el diseño estructural, su aerodinámica o hidrodinámica, los sistemas de generación de energía y el control de la

plataforma.

A lo largo del presente año, tendrán lugar el 27<sup>th</sup> y 28<sup>th</sup> AVT Panel Business Meeting, que como viene siendo habitual contará con diferentes sesiones y reuniones. Durante la primera de ellas, que se celebró en Bulgaria del 16 al 20 de mayo, destacan las jornadas del AVT-170 RSM-025 "Active Suspension Technologies for Military Vehicles and Platforms" (en la que la SDG TECIN participó de forma activa presentando los resultados del programa de I+T Quiescent Period Prediction (QPP), y del AVT-173 RWS-013 Virtual Prototyping of Affordable Military Vehicles Using Advanced MDO.

Durante el 2010 cabe resaltar el congreso celebrado en Bucarest del 4 al 7 de octubre, AVT-178 "System Level Thermal Management for Enhanced Platform Efficiency", al que asistieron más de 70 participantes y donde se realizaron 29 presentaciones. Las áreas que se trataron fueron: cargas térmicas actuales y diseños futuros para las diferentes plataformas; estrategias de diseño a futuro frente a los prácticas habituales; métricas para realizar análisis; tecnologías emergentes, beneficios y riesgos; herramientas para el modelado y la simulación de estelas, etc.

Las actuaciones futuras de máximo interés que se llevarán a cabo en este panel son:

- Specialists Meeting AVT-189/RSM-028 on Assessment of Stability and Control Prediction Methods for NATO Air & Sea Vehicles, que tendrá lugar del 12 al 14 de octubre.
- NATO AVT - Exploratory Team - 116: Ship Design Guidance for Aircraft Operation.

Más información sobre el Panel AVT de la RTO en [www.rto.nato.int/](http://www.rto.nato.int/) y en el Boletín de Observación tecnológica en Defensa n° 23 Especial, y sobre el Programa QPP en el Boletín n° 27.

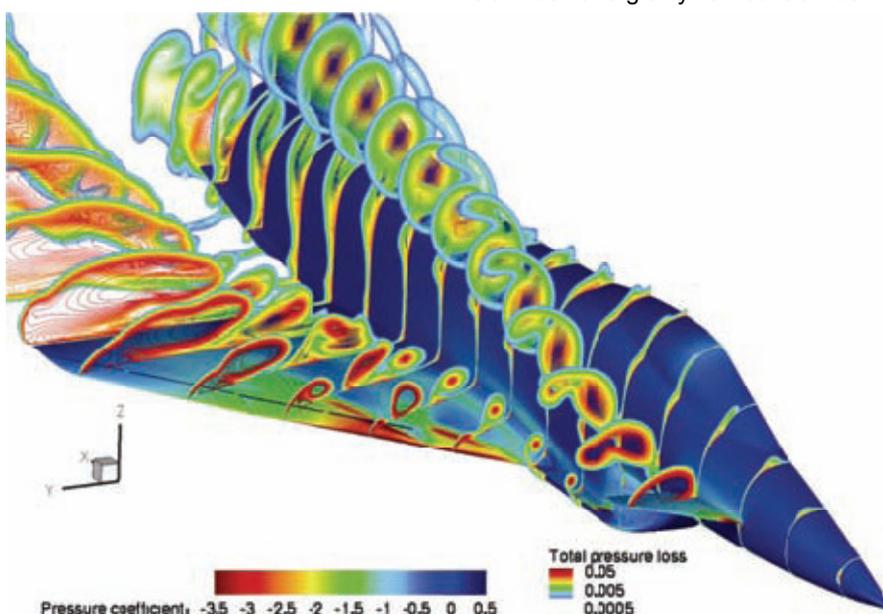


Fig. 1. Computation of the Vortical Flow around the X-31 Configuration.

## Jornadas sobre Tecnologías Disruptivas en la RTO

David García Dolla y Patricia López Vicente, SOPT

Debido a la importancia y a la dificultad de predecir el impacto de las tecnologías sobre el escenario futuro, la Subdirección General de Tecnología e Innovación, participa en diferentes iniciativas relacionadas con la identificación de tecnologías disruptivas. Durante el mes de mayo se han celebrado en Madrid dos actividades de grupos de la RTO sobre este tema:

- **OTAN-RTO-SAS Working Groups on DTAG (Disruptive Technology Assessment Game)** Uno de los factores claves para las futuras actividades de planeamiento de la OTAN es la tecnología, por lo que las actividades de vigilancia, prospectiva y evaluación tecnológicas son actividades esenciales para sus miembros. Por este motivo se lanzó en 2004 un grupo de trabajo dentro del Panel SAS de la OTAN RTO, centrado en la identificación de posibles tecnologías disruptivas para defensa y seguridad.

Para tener una visión completa de todo el espectro de nuevas tecnologías, este grupo desarrolló un proceso para evaluar el potencial de disrupción de sistemas en los que se integran las nuevas tecnologías identificadas. La metodología se ha llamado: “*Disruptive Technologies Assessment Game (DTAG)*” y consiste en un juego de confrontación en el que participan tanto personal técnico como operativo. Uno de los logros de este trabajo ha sido y es el integrar a militares operativos y científicos/tecnólogos en una misma sesión de trabajo, en la que se habla del futuro de la tecnología. Estos logros han llevado al primer grupo a ser

propuesto a la medalla del mérito científico de la RTO.

El último DTAG se celebró en Madrid, del 23 al 26 de mayo de 2011. En este ejercicio participaron operativos, técnicos, analistas y estudiantes de Alemania, Canadá, Holanda, Noruega, Suecia y España. Los resultados de este DTAG se incluirán en el informe final del grupo, que se publicará en 2012.

- **OTAN-RTO-IST Symposium on “Emerged/emerging disruptive technologies (E2DTs)”**. Debido a la importancia que desde OTAN se le ha dado desde el año 2010 a este tipo de tecnologías, se ha celebrado, en Madrid los días 9 y 10 de mayo de 2011, este simposio dedicado a las tecnologías disruptivas. El simposio contó con personal de la SDG TECIN para la apertura, liderazgo de una de las sesiones y dos ponencias sobre metodologías para la identificación de tecnologías disruptivas. Durante los días que ha durado el simposio se analizó a través de diferentes ponencias el potencial futuro de tecnologías tan relevantes como la robótica, las redes móviles inteligentes, las tecnologías cuánticas, los sistemas inteligentes, la realidad virtual y aumentada o las redes sociales.

La participación en el simposio fue muy notable (en torno a 150 personas), siendo la representación española muy destacada (cinco ponencias y diez posters), procedente en su mayoría de la comunidad universitaria y de investigación nacional. Por parte del Ministerio de Defensa se realizaron dos presentaciones, en la que se explicaron tanto la experiencia en el análisis e incorporación de tecnologías disruptivas al planeamiento de I+D, como el



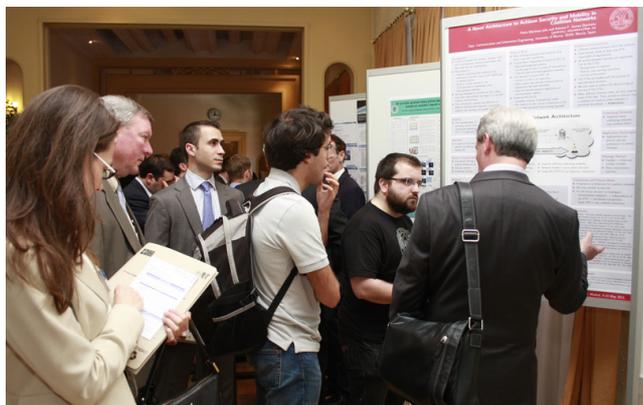
enfoque utilizado en el grupo SAS-DTAG en el que participa España.

La realización de este evento fue posible gracias a la esponsorización de varias empresas (AMPER, GMV, ISDEFE, SENER y TECNOBIT) y al continuo apoyo y dedicación del personal del CESEDEN. Las ponencias presentadas estarán en breve accesibles desde el portal de la RTO (<http://www.rta.nato.int/Pubs/rdp.asp?RDP=RTO-MP-IST-099>).

Además de estos dos grupos de la RTO, la SDG TECIN a través del Sistema de Observación y Prospectiva Tecnológica (SOPT), participa en otras dos actividades relacionadas con tecnologías disruptivas:

- **El Grupo de Tecnologías Disruptivas (DTG) del Group of Research Directors (GRD) de la Lol EDIR**, liderado desde el 2009 por el SOPT y encargado del asesoramiento es este tema a los Directores de I+D de Defensa de Alemania, Francia, Italia, Reino Unido, Suecia y España.

- **EDA JIP ICET (Joint Investment Programme on Innovative Concepts and Emerging Technologies)**, lanzado en 2008, ha tenido como objetivo financiar proyectos de I+T en una serie de áreas seleccionadas por el potencial de disrupción de las tecnologías asociadas, fomentando la investigación en defensa entre 11 países de la EDA.



# Tecnologías emergentes

## Nanofotónica: ultrasensibilidad y visión en el infrarrojo

Rebeca Santamaría, ICFO

El grupo de investigación en nanofotónica liderado por el Profesor Gerassimos Konstantatos en el ICFO (Instituto de Ciencias Fotónicas) en Barcelona aplica conceptos de nanociencia al desarrollo de nuevas nanotecnologías. Actualmente, el grupo investiga nuevos nanomateriales y nanoestructuras fotónicas sensibles a la luz infrarroja y su integración en dispositivos optoelectrónicos con objeto de ser empleados en plataformas de defensa para la mejora de la visión nocturna y la conversión eficiente de luz infrarroja en energía eléctrica, entre otras.

Los objetivos fundamentales de esta línea de investigación son:

- Satisfacer la necesidad de los sistemas avanzados de análisis de imagen con el fin de hacerlos de fácil manejo para el usuario.
- Desarrollar sistemas ligeros de bajo coste para suministrar energía eléctrica (dependiendo de la demanda) en zonas aisladas.

Tradicionalmente el empleo de fotodetectores monocristalinos ha hecho posible el análisis de imágenes con sensores ópticos. Sin embargo, dichos fotodetectores no pueden integrarse fácilmente en circuitos de lectura de silicio. La llegada de nanomateriales con propiedades ópticas que pueden ser procesados en disolución, como por ejemplo los puntos cuánticos, ha revolucionado el campo de la nanofotónica debido a su bajo coste de producción y su fácil integración en componentes optoelectrónicos. Su fabricación en disolución permite la integración monolítica de bajo coste con la electrónica CMOS, dando paso así a multitud de aplicaciones relacionadas con la conversión eficiente de luz (VIS/IR) en energía eléctrica.

### Visión mediante infrarrojos y su aplicación en defensa

La visión a larga distancia en ambientes hostiles permite tomar las precauciones adecuadas ante una posible amenaza. Las técnicas de

análisis de imagen espectral selectivo además de servir para la identificación de objetos, proporcionan información sobre la composición química de dichos objetos y permiten la detección de actividad química y radioactiva.

El análisis de imagen puede realizarse en un espectro de frecuencias amplio. Cada ventana espectral puede proporcionar componentes diferentes de la información con respecto a la naturaleza de los objetos observados. En la parte visible del espectro la información obtenida puede ser similar a la que obtendría el ojo humano, sin embargo a menudo las operaciones secretas o la vigilancia de zonas protegidas ocurren durante la noche o bajo condiciones luminosas desfavorables. La ausencia de luz visible complica el análisis de imagen en dichos ambientes, por lo que una posibilidad es utilizar la detección mediante infrarrojos.

Dos importantes tipos de sistemas de análisis de imagen óptico son:

- Sistemas activos de infrarrojo cercano: utilizan un detector de imagen de Si-CMOS unido a un iluminador en el IR (infrarrojo) cercano. Los usuarios de esta tecnología pueden ser detectados por sistemas infrarrojos hostiles, no permitiendo por tanto operaciones secretas, lo que representa

una desventaja táctica.

- Sistemas pasivos de visión nocturna de onda corta: normalmente utilizan detectores de InGaAs y operan en el infrarrojo de onda corta (SWIR Short Wave Infrared) de 0,9 a 2 $\mu$ m. Estos sistemas detectan la radiación emitida por el objeto y el resplandor nocturno (energía emitida por la luna y estrellas y reflejada por el objeto) y además experimentan menos dispersión en condiciones meteorológicas desfavorables (humedad, niebla etc.) permitiendo una mejor observación y a mayor distancia.

Actualmente la visión nocturna en el infrarrojo de onda corta tiene ciertas limitaciones. Los detectores de Si-CMOS poseen resolución multi-MPixel y bajo coste ya que pueden integrarse monolíticamente en circuitos de lectura. Por el contrario, los detectores de InGaAs tienen un precio muy elevado y una resolución mucho menor (normalmente inferior a 1 MPixel). Esto se debe al hecho de no ser integrables monolíticamente en dispositivos CMOS.

### Celdas solares sensibles al IR

La independencia y sostenibilidad son muy importantes en territorios aislados o remotos, por lo que el desarrollo de nuevas fuentes de energía renovable

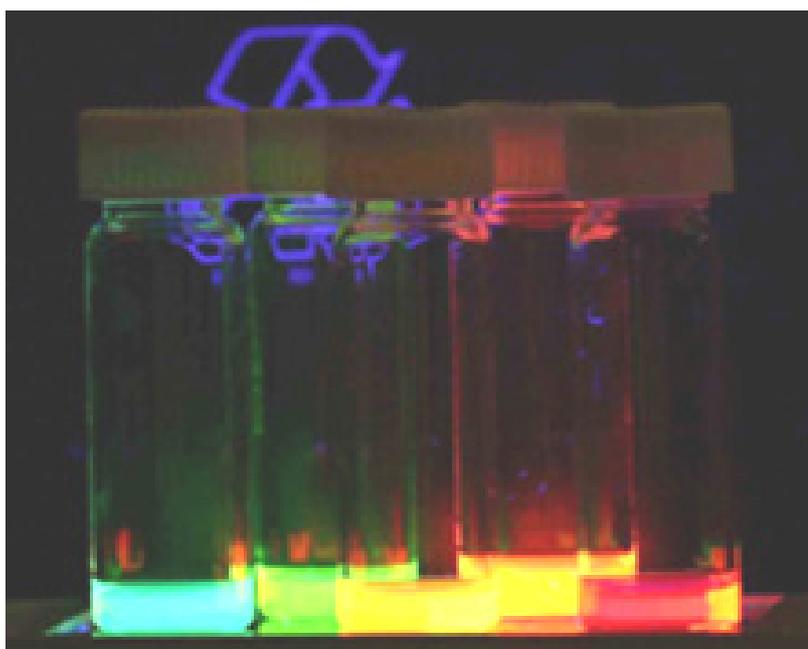


Fig. 1. Puntos cuánticos en disolución coloidal irradiados con luz ultravioleta. La figura muestra el efecto de confinamiento cuántico.

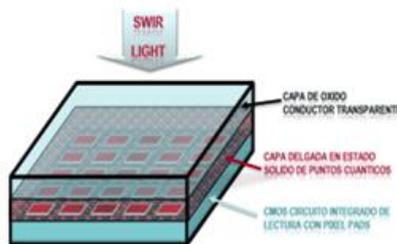
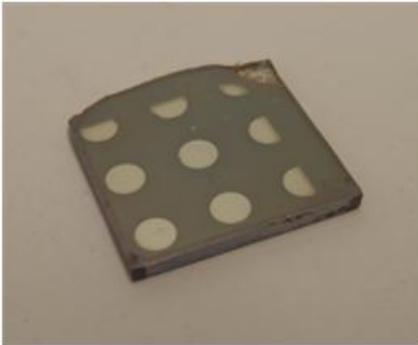


Fig. 2. Síntesis y proceso de fabricación de una solución coloidal de puntos cuánticos de PbS: (a) síntesis de puntos cuánticos (b) nanomaterial de puntos cuánticos almacenado en disolución (c) disolución depositada sobre substratos de vidrio mediante *spin-casting* (celda solar sensibilizada al IR) (d) Diagrama CMOS sensibilizado al IR mediante deposición de puntos cuánticos en disolución coloidal e integrado superficialmente a fotodetector de estructura vertical.

es fundamental para que los numerosos equipos electrónicos de defensa sean energéticamente eficientes.

Un ejemplo son las celdas solares, dispositivos fotovoltaicos que convierten radiación solar en energía eléctrica. Dichos dispositivos funcionan solamente en condiciones meteorológicas favorables, es decir, en días soleados. En principio, los generadores eléctricos que utilizan gas o aceite son una alternativa viable, pero debido a su voluminosa estructura, elevado peso y ruidoso funcionamiento no son ideales para su uso en defensa.

Una vez más, la nanofotónica y el empleo de nanomateriales ofrece una alternativa revolucionaria: una nueva generación de celdas solares que actúan en el infrarrojo y convierten el calor producido por combustión de combustible fósil y radiación infrarroja en electricidad. Estas celdas se fabrican a partir de nanoestructuras semiconductoras de Ge o GaSb y poseen una banda prohibida de  $\sim 1.6 \mu\text{m}$ , correspondiente a un diferencial de temperatura de unos 1500-2000K.

Actualmente la tecnología disponible en celdas solares está basada en semiconductores cristalinos de elevado

peso y tamaño que no son precisamente móviles y limitan la movilidad de los usuarios. Se precisa por tanto de materiales ligeros y de bajo coste que puedan aprovechar la energía tanto visible como infrarroja: nanomateriales cristalinos con propiedades ópticas que puedan integrarse en una nueva generación de celdas solares de capa delgada ofreciendo así una oportunidad única para cambiar el panorama actual de suministro de energía en defensa y seguridad.

En el caso de la luz solar, estas celdas ya existen y pueden ser fabricadas en un proceso continuo "roll-to-roll" para dar lugar a tejidos ligeros y flexibles que a su vez puedan ser utilizados para el aprovechamiento de forma eficiente de radiación solar. Sin embargo, en el caso de radiación infrarroja, dichas celdas conllevan un coste de fabricación muy elevado debido al alto precio de la fabricación de láminas de Ge o GaSb.

#### Aplicaciones de nanomateriales en disolución

El ICFO investiga activamente el desarrollo de nuevos nanomateriales fotónicos que combinan el bajo coste aso-

ciado a su procesado en disolución con la propiedad de que sus niveles de energía puedan ser ajustados a través del efecto de confinamiento cuántico, lo que los hace sintonizables en frecuencia. Dichos puntos cuánticos, en soluciones coloidales, son nanocristales superconductores de superficie minúscula con diámetros del orden de 1-10nm. Dado su tamaño y forma, exhiben propiedades físicas únicas, de manera que a través de la variación del tamaño de los cristales se pueden ajustar sus niveles de energía, desapareciendo así la necesidad de desarrollar diversos materiales semiconductores para trabajar en distintos rangos espectrales. Los puntos cuánticos de PbS son particularmente interesantes por ser ajustables en un rango de variación espectral de entre  $2\mu\text{m}$  y  $800\text{nm}$  cambiando el diámetro de los nanocristales entre solo  $10\text{nm}$  y  $3\text{nm}$  respectivamente. Estos materiales ofrecen la solución tan deseada en el campo de visión nocturna así como el aprovechamiento de energía solar e infrarroja de forma eficiente en dispositivos ligeros y de bajo coste.

En el caso de fotodetectores y como muestra de su potencial, existen ya los primeros fotodetectores sensibles al infrarrojo de onda corta (SWIR) basados en la utilización de puntos cuánticos de PbS con mayor sensibilidad que los dispositivos que emplean In-GaAs (de elevado coste). El equipo del ICFO trabaja en la optimización de estos fotodetectores y su integración. La deposición de puntos cuánticos puede ser adaptada fácilmente al proceso post-wafer para sensibilizar los dispositivos CMOS FPA (matriz de plano focal) a la luz infrarroja.

Respecto a la aplicación de dichos nanomateriales para la fabricación de celdas solares, se han obtenido eficiencias de conversión del 5% utilizando puntos cuánticos de PbS. El próximo reto del ICFO es mejorar las prestaciones de estos dispositivos basados tanto en PbS como en otros nanomateriales e integrarlos con éxito en las plataformas CMOS actuales. De ser así se lograría la producción de CMOS de bajo coste que además serían compatibles con analizadores avanzados de imagen multispectrales en el espectro visible, infrarrojo de onda corta e infrarrojo medio.



El factor físico y psicológico del combatiente ha sido objeto de estudio por el programa COMFUT. Se pretende descubrir alternativas basadas en preparación psicológica y en soluciones farmacológicas que proporcionen una extensión de la capacidad de actuación durante al menos 96 horas y potencialmente a más de 168 horas (7 días) horas sin dormir. La capacidad para resistir los efectos fisiológicos y mentales de privación de sueño cambiarán los conceptos militares de “tiempo” de operación. Los soldados no solo deben estar listos físicamente sino que deben estarlo mentalmente. Esta disponibilidad mental abarca desde gestión de su propio estrés y privación de sueño, al adiestramiento en todo lugar y tiempo mediante la información adicional proporcionada por la realidad potenciada (se emplea la tecnología para aumentar, o añadir, información al soldado) y mediante la monitorización física en tiempo real durante las operaciones.

Antes de empezar a describir los sistemas integrados que componen el COMFUT, es conveniente señalar que las tecnologías desarrolladas en este tiempo por la industria de defensa, integrada por pequeñas, medianas y grandes empresas y la universidad pueden tener igualmente aplicación dual, militar y civil. En especial áreas como comunicaciones, seguridad y protección, donde se han constatado beneficios en términos de desarrollo tecnológico o de disminución de costes; mientras que otros desarrollos han quedado “aparcados” por inviabilidad técnica de la solución o coste excesivo.

### SISTEMAS INTEGRANTES DEL COMFUT

El COMFUT se constituye en 6 sistemas o capacidades integradas. La estructura de desglose de sistemas es compartida prácticamente con el resto de proyectos extranjeros.

1. Armamento y Optrónica
2. Comunicaciones, mando y control.
3. Fuentes de alimentación
4. Supervivencia
5. Sostenimiento
6. Preparación, vehículo nodriza.

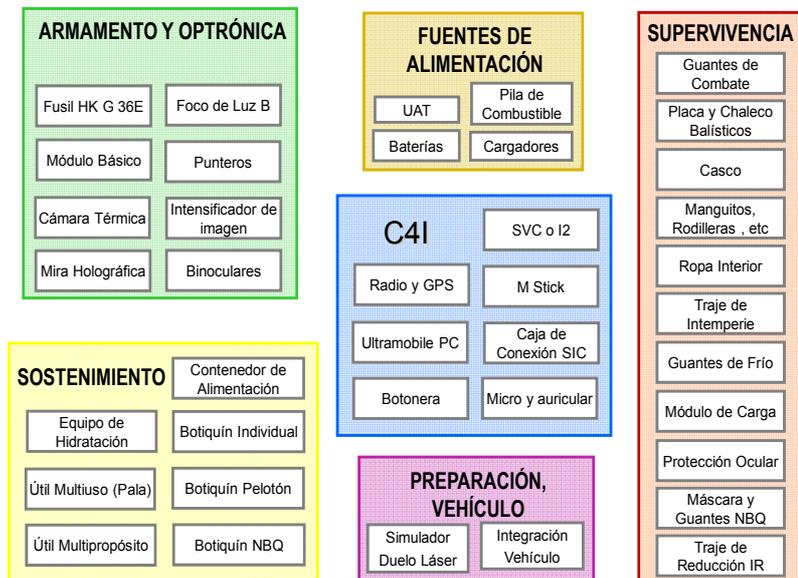


Fig. 3. Sistemas Integrantes del COMFUT.

#### 1.a. Armamento

El arma del combatiente es la pieza clave en la generación de bajas en la fuerza oponente. Los sistemas ópticos, la cadencia y precisión de tiro deben permitir la identificación de elementos neutros en el campo de batalla y la precisión o eficacia de fuego. El COMFUT dispone en la actualidad del fusil de dotación del soldado, el H&K G36 E modificado ligeramente con una culata extensible del propio fabricante del fusil y un sistema optrónico, descrito a continuación.

#### 1.b. Optrónica

Sobre el arma se dispone un conjunto electrónico integrado que permite ver para apuntar mejor. Consta de miras electrónicas (cámara de video, amplificador de luz o cámara térmica), punteros láser de distintas intensidades, brújula digital e inclinómetro. El sistema puede combinarse con una mira holográfica sobre el arma y con un “superbinocular” con mira electrónica (nocturna o térmica) y

telémetro para designar objetivos (puntos de interés). Se integra con el sistema C4I mediante enlace inalámbrico o cableado para transmisión de comandos, video en tiempo real y transmisión de fotografías de alta resolución.

#### 1.c. Tiro con IR a 100m

Uno de los motivos que justifican este equipamiento sobre el arma, es la consideración de que hacia 2025 el 50% de la población vivirá en zonas urbanas y que el escenario típico de combate será en condiciones nocturnas. Con estas condiciones de entorno sumadas a la presencia de población civil, será preciso minimizar las bajas propias y los daños colaterales. El

componente optrónico del COMFUT en interacción con el sistema de mando y control que proporciona posición de fuerzas propias, enemigos y puntos de interés podrá conseguir aumentar la eficacia de fuego.

*Conseguir un combatiente integrado dentro de un equipo/pelotón, que sea capaz de combatir en el campo de batalla digitalizado y que, además, lo haga sabiéndose no sólo Plataforma de armas, sino también Sensor y Órgano de adquisición de objetivos. Además, el combatiente debe ser capaz de combatir y sobrevivir un entorno de Guerra en Red.*



Fig. 4. Tiro con IR a 100m.

**2. Comunicaciones, mando y control**

El sistema C4I (*Command, Control, Communications, Computers, and Intelligence*) del COMFUT es el corazón del sistema. La conciencia situacional (*situational awareness*) proporciona a este sistema un salto cualitativo frente al combatiente convencional. Consta de un ordenador personal y radio de combate

(Spearnet de ITT v.4) y permite la comunicación en malla entre todos los soldados sin necesidad de una infraestructura. El alcance (LOS) es de 800 metros. Una característica de esta radio es ser un paso intermedio entre la radio tradicional y la radio definida por software (SDR), donde además la forma de onda generada permite la ofuscación del emisor y receptor en el espectro electromagnético, haciéndola prácticamente indetectable.

El ordenador personal, ultraligero, compacto y resistente a condiciones de uso militar permite instalación de software de información geográfica (SIGMIL) para localización de ele-

mentos del campo de batalla, además de objetos en movimiento, vehículos y tropas y posee capacidad de mensajería, planificación de rutas y en general todas aquellas aplicaciones que facilitan la vida al soldado.

El COMFUT utiliza el modelo de datos *Joint C3 Information Exchange Data Model (JC3IEDM)* y simbología APP-6 (*Military symbols for land based systems*). El uso de estos estándares ha permitido en la última reunión de ejércitos aliados (PRAGA 2010) comprobar la capacidad de intercambio de objetivos en los sistemas GIS de los combatientes internacionales.

**3. Fuentes de alimentación**

Los dispositivos electrónicos del COMFUT suponen una elevada carga de corriente a pesar de los sistemas de gestión de energía integrados. La fuente de energía principal es la batería primaria (no recargable) y secundaria recargable (típicamente de ión-litio). Se ha desarrollado una célula de combustible que extrae energía eléctrica de una combustión catalítica de hidrógeno y oxígeno, dando como resultado agua (pila de hidruros metálicos). Asimismo se ha



Fig. 5. Conjunto electrónico integrado en el arma

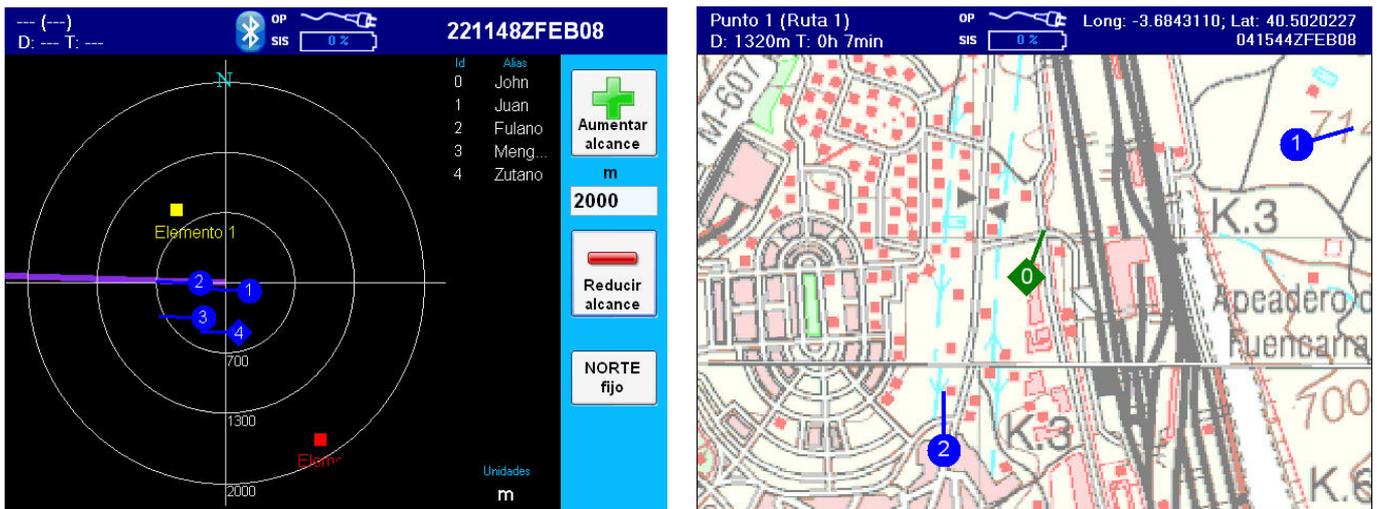


Fig. 6. Aplicaciones del ordenador personal ultracompacto.

probado una célula comercial de metanol.

Durante el período 2007-2008 se desarrolló el sistema de generación eléctrica de calzado (GEC), que consiste en un generador de energía eléctrica que actúa al caminar. Consta de una pequeña dinamo alojada en el tacón de una bota militar que genera una corriente de miliamperios con cada paso del soldado. Este sistema no ha visto la luz por escaso rendimiento, pero ha logrado abrir la puerta a nuevas ideas I+D que está considerando la Subdirección General de Tecnología e Innovación SDG TECIN para la generación autónoma (y renovable) de energía.

Asimismo se han comprobado paneles solares plegables de 60 W de potencia nominal, que en condiciones de combate y a plena luz del día han logrado obtener 20 W suministrando el 70% de la potencia nominal que precisa el COMFUT.

#### 4. Supervivencia

La amenaza balística continúa representando el mayor riesgo para el combatiente, aun contando con el creciente uso de armas de energía dirigida, por la aparición de láseres de frecuencia variable. El costo reducido de las armas químicas sugiere un incremento de la amenaza química y, también biológica en sus diversas variantes. Este es el escenario con que ha contado el COMFUT para disponer de equipamiento de supervivencia que consta de protección ocular multispectral y protección balística en diferentes partes del cuerpo. El diseño de

lentes de protección frente a un amplio espectro de láseres provoca una reducción significativa de transmitancia en el visible cercano al 70%, por lo que se ha optado por generar una serie de filtros de protección intercambiables. Respecto a la seguridad ante el impacto de proyectiles de energía cinética sobre cuerpo y cabeza, la protección se alcanza absorbiendo energía por rotura de hexágonos de carburo de silicio o por deformación de una celda de capas superpuestas de aramida. Se han diseñado nuevos chalecos de protección flexible junto con placas cerámicas de diferente espesor para el torso y espalda. Además se ha introducido protectores de rodillas y codos. La tendencia es aumentar la relación protección-peso y protección-ergonomía pero estos índices se mantienen en márgenes muy estrechos. Lo mismo se puede afirmar de la protección de la cabeza, se ha diseñado un nuevo casco de 1500 gr. actualmente en proceso de homologación.

La protección térmica en ambientes extremos de frío y calor junto con el peso de la mochila, afectan al rendimiento y la pérdida de agua mediante sudor. Se han probado

tejidos técnicos de uso deportivo adquiridos en tiendas especializadas que “secan” el sudor o protegen del frío intenso, demostrando ser la mejor arma de supervivencia del soldado en el medioambiente.

#### 5. Sosténimiento

El BIOSEN es un dispositivo biosensor que alojado en contacto con el pecho mide las constantes vitales de temperatura y ritmo respiratorio elaborando un electrocardiograma (ECG), además informa sobre el estado de posición y movimiento y además, según parámetros del usuario, información acerca de su “vitalidad” en tiempo real mientras realiza un ejercicio o entrenamiento. La información se puede almacenar en tarjeta SD o transmitida por Bluetooth a dispositivo móvil. La Unidad Militar de Emergencias (UME), la Brigada de Sanidad (BRISAN) y un



Fig. 7. Preparación de pruebas en sierra Nevada. Abril 2010. Fotografía OP COMFUT.

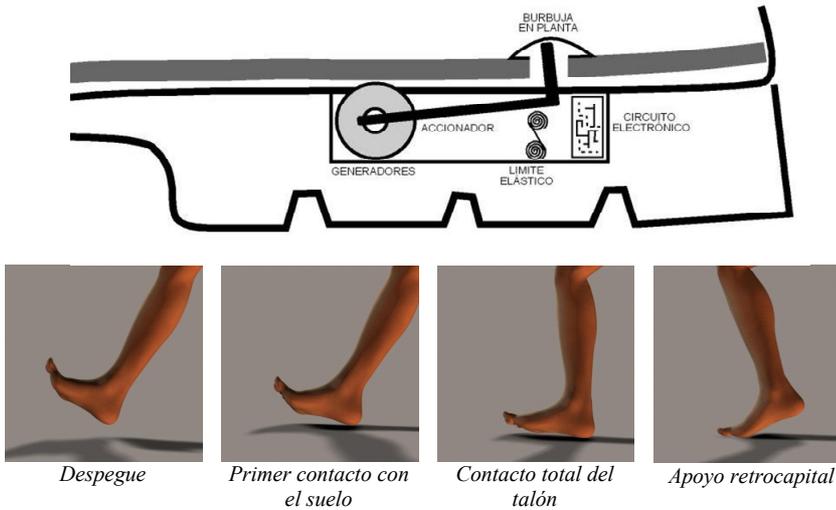


Fig. 8. Sistema de generación eléctrica de calzado.

conocido club de fútbol se han interesado por este elemento que tiene aplicación a deportistas de alto rendimiento.

Los sistemas de refrigeración por transmisión de calor a un fluido refrigerante y mediante utilización de células peltier, han dado como resultado prototipos de sistemas de microclimatización que no han dado a luz por razones de índole energética y ergonómica.

Cabe recordar que todos los equipos militares desarrollados en el entorno del programa COMFUT han sido sometidos a pruebas medioambientales de choque térmico, almacenamiento y

utilización en temperaturas extremas, abrasión con soplado de arena, inmersión en agua salada y niebla salina según normativa MIL STD 810-G. Para ello se han contado con las instalaciones del ITM, en su anterior ubicación, el Polígono de Experiencias de Carabanchel (PEC).

6. Vehículo

El COMFUT posee su vehículo nodriza que apoya al soldado en sus desplazamientos, avituallamientos y necesidades de energía mediante cargadores de baterías conectados al alternador del vehículo. En los requisitos del futuro vehículo VBR 8x8 se incluyen requisitos específicos de integración con el COMFUT.

LÍNEA DE ACTUACIÓN COMFUT 2ª GENERACIÓN

La Estrategia de Tecnología e Innovación para la Defensa (ETID) [2] considera para el COMFUT la Línea de Actuación Funcional: Tecnologías del Combatiente. Siguiendo las directrices marcadas por la SDGTECIN junto con la colaboración que brinda la publicación de este artículo en el boletín de Observación Tecnológica en Defensa se procede a enumerar las características identificadas por la Oficina de Programa que debería conformar la evolución

tecnológica del COMFUT en el ámbito I+D para los próximos años.

El progreso en las técnicas de ayuda a la decisión y en la simulación, ha permitido al Instituto Tecnológico La Marañosa (ITM), a través del área de Tecnologías de la Información, Comunicaciones y Simulación (TICS), establecer escenarios virtuales donde se integra el sistema C4I del COMFUT (una parte de estos escenarios pueden verse en los sistemas C4I del COMFUT instalados en el museo).

La estrategia de experimentación y evaluación de conceptos (CD&E) en el ITM va a permitir que un subconjunto de áreas tecnológicas del Instituto (Armamento, Optrónica, NBQ y Materiales, Electrónica y TICS) puedan comprobar hipótesis del combate para reducir el riesgo de cumplir la misión, reducir costes humanos y materiales, gracias a simuladores que reproducen las condiciones del combate, permitiendo alcanzar mayor confianza y eficacia en la operación del combatiente.

Con los recientes avances tecnológicos, los nuevos escenarios, la existencia de la conocida amenaza asimétrica, etc. el COMFUT se enfrenta a amenazas que buscan la máxima letalidad en un entorno marcado por la ausencia de un mando centralizado, con grupos de combate de dimensión reducida, uso de civiles como escudo humano, despreocupación de daños colaterales, actuación ofensiva, rápida transición de manifestación pacífica a acción terrorista o altercados violentos. Ello obliga al planteamiento de un nuevo Concepto de Operación que adapte la doctrina de combate actual y en la que la estrategia CD&E puede jugar un papel decisivo.

Al hilo de las experiencias con los 36 equipos COMFUT recepcionados el pasado año, se ha concluido a modo preliminar que en la 2ª generación COMFUT no todos los equipamientos de los combatientes serán idénticos sino que serán función del cometido que se le asigne dentro de la unidad pelotón/sección.

A continuación se muestran las tendencias en los campos tecnológicos que abarca el COMFUT de 2ª generación:

SOFTWARE Y HARDWARE

El COMFUT 2ª generación se beneficiará ampliamente de la evolución

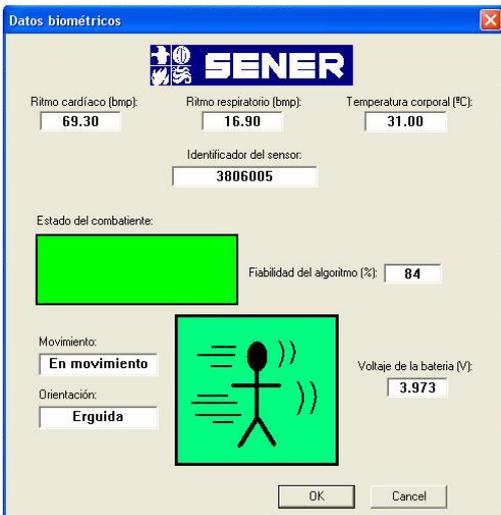


Fig. 9. Interfaz gráfica de BIOSEN, dispositivo biosensor.

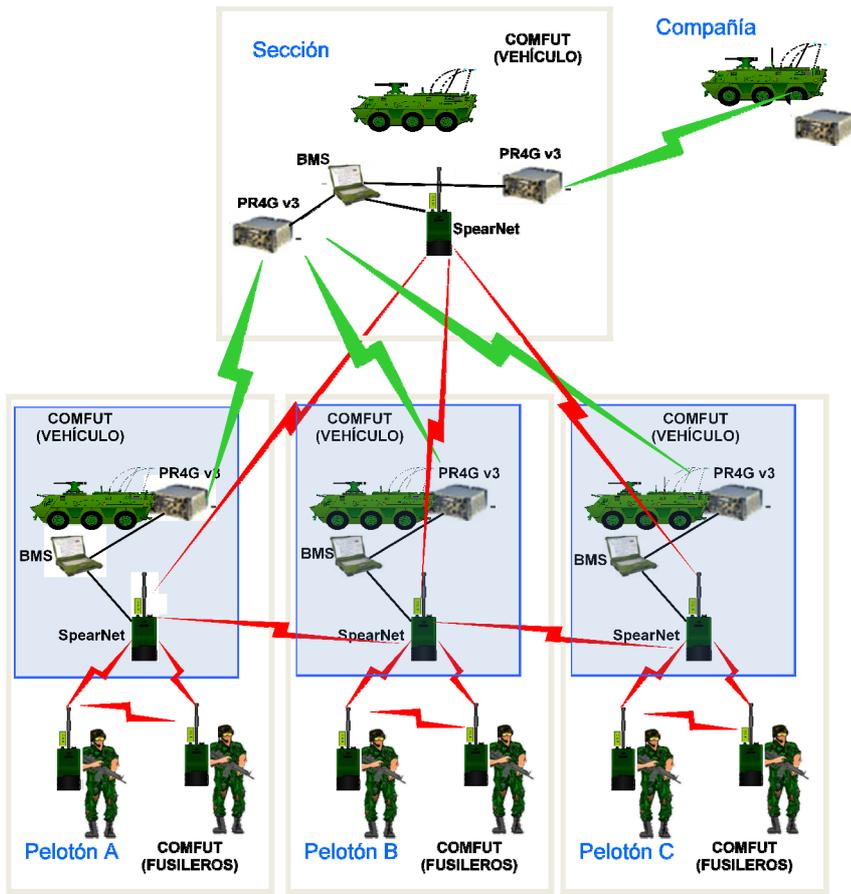


Fig. 10. Infraestructura C4I en vehículos de combate.

tecnológica que ofrece la electrónica de consumo. El aspecto de ruggedización militar (MIL STD 810 G) se gestionará de modo que se empleen equipos convenientemente protegidos y con altas tasas de reposición. Otro aspecto clave es la tendencia de uso de SW libre. En la actualidad el COMFUT sólo dispone del sistema oprónico del arma con Linux embebido, y se espera que las próximas versiones, tanto SO como GIS utilicen la plataforma Linux / JAVA.

**ARMAMENTO**

Una demanda insatisfecha de la OP COMFUT ha sido poder modificar el arma para adaptar convenientemente los dispositivos sobre la misma, y centrarse en la ergonomía del diseño mediante la inclusión de una culata extensible diseñada por HK, el uso de botoneras sobre el guardamanos, etc. La tendencia es diseñar una nueva arma que integre los elementos mencionados y que disponga de la posibilidad de alojamiento para baterías.

Otra tendencia consiste en dotar al combatiente de armas multicalibre con

las cuales poder disparar granadas contrapersonal (40mm/20mm). Para este tipo de arma, gracias a la disponibilidad de un telémetro sería posible la medida de la distancia del blanco y mediante una dirección de tiro determinar el ángulo de tiro adecuado e incluso programar la espoleta electrónica para la explosión aérea de la granada contrapersonal. No obstante, hay estudios y experiencia del programa COMFUT sobre la baja relación coste/eficacia de la dirección de tiro mencionada, al menos para toda la sección COMFUT.

Con respecto a la *Ultra Wide Band* (UWB), algunos organismos de investigación (Universidad de Granada, UGR) han propuesto al MINISDEF

una línea de investigación sobre transmisión de datos con alto ancho de banda a corta distancia, típica para comunicaciones sistemas sobre arma con C4I, o transmisión de energía eléctrica a través de la evolución de la guía Picatinny, la *NATO rail* y diseño de antenas fractales compactas.

**COMUNICACIONES, MANDO Y CONTROL**

Cada combatiente debería disponer de conciencia situacional precisa de los miembros del pelotón. Conclusiones obtenidas tras la pruebas del COMFUT aconsejan restringir este conocimiento solo al Jefe y segundo Jefe del Pelotón (como actualmente opera el combatiente israelí) y reducir la información a la posición relativa de uno mismo respecto a los combatientes más próximos, sin referencia alguna a la topografía en el que se encuentra el pelotón (combatiente francés "FELIN" o noruego "MARKUS").

Existen ciertas dudas sobre el valor operativo que tiene la transmisión de otro tipo de información (mensajería, difusión discreta de órdenes e informes, preparación de la misión, la gestión individual y colectiva de los movimientos y la gestión de fuegos).

Respecto a la red de datos intrapelotón, una alternativa es el establecimiento de una Wireless LAN según norma IEEE 802.11b/g/n, esta solución admite entre otras características, la comunicación de voz IP. La utilización del protocolo IEE 802.16e (WIMAX de movilidad completa), con y sin infraestructura (la Universidad Politécnica de Valencia ha mostrado su interés en la participación del COMFUT 2º generación con su prototipo sobre vehículo), puede ser una solución robusta en cuanto a fiabilidad del enlace y elevada tasa de transferencia de datos, junto con un bajo coste de implementación e integración en la electrónica del sistema.

En relación al interfaz de en-

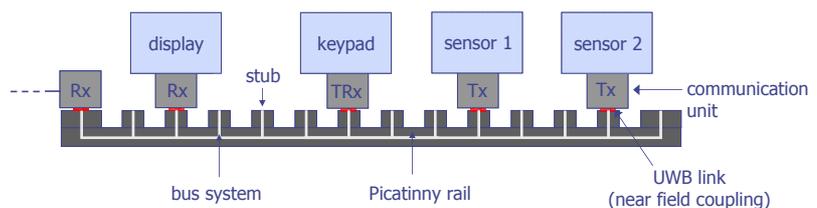


Fig. 11. Esquema de comunicaciones sistemas sobre arma con C4I a través de guía Picatinny.

- Dead Reckoning (DR) Integration
- Ground Truth Trajectory
- ★ Global Positioning System (GPS)

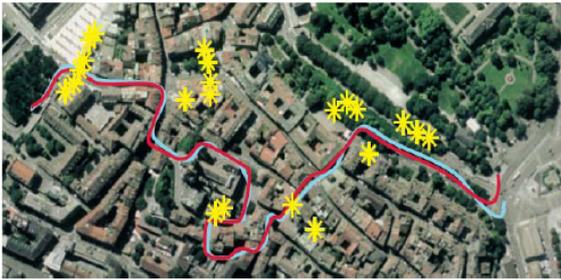


Fig. 12. Ejemplo de sistema de consciencia situacional INDOOR.

trada/salida prevalecería el control por voz frente al empleo de un cursor sobre una pantalla. A este respecto es interesante la evolución del comando por voz en entornos ruidosos.

Para la comunicación por voz, los programas más avanzados hacen uso de osteófonos en sustitución de micrófonos por razones de mejor relación señal/ruido.

### CAPACIDAD DE SUPERVIVENCIA Y PROTECCIÓN

Han aparecido recientemente gran número de equipos portátiles de detección de amenazas NBQR y se están realizando esfuerzos considerables en biotecnología para la detección de agentes químicos y biológicos sobre el uniforme del combatiente.

En relación a la protección medioambiental, la tendencia observada es dotar del equipamiento adecuado a cada entorno operativo en que se opere (ártico, desértico, boscoso, normal). Y una tendencia a reducir no sólo la firma visual (nuevo uniforme conjunto) sino térmica del combatiente mediante camuflaje térmico (patrones miméticos de formas y píxeles en el espectro infrarrojo).

La preocupación por la evacuación del calor del combatiente es una constante. A este respecto el programa COMFUT durante 2011 va efectuar

pruebas de los equipos alemanes Blucher con refrigeración activa.

Se espera que los nanotubos de carbono ofrezcan soluciones revolucionarias en los próximos años para la construcción de placas de protección balística.

### SOSTENIMIENTO Y LOGÍSTICA

Se mantiene el interés de lograr la capacidad de combatir 24 horas sin reabastecimiento (raciones alimenticias, agua, munición, baterías, ropa, repuestos, armamento, etc). Se requiere buscar elementos más fiables y autónomos para aligerar la dependencia logística.

Por ejemplo, por razones de reducción del peso es necesario asumir conceptos como modularidad, desechabilidad, adaptabilidad, reparabilidad, etc. de modo que se pueda configurar el equipo rápidamente conforme a la misión encomendada sin tener que transportar material innecesario o desechándolo (reciclandolo en su caso) en el campo de batalla, un claro ejemplo son los equipos electrónicos de un solo uso.

Por otra parte no hay criterios claros sobre si la fuente energética debe ser única y centralizada o múltiple y distribuida. Cada alternativa tiene ventajas técnicas y operativas pero también inconvenientes logísticos.

### FISIOLOGÍA Y ATENCIÓN SANITARIA

El primer paso del BIOSEN ha permitido disponer de este equipamiento en unidades de alto rendimiento y equipos deportivos. La tendencia es generar el enlace al escalón sanitario y reducir el tiempo respuesta para aumentar la calidad de la ayuda. El combatiente de futuras generaciones, además, incorporará actuadores y microdosímetros de fármacos según las necesidades. Todo ello combinado con la incorporación de tecnología RFID de identificación de personal (personal tracking) que en la

actualidad es objeto de redacción de estándares por parte de la NSA.

### CAPACIDAD DE DESPLIEGUE Y CONCIENCIA SITUACIONAL INDOOR

De manera generalizada, en todos los proyectos de combatientes se han incorporado sistemas de localización (GPS). Sin embargo, no se han encontrado soluciones alternativas al GPS en entornos cerrados, tales como túneles o interior de edificios. Sería precisa una consciencia situacional INDOOR sin infraestructura que pudiera dar continuidad a la consciencia situacional cuando la recepción de la señal fuera insuficiente o nula. En este sentido, Madrid Network [3] en colaboración con Amper y el ITM se han embarcado en un proyecto para el desarrollo de un prototipo.

### CONCLUSIONES

Las tecnologías mencionadas en este artículo están evolucionando constantemente, por lo que con toda seguridad aparecerán nuevas ideas en el tiempo que transcurre entre la redacción y la publicación del mismo. Asimismo sería aconsejable la existencia de un equilibrio ente tecnología y aplicación doctrinal de la misma, es decir, se observa la necesidad de una revisión de las actuales Doctrinas de empleo de las pequeñas unidades para aprovechar el potencial de las tecnologías de la información y comunicación. La importancia del soldado como elemento de combate no debe ser incompatible con la idea de que al soldado debe dársele misiones y no órdenes. Y finalmente, tener presente la famosa frase que dice "la tecnología no gana la guerra, sino los hombres bien entrenados con ella".

### REFERENCIAS:

- [1] NATO PHASED ARMAMENTS PROGRAMMING SYSTEM (PAPS) AAP-20 (Edition/2) [www.nato.int/docu/stanaq/aap020/AAP-20\(2\)E.pdf](http://www.nato.int/docu/stanaq/aap020/AAP-20(2)E.pdf)
- [2] Estrategia de Tecnología e Innovación para la Defensa ETID 2010 [http://www.mde.es/Galerias/politica/armamento-material/ficheros/DGM\\_ETID\\_v5d.pdf](http://www.mde.es/Galerias/politica/armamento-material/ficheros/DGM_ETID_v5d.pdf)
- [3] Madrid Network [www.madridnetwork.org](http://www.madridnetwork.org)
- [4] JORNADA MONOGRÁFICA SOBRE MATERIALES TEXTILES Y TEJIDOS MULTIFUNCIONALES [http://www.mde.es/Galerias/politica/armamento-material/ficheros/Jornada\\_1112/DGM\\_jornadas\\_tecnologicas\\_textiles.pdf](http://www.mde.es/Galerias/politica/armamento-material/ficheros/Jornada_1112/DGM_jornadas_tecnologicas_textiles.pdf)

# Materiales Superconductores en Defensa

CF Ing Antonio González García, EMAD-Oficina de Programa SIM/SCTM/SECOMSAT

## INTRODUCCION A LOS SUPERCONDUCTORES

En general, la resistividad de los metales disminuye a medida que la temperatura decrece. Aún a temperaturas de pocos grados Kelvin, los metales típicos industriales, presentan una conductividad finita (resistividad no nula). Existen unos pocos materiales que constituyen una excepción, ya que al llegar a una temperatura crítica  $T_c$ , la resistividad se reduce bruscamente a cero, esto es, se convierten en superconductores.

Numerosos trabajos continúan centrándose en tratar de incrementar la  $T_c$ , con la esperanza de que tenga lugar algún descubrimiento que pueda acercarnos al objetivo de conseguir un material superconductor a temperatura ambiente. Como muestra la FIGURA 2, se ha avanzado mucho en las últimas décadas en la búsqueda de materiales con alta  $T_c$ .

En 1986, A. Müller y G. Bednorz, investigadores de IBM en Suiza, crearon un compuesto cerámico ( $La_{1.85}Ba_{0.15}CuO_4$ ) que presentaba propiedades superconductoras a la más alta temperatura conocida hasta entonces: 35K. Un aspecto significativo de este descubrimiento es que las cerámicas son normalmente aislantes a temperatura ambiente.

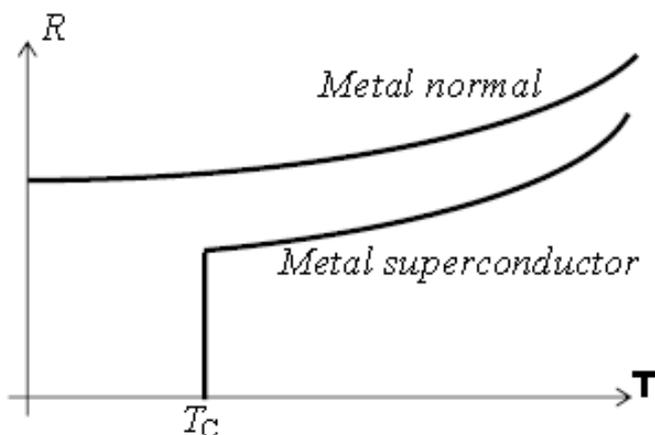


Fig. 1. Curva de resistividad-temperatura.

En 1987 un equipo de la Universidad de Alabama reemplazó el lantano por itrio en el compuesto mencionado para obtener una  $T_c$  de 92K. Este material, conocido como YBCO, fue el primer material superconductor a la temperatura del nitrógeno líquido (77K), lo que llevaba a la perspectiva de un uso comercial competitivo con otras tecnologías (producir helio líquido industrialmente cuesta 50 veces más que producir nitrógeno líquido).

A partir de entonces, se ha seguido trabajando en el descubrimiento de nuevos superconductores de alta temperatura (HTS). El récord actual de temperatura crítica es el compuesto  $Hg_{0.8}Tl_{0.2}Ba_2Ca_2Cu_3O_{8.33}$ , con  $T_c=138K$  hallado en 1995. Algunos artículos científicos mencionan el  $(Sn_{1.0}Pb_{0.5}In_{0.5})Ba_4Tm_5Cu_7O_{20+}$  con  $T_c$  de 185K, aunque este no ha sido patentado.

En décadas recientes se han hecho importantes progresos en la modelización teórica de la superconductividad. Irónicamente, las vibraciones reticulares, que son la fuente de la resistividad en los conductores normales, son la base de la superconductividad en los metales.

## PROPIEDADES DE LOS SUPERCONDUCTORES

Existen varias propiedades de los superconductores de gran interés para su aplicación tecnológica. Las más importantes de ellas son las siguientes:

### Efecto Meissner

La principal característica de los superconductores de baja temperatura es

su diamagnetismo, es decir, la exclusión de campo magnético de su interior, lo que se conoce como efecto Meissner.

### Efecto Josephson

Algunas de las aplicaciones más prometedoras de los superconductores parecen ser los dispositivos de película delgada, como la unión de Josephson, que consiste en una fina lámina de aislante entre láminas superconductoras. El efecto Josephson consiste en el paso de corrientes superconductoras (pares de Cooper) a través de una unión que, normalmente y desde un punto de vista clásico, no debería dejar pasar ningún electrón. Estas características permiten disponer de un interesante interruptor para circuitos lógicos. Este efecto también se observa en los nuevos materiales superconductores cerámicos.

Los dispositivos de película delgada conmutan voltajes a muy altas frecuencias, consumiendo mucha menos energía que los dispositivos convencionales basados en transistores integrados. Las aplicaciones resultantes pueden incluir procesadores más compactos y detectores de campos magnéticos ultrasensibles.

### Magnetización

Se pueden diferenciar superconductores de Tipo I y Tipo II. La clasificación en uno de los dos tipos se basa en la respuesta del material a un campo

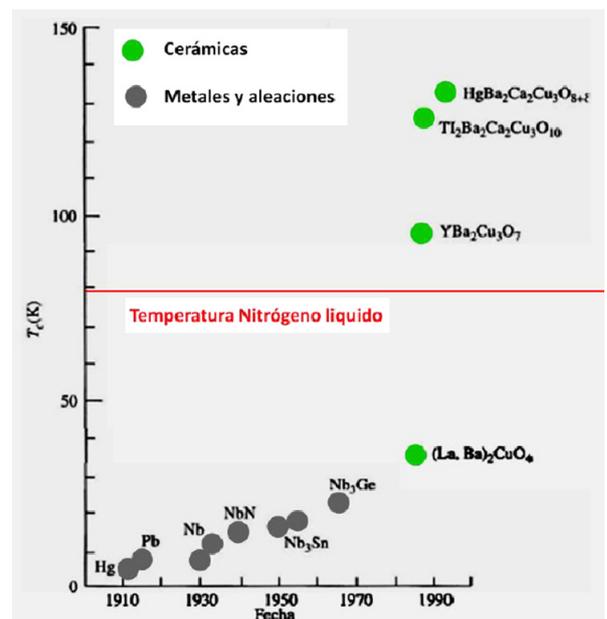


Fig. 2.  $T_c$  para distintos elementos y compuestos.

# en profundidad

magnético aplicado. Un material Tipo I exhibe una magnetización que crece linealmente con el campo aplicado hasta que éste alcanza el valor crítico  $H_C$  en que la superconductividad cesa y la magnetización del material vuelve a su valor inicial. Un material Tipo II tiene una respuesta lineal hasta un cierto campo aplicado  $H_{C1}$ . Si se aumenta aún más el campo aplicado la magnetización decrece rápidamente al principio pero luego adopta una pendiente baja hasta llegar eventualmente a cero a un campo aplicado  $H_{C2}$ . Por comodidad se define el campo crítico  $H_C$  para un material de Tipo II como el campo crítico para un material de Tipo I que tenga la misma área bajo la curva de magnetización y la misma pendiente inicial que el material en estudio.

En un superconductor Tipo II el campo crítico superior  $H_{C2}$  puede llegar a ser de 200 T. Ésta es la razón de su uso preferencial respecto a los de Tipo I.

### La Corriente Crítica

Desde el punto de vista electrotécnico, una característica fundamental de los superconductores es la ausencia de resistencia por debajo de una temperatura crítica  $T_C$  y un campo crítico  $H_C$ . Esto significa que si circula una corriente por el material, no produce nin-

guna disipación de energía por efecto Joule. No hay pérdidas eléctricas.

En el caso de los superconductores el límite de este comportamiento lo da la corriente crítica,  $J_C$ , que puede llegar a ser del orden de  $10^9$  A/m<sup>2</sup> a 77K.

En definitiva, hay tres factores que limitan el estado superconductor: la temperatura  $T_C$ , el campo magnético  $H_C$  y la densidad de corriente que circula por él  $J_C$ . Estas tres magnitudes están interrelacionadas y hay una clara dependencia entre ellas (ver Fig. 4).

### Fuerzas de Levitación

Los sistemas de levitación magnética basados en imanes permanentes son sistemas inestables. En cambio, cuando se utilizan superconductores, el comportamiento respecto a la levitación varía radicalmente, convirtiéndose en un sistema totalmente estable.

Cuando acercamos un imán a un superconductor o viceversa, en un principio, el campo magnético del imán no penetra en el interior del superconductor, generándose una serie de corrientes de apantallamiento en este último que repelen el campo. De este modo, aparece una fuerza de repulsión entre ellos. Si continuamos acercándolos, llega un momento que se supera el

primer campo crítico  $H_{C1}$ , y comienza a penetrar campo en el superconductor. El campo que se va introduciendo queda atrapado. Si ahora se intenta aumentar la separación relativa entre el imán y el superconductor, al estar el campo atrapado en este último, se genera una tensión magnética que se traduce en una fuerza de atracción mutua. Esta distancia relativa es pues un punto de equilibrio estable.

En realidad, la fuerza de recuperación que coloca al superconductor en el punto de equilibrio no es sólo vertical, sino que cuando se produce un desplazamiento lateral también aparece una fuerza que lo devuelve al estado anterior de equilibrio. Por lo tanto, este sistema es totalmente estable, volviendo siempre a la posición de equilibrio después de una perturbación.

En conclusión, las propiedades deseadas en los superconductores comerciales son conseguir una mayor temperatura crítica, un mayor campo magnético crítico, una mayor densidad de corriente crítica, una mayor estabilidad del superconductor, mejorar los procesos de fabricación y disminuir el coste.

### APLICACIONES DE LOS SUPERCONDUCTORES

Las aplicaciones de mayor interés en relación a la superconductividad, tanto

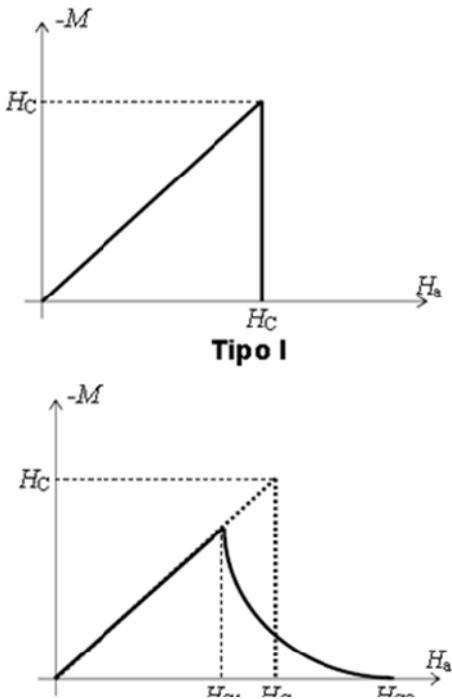


Fig. 3. Campo crítico para superconductores Tipo I y Tipo II.

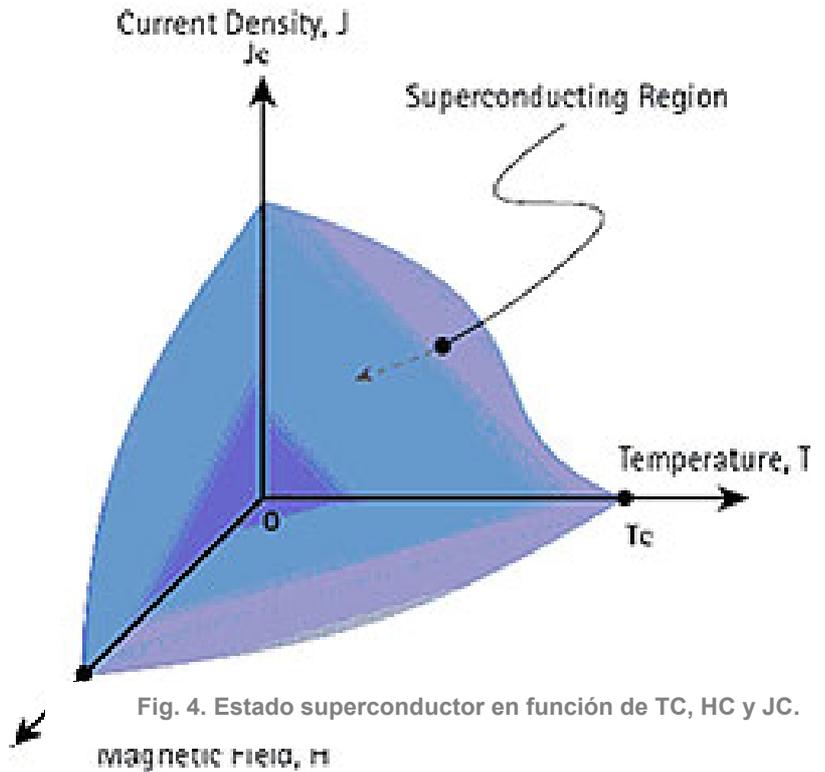


Fig. 4. Estado superconductor en función de  $T_C$ ,  $H_C$  y  $J_C$ .

desde el punto de vista civil como de defensa, son las siguientes

**Imanes Superconductores**

La aplicación más evidente de los superconductores es la generación de campos magnéticos de alta intensidad. Dado que el campo magnético creado por una bobina es proporcional a la intensidad que circula por ella, en una bobina fabricada a partir de material superconductor se pueden conseguir intensidades cientos de veces superiores sin quemar el conductor, por tanto se pueden, bien generar campos magnéticos muy intensos a igualdad de número de vueltas o bien crear campos magnéticos moderados ahorrando vueltas.

**Levitación**

La idea de usar una fuerza magnética para hacer "flotar" vehículos de transporte ha estado en la mente de los científicos durante casi un siglo y la posible aplicación de la superconductividad a este problema lo ha renovado y actualizado.

Este sistema funciona como una aplicación de la ley de Lenz de inducción de corrientes eléctricas al tener campos magnéticos que varían con el tiempo, en cuyo seno existe una espira de material conductor. El campo magnético que genera la corriente inducida da lugar a un campo magnético que tiene una polaridad opuesta al campo magnético original, creándose una repulsión entre ambos campos magnéticos. Los electroimanes superconductores hacen posible generar un campo magnético intenso en un volumen grande y esto tiene profundos efectos en el diseño del sistema.

A menos que investigaciones posteriores indiquen lo opuesto, parece que no

existen problemas técnicos fundamentales con este sistema. Sin embargo, se requieren algunas innovaciones técnicas antes de poder completar un diseño comercial.

**Cables Superconductores**

Varias compañías ofertan actualmente cables superconductores, entre ellas Pirelli y American Superconductors. El desarrollo de materiales que presentan superconductividad a alta temperatura (HTS), con la consiguiente disminución de los costos de enfriamiento, hacen esta técnica competitiva, debido a que los cables superconductores permiten mayor capacidad de transporte de corriente y menores pérdidas por efecto Joule que los cables convencionales. Se estima que los cables superconductores pueden transportar de 2 a 5 veces más potencia que los cables convencionales y tienen menos de los 2/3 de las pérdidas (a igualdad de tamaño). En el campo de la transmisión de potencia, son ideales para incrementar la capacidad de líneas de transporte existentes en instalaciones subterráneas o buques.

Los conductores de alta potencia fabricados por Pirelli está construidos con alambres y cintas de filamentos de  $(Bi,Pb)_2Sr_2Ca_2Cu_3O_{10}$  en una matriz metálica. El material se conoce como Bismuth-2223 y tiene una  $T_C$  de 110 K. La estructura de la red consiste de capas de iones de dióxido de cobre mezcladas con capas de iones de aislamiento.

Las instalaciones HTS requieren una inversión inicial mayor pero sus costos operativos son menores y se deben comparar a lo largo de la vida útil de la instalación. Las primeras instalaciones de potencia en base a cables HTS se realizaron en 2001 en EEUU y Europa.

**Motores Superconductores**

Los superconductores pueden ser utilizados en motores donde las bobinas de cobre se sustituyen por material superconductor, a modo de ejemplo, los motores de 49.000 CV para la propulsión del DDG-1000 disponen de un devanado que puede soportar una intensidad 150 veces superior al equivalente en cobre, ocupan un volumen inferior al 50% de un motor de potencia equivalente y presentan un peso 200 Tm inferior. La FIGURA 6 muestra la proporción de tamaño para motores de 36Mw.

**Generadores**

Todo lo indicado para motores es aplicable a generadores, aunque no hay indicios de generadores reales construidos con superconductores. Sin embargo General Electric está en fase de desarrollo de generadores de 100 MVA con tecnología HTS para aplicaciones comerciales.

**Transformadores**

Se pueden construir transformadores superconductores con menor volumen y peso en comparación con sus homólogos convencionales. Sin embargo, la principal ventaja de los transformadores superconductores es su potencial para operar con una potencia superior a la potencia nominal de hasta el 100% incluso durante un período de varias horas. Este modo de operación excepcional sólo requiere más potencia de refrigeración, pero no conduce a un desgaste excesivo, como en el caso de transformadores convencionales donde incluso una sobrecarga de aproximadamente un 10% hace daño térmico en el aislamiento. Con respecto a las pérdidas de energía, una cuarta parte de las pérdidas de 5 - 10% del transporte en los sistemas de distribución de energía se deben a los transformadores. Se encuentra en desarrollo en

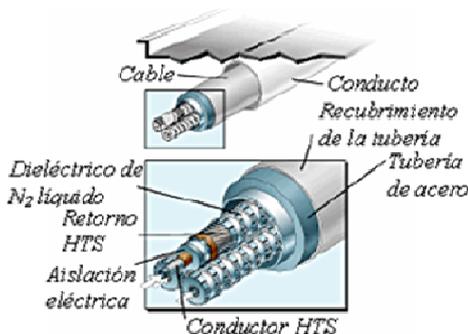


Fig. 5. Cables superconductores.

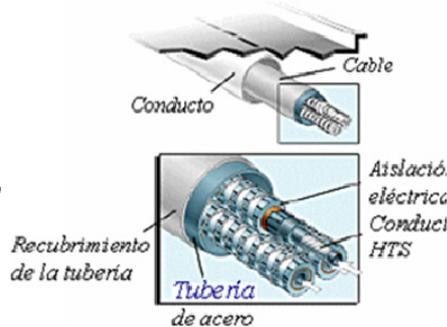


Fig. 6. Volumen de motores convencionales/superconductores de 36 MW.

## en profundidad

EE.UU., un prototipo de 10.5 MVA basado en conductores Bi2212. Siemens ha desarrollado un transformador de 1 MVA para demostración en aplicaciones ferroviarias que ha sido probado con éxito.

### Almacenamiento de Energía

Consiste en acumular la energía eléctrica en forma de campo magnético en bobinas superconductoras que pueden retornar la energía cuando sea requerido. Con esto se consigue mejorar la calidad del suministro, evitar transitorios y proporcionar alimentación de emergencia.

En esencia, en una bobina hecha de un material superconductor se deja circulando una corriente. Como no hay disipación de energía al no existir resistencia eléctrica, la corriente permanecerá circulando por mucho tiempo.

Estos dispositivos se utilizan hoy día con materiales convencionales pero pueden ser más eficientes y de menor tamaño mediante el uso de superconductores. El primer dispositivo de este tipo fue instalado por General Atomics en 1983.

### Cojinetes Superconductores Magnéticos

Se está investigando con cojinetes donde las propiedades de levitación de los superconductores aprovechan para lograr coeficientes de fricción de  $10^{-9}$ . Se utilizarán en motores, generadores y volantes de inercia, especialmente si estos utilizan tecnología superconduc-

tora en la parte eléctrica, dado que en este caso tendrán la refrigeración asegurada sin equipamiento adicional.

### Dispositivos de Conmutación Rápida

En el área de computación, los superconductores tienen aplicaciones sorprendentes. Utilizando uniones Josephson en lugar de los transistores convencionales de los circuitos integrados, se pueden construir ordenadores en el nivel de petaflops ( $10^{15}$  operaciones por segundo). Para alcanzar estas velocidades, el tamaño del sistema sería del orden de alrededor de 50 nanómetros.

Estos mismos dispositivos se pueden utilizar para circuitos de conmutación de alta velocidad y para convertidores A/D.

### Medidas Contraminas

El sistema Advanced Lightweight Influence Sweep System (ALISS) de la US NAVY consiste en un imán superconductor de 1,60 de diámetro que permite excitar los detonadores de las minas magnéticas a distancias sensiblemente superiores. Fue fabricado por General Atomics y probado con éxito en 1998.

### Tecnología Radar y Guerra Electrónica (EW)

El DoD está desarrollando radares que utilizan las ventajas de la tecnología de superconductores en varias áreas:

- Osciladores estables de alta frecuencia que reducen el ruido de fase mejorando por tanto la supresión de clutter.
- Convertidores A/D que proporcionan muestreos de 20 bits a 100Mhz, reduciendo el ruido de cuantificación.
- Generadores de formas de onda sofisticados.
- Cavidades resonantes para amplificadores de alta potencia

### Cañones Electromagnéticos

La US NAVY está experimentando con cañones electromagnéticos donde un proyectil es acelerado sucesivamente por bobinas superconductoras (alimentadas a su vez por acumuladores superconductores) hasta MACH 8. El resultado es una energía cinética enorme. Una vez disparado, el proyectil generaría por fricción con el aire una cantidad de calor suficiente para fundir el metal de que se compone, de tal forma que resultado final es arrojar al blanco un rociado de metal fundido a 2000 m/s. El mismo principio se puede utilizar para catapultas de aviones en portaaviones. La USN dispone de un laboratorio de desarrollo de esta tecnología en Dahlgren (Virginia).

### Propulsión Magneto-hidrodinámica

Cuando un conductor transporta una corriente en el seno de un campo electromagnético, este último ejerce una fuerza sobre el conductor. Si construi-

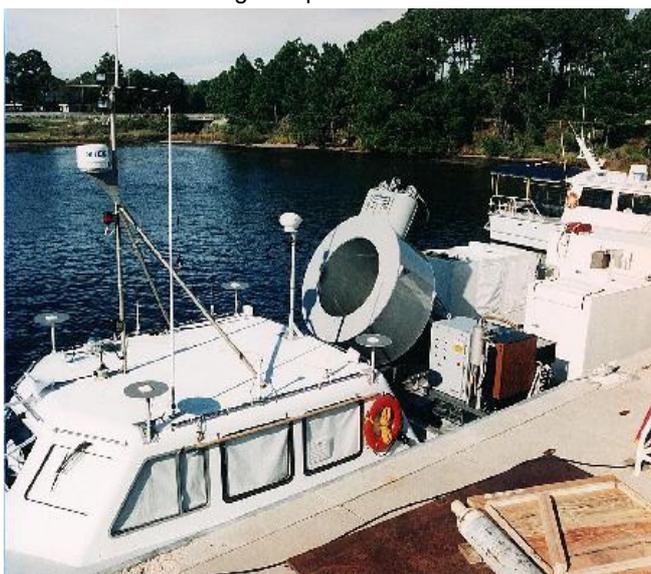


Fig. 7. Advanced Lightweight Influence Sweep System (ALISS).



Fig. 8. Cañón electromagnético en Dahlgren (EEUU).

mos un dispositivo en el que el conductor sea un fluido (agua de mar) y aplicamos una corriente, se produce el movimiento del agua como resultado de la fuerza resultante.

En la práctica, se producen fenómenos electrolíticos en los electrodos que reducen el rendimiento electromecánico, además de provocar la corrosión de dichos electrodos.

Este tipo de propulsión utilizando imanes superconductores sería muy apropiada para submarinos y los haría indetectables al suprimir el ruido de las hélices. La ironía es que los campos magnéticos empleados harían muy detectable el submarino por Magnetic Anomaly Detection (MAD).

Solo se conoce un prototipo de propulsión magnetohidrodinámica sobre una embarcación menor en Japón, que demostró problemas de rendimiento y de velocidad. Sin embargo se sabe que Lockheed Martin ha propuesto a la US NAVY la investigación de motores magnetohidrodinámicos para submarinos, aunque por el momento no se ha considerado una tecnología práctica.

### Magnetic Anomaly Detection

El SQUID o *Superconducting Quantum Interference Device* (Dispositivo Superconductor de Interferencia Cuántica) es uno de los sensores superconductores más utilizados. Existen dos tipos de este dispositivo: el SQUID de corriente directa (CD) y el SQUID de radiofrecuencia (RF). Son los instrumentos más sensibles que existen para medir una gran variedad de cantidades físicas: campos magnéticos, cambios espaciales de campos magnéticos, susceptibilidades magnéticas, voltajes muy pequeños y desplazamientos microscópicos.

El SQUID de corriente directa está formado por dos uniones de tipo Josephson conectadas en paralelo en un circuito de superconductores. El SQUID de radio frecuencia, es un diseño anterior al del SQUID CD.

El SQUID puede utilizarse como un magnetómetro extremadamente sensible, ya que hace posible la detección de variaciones de flujo mucho más pequeño que un flujo.

La detección de submarinos desde el aire basada en la perturbación del campo magnético terrestre puede verse mejorada con la aplicación directa del SQUID ya descrito. Con la sensibilidad que aporta SQUID utilizándolo como MAD, la US NAVY espera rendimientos en búsqueda ASW (*Anti-Submarine Warfare*) de 1000 millas por hora (dependiendo de la profundidad del submarino). El mismo principio podría aplicarse a la guía de torpedos.

### Degaussing Superconductor

Los sistemas de degaussing actuales se caracterizan por bobinas de cobre de gran sección para soportar las intensidades requeridas para contrarrestar la firma magnética del buque. El uso de cables superconductores tiene la ventaja de disminuir el peso de las bobinas, utilizar voltajes pequeños para conseguir la intensidad deseada con lo que se simplifica la electrónica de potencia y baja drásticamente las pérdidas por efecto Joule, extremo este que impacta de forma favorable en el balance de potencia del buque en situación de zafarrancho de combate.

Desde 2006, American Semiconductors oferta sistemas de degaussing superconductores que ahorran un 20% en peso respecto a los tradicionales y garantizan las intensidades habituales con solo 0,5 voltios aplicados. En 2008 fueron programadas pruebas a bordo

de un DDG-51, aunque por el momento se desconoce si será integrado en el DDG-1000.

### Antenas de VLF.

Se puede aumentar la longitud eléctrica de una antena de VLF mediante bobinas de carga, cuando se utilizan bobinas convencionales se produce una caída importante de la ganancia de antena.

Mediante bobinas superconductoras se puede conseguir disminuir el tamaño de antena manteniendo la ganancia de antena.

### Posibilidades de Futuro

Se ha expuesto el amplio campo de aplicación de los superconductores. Su desarrollo industrial y su generalización en la vida cotidiana es altamente dependiente de dos factores:

- El descubrimiento de cerámicas con TC cada vez más alta. Es evidente que si se descubren superconductores a temperatura ambiente, habrá gran aumento en el uso de superconductores, especialmente en el transporte de energía.
- El desarrollo de sistemas criogénicos con alto rendimiento y pequeño tamaño. Actualmente la US NAVY estima como requisitos mínimos para sistemas criogénicos para superconductores un MTBF (*Mean Time Between Failures*) de 3 años y un coste máximo de 1000 dólares.

En cualquier caso puede haber entornos donde el problema de alcanzar la temperatura crítica no sea un problema o al menos sea un problema menor como es el caso de vehículos espaciales, satélites, sistemas submarinos e incluso instalaciones subterráneas.

## agenda

### Jornada "Soluciones Tecnológicas en C-IEDs"

30 de junio de 2011, Hoyos de Manzanares (Madrid)

Más información: [observatecnoc@oc.mde.es](mailto:observatecnoc@oc.mde.es)

### XXIII Seminario Internacional de Seguridad y Defensa. Nuevos paradigmas de defensa y seguridad (2011)

14 y 15 de junio de 2011, Toledo

### Reuniones CapTechs IAP01 e IAP02 (abiertas a la industria)

Junio de 2011.

Más información: [edaconsultasit@oc.mde.es](mailto:edaconsultasit@oc.mde.es)

# Boletín de Observación Tecnológica en Defensa

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