DIRECCIÓN GENERAL DE ARMAMENTO Y MATERIAL

SUBDIRECCIÓN GENERAL DE TECNOLOGÍA Y CENTROS

Nº 17. Cuarto Trimestre 2007

En este número

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

Contactar

Nodo Gestor
Cte. Ismael Fernández de la Carrera
SDG TECEN C/ Arturo Soria 289
Madrid 28033
iferde1@oc.mde.es

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

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

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

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

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

Observatorio de Materiales
Cte. CIESO Jesús M. Aguilar Polo
jaguilarp@oc.mde.es

Observatorio de UAVs y Robótica
Cte. CIEA-ETO Manuel A. González López
mgonlo2@oc.mde.es

Observatorio de Energía y Propulsión
C.C. Ing. Juan Carlos Huertas Ayuso
jchayuso@fn.mde.es

www.mde.es/dgam/observatecno.htm

Boletín
de Observación Tecnológica en Defensa

Editado por el Sistema de Observación y Prospectiva Tecnológica

EDITORIAL

Con la presentación del documento Propuesta de Objetivos de Capacidad Militar (POCAM) y su posterior remisión por el Ministro de Defensa al Presidente del Gobierno para la aprobación final del Objetivo de Capacidad Militar (OCM), culmina el proceso de planeamiento militar surgido a raíz de la Orden Ministerial 37/2005. Este nuevo proceso de planeamiento se considera más adecuado al entorno estratégico de hoy y hace posible el mejor diseño de la Fuerza de los Ejércitos y la obtención de los medios y recursos necesarios para conseguir las capacidades militares que permiten alcanzar los objetivos establecidos por la Política de Defensa.

Hasta este momento los sistemas tradicionales de planeamiento militar tenían su fundamento en el conocimiento más o menos exacto de la amenaza militar y de sus probables líneas de acción. Para los expertos en dar forma a los distintos planes, todo ello se traducía en el análisis de un escaso número de escenarios y en identificar fácilmente unas capacidades o medios necesarios para combatir o anular la amenaza predefinida.

En cambio, el nuevo sistema de planeamiento por capacidades contempla una amenaza sutil, multipolar e indefinida, en donde la inteligencia y la innovación resultarán elementos fundamentales para combatirla o anularla. Dicho sistema contempla un total de siete (7) áreas de capacidades o "paquetes de actuación", estableciendo un total de cuarenta (40) capacidades y ciento ochenta y cinco (185) objetivos militares. El sistema contempla cada capacidad militar como un conjunto de personal, sistemas, infraestructura y medios logísticos, asentados sobre unos principios doctrinales y operativos, que pretenden conseguir un determinado efecto militar a nivel estratégico, operacional o táctico. Es decir, una capacidad militar no es únicamente un arma o sistema de armas, sino que es un conjunto de factores, unos más críticos que otros, pero que en definitiva son igualmente importantes para la consecución del efecto deseado.

Para la labor asignada a la DGAM de promover, proponer y gestionar actividades de I+D en el ámbito de la Defensa, el nuevo proceso de planeamiento facilitará la mejor gestión y obtención de los recursos tecnológicos necesarios y proporcionará una herramienta metodológica para lograr un eficaz aprovechamiento de los medios dedicados la investigación y desarrollo por nuestro MINISDEF.

ÍNDICE

Actualidad Observatorios:

- Editorial……2
- Finaliza el grupo OTAN-RTO-SAS-060 sobre Armas No Letales ……..2
- 20th RTO-SAS Panel Business Meeting ……..3
- 20th RTO-AVT Panel Business Meeting …….3
- 20th RTO-SET Panel Business Meeting …….4
- 20th RTO-HFM Panel Business Meeting ……4

Actualidad Tecnológica:

- Proyectos COINCIDENTES finalizados: Sintonizador de 20 a 3000 MHz de Banda Instantánea Muy Ancha (40 MHz)……..5
- Proyectos COINCIDENTES finalizados: Prototipo de Radio Software TERSO 5
- Congreso Internacional sobre Análisis de Agresivos Químicos .....…….7
- NANOTUBOS DE CARBONO: Aplicaciones ..8

Enlaces ...……...8

Tecnologías Emergentes:

- Interoperabilidad en GCS para UAS 9
- Tecnologías Fotovoltaicas con Aplicación en Defensa .....…11
- Certificación de Aeronaves Militares Frente a Amenazas Electromagnéticas 13
- ARRAY EN SUSPENSIÓN: Aplicación en Detección de Toxinas de Interés para Defensa ..15
- ADHESIVOS INDUSTRIALES: Introducción 16

En profundidad:

- NUEVA TECNOLOGÍA: Nitruros Grupo III para la Detección de la Polarización de la luz.....18

Agenda……...20

Finaliza el grupo OTAN-RTO-SAS-060 sobre Armas No Letales[1]

La evolución de los conflictos, el incremento de las misiones de mantenimiento de paz, así como diferentes consideraciones morales y legales, han impulsado en los últimos años el desarrollo de las llamadas Armas No Letales (ANLs) (*Non Lethal Weapons*–NLWs), que buscan conseguir un efecto en el objetivo sin buscar un daño permanente, minimizando los efectos colaterales. Existe, por tanto, una clara necesidad operativa de estos sistemas, ya sea en combates urbanos, situaciones de enfrentamiento en las que cada vez es más difícil distinguir entre población civil y potenciales adversarios, y fundamentalmente en operaciones no bélicas (por ejemplo, en control de multitudes).

Uno de los aspectos novedosos de las ANLs es la dificultad de evaluar su eficacia porque, por su naturaleza, no son válidas las metodologías existentes para el armamento convencional. En este sentido, la SDG TECEN, ha participado en el grupo de trabajo OTAN/RTO SAS-060 "*Non Lethal Weapons-Effectiveness Assessment Development*

[1] *Más información en los artículos*

- *"Armas No Letales SAS-060", Boletín nº 4 del tercer trimestre de 2004, sección Actualidad Tecnológica, pág. 5;*
- *"Simposio: Armas No Letales", Boletín nº 5 del cuarto trimestre 2004, sección Actualidad Observatorios, pág. 2;*
- *"Evaluación de Eficacia de ANLs", Boletín nº 13 del cuarto trimestre de 2006, sección Agenda, pág. 14.*

and Verification Study". Este grupo, ha llevado a cabo sus trabajos entre 2004 y 2007, continuando los trabajos realizados por su predecesor, el grupo SAS-035, orientados a elaborar la metodología para verificar y evaluar los sistemas de ANLs hasta el nivel operativo.

El grupo SAS-060 ha tenido tres objetivos fundamentales:

- Verificar la metodología que establece las medidas de eficacia de un sistema de ANLs (MoSE "*Measures of System Effectiveness*").
- Ampliar la metodología desarrollada por el grupo anterior, SAS-035, y estudiar las posibilidades de desarrollo de medidas de eficacia a nivel operativo (MoOEs "*Measures of Operational Effectiveness*").
- Divulgar los trabajos sobre ANLs y buscar sinergias con otros grupos de la OTAN.

España ha llevado a cabo los trabajos para el segundo objetivo, identificando, desarrollado y aplicando una serie de métodos que, sobre los principios de la metodología utilizada, permiten valorar cualquier sistema (medida de su eficacia) y realizar comparaciones entre sistemas. Así mismo, ha propuesto un método para evaluar sistemas de ANLs a nivel operativo, en una secuencia de fases que se suceden a lo largo de un escenario operativo.

Para desarrollar los trabajos se han empleado métodos matemáticos analíticos, métodos de toma de decisiones multicriterio, redes neuronales y se ha aplicado lógica difusa, así como múltiples simulaciones. Todo ello se ha implementado, a nivel nacional, en una plataforma software de desarrollo.

El resultado de estos trabajos permitirá disponer de medios estandarizados de evaluación para cualquiera de los sistemas y las tecnologías que comprenden las ANLs. Servirán, entre otros, para la elaboración de requisitos, doctrina, evaluación de equipos, herramienta de selección y/o adquisición, etc., e incluso para su empleo por parte de los investigadores como guía para mejorar las prestaciones de las ANLs existentes. Aunque se ha avanzado mucho, todavía queda trabajo por hacer para disponer de las herramientas citadas.

El alto nivel del trabajo realizado, ha merecido la felicitación, por parte del Panel SAS, a los integrantes del grupo en el cual la representación española ha sido fundamental. En consecuencia, el panel (que supervisa el trabajo de los grupos de trabajo bajo su responsabilidad) ha decidido apoyar la continuación de los trabajos de este grupo.

20th RTO-SAS Panel Business Meeting

Durante el pasado mes de octubre, tuvo lugar en Atenas (Grecia) la vigésima reunión plenaria del Panel SAS (*System Analysis and Studies*) de la RTO (*Research and Technology Organization*) de la OTAN. El panel SAS tiene como misión llevar a cabo estudios y análisis de naturaleza tecnológica y operacional, y promover el intercambio y desarrollo de métodos y herramientas para el análisis operacional aplicado a defensa.

Durante la reunión plenaria, dividida en sesiones abiertas y cerradas a los países PfP (*Partner for Peace*), se revisaron las actividades en marcha dentro del panel, las finalizadas durante el último semestre y las nuevas propuestas. Cada una de las sesiones se concluyó con un *brainstorming*, con el fin de obtener nuevas ideas para futuros grupos de trabajo del panel.

Para más información sobre las actividades del panel SAS póngase en contacto con el Nodo Gestor del Sistema de Observación y Prospectiva Tecnológica. (plopvic@oc.mde.es).

20th RTO-AVT Panel Business Meeting

Entre el 3 y el 7 de diciembre de 2007 tuvo lugar en Atenas (Grecia), la 20ª reunión del panel AVT (*Applied Vehicle Technology*) del RTO (*Research and Technology Organisation*). Simultáneamente se celebró un simposio sobre "Incertidumbre computacional en el Diseño de Vehículos Militares".

Las nuevas actividades técnicas que comenzarán el próximo año estudiarán temas diversos como el reto de la gestión térmica en vehículos, la dinámica de los micro-vehículos de inspiración biológica, los criterios de diseño estructural para sistemas aéreos no tripulados y el estudio de flujos desprendidos, grupo que contará con participación española.

La próxima reunión de panel tendrá lugar del 5 al 9 de mayo de 2008, en Löen (Noruega). Durante la misma están previstos el simposio "*Limit Cycle Oscillation and Other Amplitude-Limited Self-Excited Vibrations*" y una reunión de especialistas acerca de métodos avanzados de aeroelasticidad.

Para más información sobre las actividades del panel AVT póngase en contacto con el Observatorio Tecnológico de Energía y Propulsión. (elelag@oc.mde.es).

¿QUIERE COLABORAR EN EL BOLETÍN?

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

Contacto: Cte. Ismael Fernández de la Carrera

Tlf. 913954604 iferde1@oc.mde.es

20th RTO-SET Panel Business Meeting

Del 3 al 5 de octubre, tuvo lugar en Antalya (Turquía) la reunión semestral del panel SET (*Sensors and Electronics Technology*) de la RTO, la organización que promueve el intercambio de conocimiento y la innovación a nivel de tecnología dentro de la OTAN. El objetivo de estos encuentros periódicos es realizar un seguimiento de las actividades, promover nuevas y, en definitiva, realizar conjuntamente un ejercicio de gestión y prospectiva de conocimiento para aquellas tecnologías relacionadas con sensores, en este caso particular.

En relación con esta reunión plenaria, las ideas de interés para España a destacar son:

- Se prevé para el 2008 un curso en España sobre "*Low cost navigation sensors and integration technology*" (SET-116/RLS/MSE). Los días previstos son 27 y 28 de octubre. Esta iniciativa surge del grupo SET-114 ":*Urban, Indoor, Subterranean Navigation Sensors and Systems*", cuyo representante español, D. Santiago Ariño (SENER), sirve de enlace nacional para la preparación de las conferencias.

- A instancias de la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC, Dpto. Teoría de la Señal), se propuso un *Exploratory Team* (ET) cuyo título es: "*Advanced Signal Formats and Digital Processing Techniques to Combat Atmospheric Propagation Impairments in FSO (Free Space Optical)*". El objeto principal es evaluar los tratamientos de señal óptica que recuperan el frente original tras su viaje por la atmósfera. Su principal ventaja es la optimización de peso, volumen y consumo de equipos de comunicación óptica para plataformas, de especial relevancia en UAVs. La propuesta fue aceptada por Francia, Estados Unidos, Alemania y Holanda, cuyos representantes deben colaborar con su puesta en marcha.

- En octubre de 2008, Francia promoverá en Toulouse un simposio sobre detección cuántica aplicada a detección IR, para aplicaciones en Seguridad y Defensa. El Sistema de Observación y Prospectiva Tecnológica ha sido invitado a formar parte del comité de expertos que elaborará la agenda y seleccionará las presentaciones.

- El grupo SET-084 "*Emerging Tecnologies for Sensors Front-End*", cuya participación española corre a cargo del CIDA (D. Fernando Sánchez) y del VNTC (Valencia Nanophotonics Technology Center, D. Guillermo Sánchez), va a finalizar con los objetivos españoles parcialmente satisfechos, en especial lo que corresponde a microtecnologías para sistemas optoelectromecánicos (MOEMs) y aplicaciones en Defensa. Francia, que comparte estos mismos objetivos, ha invitado a los representantes españoles (panelistas y técnicos del SET-084) a apoyar la promoción de una actividad conjunta para la próxima reunión plenaria, que recoja y estudie lo que dejará el citado grupo.

- Los representantes del Reino Unido instaron a los representantes españoles a unirse al grupo SET-ET-050 "*LWIR Hyperspectral Processing*", cuyo principal objetivo consiste en identificar aplicaciones en Defensa de las imágenes hiperespectrales y su modo de tratarlas e interpretarlas. La primera reunión de este grupo tendrá lugar en Farnborough (RU) los días 12 y13 de diciembre.

Para más información sobre las actividades del panel SET póngase en contacto con el Observatorio de Óptica, Optrónica y Nanotecnología (jjsanmar@oc.mde.es).

20th RTO-HFM Panel Business Meeting

El pasado mes de octubre, entre los días 10 y 12, tuvo lugar la 20th RTO-HFM reunión plenaria del Panel HFM de la RTO sobre Factores Humanos y Medicina, que se celebró en Edimburgo (RU). Dentro del área *Human Protection* se han aprobado dos nuevas actividades, propuestas en la reunión de abril, y que están directamente relacionadas con aspectos NBQ. La primera de ellas es un *Exploratory Team* (ET) sobre "*Chemical Agent Protection (Non-medical)*" y la segunda sobre "*State of the Art in Research on Medical Countermeasures against Biological Agents*". Las reuniones, para el inicio de ambas actividades, están previstas para el primer semestre del 2008. El pasado mes de junio, se finalizaron las actividades correspondientes al ET-066 "*Deployable Laboratory Applications of Biotechnology*", que tenía como objetivo la elaboración de los términos de referencia y la propuesta de actividad técnica para un nuevo grupo de trabajo sobre "*Deployable Laboratory Applications of Emerging Nano/Bio-Technology*". Dicha actividad esta pendiente de aprobación.

Por otro lado, en el área de medicina operacional, se han propuesto las siguientes actividades: "*Refractive Surgery. New Techniques and Usability in Military Personnel*", "*Aircraft Accident Investigation for Flight Surgeons*", "*Requirements for Oxygen Systems for Rotary Wing Operations*", "*Impact of Lifestyle and Health Conditions on Military Fitness*". Los representantes nacionales en esta área han presentado dos nuevas propuestas de *Exploratory Teams* (ET), "*Requirements for Systems for Rotary Wing Aircraft*", en colaboración con Reino Unido, y "*Cardiovascular Risk Factors and Metabolic Disorders in Military Troops. Prevention and Management*", en colaboración con Alemania.

La próxima reunión se celebrará en Copenhague (Dinamarca) del 21 al 25 de abril del 2008.

Para más información sobre las actividades del panel HFM póngase en contacto con el Observatorio Tecnológico de Defensa NBQ (aacuben@oc.mde.es).

Proyectos COINCIDENTES finalizados: Sintonizador de 20 a 3000 MHz de Banda Instantánea Muy Ancha (40 MHz)

Dentro de la iniciativa del Programa COINCIDENTE de la SDG TECEN, se ha finalizado recientemente el proyecto "Sintonizador de 20 a 3000 MHz de Banda Instantánea Muy Ancha (40 MHz)", desarrollado por Indra Sistemas.

El objetivo del proyecto era el diseño de una nueva versión del Receptor Multicanal, ya desarrollado por Indra dentro del proyecto COINCIDENTE finalizado "Demostrador tecnológico de un Receptor ultra-rápido en la banda de comunicaciones". El nuevo sintonizador duplica el ancho de banda de análisis (de 20 a 40 MHz), y esto duplica a su vez, la probabilidad de interceptación de todo tipo de señales, en especial las de salto en frecuencia y las de espectro expandido.

El diseño del sintonizador comprende los preselectores, los filtros *antialiasing* y el resto de elementos de la cadena receptora, pero no incluye los osciladores locales, las tarjetas de control y las tarjetas de proceso digital (digitalizadores y procesadores de señal). Estos elementos serán desarrollados en un futuro para poder disponer de un sistema sintonizador completo.

Los resultados obtenidos son bastante satisfactorios. Además de la duplicación del ancho de banda instantáneo, se han conseguido las siguientes mejoras:

- Reducción de la potencia del primer oscilador local que se deriva hacia la entrada, gracias a la optimización de los apantallamientos, enrutados de líneas y distribución de masas, lo que permite alcanzar niveles inferiores al objetivo de –90 dBm.
- Reducción de la ROE (Relación de Onda Estacionaria) de entrada, gracias a la mejora en el trazado de pistas y cables semirrígidos, así como a un cuidadoso ajuste de los preselectores.

Este sintonizador tiene un amplio rango de aplicaciones, entre las que destacan la radiogoniometría de señales de Radiocomunicaciones y las aplicaciones ESM (*Electronic Support Measures*).

Proyectos COINCIDENTES finalizados: Prototipo de Radio Software TERSO

En diciembre del presente año 2007 ha finalizado el desarrollo del primer prototipo español de Radio Software basado en la arquitectura SCA (*Software communications Architecture*), el demostrador TERSO (*TErminal Radio SOftware*).

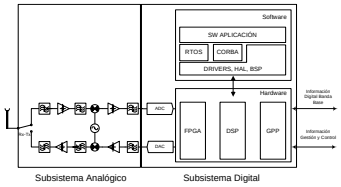
Enmarcado en el Programa COINCIDENTE, el demostrador TERSO comenzó en diciembre de 2005. Durante estos dos años, tanto Indra como el Ministerio de Defensa (a través del Polígono de Experiencias de Carabanchel - PEC) han trabajado juntos en la investigación de las tecnologías de Radio Software, las cuales están llamadas a revolucionar el ámbito de las comunicaciones tácticas militares a medio plazo.

Además, el prototipo TERSO se basa en la arquitectura SCA, estándar de facto para los sistemas de Radio Software en el ámbito militar, desarrollado por el DoD norteamericano para el programa JTRS (*Joint Tactical Radio System*).

El demostrador TERSO

El prototipo TERSO consta de dos subsistemas principales:

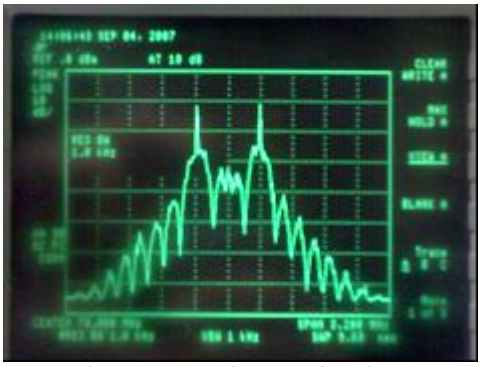
- Un subsistema de radiofrecuencia multimodo y multibanda que cubre la banda de interés para las comunicaciones tácticas militares (30 a 400 MHz), que, a través de un sintetizador de frecuencia diseñado y desarrollado para el proyecto, lleva las señales hasta frecuencia intermedia (FI), donde son digitalizadas y procesadas.
- Un subsistema digital, sobre el que se desarrolla fundamentalmente el concepto de Radio Software, y que está constituido por elementos de procesado de diversos niveles: FPGAs, DSPs y GPPs.



Sobre el subsistema digital se ha desarrollado e implementado el software de plataforma acorde con la SCA norteamericana. El *Operating*

Environment (OE) se encarga de gestionar toda la plataforma radio. Siguiendo la arquitectura SCA se han desarrollado los servicios y dispositivos necesarios para el control de la plataforma, la instanciación de formas de onda y su ejecución.

Por último, y para comprobar las prestaciones del prototipo desarrollado, se han implementado dos formas de onda de prueba acordes a la arquitectura SCA. Una de ellas, de banda estrecha y con salto en frecuencia, tiene como objetivo principal demostrar las capacidades del subsistema de radiofrecuencia desarrollado. La segunda, de banda ancha, es parametrizable, y según los valores elegidos para cada uno de los parámetros (índice de modulación, codificación de canal…) la tasa binaria disponible varía entre los 64kbps y los 1024kbps.



Los bloques de procesado empleados en ambas formas de onda para el procesado binario y la modulación / demodulación, se han basado en sistemas reales, por lo que aunque las formas de onda no son operativas, sus componentes pueden ser integrados en una forma de onda que sí lo sea, debido a la arquitectura modular desarrollada.

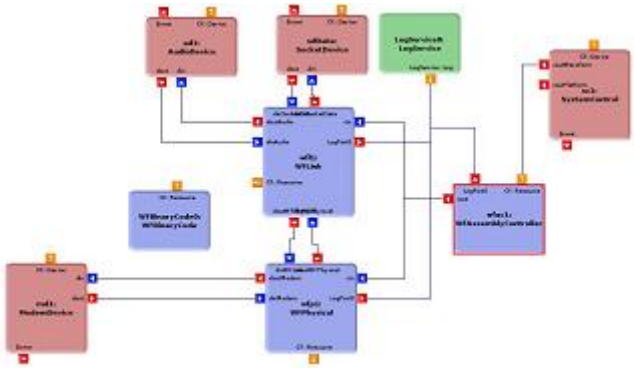
Avances logrados

Todos los elementos de ambos subsistemas han sido integrados en un mismo chasis compact PCI, para lo cual ha sido necesario fabricar una serie de placas de circuito impreso desarrolladas ex profeso para el proyecto. Tal ha sido el caso de algunas etapas de la cadena de RF y del sintetizador, elemento estrella del subsistema de radiofrecuencia.

El resto de componentes, sobre todo los que conforman la arquitectura digital, están basados en elementos comerciales (COTS), lo cual era uno de los objetivos del programa, y a su vez, una de las ventajas que proporciona el concepto de Radio Software. Además, éste es uno de los aspectos más relevantes del proyecto que acaba de finalizar. A diferencia de lo que ha ocurrido en proyectos de alcance similar en otros países, en los que el punto de partida ha sido adquirir una plataforma ya diseñada y cerrada sobre la que apenas existe posibilidad de transformar el software, y cuya funcionalidad principal es la de servir de plataforma para el desarrollo de formas de onda (como la plataforma SDR-3000 de Spectrum adquirida por Holanda y Alemania), o donde no existe conocimiento de la arquitectura subyacente por haber sido desarrollado exclusivamente por la empresa suministradora (caso de Francia), en el demostrador TERSO la arquitectura completa (desde la cadena de RF hasta el subsistema digital) ha sido diseñada desde el principio, componente a componente, entre Indra y el PEC, por lo que se ha tenido un gran conocimiento de la tecnología que subyace en de la arquitectura final resultante.

El hecho de haber construido la arquitectura desde nivel componente ha supuesto un reto para el programa, debido a la ardua tarea de integración de los diferentes elementos y herramientas involucradas en el proyecto. Finalmente se han conseguido fusionar los elementos de distintos fabricantes de hardware y software, disponiendo de un sistema totalmente integrado con un proceso de diseño, tanto de componentes de plataforma como de forma de onda, también integrado.

Otro de los aspectos destacables del proyecto TERSO ha sido la superación del problema de portabilidad establecido por la arquitectura SCA. La arquitectura SCA establece una estructura para la implementación de software portable, pero solamente si dicho software se ejecuta en elementos de procesado de alto nivel (GPPs). La arquitectura SCA 3.0 dio los primeros pasos para trasladar dicho concepto de portabilidad (nudo gordiano de la Radio Software, pero uno de sus principales objetivos) a los componentes reprogramables de bajo nivel (FPGAs y DSPs), pero el DoD norteamericano decidió finalmente retirar dicha versión, volviendo a la antigua 2.2 (que ha sido modernizada levemente como versión 2.2.2) donde no se habla de la portabilidad en componentes reprogramables.



En el programa TERSO se investigaron los mecanismos que permitieran establecer esta portabilidad, y a través de un sistema de canales de comunicación lógicos (independientes del HW), se ha conseguido extender el paradigma de la portabilidad a los elementos de procesado HW (DSPs y FPGAs). Esto ha permitido realizar componentes de software que sean reutilizables entre elementos de procesado HW del mismo tipo

y, si en la librería de componentes se dispone del código objeto desarrollado para otros elementos, la portabilidad se consigue también en tiempo de compilación para esos distintos componentes.

Con todo ello se ha conseguido que el software de forma de onda sea un único archivo de código objeto que tiene integrado los componentes software de los distintos elementos de proceso, y que en el momento de carga el software de plataforma de la forma de onda (*Operating Environment*) se encarga de distribuir, instanciar e inicializar.

Conclusiones

El prototipo TERSO constituye el primer desarrollo de Radio Software basado en la arquitectura SCA que se realiza íntegramente en España. El seguimiento que desde el principio se ha llevado del programa por parte del Ministerio de Defensa, DGAM, le ha permitido adquirir un amplio conocimiento en las tecnologías de Radio Software, situándose en la vanguardia tecnológica internacional, y ha servido como base para que la Radio Software sea considerada como uno de los elementos estratégicos para el desarrollo tecnológico de las FAS. Este conocimiento es básico dentro del Ministerio de Defensa para poder plantear el desarrollo nacional de sistemas de radios tácticas adaptadas a las necesidades nacionales y de cara a futuros programas de adquisición, y de ahí la importancia del programa. TERSO constituye así un elemento crucial en la estrategia en Radio Software que se puso en marcha con el lanzamiento de las actividades españolas en el programa MIDS-JTRS (en curso), y que se verá consolidada con el lanzamiento, el próximo año, del programa ESSOR.

Más información en el artículo "Programa ESSOR", publicado en el Boletín nº 16 del tercer trimestre de 2007, sección Actualidad Tecnológica, pág. 7.

Congreso Internacional sobre ANÁLISIS DE AGRESIVOS QUÍMICOS

El pasado mes de septiembre tuvo lugar en Finlandia el Congreso Internacional sobre análisis de agresivos de guerra química (*Chemical Warfare Agents-CWAs*), en el marco del décimo aniversario de la entrada en vigor de la Convención de Armas Químicas (*Chemical Weapons Convention-CWC*). Este Congreso, presidido por el Director General de la Organización para la Prohibición de Armas Químicas (OPCW), Rogelio Pfirter, ha sido organizado conjuntamente por la OPCW y el Laboratorio Finlandés de Verificación (VERIFIN). Los ponentes de las conferencias impartidas pertenecen a laboratorios designados por la OPCW o son especialistas de reconocido prestigio internacional en los campos de la Convención de Armas Químicas.

En este Congreso se ha hecho balance de las actividades realizadas y de los logros alcanzados por la OPCW en sus 10 años de existencia. Sus principales campos de trabajo son la verificación y destrucción de los arsenales de armamento químico, las inspecciones a industrias, el control de sustancias declaradas y el análisis de agresivos de guerra química. Por otro lado, se han descrito las perspectivas de futuro y los nuevos retos relacionados con las competencias de la OPCW.

Se han revisado los procedimientos recomendados de trabajo para el análisis de CWAs en matrices convencionales utilizados en los laboratorios designados por la OPCW, los cuales tienen que estar preparados para analizar la presencia de nuevas amenazas químicas. Esto provoca cambios en las necesidades analíticas de los laboratorio, ya que tienen que desarrollar nuevas metodologías de análisis frente a amenazas recientes como: nuevas toxinas de origen biológico, compuestos tóxicos industriales que puedan ser utilizados de modo criminal, agentes anestésicos como el fentanil (más potente que la morfina) o pesticidas del tipo carbamato con propiedades inhibidoras de acetilcolinesterasa.

Las matrices donde se pueden encontrar estos compuestos son muy variadas, desde muestras biomédicas hasta mezclas descontaminantes, pasando por bombas mixtas N, B ó Q, cenizas o material poroso. Todas estas matrices necesitan nuevos métodos de preparación que deben ser validados para comprobar su eficacia.

Al mismo tiempo, es necesario incorporar nuevas técnicas analíticas que sustituyan o complementen a las ya existentes para analizar estas muestras. Entre ellas destaca la cromatografía rápida, la cromatografía de interacción iónica (aplicada al estudio de toxinas paralizantes del marisco), la espectrometría de movilidad iónica (IMS), la ionización por desorción electrospray (DESI) y la cromatografía de gases o de líquidos con microchip en la interfase APCI-MS.

Durante el Congreso se presentó el laboratorio proyectable químico-biológico finlandés. Es un proyecto en el que participan diferentes organismos finlandeses como las Fuerzas de Defensa, el

VERIFIN, el Centro de Tratamiento Biológico, la Escuela de Defensa NBQ, la Autoridad Nacional Nuclear y el Instituto de Salud Ocupacional con el fin de dar servicio a diferentes amenazas como son los agentes de guerra química (CWCs) y biológica (BWCs), los compuestos tóxicos industriales (TICs) y los contaminantes del agua. El laboratorio está montado sobre el remolque de un camión y está divido en 2 compartimentos principales, uno para análisis químico y otro para análisis biológico. Este laboratorio dispone de diversos equipos de detección e identificación de BWAs, CWAs y TICs.

Finalmente, se destacó la importancia de la colaboración entre los laboratorios designados por la OPCW para hacer frente a las nuevas amenazas y el apoyo de los gobiernos en la política de no proliferación de armas químicas, para hacer alcanzar el objetivo final de conseguir la desaparición total de las armas químicas.

- Este artículo ha sido realizado por el Esther Gómez Caballero y Juan Manuel Moreno Sobrino, pertenecientes a la Unidad de Defensa Química de la FNM -

NANOTUBOS DE CARBONO: Aplicaciones

El pasado 26 de octubre, tuvo lugar en el INTA, una jornada científico-tecnológica llamada "Aplicaciones industriales de los nanotubos de carbono", con los objetivos de presentar los avances relativos a la producción de nanotubos de carbono (NTC), ofreciendo una panorámica actual sobre sus aplicaciones y presentando una prospectiva sobre el impacto de estos materiales en los diferentes sectores. A lo largo de la Jornada, se ofreció la visión de investigadores expertos y empresas de diferentes sectores que han introducido dicho avance tecnológico en sus procesos y productos. Las presentaciones realizadas fueron "Propiedades de los CNT", "¿Qué los hace interesantes?", "¿Cómo se obtienen los CNT?" y "Los CNT y su aplicación industrial", concluyendo con un debate.

La jornada fue organizada por el Círculo de Innovación en Materiales, Tecnología Aeroespacial y Nanotecnología (CIMTAN), formado por el Parque Científico de la Universidad Carlos III de Madrid y el Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA). Este círculo constituye una de las iniciativas de Madri+d dirigidas a fomentar la cooperación entre el entorno empresarial y el científico y a prestar servicios especializados de información científica y tecnológica.

Por otro lado, los expertos del CIMTAN han realizado un informe donde se analiza el potencial de aplicación de los nanotubos de carbono, sus resultados se presentaron en esta Jornada y se publicará en el marco de la colección de Informes de Vigilancia Tecnológica Madri+d.

ENLACES DE INTERÉS

E-Ciencia Buscador De Archivos Abiertos

Proyecto del programa de Cooperación interbibliotecaria entre la Comunidad de Madrid y el Consorcio Madroño, para crear una plataforma digital de acceso libre y abierto a la producción científica en la Comunidad de Madrid. Se ofrece a la comunidad científica la herramienta para contribuir a descubrir y transmitir el conocimiento a la sociedad. El proyecto está abierto a cualquier institución o investigador interesado.

http://www.madrimasd.org/informacionidi/e-ciencia/proyecto/default.asp

Newsletter Infodefensa.com

Página Web que publica semanalmente un boletín de información relacionada con el sector de la Defensa. En esta publicación se pueden encontrar noticias de interés y una agenda con eventos, ferias, etc.

http://www.infodefensa.com/principal/index.asp

NATO Research and Technology Organization Newsletter

Página de acceso al boletín que publica la Organización de Investigación y tecnología de la OTAN. Este boletín cubre todo el espectro de actividades llevadas a cabo en los Paneles de la Organización, reseñando los trabajos más recientes y relevantes.

www.rto.nato.int

INTEROPERABILIDAD EN GCS PARA UAS

La Interoperabilidad se define como la capacidad de los sistemas, unidades o fuerzas de proporcionar o recibir servicios de otros sistemas, unidades o fuerzas y utilizar los servicios intercambiados para facilitar una operación conjunta efectiva.

Este concepto adquiere especial relevancia cuando se aplica a la operación de los UASs *(Unmanned Air Systems*) en los diferentes teatros de operaciones donde estos sistemas están desplegados. La razón es que la introducción de un elevado número de UAS, de diferentes prestaciones y operados desde diferentes estaciones de tierra, incrementa considerablemente la dificultad de manejar y coordinar adecuadamente las operaciones, pues cada sistema es "cautivo" de su particular diseño, con su propio software y su propio Control de Misión.

El objetivo de la Interoperabilidad es que la introducción de un nuevo UAS en el teatro de operaciones no requiera un nuevo y diferenciado Control de Misión (MC) o Estación de Tierra (GCS – *Ground Control Station*), a la vez que facilite la integración del sistema UAS en redes externas C4I o NEC (*Network Enable Capability*). Se hace por tanto necesario un esfuerzo de normalización de determinados elementos que hagan del UAS un sistema "independiente" de los fabricantes de estos sistemas. Estos estándares afectan tanto a la transmisión de datos, mediante enlaces de datos (*Data Link*), como a su grabación y almacenamiento, así como a la propia arquitectura de la estación terrestre (GCS o MC).

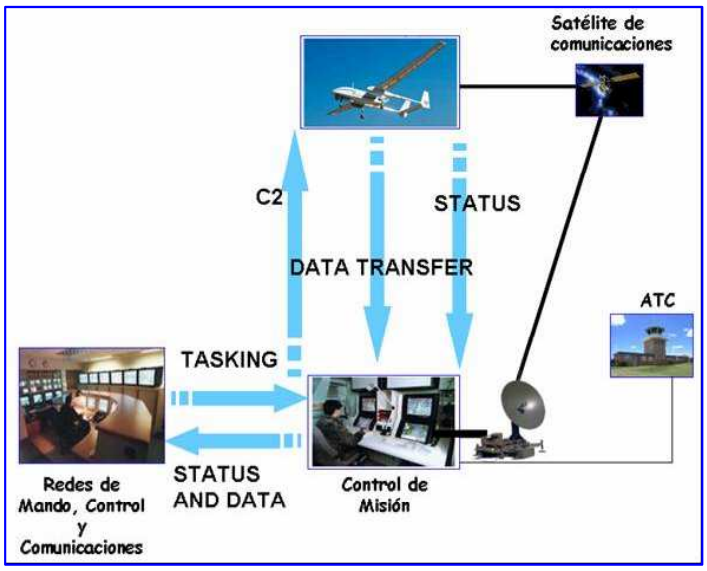


Figura 1. Enlaces entre UAS, estación terrestre y sistemas externos.

La Figura 1 muestra los enlaces básicos a mantener entre el UAS, la estación terrestre y los sistemas externos.

EL STANAG 4586

En 1996, la OTAN creó el NATO Industrial Advisory Group[1] (NIAG Sub Group 53) para analizar la Interoperabilidad de UAS. En 1999 comenzaron los trabajos para desarrollar un nuevo estándar, denominado STANAG 4586 "*Standard Interface of the Unmanned Control System (UCS) for NATO UAV Interoperability*".

Los estudios del NIAG concluyeron que el modo más efectivo de incrementar la interoperabilidad en UAS sería el desarrollo de un estándar que definiera una arquitectura funcional de alto nivel y las interfaces aplicables para cualquier modelo o tipo de UAS.

La idea es que la adquisición de plataformas pueda realizarse independientemente de la adquisición de otros subsistemas del UAS, como la estación de tierra (GCS), eliminando la relación de dependencia entre la estación terrestre y la plataforma, impuesta de un modo u otro por los fabricantes, ante la ausencia de una norma de obligado cumplimiento, como se pretende con este STANAG 4586.

El STANAG 4586 fue formalmente ratificado en 2002 y en su segunda edición promueve la interoperabilidad entre una o más estaciones de tierra, plataformas y sus cargas de pago, y la red de C4I. Para ello, define una serie de interfaces estándar, que son esencialmente juegos de mensajes de comunicación entre el vehículo, la estación en tierra y sistemas externos.

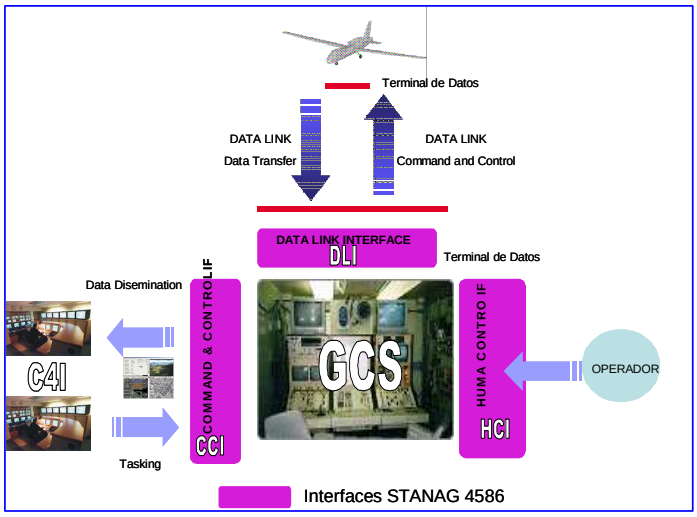


Figura 2. Normalización de interfaces.

El STANAG se centra en la normalización de las siguientes interfaces, como muestra la Figura 2:

- *Data Link Interface* (DLI) entre la estación de tierra y la plataforma aérea.
- *Command and Control Interface* (CCI) entre la estación de tierra y los sistemas externos C4I.

[1] *El NATO Industrial Advisory Group (NIAG), establecido en 1968, es un cuerpo consultores que proporciona asistencia al Conference of National Armaments Directors (CNAD).*

- *Human Control Interface* (HCI) entre la Estación de Tierra y los operadores del sistema.

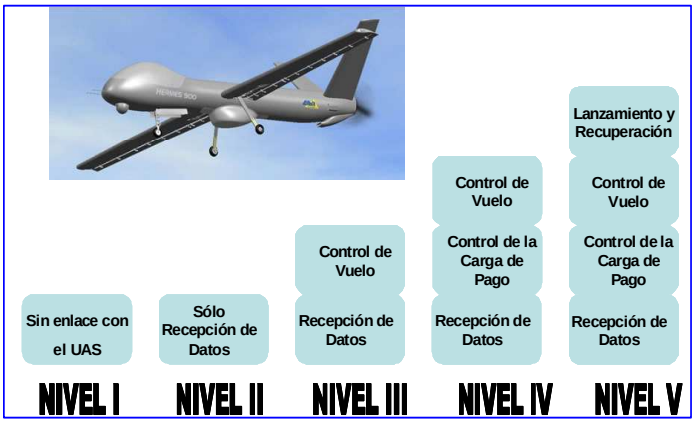


Figura 3. Niveles de interoperabilidad.

En el STANAG se proporciona una lista de juegos de mensajes genéricos para el DLI y el CCI, así como los parámetros de visualización del HCI, para diferentes niveles de "Interoperabilidad" (*Levels of Interoperability*-LOI), definidos en el estándar, como sigue:

- Nivel 1: Transmisión/Recepción indirecta de los datos proporcionados por la carga de pago.
- Nivel 2: Recepción directa de datos proporcionados por la carga de pago.
- Nivel 3: Control y supervisión de la carga de pago, adicionalmente a la recepción directa de datos.
- Nivel 4: Control y supervisión de la plataforma, excepto el sistema de lanzamiento y recuperación (LRS).
- Nivel 5: Control y supervisión del UAS, en nivel 4, más las funciones del LRS (*Lunch and Recovery System*).

Diversos sistemas actualmente en uso utilizan ya en sus GCS un software compatible con este STANAG, en diferentes LOI, como son el Silver Fox (Advanced Ceramics Research), Grasshopper (Xiphos), Firescout, Dragon Eye (USMC), Predator, Warrior/ERMP (General Atomics), Kingfisher (BAE Systems), Shadow y Pioneer (AAI) o el ScanEagle (Boeing Unmanned Systems).

OTROS STANAG DE INTEROPERABILIDAD

Aunque el STANAG 4586 se denomina "el STANAG de Interoperabilidad", no es el único que normaliza los enlaces de datos y los formatos de datos, entre plataformas (pilotadas o no) y estaciones en tierra.

Así, el NATO Air Force Armaments Group (NAFAG) creó a partir del Air Group (AG 4), el Joint Intelligence, Surveillance, and Reconnaissance Capability Group (JISRCG), con el objetivo de apoyar las actividades de Interoperabilidad entre sistemas ISR (*Intelligence, Surveillance, and Reconnaissance*) y la arquitectura NATO ISR *Interoperability Architecture* (NIIA).

En la tabla adjunta se resumen los STANAGs más significativos en relación a la Interoperabilidad desarrollados en el seno del NAFAG y del NATO Industrial Advisory Group (NIAG).

- Este artículo ha sido realizado por Jesús López Pino, Técnico del Observatorio de Robótica y UAVs (jloppi3@oc.mde.es). -

STANAG	DENOMINACIÓN	ÁREA DE INTERÉS
4586	Standard Interface of the Unmanned Control System (UCS) for NATO UAV Interoperability	Interfaces
4609	NATO Digital Motion Imagery Format	Imagery
4607	NATO Ground Moving Target Indicator Format (GMTIF)	MTI Data
4575	NATO Advanced Data Storage Interface (NADSI)	Advanced Data Storage
7085	NATO Interoperable data link for imaging systems	NATO Wideband ISR Data Link Standard
7023	NATO Primary Image Format	Imagery
4545	NATO Secondary Imagery Format (NSIF)	Imagery
4559	Imagery Data Base	Imagery Data Base
4660	Interoperable Command and Control Data Link for Unmanned Systems	C2 Data Link

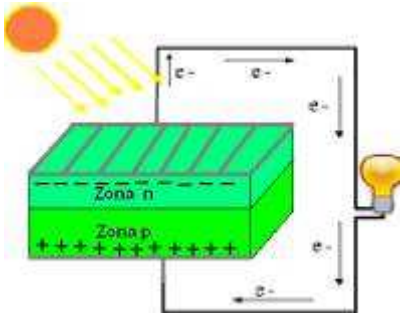
Tabla 1. Resumen STANAGs relacionados con interoperabilidad (NAFAG y NIAG).

TECNOLOGÍAS FOTOVOLTAICAS CON APLICACIÓN EN DEFENSA

En los últimos años, el aprovechamiento de la energía solar se ha situado como una de las fuentes energéticas renovables que mayor desarrollo está experimentando y con mayores expectativas tecnológicas. Cada año, la Tierra recibe cuatro mil veces más energía de la que consume, lo que indica el potencial que tiene tanto en aplicaciones comerciales como militares.

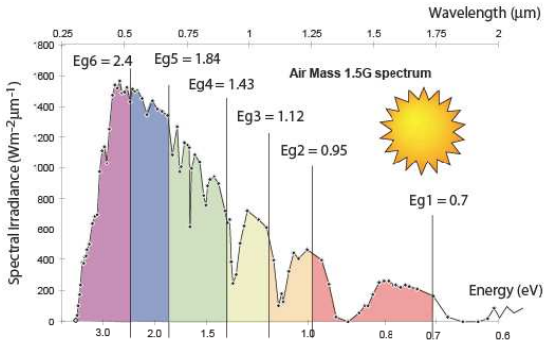
Las principales barreras que encuentran este tipo de energía, tienen relación con factores económicos que limitan su desarrollo a nivel nacional. Por otro lado, existen numerosas empresas con la tecnología y capacidad de fabricación necesaria dirigiendo sus esfuerzos hacia el aprovechamiento de las perspectivas de evolución del sector.

Físicamente, la conversión fotovoltaica se basa en el efecto fotoeléctrico. La célula solar es un dispositivo electrónico formado por materiales semiconductores, en cuyo interior se ha creado un campo eléctrico constante. De todo el espectro solar incidente sobre la célula, únicamente son aprovechables de manera eficiente los fotones de un rango energías determinado por características propias del material semiconductor del que esté hecha la célula. Los fotones absorbidos poseen la energía suficiente para excitar los electrones más superficiales de los átomos. El campo eléctrico existente en el interior de la célula crea una corriente eléctrica que se extrae de la misma por los contactos metálicos antes de que los electrones y los huecos se recombinen.



Las células solares normalmente se caracterizan por su eficiencia o porcentaje de la potencia luminosa incidente que es transformada en potencia eléctrica. Este valor depende tanto de características intrínsecas del material como del proceso tecnológico de producción. Hoy en día, los valores de los módulos solares de silicio que se comercializan oscilan entre un 15% y un 20%. Y, aunque el límite termodinámico teórico, para una célula constituida por un número infinito de materiales absorbentes del espectro solar bajo concentración máxima, alcanza una eficiencia del 86%, el estado del arte actual de la tecnología establece conversiones teóricas alcanzables en torno al 50%.

Las tecnologías existentes se diferencian principalmente en los materiales semiconductores empleados. Tecnológicamente, las células fotovoltaicas de silicio son las más extendidas. Existen, no obstante, otras células solares monocristalinas llamadas de multiunión o tandem (estructura semejante a varias células solares individuales de materiales diferentes apiladas), hechas de GaAs o materiales III-V relacionados, en configuración de lámina delgada, que absorben diferentes bandas de energía del espectro solar, logrando eficiencias superiores a un 25% en condiciones terrestres y un 40.7% en laboratorio con células triple unión metamórficas.



Otras células solares de lámina delgada abarcan materiales tan diversos como silicio policristalino y amorfo, CdTe y otros II-VI, $CuInSe_2$, de banda intermedia, orgánicas..., que aún presentan eficiencias muy bajas pero, o bien están todavía bajo investigación o bien compensan por los bajos costes de producción.

Para aumentar las eficiencias que se logran, dado que la radiación solar es dispersa, existe la opción de utilizar tecnologías de concentración basadas en elementos ópticos anidólicos (no formadores de imagen), que focalizan el haz sobre la célula. De este modo, se logran eficiencias mayores, con valores que dependen del tipo de célula empleada y, al mismo tiempo, se disminuyen costes al reemplazar grandes cantidades de material semiconductor por elementos ópticos significativamente más económicos.

En silicio se utilizan bajos valores de concentración, pero es en células multiunión dónde esta tecnología adquiere verdadero sentido, ya que su coste es de 50 a 100 veces más caras por unidad de área que las convencionales de silicio.

Aunque las células multiunión son la opción más atractiva, sus costes y la necesidad de incorporar seguidores solares (*tracking*) han ralentizado su implantación en el mercado. Sin embargo, en España ya se comienza a pasar del nivel de prototipos al de industrialización piloto con acciones como la que el nuevo Instituto de Sistemas Fotovoltaicos de Concentración (ISFOC) está llevando a cabo en Puertollano.

Desde el punto de vista militar, mantener el suministro de energía para equipos tácticos de las tropas (visores nocturnos, radio, sistemas de

navegación GPS,...) requiere una amplia logística, además de aumentar significativamente el peso que debe acarrear el soldado, dificultando el movimiento y aumentando su vulnerabilidad. Se convierte así en un objetivo de gran importancia buscar y asegurar la independencia y el autoabastecimiento energético de las tropas en muchas misiones.

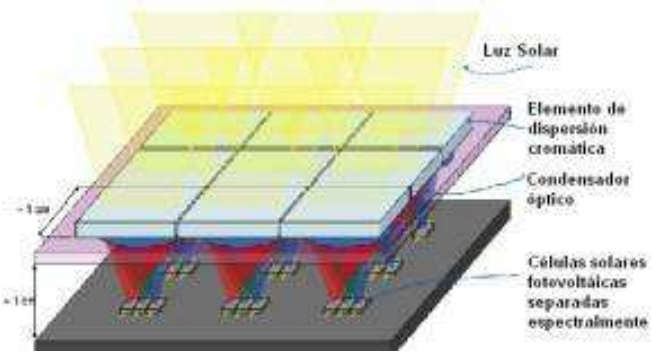
Existen diversas configuraciones comerciales desplegables adaptadas para misiones militares, con acceso limitado a la electricidad, que incorporan flexibilidad, bajo peso y durabilidad gracias a un soporte polimérico en el que van embebidas las células. Sin embargo, al tratarse de células solares de lámina delgada, los valores de eficiencia son bajos.

A finales del pasado año, según un comunicado de la Universidad de Delaware (EE.UU.), se alcanzó el 42.8% de eficiencia con un dispositivo fotovoltaico, dentro del proyecto VHESC (*Very High Efficiency Solar Cell*) financiado por la Agencia de Investigación de Proyectos Avanzados de Defensa (DARPA) de la Oficina Tecnológica Avanzada (ATO), en colaboración con la Oficina de Ciencias para la Defensa de Estados Unidos (DSO), que comenzó en Noviembre de 2005. Actualmente, el proyecto está en fase de transferencia tecnológica por parte del Consorcio DuPont-Universidad de Delaware (UD), con un presupuesto de 100 millones de dólares para lograr crear una línea tecnológica de producción piloto de 1.000 células de 10 cm^2 del 50% de eficiencia, que produzcan al menos 0.5W cada una, con una densidad de potencia solar incidente de 1 kw/m^2 y que se puedan incorporar en baterías portátiles para las tropas americanas. Este objetivo está previsto alcanzarlo hacia el 2010.

Hasta ahora las células de mayores eficiencias (monolíticas) sufrían problemas de apilamiento o "*stacking*", al estar conectadas en serie óptica y eléctricamente, debido a que la arquitectura vertical requiere que cada célula individual, diseñada para absorber un rango específico de los fotones del espectro, se crezca epitaxialmente sobre la anterior. Esto limita el número de materiales a utilizar porque en todos los casos hay que buscar aquellos que minimicen las tensiones en las intercaras.

Para solventar este problema el prototipo creado por la UD, sobre una plataforma de silicio, integra en el diseño un sistema de dispersión cromático tipo dicroico que redistribuye la luz en cada una de las células. Presenta, además, una arquitectura lateral de células que consiste en un *array* de pequeñas células colocadas una a continuación de otra, de manera que se pueda escoger la mejor combinación de nitruros del tipo InGaN para la célula que absorbe los fotones más energéticos, una *tandem* de GaInP/GaAs para la banda intermedia alta, GaInAsP/GaInAs o compuestos de Ge para la zona intermedia baja y silicio para los fotones menos energéticos.

Y aunque hay que remarcar que el uso de estas células no evitaría a las tropas la necesidad de llevar baterías de repuesto, sí reduciría el número de ellas a transportar. Así, por ejemplo, con una célula solar de 50% de eficiencia que generara 7w embebida en un dispositivo electrónico táctico de un consumo de 210w/h, sólo se necesitarían 4 baterías, ya que mientras una estuviera en funcionamiento las otras estarían recargándose bajo exposición solar diurna.



Junto con este proyecto, EE.UU. ha realizado diversas apuestas para asegurarse la supremacía en el uso de este tipo de tecnología. Este mismo año 2007, se han recogido las experiencias del proyecto que le concedió el Grupo de Generación de Energía Avanzada para el Espacio, del Laboratorio de Investigación del Ejército del Aire de Estados Unidos (AFRL) a la empresa United Solar Ovonic para la fabricación de *arrays* solares multiunión 3J sobre sustrato polimérico ultraligeros de aplicación espacial y aérea.

Así pues, la energía solar fotovoltaica se presenta como una opción con grandes posibilidades de desarrollo en general y, en particular, dentro del sector militar estratégico, con aplicación, junto con otras fuentes de energía, tanto en equipamiento del soldado, UAVs, bases militares, Cuarteles Generales, instalaciones o edificios del propio Ministerio, tanto por su potencial, como por el interés actual en la conservación del medio ambiente y el aprovechamiento de fuentes energéticas renovables.

NOTA: C.F. imágenes por orden de aparición: http://www.ee.udel.edu/~honsberg/Refs/50percent-hawaii.pdf, http://isfoc.unnica.com/, http://www.armytechnology.com/contractors/electrical/unatsolar/, http://www.ee.udel.edu/~honsberg/Refs/50percent-hawaii.pdf

- Este artículo ha sido realizado por Lorena Aragüete Riesco, técnico del Nodo Gestor, en colaboración con el Observatorio de Energía y Propulsión (lararie@oc.mde.es / elelag@oc.mde.es) -

Certificación de Aeronaves Militares Frente a Amenazas Electromagnéticas

Problemática Electromagnética en las Aeronaves

En las últimas décadas, en el concepto de los futuros sistemas aéreos de armas están apareciendo problemas emergentes que afectan directamente a la seguridad de vuelo y que podrían abortar una misión de guerra.

Estos problemas están relacionados con la protección frente a las amenazas electromagnéticas y van a ser uno de los retos tecnológicos más importantes en el diseño de aeronaves militares para los fabricantes en el futuro. La vulnerabilidad, cada vez mayor, a este tipo de fenómenos en las nuevas plataformas aéreas se debe fundamentalmente al:

- Uso extensivo de electrónica y de computadores embarcados con responsabilidad en la seguridad de vuelo.
- Introducción a gran escala de materiales compuestos avanzados en estructuras de responsabilidad primaria.
- La progresiva evolución al concepto de aeronave más eléctrica (*More Electrical Aircraft-MAE*).
- Aumento en la introducción de sistemas electrónicos de autodefensa.
- La evolución al futuro concepto de "sistema de sistemas", donde la estrategia militar estará basada en el control y gestión del espectro electromagnético frente a potenciales enemigos.

El escenario electromagnético de amenazas para una aeronave militar es muy complejo y variado. Unas amenazas son artificiales, creadas por el hombre, como por ejemplo las señales de radio difusión, señales de comunicaciones de navegación aérea, de televisión, de telefonía, radares y comunicaciones por satélite, entre otras. Dentro de las artificiales estarían las que son propias de un escenario militar, como una explosión nuclear donde la extraordinaria energía liberada produce un efecto no ionizante conocido como pulso electromagnético nuclear (*Nuclear Electromagnetic Pulse-NEMP*) y un efecto ionizante sobre la materia producido por los rayos gamma y neutrones generados en reacciones de fisión y fusión nuclear. Además debemos contar con las amenazas naturales sobre las que el hombre no puede actuar como son el campo magnético terrestre, tormentas eléctricas de rayos, descargas electrostáticas, ruido solar y cósmico entre otros, y con las que la aeronave convive durante toda su vida operativa.

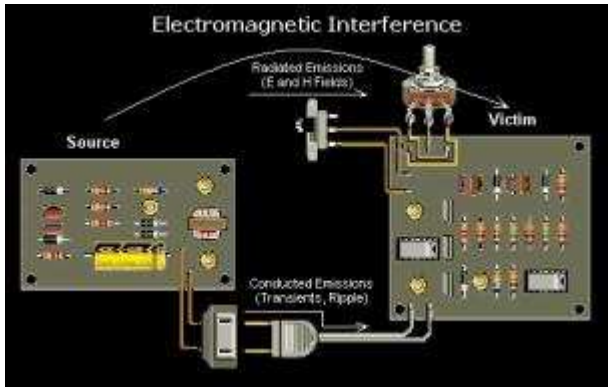
Todas las amenazas anteriores podrían interaccionar sobre la aeronave creando los denominados ambientes de contaminación electromagnética externa e interna de la aeronave, pudiendo causar efectos adversos sobre los sistemas eléctricos y electrónicos embarcados, e incluso dañando la estructura con riesgo para su seguridad de vuelo, si no se protege adecuadamente.

Diseño de las Protecciones Electromagnéticas en Aeronaves Militares de Última Generación

Desde el diseño hasta la calificación y certificación para el vuelo de una aeronave militar se debe garantizar su Compatibilidad Electromagnética (*Electromagnetic Compatibility*-EMC), que puede definirse como la capacidad de los sistemas eléctricos/electrónicos/electromecánicos integrados e instalados en una aeronave para operar electromagnéticamente en armonía, consigo mismo, con otros y en todas las condiciones y modos de funcionamiento dentro del escenario electromagnético de operación, garantizándose por tanto la seguridad de vuelo.

El problema del diseño de las protecciones se debe abordar en tres fases o niveles, según indican las buenas prácticas de diseño en ingeniería, para poder llegar a una protección integral de la aeronave. Estos tres niveles son:

- A nivel de circuitería electrónica de los equipos embarcados: selección de componentes, diseño placas base, etc.



- A nivel de equipo embarcado: carcasa de equipos, localización interna de placas base, filtros, etc.
- A nivel de aeronave como sistema completo: integración de equipos y sistemas, segregación de cableado, conexión a masa de equipos, etc.

En cuanto al apartado de aeronave como sistema completo, es conocido que en los fuselajes metálicos la corriente eléctrica y el calor se conducen fácilmente y también que un revestimiento de metal proporciona una buena atenuación o protección frente a campos de radiofrecuencia externos, circunstancia que no se da por sí sola en los fuselajes de materiales compuestos avanzados. Por lo tanto, una estructura de material compuesto impone una nueva filosofía para el diseño de la protección contra amenazas electromagnéticas, tanto frente a impacto de rayos como a campos radiados de alta intensidad externos a la aeronave (*High Intensity Radiated Fields-HIRF*).

Los materiales compuestos son lo suficientemente conductores para atraer la descarga del rayo, pero no poseen capacidad de transferir la energía acumulada en el proceso, por lo que se requieren nuevos conceptos de diseño. Actualmente las técnicas de protección electromagnética de estructuras en materiales compuestos, consisten en diversas clases de metalizaciones de las superficies externas, dependiendo de la zona a proteger, o bien en la instalación de conductores metálicos capaces de drenar la corriente y conducirla de manera controlada tanto para protecciones frente al impacto de rayos, como para garantizar la atenuación de interferencias electromagnéticas radiadas externas en algunas partes del fuselaje.

El funcionamiento óptimo de las metalizaciones, depende fundamentalmente, de la obtención de un buen contacto eléctrico entre elementos estructurales metálicos y no metálicos durante el montaje estructural de toda la aeronave. Esta no es tarea fácil ya que, incluso, hay que utilizar sellantes especiales aparte del tradicional remachado. Esto minimiza diferencias de potencial entre las diferentes partes conductoras de la aeronave con el fin de evitar interferencias conducidas y radiadas, evitar arcos eléctricos en zonas de combustible y favorecer el drenaje de carga electroestática. A los equipos embarcados se les debe garantizar una adecuada puesta a masa y a tierra a través de la estructura metálica del avión para su correcto funcionamiento.

No hay que olvidar el cumplimiento de requisitos TEMPEST para garantizar que no exista fuga en la información clasificada. En una aeronave militar hay intercambio de información de inteligencia de naturaleza eléctrica (conducida) o electromagnética (radiada) en forma de señales cifradas y no cifradas, que en caso de ser transmitidas ininterncionadamente y potencialmente capturadas por el enemigo podrían poner en riesgo una misión de guerra e incluso su seguridad. Tanto para el cumplimiento EMC como TEMPEST es esencial cuidar la segregación de cableado de señales eléctricas de diferente naturaleza en su rutado, así como su adecuada conectorización y puesta a masa de su pantalla.

Certificación de Tipo de una Aeronave Militar

Para la obtención del Certificado de Tipo para vuelo las autoridades aeronáuticas competentes, en el caso español el INTA (Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial), exigen al fabricante que verifique y valide que las protecciones electromagnéticas diseñadas funcionan adecuadamente en tierra, antes de vuelo, tanto para aeronaves de nuevo diseño como para aquellas que son modificadas. Para ello el fabricante se tiene que dotar de instalaciones que reproduzcan y simulen estas amenazas electromagnéticas en tierra y se pueda verificar sobre la aeronave el adecuado funcionamiento de la protección diseñada al mismo tiempo que se simula su vuelo en tierra. Estas instalaciones son muy caras y existe una tendencia en apoyar las evidencias obtenidas con herramientas de simulación y análisis computacionales que eviten ciertas inversiones al fabricante, en el caso de no estar justificado un plan de negocio para series limitadas de aeronaves. En la actualidad, lo normal son desarrollos de aeronaves mediante consorcios empresariales multinacionales en los que se comparte el proceso de certificación y por tanto las instalaciones de ensayo a nivel de aeronave.

Este proceso de certificación, mediante pruebas de ensayo, culminará proporcionando información de las limitaciones operacionales y márgenes de seguridad de la aeronave en los diferentes ambientes electromagnéticos de vuelo. Las pruebas de ensayo se dividen según el tipo de amenaza, el nivel de severidad a probar y si la aeronave está o no encendida durante la prueba. Así por tanto, se pueden simular en tierra todos los equipos y sistemas embarcados en una situación de vuelo real para monitorizar cualquier mal función o susceptibilidad que se pudiera dar.

Cada programa de desarrollo o modificación de una aeronave requerirá un Plan de Certificación, en el que se acuerda, con la autoridad aeronáutica competente, los modos de cumplimiento según la normativa aplicable y las evidencias de ensayos a aportar por el fabricante o solicitante del certificado de aeronavegabilidad. Por este motivo la ruta de certificación no es única en todas las aeronaves y dependerá de cada caso en particular.

A continuación se describen algunas de las pruebas de ensayo típicas de certificación EMC que son necesarias en la mayoría de programas militares a nivel aeronave:

- *Ensayo de Interoperabilidad (Systems Interaction Test*). Consiste en una prueba funcional de interoperabilidad de los equipos embarcados. Se sigue un procedimiento cruzado de activación de los equipos embarcados que son potenciales fuentes de ruido, tanto emisivas como cargas eléctricas, mientras se monitoriza su efecto sobre los demás equipos embarcados o la posible mal función de estos.

- *Medidas de Atenuación Fuselaje de 100MHz a 18 GHz*. Medida de atenuación del campo eléctrico externo radiado entre 100 MHz a 18 GHz a lo largo del fuselaje y en las bodegas de equipos con la aeronave totalmente apagada. Se obtienen los decibelios de protección que ofrece la estructura a los equipos embarcados.
- *Ensayos de Susceptibilidad Radiada o de HIRF (High Intensity Radiated Fields) 1MHz a 18 GHz.* Se somete la aeronave a un campo de radiofrecuencia externo de alta intensidad de campo eléctrico mientras que los sistemas y equipos embarcados se monitorizan para comprobar si sucede alguna mal función o disparo, no comandado, del armamento. El nivel de intensidad lo determinará el ambiente operacional esperable.

- *LLSC (Low Level Swept Coupling) 1 a 400 MHz*. Es una técnica indirecta a bajo nivel de campo eléctrico con la aeronave totalmente apagada en la que se radia en múltiples direcciones externas la aeronave. Con ella se obtiene la función de transferencia del campo eléctrico externo frente a la corriente inducida en el cable del equipo/s bajo prueba para un campo incidente de 1 V/m, siendo este el peor caso posible de acoplamiento de radiación externa sobre el cableado del avión.
- *Ensayos de Impacto de Rayos.* Los efectos del impacto de un rayo sobre la aeronave son por un lado, la inducción de pulsos sobre el cableado (denominados efectos indirectos) afectando a los equipos embarcados. Esto se puede simular en laboratorio mediante la inyección de corriente pulsada en el fuselaje mediante un generador, que es un gran condensador, llegando hasta niveles de intensidad 2.10^5 A (Amperios), mientras que se monitoriza la posible mal función de los equipos. El otro efecto, son los daños estructurales (denominados efectos directos) que no se simulan a nivel de aeronave sino a nivel de un espécimen de ensayo que es suficientemente representativo del elemento estructural a estudiar.
- *Ensayo de NEMP.* Se genera un pulso electromagnético radiado sobre la aeronave mientras se monitorizan la mal funciones en los equipos y sistemas de la aeronave.

- Este artículo ha sido realizado por el Bernardo A. Delicado, Ingeniero de EADS-CASA, experto en compatibilidad electromagnética en aeronaves (Bernardo.Delicado @eads.com) -

ARRAY EN SUSPENSIÓN: Aplicación en Detección de Toxinas de Interés para Defensa

La investigación biomédica ha evolucionado en los últimos años, desde el estudio de grupos de genes o proteínas, al conocimiento de la secuencia completa de los genomas y su significado. Esta evolución ha venido acompañada de aplicaciones que permiten el análisis funcional de genes desconocidos y otros relacionados con enfermedades, el cribado de nuevas drogas y el diagnóstico de agentes infecciosos o tóxicos. Estos avances no habrían sido posibles sin el desarrollo de una tecnología que facilitara el análisis biológico de genes y proteínas a gran escala. En este contexto se sitúan las plataformas de detección mediante *microarrays*, conocidos popularmente como "biochip". Su aplicación al estudio funcional del genoma, al permitir el análisis de la expresión de miles de genes de una muestra individual en un mismo ensayo, ha contribuido a mejorar el conocimiento de los perfiles de expresión en determinadas situaciones de activación o inhibición celular. Del mismo modo, esta misma tecnología puede ser utilizada en el estudio de las proteínas e interacción de las mismas, ya sea una enzima y su sustrato o un anticuerpo y el antígeno o hapteno con el que reacciona.

El diseño de los chips sobre superficies sólidas, habitualmente vidrio, permite la fabricación de ensayos con miles de puntos, constituidos por pequeñas secuencias de ácidos nucleicos o proteínas, y que suponen una diana para el elemento complementario contenido en la muestra que se pretende analizar. Esta tecnología permite el análisis simultáneo de miles de reacciones y ha sido muy útil en ensayos celulares, en los que la

diversidad de genes o proteínas es muy grande. Sin embargo, tiene la limitación de la falta de flexibilidad en la composición del *array,* ya que su proceso de manufactura es muy complejo y la identificación de la reacción se basa, no sólo en la detección, sino también en la posición ocupada por cada diana sobre la superficie reactiva.

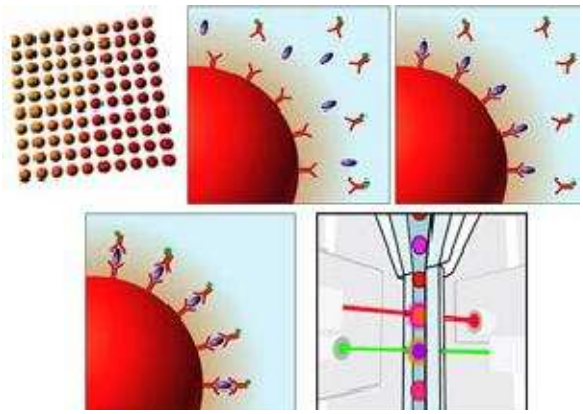


Figura 1. Ensayo de tipo "sándwich" con partículas de BioPlex® (BioRad) y su detección mediante citometría de flujo.

Una mayor versatilidad del *array* se consigue cuando la reacción se lleva a cabo sobre una microesfera, en lugar de un soporte sólido, y la lectura se realiza mediante un contador de partículas o citómetro de flujo. En este caso, cada microesfera portadora de una diana distinta es identificada por su marcado con diferentes moléculas fluorescentes. El sistema BioPlex, por ejemplo, utilizando la combinación de dos moléculas fluorescentes en diez concentraciones distintas de cada una de ellas, permite la lectura diferencial de cien microesferas. Este sistema permite adaptar el *array* a las necesidades del ensayo, de modo que se pueden detectar entre 1 y 100 dianas distintas, dependiendo del número de tipos de microesferas utilizados. Una vez mezcladas se convierten en un *"array* en suspensión*",* ya que la reacción tendrá lugar en el tubo que las contiene. Esta reacción se evidencia mediante un segundo marcador fluorescente, de modo que la lectura, mediante un láser, detectará la molécula que identifica la microesfera y otro láser hará lo propio con el marcador de la reacción (Figura 1). Este tipo de *"array* en suspensión*"* tiene la ventaja de, además de optimizar el número de moléculas detectables según las necesidades del ensayo, consigue una lectura con menos reacción de fondo, debido a la capacidad óptica de los detectores, que minimizan la señal fluorescente inespecífica.

Desde hace tres años, el grupo de la Unidad de Investigación del Hospital Universitario de Puerto Real, en la Universidad de Cádiz, viene colaborando con la Fabrica Nacional de la Marañosa, del Ministerio de Defensa, en el desarrollo de un *array* que permita la detección de toxinas biológicas y, más concretamente, micotoxinas en muestras biológicas y ambientales. En este proyecto participa también la Facultad de Veterinaria, de la Universidad Complutense de Madrid, y el Servicio de Inmunología del Instituto de Salud Carlos III, que han obtenido los anticuerpos monoclonales reactivos frente a micotoxinas. El ensayo puede detectar mediante un "*array* en suspensión" al menos siete micotoxinas, pero permitiría extender el panel de las toxinas detectables hasta cien y, en este caso, podrían ser incluidas otras toxinas de interés biológico, como botulínica o ricina, entre otras. Para ello, las microesferas llevan fijadas los anticuerpos monoclonales frente a las distintas toxinas y éstas son detectadas en la muestra mediante un ensayo competitivo con toxinas marcadas en el laboratorio.

La detección de algunas micotoxinas, como aflatoxina u ocratoxina, son de gran interés sanitario debido a que los hongos que las sintetizan pueden contaminar los alimentos y se requieren ensayos sensibles y específicos para su detección en granos de cereales o harinas. Debido a su importancia sanitaria este proyecto está cofinanciado por la Junta de Andalucía en su aplicación diagnóstica agroalimentaria.

Pero, sin duda, su aplicación diagnóstica más relevante lo constituye la detección en material biológico e inerte. El diseño del procedimiento permite obtener un ensayo muy rápido (inferior a una hora), automatizable y con una lectura que podría realizarse en equipamientos portátiles. Estas características le confieren especial importancia para el diagnóstico de las toxinas en el contexto de la defensa biológica.

- Este artículo ha sido realizado por Manuel A. Rodríguez Iglesias, Fátima Galán Sánchez y Francisco J. García Cózar, pertenecientes a la Unidad de Investigación del Hospital Universitario de Puerto Real, Universidad de Cádiz-

ADHESIVOS INDUSTRIALES: Introducción

El impulso más espectacular que experimentó el uso de adhesivos industriales fue provocado por las necesidades tecnológicas que planteó la industria armamentística durante la II Guerra Mundial. Posteriormente, el uso de adhesivos se introdujo en la industria de la automoción y actualmente, se están empezando a emplear con fines médicos.

Un adhesivo es una sustancia (generalmente de naturaleza polimérica) que aplicada entre la superficie de dos materiales, denominados sustratos o adherentes, permite una unión resistente a la separación de los mismos. En la interfase adhesivo-adherente tienen lugar interacciones físicas y químicas que se conocen como adhesión.

En el proceso de fabricación de estructuras, se llevan a cabo una serie de uniones entre los distintos elementos o subestructuras que las componen. Estas uniones pueden ser mecánicas (se realizan mediante remaches, tornillos, etc.) o encoladas (se realizan mediante adhesivos). El tipo de unión se

selecciona en función de los requisitos mecánicos de la estructura concreta, de los materiales de los elementos a unir, de las etapas previas y posteriores de la fabricación de las estructuras, etc.

El desarrollo tecnológico de los adhesivos se debe principalmente a una serie de ventajas que presentan las uniones encoladas con respecto a las mecánicas. Por un lado, este tipo de uniones son continuas y ofrecen una distribución más uniforme de esfuerzos, lo cual implica mayor rigidez y durabilidad a fatiga. Además, mediante uniones encoladas, se evita la fricción y las vibraciones en una estructura, los cambios estructurales, taladros o distorsiones de los sustratos que se suelen producir en una unión mecánica y los procesos de corrosión por formación de pilas galvánicas. También, es el modo más económico de unir materiales de distinta naturaleza.

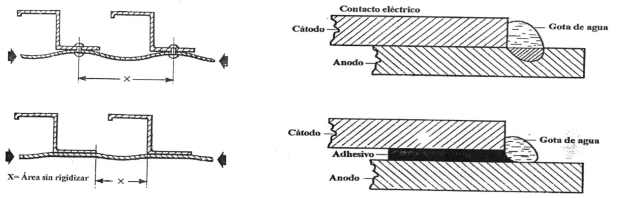


Figura 1. Izq.) Comparación unión adhesiva y unión remachada. La primera tiene un efecto rigidizador muy superior sobre la junta. Der.) La presencia de adhesivo evita la formación de una pila galvánica.

El empleo de adhesivos también implica una serie de inconvenientes, los cuales actualmente se tienden a minimizar. Las uniones encoladas requieren un proceso previo de preparación superficial (necesario para conseguir resultados fiables y duraderos). También, es necesario llevar a cabo un proceso de curado, lo cual conlleva tiempo y la aplicación de determinadas presiones y temperaturas. Otro problema que presentan las uniones encoladas es la carencia de métodos no destructivos de control de calidad de la unión, ya que sólo se puede apreciar la calidad del contacto. Las líneas actuales de investigación y desarrollo van dirigidas hacia la mejora de las familias adhesivas existentes más que hacia el descubrimiento de otras nuevas.

Adhesivos estructurales

Las condiciones bajo las que van a trabajar las estructuras determinan las exigencias que debe cumplir el adhesivo seleccionado. De acuerdo a los esfuerzos mecánicos a los que van a estar sometidos los adhesivos, éstos se pueden dividir en no estructurales y estructurales. Los *no estructurales* son aquéllos para los cuales la transferencia de carga no existe o no es importante y los *estructurales* son aquéllos que actúan como transmisores de las cargas de los adherentes.

El uso de adhesivos estructurales se pueden clasificar según su módulo de elasticidad:

- Los *adhesivos rígidos* presentan alta resistencia frente a esfuerzos normales o de cortadura y baja resistencia frente a esfuerzos de pelado y desgarro. Tienen mala resistencia frente a esfuerzos dinámicos y de impacto. Son soluciones válidas para elevadas cargas estáticas o durante un número corto de ciclos. Sólo soportan los efectos de cargas dinámicas o impactos si los sustratos no son excesivamente rígidos.
- Los *adhesivos tenaces* son resistentes frente a esfuerzos normales o de cortadura, de pelado y de desgarro y también lo son frente a esfuerzos dinámicos y de impacto. Soportan cargas inferiores que los adhesivos rígidos, por lo que necesitan áreas de adhesión algo mayores. Sin embargo, soportan los efectos de cargas dinámicas o impactos, incluso si los adherentes son muy rígidos. Mejoran también el rendimiento de los adhesivos rígidos frente a esfuerzos de pelado o desgarro.
- Los *adhesivos flexibles* presentan baja resistencia frente a esfuerzos normales o de cortadura y alta frente a esfuerzos de pelado y desgarro. Además, también son resistentes frente a esfuerzos dinámicos y de impacto. Estos adhesivos precisan áreas de adhesión más grandes.

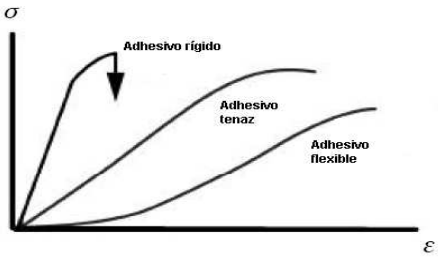


Figura 2. Diagramas de tensión-deformación para adhesivos con diferentes comportamientos mecánicos.

El uso de adhesivos está cada vez más extendido en la fabricación de estructuras dentro del sector aeronáutico, el de la construcción o el de la fabricación de automóviles. Esto es debido a que el encolado es el mejor método para llevar a cabo uniones en materiales compuestos de matriz polimérica y éstos, cada vez son más utilizados ya que aportan a los usuarios importantes ventajas gracias a sus propiedades, en particular, su ligereza y resistencia. Para Defensa, todo esto supone grandes avances en lo que se refiere a las comunicaciones y transporte, ya que se pueden fabricar plataformas de mayor envergadura y más rápidas, lo que supone una ahorro considerable en combustible y de tiempo.

Actualmente existen adhesivos para prácticamente cualquier tipo de aplicación, pero es importante recordar que el diseño de una unión adhesiva y la correspondiente selección del adhesivo dependen del tipo, forma, tamaño y grosor de los adherentes y que, en cualquier caso, el diseño adecuado de la unión adhesiva debe conseguir minimizar la propagación de fracturas.

- Este artículo ha sido realizado por Luis M. Requejo Morcillo, Técnico del Observatorio de Materiales (lmrequejo@isdefe.es)-

NUEVA TECNOLOGÍA: Nitruros Grupo III para la Detección de la Polarización de la Luz

La polarización es una característica relevante de la luz, de forma análoga a lo que representan el color y la intensidad. Su detección puede servir para extender las capacidades de los sensores ópticos convencionales en una gran variedad de aplicaciones. Por ejemplo, la detección de la polarización de la luz puede permitir un mejor reconocimiento de imágenes. Esto es debido a que el dominio de la polarización es ortogonal al dominio del color (definido por la longitud de onda de la luz) y, por tanto, aporta una información complementaria, útil para discriminar entre metales y dieléctricos, identificar contornos de imágenes, distinguir entre un objeto y el fondo o separar cuantitativamente reflexiones difusas de especulares.

Tradicionalmente, la detección de la polarización se ha usado como herramienta en estudios de cristalografía, óptica y astronomía. Sin embargo, los avances científicos han permitido que este campo se desarrolle hacia otras aplicaciones, entre las que destacan especialmente el almacenamiento magneto-óptico, la visión computerizada, la detección y el reconocimiento automático de objetivos, el reconocimiento de objetos, la inspección de daños en cascos de busques, la biología marina o las comunicaciones. Las aplicaciones de la detección de polarización de la luz en la detección y reconocimiento de objetivos son particularmente interesantes para Defensa, porque pueden emplearse para hacer inefectivo el uso de determinados camuflajes.

Es importante subrayar que el ojo humano carece de sensibilidad a la polarización, aunque algunos animales sí poseen esta propiedad. La visión humana es tridimensional en cada punto del espacio, donde dos dimensiones se pueden identificar con el color (tono y saturación), mientras que la restante se puede identificar con el brillo. Incorporando la percepción de la polarización se podría incrementar la capacidad fotométrica humana en dos dimensiones más. En cualquier caso, la visión de la polarización puede ser considerada una forma de visión alternativa o complementaria a la del color. Así, una forma natural de representar la visión de la polarización independientemente a la del color se basa en un esquema que asigna la medida de la polarización lineal parcial (o grado de polarización) en términos de la saturación de un tono, donde el tono viene dado por la fase de la polarización.

Dos principios físicos son básicos para entender el funcionamiento de la detección de la polarización de la luz y su posterior procesado [1]. El primero es que para luz incidente no polarizada, la reflexión especular tiene una polarización parcial distinta de cero, excepto para incidencia normal o rasante con el componente linealmente polarizado orientado perpendicular al plano de incidencia (el plano de incidencia se define en este caso como el plano determinado por la normal a la superficie definida por el punto de incidencia y la dirección de visión de dicho punto). El segundo es que la reflexión difusa procedente de superficies dieléctricas para la mayoría de los ángulos de visión está esencialmente no polarizada, llegando a estar parcialmente polarizada de forma significativa para ángulos mayores que 60º con respecto al ángulo entre la dirección de visión y la superficie normal. En este caso, la orientación del componente linealmente polarizado es paralela al plano de incidencia. Para superficies dieléctricas lisas este resultado se cumple para cualquier estado de polarización de la luz incidente.

Los parámetros genéricos que caracterizan un sistema de detección de polarización de la luz son su polarización parcial o grado de polarización (varía entre 0 y 1), la orientación de la polarización o fase (varía entre 0º y 180º), la intensidad de la luz y la elipticidad de la polarización. En la mayoría de los casos prácticos la luz suele estar parcialmente linealmente polarizada.

Se han propuesto y desarrollado diversos sistemas para construir detectores y cámaras de polarización usando filtros de polarización junto con sistemas mecánicos o cristales líquidos, por ejemplo. Desde el punto de vista tecnológico existen, no obstante, todavía muchas posibilidades de mejora (coste, campo de visión, longitud de onda de funcionamiento, …).

Recientemente un grupo de investigación alemán del Paul-Drude-Institut für Festkörperelektronik (PDI) (Berlín) propuso utilizar los nitruros del grupo III (fundamentalmente compuestos de [Al,Ga,In)N] para realizar detectores sensibles a la polarización de la luz [2]. La idea consiste en crecer el material heteroepitaxialmente en una orientación no polar que presenta asimetría cristalina y, en consecuencia, óptica, en el plano perpendicular a la dirección de crecimiento. El sustrato somete adicionalmente a la capa activa de nitruros a un esfuerzo anisótropo que incrementa el grado de anisotropía óptico del material. La anisotropía óptica se traduce en la práctica en birrefringencia y dicroísmo. El dicroísmo encontrado se observa a energías en torno al ancho de banda prohibida del material, dando lugar a una absorción sensible a la polarización en una región de aproximadamente 10 nm para luz incidente normal al plano del material. Variando la composición de la capa se puede conseguir fabricar un material con una respuesta sensible a la polarización sintonizable. Las propiedades de los nitruros los hacen adecuados para operar potencialmente en el rango espectral desde el infrarrojo (~1770 nm para el InN)

hasta el ultravioleta profundo (~200 nm para el AlN).

Hasta ahora, la mayor parte de los estudios de crecimiento y caracterización se han realizado en GaN, que presenta sensibilidad a la polarización en torno a 365 nm. Los resultados experimentales han mostrado un buen acuerdo con las predicciones teóricas [3]. Las medidas apuntan a contrastes de polarización tan altos como 100, mejores que los presentados por muchos polarizadores lineales comerciales de coste bajo o moderado.

Posteriormente, una colaboración entre el PDI y el Instituto de Sistemas Optoelectrónicos y Microtecnología (ISOM) de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM) resultó en la fabricación de los primeros detectores sensibles a la polarización basados en esta tecnología [4]. Estos primeros detectores presentan contrastes más bajos que los que se obtienen utilizando el material únicamente como filtro debido a diversos factores intrínsecos. Sin embargo, sus características son apropiadas para desarrollar la mayoría de las aplicaciones sin necesidad de recurrir al uso de elementos externos.

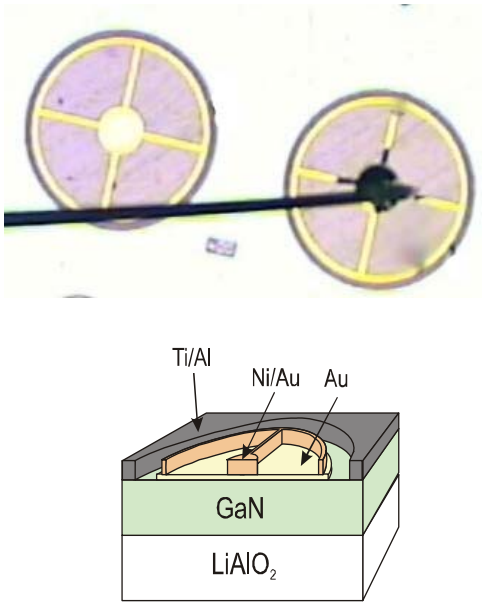


Figura 1. Detector fabricado por PDI / ICOM.

La Figura 1 muestra la visión frontal y lateral de uno de los detectores fabricados con este material. La estructura de los fotodiodos es de tipo barrera Schottky, donde el acceso de la luz al material se consigue a través de un contacto semitransparente. El anillo y la estructura en forma de cruz se depositan justo encima del semitransparente para facilitar la tarea de soldadura. Es importante mencionar que debido a las características del sustrato y al bajo espesor de las capas activas es conveniente emplear diseños de fotodiodos planares donde el contacto óhmico se deposita al mismo nivel que el contacto Schottky. Este proceso de fabricación es relativamente barato comparado con el de otros dispositivos más complejos.

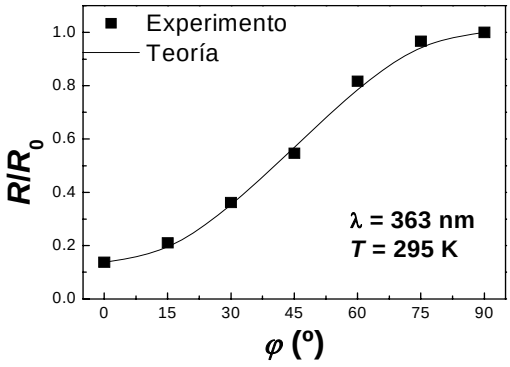


Figura 2. Dependencia de la fotocorriente con el ángulo de la polarización de la luz

La dependencia de la fotocorriente con el ángulo de polarización de la luz incidente mostrada en la Figura 2. resume el comportamiento de este tipo de detectores en la región espectral donde son sensibles a la polarización (en el caso del dispositivo de la figura el ancho de banda sensible a la polarización abarca ~7 nm). Se puede observar que la respuesta sigue una ley muy parecida a la esperada para un polarizador lineal ideal que filtra el componente ortogonal a la dirección de polarización. Los valores típicos de responsividad en los primeros detectores desarrollados rondan los 60 mA/W. Aunque este valor es ligeramente inferior al de otros detectores basados en nitruros para operación en el mismo rango espectral, el resultado es prometedor, si se tiene en cuenta que el material y la tecnología de fabricación no están optimizados. Por ejemplo, la responsividad debería aumentar cerca de un 50% recubriendo la zona activa con una capa antirreflectante. También, conviene hacer constar el hecho de que estos dispositivos se fabrican con capas activas de nitruros delgadas, donde la respuesta podría estar afectada por defectos generados cerca de la interfase del sustrato durante el crecimiento o donde la absorción podría ser incompleta. La razón de utilizar capas delgadas está en el control de la deformación, que refuerza la anisotropía óptica inherente del material en el plano perpendicular a la dirección de crecimiento. En este sentido, se han elaborado una serie de reglas de diseño que tienen en cuenta todos los aspectos tanto tecnológicos como teóricos con objeto de maximizar las características de los detectores. En términos de linealidad y velocidad estos dispositivos se asemejan a cualquier fotodiodo de barrera Schottky estándar. Por otra parte, desde un punto de vista eléctrico, estos detectores no requieren del uso de baterías o fuentes de alimentación externas, siendo más adecuado su uso en modo fotovoltaico.

Partiendo de las características de estos detectores, se ha propuesto un sistema de detección de

polarización de luz alternativo a los existentes [5]. Este sistema aprovecha el comportamiento descrito en la Figura 2. para realizar una detección diferencial, que permite extraer tanto la fase de la polarización como la amplitud. Además, modifica el contraste intrínseco de los dispositivos de forma que puede llegar a ser idealmente infinito para polarizaciones ortogonales. Una funcionalidad añadida presentada por este sistema no relacionada directamente con la polarización es la posibilidad de obtener una respuesta paso banda de banda estrecha. Esta propiedad tiene su aplicación en otras áreas, eliminando la necesidad de utilizar filtros interferenciales, por ejemplo.

A modo de resumen se puede evaluar esta nueva tecnología en función de los parámetros típicos de los detectores de dolarización, sin obviar las ventajas añadidas que ofrece:

- Cubre potencialmente el rango espectral de detección de polarización desde el infrarrojo hasta el ultravioleta profundo.
- Permite determinar la polarización parcial, la fase de la polarización y la intensidad de la luz incidente. En el esquema de detección usado, estos parámetros están limitados por la detectividad de los detectores individuales en lugar de por el contraste dado por el material empleado como filtro de polarización.
- Por las propiedades del material en la dirección fuera de plano, esta tecnología aumenta el campo de visión de los detectores. De hecho, sería posible extraer incluso el valor del componente de polarización fuera de plano (útil para detección en incidencia oblicua).
- La tecnología propuesta integra tanto el filtro como el detector de forma intrínseca. Esta propiedad se puede traducir en un menor coste y en una mayor densidad de integración.
- Una variante del mismo sistema de detección de polarización puede proporcionar una respuesta paso banda con banda de detección estrecha. Por tanto, se añade selectividad espectral al resto de características del sistema de detección. Esta propiedad es deseable en un gran número de aplicaciones.

Referencias

[1] L.B. Wolff *et al.* IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence (PAMI) 13, 635 (1991)
[2] Ghosh *et al.*, Appl. Phys. Lett. 81, 3380 (2002), y patente No. DE10228311, Inventores: H.T.Grahn y S. Ghosh
[3] Ghosh *et al.*, Phys. Rev. B 65, 075202 (2002)
[4] Rivera *et al.*, Appl. Phys. Lett. 88, 213507 (2006)
[5]*Rivera et al. Appl. Phys. Lett.* ***91,*** *19 Nov. 2007 (en prensa), y patente No. P200701926, Inventores: C. Rivera, E. Muñoz y H.T. Grahn*

- Este artículo ha sido realizado por Carlos Rivera de Lucas, Doctor Ingeniero en Telecomunicación, perteneciente al Instituto de Sistemas Optoelectrónicos y Microscopía (ISOM) (crivera@die.upm.es) -

AGENDA

3rd Annual Sensor Fusion Conference
Del 14 al 16 de enero, 2008. Ámsterdam (Holanda)
http://www.marcusevansdefense.com

Directed Energy Weapons 2008
Del 18 al 20 de enero, 2008. Londres (RU)
http://defenceiq.com/uk/dew3008/ediary

DGI Europe 2008. 4th Annual Defence And Pan-Government Gathering Of International Geospatial Intelligence Community
Del 21 al 24 de enero, 2008. Londres (RU)
http://www.dgieurope.com

Tactical Power Source Summit 2008
Del 28 al 30 de enero, 2008. Georgetown (EE.UU.)
http://www.idga.org/us/tacticalpower

International Calibration and Orientation Workshop EuroCOW 2008
Del 30 de enero al 1 de febrero, 2008. Castelldefels (España)
http://www.eurocow.org/

Field Management of Chemical and Biological Casualties Course
Del 11 al 15 de febrero, 2008. Aberdeen (RU)
https://ccc.apgea.army.mil/courses/in-house/brochureFCBC.htm

Tactical Data Links
Del 26 al 28 de febrero, 2008. Praga (República Checa)
http://www.iqpcevents.com

Trust in Information Technology – TRUST 2008
11 y 12 de marzo, 2008. Villach (Austria)
http://www.trust2008.eu

Defense+Security 2008
Del 16 al 20 de marzo, 2008 Orlando (EE.UU.)
http://spie.org/defense-security.xml

Chemical and Biological Medical Treatment Symposia
Del 13 al 18 de abril, 2008. Spiez Laboratory (Switzerland)
http://www.asanltr.com/cmts/cbmts/VII/CBMTSVII.htm

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