

Boletín

DE OBSERVACIÓN TECNOLÓGICA EN DEFENSA



SUBDIRECCIÓN GENERAL DE TECNOLOGÍA Y CENTROS
Boletín de Observación Tecnológica en Defensa nº 26 • 1er Trimestre de 2010

- **Radio Cognitiva**
- **RTO-HFM-180: el personal militar**
- **Proyecto AVIZOR**
- **Sistemas de imágenes basados en ondas milimétricas**

**Desarrollo de un analizador para
detección de agentes químicos:
Proyecto CANARIO**



Edita:



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

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

Director: CF Ing José María Riola Rodríguez. **Redacción:** Patricia López Vicente. **Consejo Editorial:** T.Col. Vicente Infante Oliveras, Cap. Aurelio Hinarejos Rojo, Oscar Jiménez Mateo. **Equipo de Redacción:** Nodo Gestor: Guillermo González Muñoz de Morales, David García Dolla, Sarah Marr; Observatorio de Armas, Municiones, Balística y Protección (OT AMBP): T.Col. CIP Nicolás Braojos López, Jorge Lega de Benito; Observatorio de Electrónica (OT ELEC): C.N. Ing. Arturo Montero García, Yolanda Benzi Rabazas, Fernando Iñigo Villacorta; Observatorio de Energía y Propulsión (OT ENEP): Héctor Criado de Pastors; Observatorio de Defensa NBQ (OT NBQ): T.Col. Alfredo Fernández López, Angélica Acuña Benito; Observatorio de Materiales (OT MAT): Cte. CIESO Jesús M. Aguilar Polo, Luis Requejo Morcillo; Observatorio de Óptica, Optrónica y Nanotecnología (OT OPTR): Ing. D. Fernando Márquez de Prado Urquía, Pedro Carda Barrio; Observatorio de UAVs, Robótica y Sistemas Aéreos (OT UAVs): Ing. D. José Ramón Sala Trigueros, Jesús López Pino; Observatorio de Sistemas Terrestres y Navales (OT STN): Col. CIP Manuel Engo Nogués, Juan Manuel Acero Gómez; Observatorio de Tecnologías de la Información, Comunicaciones y Simulación (OT TICS): Ing. D. Francisco Javier López Gómez, Fernando Cases Vega, Nuria Barrio Santamaría.

Portada: imagen celda multipaso, artículo "Desarrollo de un analizador para detección de agentes químicos (CANARIO),

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

Colaboraciones y suscripciones:
observatecno@oc.mde.es

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



CONTENIDOS

- 3 **Editorial**
- 4 **Actualidad**
- 4 **OTAN y Research and Technology Organization (OTAN-RTO)**
- 4 **Medalla al mérito científico para el OTAN-RTO-SET-077 sobre LADAR**
- 5 **Otras noticias**
- 5 **Jornadas de temáticas de la ETID**
- 6 **UNVEX'2010**
- 6 **Premio "Cosingo" en la Reunión Nacional de Óptica**
- 7 **Tecnologías Emergentes**
- 7 **RTO-HFM-180: el personal militar**
- 9 **DISCOTECH: un estudio de la EDA**
- 12 **Sistemas de suspensión semi-activa y activa**
- 14 **Proyecto AVIZOR**
- 16 **Sistemas de imágenes basados en ondas milimétricas**
- 18 **En profundidad**
- 18 **Radio cognitiva**
- 22 **Agenda**
- 23 **Desarrollo de un analizador para detección de agentes químicos (CANARIO)**

Innovación

Durante el comienzo de este año se viene repitiendo, en diversos foros, la palabra INNOVACIÓN como una de las herramientas clave para superar la actual crisis económica. Pero para innovar de forma eficiente y rentable se han de cumplir una serie de compromisos: por un lado la innovación debe estar orientada al usuario final (debe tener un posible “comprador”) y debe estar en continua adaptación (debe cambiar anticipándose a los cambios del “mercado”).

Estos planteamientos encajan de forma natural con el enfoque que lleva a cabo el Ministerio de Defensa en sus actividades de I+D, con una clara vocación de servicio para el usuario final, las Fuerza Armadas, buscando satisfacer sus necesidades actuales y futuras y el desarrollo de sus capacidades. De esta forma no sólo se avanza en el conocimiento, sino también en su aplicación a necesidades concretas.

Además, en esta misma línea se enmarca diferentes iniciativas en las que participa el MINISDEF, como los JIP (*Joint Investment Programmes*) de la EDA o el Programa COINCIDENTE de la DGAM, que promueven el acercamiento de universidades y OPIs a las empresas del sector de defensa, favoreciendo la transferencia tecnológica.

Y en especial, cabe destacar el desarrollo en la actualidad de una Estrategia de Tecnología e

Innovación en Defensa (ETID) que, partiendo de las aportaciones de los usuarios, empresas y organismos de investigación y universidades, permita ordenar y coordinar a todos los agentes nacionales involucrados en la innovación tecnológica de Defensa, priorizando las líneas de desarrollo tecnológico de mayor interés para nuestras FAS.

En esta misma línea pero fuera del Ministerio de Defensa, una de las últimas iniciativas presentadas recientemente ha sido el Plan de Innovación 2010 del Ministerio de Ciencia e Innovación (MICINN), que constituye una de las principales acciones de desarrollo de la Estrategia Estatal de Innovación. El enfoque conceptual del Plan pone el énfasis en los resultados de las actividades y fomentará la orientación a los mercados, principalmente internacionales.

Con iniciativas como la ETID o el Plan de Innovación se busca fortalecer el tejido tecnológico industrial nacional, haciéndolo más competitivo tanto en mercados exteriores como nacionales, potenciando para ello las capacidades de innovación y adaptación rápida a los cambios de las necesidades de los usuarios finales y promoviendo un acercamiento más efectivo entre el mundo de la industria y la investigación.

OTAN y Research and Technology Organization (OTAN-RTO)



Medalla al Mérito Científico para el OTAN-RTO-SET-077 sobre LADAR

Dr. José Díaz Caro, Indra

Desde los orígenes del Laboratorio de Ensayos del Centro de Investigación y Desarrollo de la Armada (CIDA), sus principales actividades han sido el diseño y desarrollo de técnicas y bancos de ensayo para la medida y verificación de los equipos de observación electroóptica de las Fuerzas Armadas y de otros organismos de la Administración. El Laboratorio de Ensayos del CIDA también ha participado en los ámbitos nacionales e internacionales de la metrología y tecnología aplicada a la evaluación de equipos de visión nocturna por intensificación de imagen, visión térmica, cámaras visibles, óptica y medidas medioambientales del entorno de la RTO (*Research and Technology Organisation*) de la OTAN, WEAG (*Western European Armaments Group*), y ahora en la EDA (*Agencia Europea de Defensa*).

Una de sus participaciones en la RTO



Fig. 1. Torre Rusell.

fue en el grupo RTO-SET-077 “*N-Dimensional Eye Safe Imaging LADAR*” (*LAser Detection And Ranging*), durante los cuatro años (2002-2007) que este grupo llevó a cabo sus actividades. Se realizaron pruebas de campo, análisis monográficos y una serie de informes sobre los aspectos críticos de la tecnología LADAR¹ segura al ojo para aplicaciones militares. Cabe destacar tres aspectos relevantes:

- 1) la demostración de la efectividad del LADAR coherente en presencia de atmósferas altamente turbulentas, así como la comparación en paralelo de tres técnicas para la caracterización de la turbulencia,
- 2) la difusión en el seno de la OTAN de las prometedoras capacidades del reconocimiento automático de blancos con LADAR y
- 3) el desarrollo de una base de datos LADAR disponible en el entorno de la OTAN a través de unas pruebas de campo de recolección de datos LADAR de una amplia variedad de blancos militares y civiles.

Las técnicas LADAR han pretendido explotar algunas de las dimensiones adicionales a la del apuntamiento preciso en acimut y elevación, como son la medida del rango y la medida Doppler, y han operado en variedad de modalidades, tanto coherentes como incoherentes. La selección espectral a través del empleo de determinadas o múltiples longitudes de onda o la explotación de los efectos de polarización son dimensiones adicionales en consideración.

Sin ser el objetivo esencial, también se ha pretendido que estos equipos trabajen en las potencias y longitudes de onda más seguras al ojo (en el rango espectral de 1,4 μm a 1,8 μm). Es obvio que los requisitos operativos de rango alcance, así como de multispectralidad, no han podido ser,

¹ Más información relacionada con los sistemas y técnicas LADAR se pueden consultar los Boletines Nº 2 y Nº 6.

en muchos casos, compatibles con este requisito.

Los expertos de este grupo han demostrado a través de unas pruebas de campo multinacionales, desarrolladas en el US Army Redstone Arsenal en Huntsville, las capacidades de los diferentes sistemas disponibles frente a multitud de blancos civiles y militares en entornos boscosos y urbanos. La toma de datos tuvo lugar desde la Torre Russell, un laboratorio situado a 100 m de altura con diferentes entornos de pruebas en sus alrededores. El resultado de las pruebas y el de otros ensayos forman parte de la base de datos compartida entre los participantes que se utiliza como fuente para la explotación de datos y procesado de imagen. Algunos de los desarrollos a través de las técnicas de procesado de imagen han sido la combinación de múltiples imágenes tomadas con diferentes sensores, el reconocimiento e identificación automática de blancos y la visualización 3D de las imágenes incluyendo la navegación relativa sobre las mismas.

Debido a la importancia de los trabajos realizados en el grupo RTO-SET-077 el 24 de septiembre de 2008 se le concedió un premio de la RTO de la OTAN al mérito científico. Los *Scientific Achievement Awards* se conceden a los grupos RTO cuyas contribuciones sobre ciencia y tecnología aplicada a la defensa hayan sido excepcionales.

Ese mismo año se concedió un premio al grupo RTO-SAS-060 “*Non Letal Weapons - Effectiveness Assessment Development and Verification Study*” en el que participó la Subdirección General de Tecnología y Centros (SDG TECEN) a través del Laboratorio Químico Central de Armamento (LQCA) y del Observatorio de Armamento, Munición, Balística y Protección (OT AMBP).²

² Más información en el Boletín Nº 20.

Otras noticias

Jornadas Temáticas de la ETID

Fernando Íñigo Villacorta y Rafael Zurita Lama, Grupo de Trabajo ETID

La innovación tecnológica juega un papel esencial para contribuir a disponer de unas FAS mejor dotadas y más eficaces. Mediante la investigación, la innovación y el desarrollo de nuevas tecnologías, las FAS dispondrán en el futuro de los sistemas militares más adecuados para satisfacer sus necesidades operativas, incluyendo aquellas capacidades no disponibles con las tecnologías actuales. La ETID trata de diseñar y definir instrumentos que desarrollen las líneas expuestas en el Plan a Largo Plazo de Armamento y Material, y que permitan llevar a cabo los objetivos de la política de Armamento y Material propuestos en el PDAM a través de un enfoque orientado a las capacidades militares.

Los pasados días 18, 19, 20 y 21 de enero de 2010 tuvieron lugar las jornadas de trabajo temáticas de la Estrategia de Tecnología e Innovación para la Defensa (ETID), organizadas por la Subdirección General de Tecnología y Centros (SDGTECEN) de la Dirección de Armamento y Material (DGAM).

Para la definición de la estrategia se ha considerado imprescindible contar con la opinión de todos los agentes implicados en la I+D de Defensa: personal operativo, industria, universidad y centros de investigación. Desde el convencimiento de que la participación de todos los agentes relacionados con la I+D de Defensa contribuya a mejorar la iniciativa, desde el mes de octubre de 2009 se encuentra en marcha una Web (www.etid.es) en la que se permite a los interesados participar en el desarrollo de la estrategia además de ser una herramienta de difusión de información.

Complementando la iniciativa a través de Internet, y dentro de las actividades programadas destinadas a la elaboración de la ETID, se organizaron estas jornadas con el objetivo de consolidar la información existente hasta ese momento, en particular aquella recogida a través de la página Web, y ampliar y facilitar el intercambio de opiniones y

Estrategia de Tecnología e Innovación para la Defensa Jornadas de trabajo temáticas

www.etid.es

18 - 21 de enero de 2010
Calle Arturo Soria, 289.
MADRID



Con la colaboración de:



comentarios sobre las metas planteadas.

Los contenidos y la dinámica de las jornadas de trabajo temáticas fueron especialmente diseñados y cuidados para recoger información de utilidad para la elaboración de la ETID, enfatizando en aquellos aspectos que provengan de la industria nacional de Defensa.

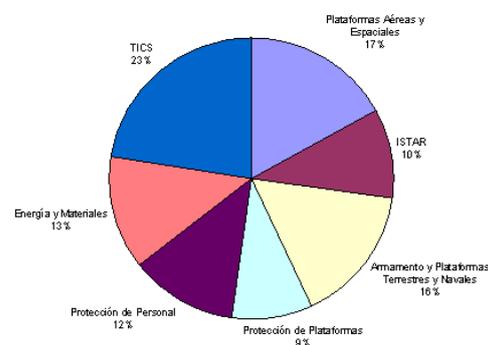
Desarrollo de las Jornadas

Las jornadas, distribuidas en siete sesiones temáticas (Plataformas Aéreas y Espaciales; ISTAR; Armamento, Plataformas Terrestres y Plataformas Navales; Protección de Plataformas; Protección de Personal; Energía y Materiales; y TICS), han contado con una gran afluencia de participantes, incluyendo representantes del Ministerio de Defensa, industria, organismos oficiales y academia.

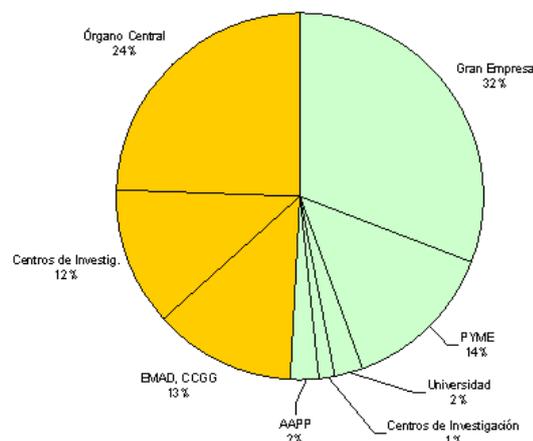
Cada una de las sesiones se dividió en dos bloques, exponiendo en primer lugar una panorámica de la ETID y sus

objetivos. Se repasaron los resultados y comentarios recibidos en la Web. Posteriormente, se presentaron las Líneas de Actuación Funcional, y el estado actual y retos futuros que inspiran las Metas Tecnológicas asociadas a cada Área de Actuación Funcional. Al final de cada sesión, se estableció un coloquio en el que los asistentes pudieron participar de manera activa.

El número total de asistentes ha sido de 205 personas, distribuidas (por sesiones) de la siguiente forma:



La distribución de participantes por categorías se recoge en la gráfica siguiente:



El resultado de las jornadas fue satisfactorio, cumpliéndose gran parte de los objetivos marcados y recogiendo información que servirá para mejorar el contenido de la ETID. Desde la SDGTECEN se continúa animando a todos los actores implicados a participar en la Estrategia de Tecnología e Innovación para la Defensa (ETID), ya que la opinión y criterio de dichos actores resulta imprescindible. www.etid.es

UNVEX'2010

Jesús López Pino, OT UAVs

Durante los días 2, 3 y 4 de marzo de 2010, organizadas por la empresa IDS y con la participación de diversos patrocinadores, se han desarrollado en Madrid (Hotel Auditorium) las Jornadas UNVEX10, sobre Sistemas No Tripulados.

Las jornadas, inauguradas por el Secretario de Estado para la Defensa, Constantino Méndez, y clausuradas por el Tte. General Jefe del MALOG, Juan A. del Castillo, han contado con una amplia representación de sector, tanto como asistentes (alrededor de 300 personas atendiendo a las diferentes ponencias) o conferenciantes, poniendo en contacto a los demandantes de estos sistemas, usuarios civiles o militares, fabricantes o integradores de sistemas, universidades, centros tecnológicos y diversas organizaciones españolas o europeas relacionadas.

Así, se han expuesto alrededor de 26 ponencias, que han reflejado el estado del arte en los sistemas no tripulados tanto en aplicaciones civiles como militares, los problemas asociados a su integración en el espacio aéreo, iniciativas y programas nacionales y europeos en el sector de los UAS, experiencias de usuarios, análisis del sector por las industrias nacionales relacionadas, etc.

Premio "Cosingo" en la Reunión Nacional de Óptica

Sergio Ortiz Egea, Área de Óptica y Optrónica - ITM

Sergio Ortiz Egea, investigador del Área de Óptica y Optrónica del Instituto Tecnológico de la Marañosa, ha sido galardonado con el Premio "Cosingo" por la presentación del mejor *paper* en el campo de la bio-óptica, color, visión e imagen en la 9ª Reunión Nacional de Óptica celebrada en Orense del 14 al 17 de septiembre del 2009. Este premio se ha concedido por la presentación del trabajo "Corrección de la distorsión óptica en sistemas de tomografía de coherencia óptica". El trabajo consistió en el desarrollo de dos dispositivos de tomografía de coherencia



Es de destacar la extensa representación del Ministerio de Defensa en las jornadas, con conferenciantes de los Estados Mayores de los tres ejércitos, la DGAM, la Guardia Civil y la UME.

Simultáneamente a las conferencias, algunas de las empresas desarrolladoras o integradoras, centros y universidades han podido exponer sus iniciativas y productos en los diferentes coloquios llevados a cabo, permitiendo, por otro lado, a más de treinta empresas

exponer sus productos en los diferentes stands de la amplia sala de exposiciones.

Estas jornadas UNVEX'10 han puesto de manifiesto, por un lado, la efervescencia de este prometedor subsector aeronáutico y por otro, las dificultades técnicas, operativas y normativas que se han de superar para avanzar en su consolidación.

óptica que permiten obtener una imagen 3D de muestras cuasi-transparentes. Los dispositivos fueron calibrados para obtener las primeras topografías e imágenes 3D cuantitativas de la córnea y del cristalino. Además, se realizó un nuevo sistema de trazado de rayos eficiente desde el punto de vista computacional que permite trabajar con superficies 3D obtenidas mediante dispositivos tomográficos y hace que se puedan realizar los cálculos requeridos en un corto espacio de tiempo.

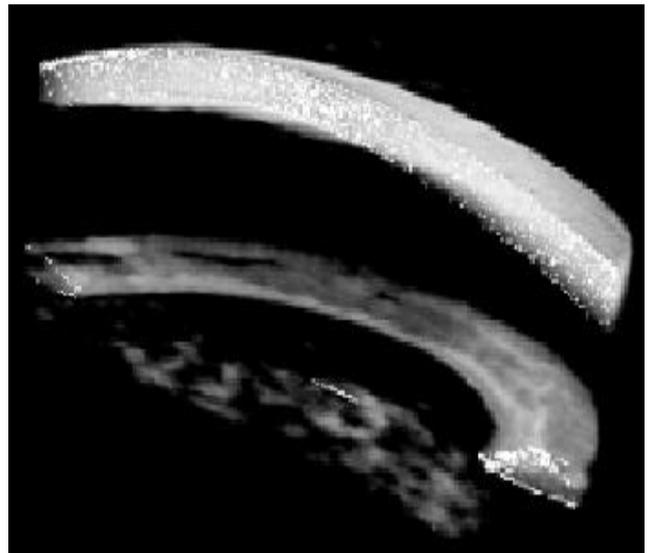


Fig. 1. Corte transversal de córnea humana.

Tecnologías emergentes

RTO-HFM-180: el Personal Militar

Cte. José María Puente Ontanilla,
IGESAN

More and more frequently, the armed forces throughout most of the world are experiencing problems in filling certain vacancies, or in specific specialist areas. The armed forces must concentrate on retaining current personnel.

In an effort to solve the personnel problem the armed forces face, and to add depth to the reasons that drive people to enter or leave the Armed Forces, the NATO RTO formed the working group HFM. (107/RTG) to study "Recruitment and Retention of Military Personnel." Many countries participate in this group, including Spain.

The work carried out by this group is shaped in a series of articles, collected and published in a manual relating to the recruitment and retention of military personnel. This manual can be consulted on the Web page of the RTA (<http://www.rta.nato.int/>)

Es un hecho cada vez más frecuente que las fuerzas armadas de la mayoría de los países experimenten problemas para completar sus plantillas, en especial en determinados puestos o especialidades. La actual crisis económica generalizada supone un paréntesis temporal a este problema. Superada esta, los esfuerzos deberán centrarse prioritariamente en evitar que el personal captado (con un menor esfuerzo en estos momentos) comience de nuevo a abandonar la organización militar porque considere que no se satisfacen adecuadamente sus necesidades.

En un esfuerzo por solucionar estos problemas y profundizar en los motivos que impulsan a las personas a ingresar en las fuerzas armadas o a abandonarlas, se constituyó el grupo de trabajo RTO/HFM 107/RTG 034 sobre "Reclutamiento y Retención de Personal Militar", al que se adhirieron representantes de diversos países, entre ellos España. El trabajo realizado por el grupo se plasmó en una serie de ar-

tículos recogidos en un manual sobre reclutamiento y retención de personal militar que puede consultarse en la página web de la RTA (<http://www.rta.nato.int/>). El documento recoge artículos sobre las principales variables que explican el reclutamiento y la retención, sendos modelos teóricos sobre reclutamiento y retención respectivamente, informes sobre las estrategias nacionales para hacer frente a los problemas en dichas áreas y finalmente una base de datos sobre la investigación en dicho campo. El trabajo se enriqueció con la información recogida en el simposio celebrado en Bruselas en 2004 en el contexto de la reunión anual de la IMTA (*International Military Testing Association*).

La investigación en esta área ha puesto de manifiesto una serie de factores que pueden influir en mayor o menor medida tanto en el reclutamiento como en la retención y que permiten explicar los problemas y a la vez orientar la solución a los mismos. ¿Cuáles son esos factores? El grupo contempla los siguientes 10 factores o áreas.

1. El contrato psicológico
2. Las consecuencias a corto plazo de la información durante el reclutamiento y la selección
3. La gestión del reclutamiento, la se-

lección y la clasificación del personal.

4. Los valores.
5. Diferencias individuales y bajas tardías.
6. La transición.
7. Tiempo y frecuencia alejados del destino habitual.
8. El sueldo y las prestaciones.
9. Sexo y minorías.
10. La publicidad y el marketing en reclutamiento.

Los modelos de reclutamiento y retención tratan de determinar el grado de implicación de una serie de variables en ambos procesos y el tipo de relación que guardan entre sí. En el modelo de reclutamiento se distingue entre variables predictoras y variables resultado. Las primeras pueden ser de tipo organizativo (las fuentes de información y las características de la organización como el sueldo o las oportunidades de formación) o individuales (como la familiaridad, las expectativas, la percepción de ajuste o la imagen de la organización). La variable resultado última es la búsqueda de empleo, que normalmente es precedida por actitudes y por la intención de buscar empleo. La relación entre predictores y resultados está mediatizada por una serie de variables moderadoras, como los valores, las necesidades, la personalidad o la autoeficacia. Como su



tecnologías emergentes

propio nombre indica, dichas variables moderan o modulan el efecto de las variables antecedentes (independientes) en las variables consecuentes (dependientes).

El modelo de retención incluye igualmente distintos tipos de variables que difieren en el grado de influencia que ejercen en el proceso de retención. Dicho modelo aborda la toma de decisiones que supone el proceso de abandono de una organización, con un especial énfasis en las actitudes. Distingue entre factores distales (características del puesto y de la organización y percepción de alternativas laborales), intermedios (ajuste persona-organización, calidad de vida o actitudes laborales) y proximales (intención de abandono, desempleo, sucesos vitales críticos). Según los estudios, los aspectos que determinan en mayor medida el abandono (la baja) son la percepción de la calidad de vida, la congruencia de los valores (de la persona y de la organización), la satisfacción y el compromiso. De ahí lo importante que es insistir en que las organizaciones sondeen periódicamente las actitudes de sus miembros (sobre todo la satisfacción y el compromiso), antes de que el deterioro de las mismas desencadene pensamientos de abandono o la decisión de abandonar la organización.

Este modelo teórico se está validando en Bélgica y en Holanda, proceso que

podría ponerse en marcha también en España.

Durante el mes de octubre de 2009 se ha impartido el curso técnico de la RTO "Estrategias para abordar distintos aspectos del reclutamiento y la retención en las Fuerzas Armadas", con el propósito de divulgar de un modo más directo y práctico las conclusiones a las que llegó el grupo de trabajo, utilizando como base los materiales producidos por el mismo. Cinco ponentes (entre ellos el representante español, autor de estas líneas) impartieron el *Technical Course* HFM-180 en Ottawa, Ámsterdam y Ankara, dos días en cada país. Asistió personal militar con responsabilidades en la gestión de personal, particularmente en asuntos de reclutamiento, así como personal investigador.

El curso técnico propuso una serie de recomendaciones para mejorar la práctica del reclutamiento y la retención. Por ejemplo, en lo que atañe al reclutamiento se sugirió la conveniencia de seleccionar captadores que posean un elevado grado de conocimiento de la institución (lo que permitiría que la información que se transmita sea la más adecuada y precisa), con una orientación al cliente y una formación específica. Igualmente se considera importante que la información publicitaria sea realista, lo que redundaría en la reducción de las bajas tempranas, así como implicar a todo el personal en el reclutamiento.

Con respecto al contrato psicológico se recomienda dejar en todo momento canales de comunicación abiertos, con el fin de que el personal militar pueda transmitir las posibles quejas antes de que el malestar acabe en consecuencias indeseables. Esta consideración se vuelve vital durante los despliegues. Por otra parte es muy importante potenciar los valores, componente esencial del ajuste de la persona a la organización y uno de los pilares del compromiso (sobre todo afectivo), cuya ausencia contribuye a fenómenos como el absentismo y los pensamientos de abandono y al abandono propiamente dicho.

Se sabe que los efectos de los despliegues sobre la calidad de vida y la retención varían en función del grado de hostilidad, la duración y la frecuencia de los mismos, por lo que habrá que manejar adecuadamente estos aspectos si se quieren evitar consecuencias negativas. Finalmente, hay otras un grupo de variables que juegan igualmente un papel importante en la retención militar, como el incumplimiento de las expectativas, la conciliación trabajo-familia, las actitudes laborales (sobre todo la satisfacción y el compromiso) y el ajuste de la persona al entorno (la organización militar).

Para más información contacten con: Cte. José María Puente Ontanilla (impunteo@oc.mde.es)



DISCOTECH: un estudio de la EDA

Germán Vergara Ogando, SDG TECEN, Coordinador Nacional CapTech IAP 01

Electronics is an enabling technology for increasing functionality and hence military system capacity and capability. One may even say that electronics is THE enabling technology. However, electronics is largely based on the use of COTS technologies and functions with issues such as availability on technical grounds, availability on globalization grounds and availability on political grounds.

The DISCOTECH project has analyzed the possible developments of COTS components and has tried to carry out a forecast with two time horizons: 10 and 20 years ahead. These forecasts pay particular attention to the trends for industrial localization out of Europe, which is believed to be becoming critical in many areas. Although Asia will continue to increase its share of both global production and development of electronic components, the USA is, however, expected to remain the global leader in defence electronics throughout the period of the study.

The scenarios for COTS developments were then compared to the needs of the military user of today and a forecasted need 10 years ahead. This analysis permitted estimations of possible technical gaps where European Ministries of Defence could

contribute research and development funding to maintain European freedom to choose the supplier of technical solutions from domestic suppliers.

To undertake the COTS forecast, as well as the subsequent gap analysis, the technical scope of IAP1 was divided into 7 technical domains, with associated working groups. The DISCOTECH project outlines these issues and proposes answers regarding the questions posed above, for these 7 domains of electronic and photonic components: Optics – Photonics and Opto– Electronics, Microwave and RF, Digital Data Processing and Data Communication Protocols, Mixed Signal Analogue & Digital, Power Supply and Energy Management, Sensors and Smart Actuating devices, and Transversal topics.

DISCOTECH es uno de esos acrónimos curiosos que de vez en cuando es posible encontrar en los foros internacionales. Corresponde al estudio *DISruptive COTS TECHnologies in the information technology area* financiado por la Agencia de Defensa Europea (EDA) dentro del CapTech IAP 01 dedicado a Componentes. Antes de meternos en materia, merece la pena hacer algo de historia para comprender mejor los objetivos del estudio, dedicado a prever los desarrollos técnicos en componentes electrónicos durante los próximos 10-20 años que aseguren la disponibilidad de los mismos y que ayuden a mejorar las prestaciones de los futuros sistemas militares. DISCOTECH se mueve, por tanto, en el terreno del

desarrollo de la base tecnológica, en lo que se ha dado en llamar una aproximación "bottom-up / technology push".

El CapTech IAP 01 es uno de los pocos casos en que al realizar la transición de los antiguas CEPAs (*Common European Priority Areas*) del GAEO a la estructura de CapTechs de la EDA, la comunidad existente y establecida en el GAEO permaneció sin cambios importantes. Muchos de los participantes en la CEPA 2, dedicada a microelectrónica, así como sus modos de hacer, pasaron a formar parte del IAP 01. Ello facilitó una cierta continuidad en todas las actividades del grupo y permitió también que este CapTech heredara una filosofía en la que predomina el desarrollo de actividades y proyectos que se mueven en TRLs (*Technology Readiness Level*) bajos debido, sobre todo, a que sus competencias están orientadas al desarrollo de componentes. El CapTech IAP 01 no sólo heredó de la CEPA 2 el grupo de expertos y la filosofía, sino las tareas de prospectiva. Poco antes de desaparecer, la CEPA 2 había elaborado el denominado Libro Blanco, un excelente y reconocido trabajo de prospectiva que ha sido la base y el punto de partida del estudio DISCOTECH.

El proyecto DISCOTECH comenzó a principios de 2008 y los últimos documentos y conclusiones fueron entregados a la EDA en Junio de 2009. Un Consorcio liderado por THALES (TAS) y formado por las empresas más importantes de Europa en el sector de la electrónica para sistemas de defensa

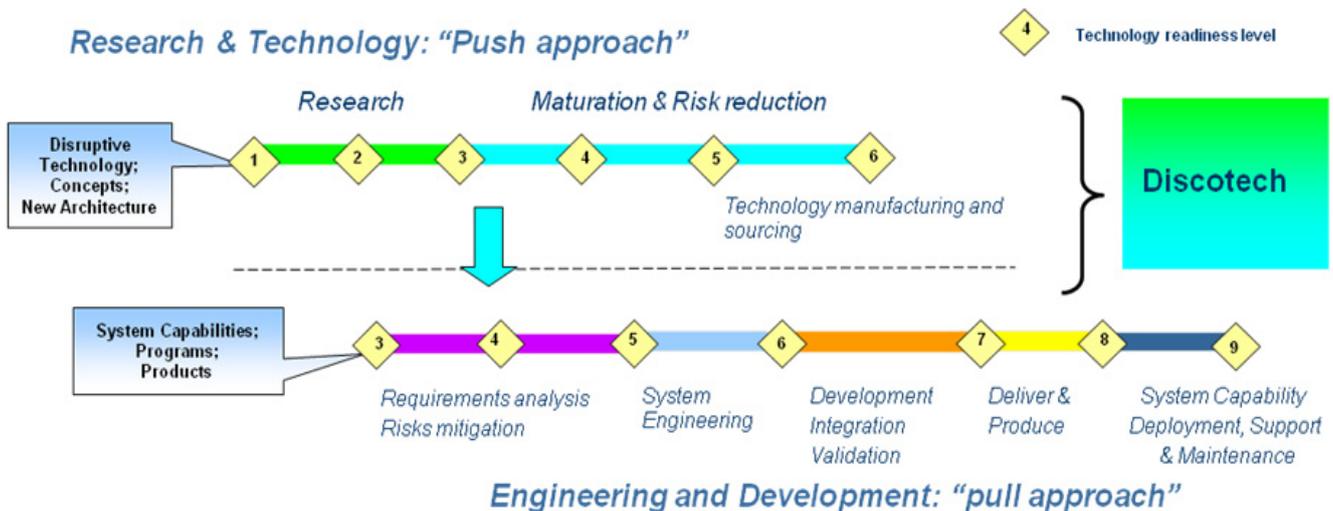
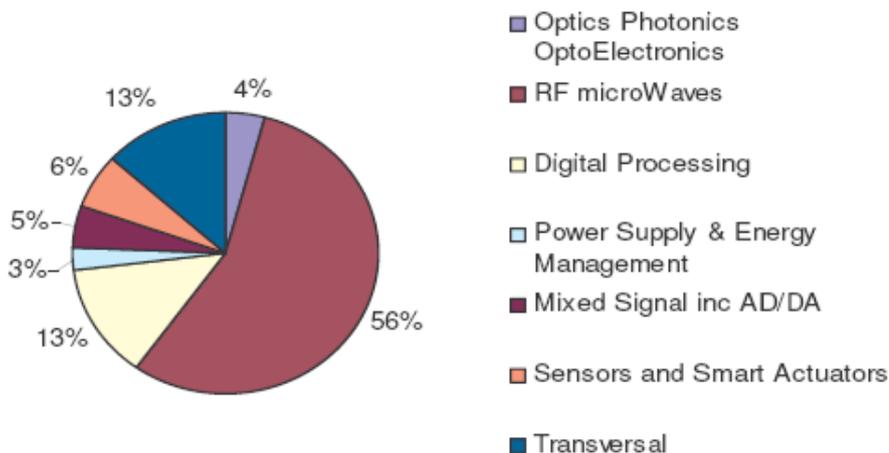


Fig. 1. DISCOTECH se mueve en TRLs bajos, siguiendo una aproximación del tipo "bottom / up".

tecnologías emergentes

Distribution of the effort (M€) over Discotech Technical Domains



fue el beneficiario del encargo. Se trataba de estudiar hasta donde llegarán las prestaciones de los COTS en un periodo de tiempo de 10-20 años, donde no llegarán (identificar vacíos tecnológicos, *gaps*) y proponer hojas de ruta que permitan que, en el futuro, las prestaciones de los componentes sean las adecuadas para satisfacer los requisitos de los sistemas militares y estén disponibles en tiempo para su inclusión en los mismos. Para quien no esté familiarizado con el acrónimo cabe decir que COTS es el término usado para definir todo tipo de software y hardware disponible y listo para su comercialización, cesión o licencia al público en general.

Los objetivos marcados por la EDA para el proyecto DISCOTECH fueron:

- Prever el desarrollo futuro de los COTS. Hasta donde llegarán sus prestaciones.
- Identificar áreas donde las prestaciones futuras de los COTS no alcanzarán las necesidades militares requeridas. Vacíos tecnológicos.
- Establecer hojas de ruta que ayuden a focalizar la inversión en el desarrollo de componentes de uso militar.

Estos objetivos deberían cubrirse para siete dominios. Todos ellos dentro del Área de la Tecnologías de la Informática:

- Óptica / fotónica / optoelectrónica.
- Microondas / RF.
- Procesado digital / protocolos de comunicación de datos.
- Mezclado de señal analógica / digital.

- Fuentes de potencia / Gestión de energía.
- Sensores / Actuadores.
- Tecnologías Transversales (Empaquetados, Gestión de calor, Fiabilidad etc.)

Análisis y Resultados

El análisis por dominios resulta muy interesante. En el mismo se identifican y concluyen los siguientes puntos de interés:

- Óptica /Fotónica / Optoelectrónica:
 - En general las tecnologías electro-ópticas (EO) seguirán reduciendo su precio gracias al nivel de integración y al volumen alcanzado (LCDs, video, cámaras digitales, infrarrojo (IR) no refrigerado).
 - La fotónica se está extendiendo a todos los dominios de la sociedad.
 - Restricciones comerciales cada vez menos importantes excepto en sistemas de muy altas prestaciones.

En lo que a tecnologías concretas respecta, se identifican las más importantes: pantallas, EO/imagen (visible y IR no refrigerado (*high/low end*)), láseres/Iluminadores, óptica en fibra, osciladores de lazo (OEOs), fotónica integración para telecomunicaciones, dispositivos de muestreo de alta velocidad, enlaces ópticos y THz (imagen (0,2-0,8 THz) / detección puntual (1,5-3THz).

- Microondas / RF:
 - En general las tecnologías MMW / RF son muy específicas

- para el ámbito militar (alta potencia y ancho de banda).
- El impacto de los componentes es muy importante en las prestaciones del sistema.
- Restricciones comerciales cada vez más importantes

En lo que a tecnologías concretas respecta, se identifican las más relevantes: Desarrollo de MMICs (circuitos integrados de microondas) en GaN, nuevos sustratos (GaN / diamante). Componentes (Si LDMOS, GaAs PHEMT y HBT, RF MEMS) y tecnologías emergentes (superconductores, SQUIDS, osciladores de spin, etc.)

- Procesado digital / protocolos:
 - En general el desarrollo de tecnologías de procesado digital y protocolos de comunicación vendrá liderado desde el ámbito civil y dual.
 - Los COTS están, en general, disponibles. Sin embargo existirán restricciones para los dispositivos con mayores prestaciones.
 - Las especificidades militares tales como ciclos de vida, fiabilidad, especificidades ambientales, obsolescencia y seguridad serán factores que limiten el uso de COTS.

En lo que a tecnologías concretas respecta, se identifican las más relevantes: procesadores (tecnologías *multicore* / *many-core*), memorias (resolver el problema de los ciclos de vida cortos que tienen hoy este tipo de productos), FPGAs, SoCs y ASSPs (monopolio de EE.UU., desarrollo de tecnologías relacionadas con la criptografía y el cifrado), diseño (arquitecturas modulares y re-utilización de elementos, IPs.).

- Mezclado de señal analógica/digital:
 - Las tecnologías están principalmente desarrolladas en el ámbito civil.
 - EE.UU. mantiene una posición casi hegemónica en este ámbito. Europa necesitaría avanzar para disminuir su dependencia.
 - Las especificidades militares para comunicaciones, radar, guerra electrónica y misiles son muy exigentes

En lo que a tecnologías concretas respecta, se identifican las más rele-

vantes: convertidores A/D y D/A (Si CMOS, Si/SiGe con una creciente actividad en Europa e InP (HBT) comenzando su desarrollo), tecnologías emergentes (fotónica para el muestreo, superconductores, etc.)

- Sensores y Actuadores:
 - La tecnología es principalmente desarrollada en el ámbito civil, aunque existen numerosas especificidades militares.
 - Existe una serie de tecnologías emergentes tales como CNT, MEMS, 3D MEMS, nanohilos, etc. de las que se espera un gran avance en el futuro dentro de este ámbito
 - En muchas ocasiones se necesitan desarrollos a medida, lo que lleva a una industria muy fragmentada y una baja tasa de reducción de precio.

En lo que a tecnologías concretas respecta, se identifican las más relevantes: desarrollo de micro y nano tecnologías (técnicas de procesado de MEMS, CNTs, etc.), desarrollo de dispositivos inerciales / gyros / acelerómetros, etc., sensores de todo tipo (acústicos, RF, EO, THz, etc.)

- Fuentes de potencia y gestión de energía:
 - Mejoras en la generación, gestión y almacenamiento de energía son críticas para aplicaciones tales como plataformas robotizadas, UAVs, satélites.
 - Adaptar las tecnologías civiles a los requisitos militares será el gran reto. Se deberá trabajar en la convergencia de requisitos con otras industrias tales como la automoción, ferrocarril, espacio, etc.
 - Especificidades militares: energía (MJ para cañones electromagnéticos), MW (láseres de alta potencia), reducción de tamaño, peso (soldados y plataformas), etc.

En lo que a tecnologías concretas respecta, se identifican las más relevantes: desarrollo de generadores (células de combustible, SMES, Fuentes de potencia para RF y MMW, nuevos materiales (SiC, diamante,

GaN, etc.), dispositivos fotovoltaicos de alta eficiencia, nanogeneradores, tecnologías para el almacenaje de la energía (baterías de recarga rápida, baterías de Ión Li / polímero Li, supercondensadores, etc.), convertidores de potencia (nuevos materiales (SiC, Diamante, GaN, etc.), Convertidores de alta frecuencia, etc.) nuevas arquitecturas para la distribución de energía, cables, etc.

Tecnologías Transversales: Empaquetados / Gestión Térmica / Fiabilidad / Robustez / Obsolescencia / Gestión de costes, etc.

- Todas las áreas tienen problemáticas comunes que en muchos casos son factores limitadores.
- En el caso de los sistemas militares las tecnologías transversales adquieren una dimensión crítica.
- Los COTS suelen tener exigencias más relajadas. Se necesita una adaptación.

En lo que a tecnologías concretas respecta, se identifican las más relevantes: Suelen tener gran impacto en los sistemas. Hay que tenerlas en cuenta desde etapas de diseño muy tempranas. Desarrollo de tecnologías de empaquetado (re-empaquetado / re-robustización, etc.), gestión térmica (en algunas aplicaciones es un problema crítico (materiales de gap ancho/grafito/diamante/ CNT etc.), fiabilidad (necesidad de bases de datos extensas, estudios de física del fallo, estrategia europea, etc.), ambiental (necesidad de adaptación de los COTS a los requisitos militares), obsolescencia y tecnologías para la gestión de costes.

En DISCOTECH, además del análisis detallado que se resume en este artículo, se identifican algunos ámbitos donde el desarrollo futuro de los COTS o bien no satisfará los requisitos militares o bien estarán sujetos a fuertes restricciones comerciales y su disponibilidad será muy limitada. En definitiva, se proponen líneas tecnológicas donde será necesario que

Europa haga un esfuerzo adicional para llenar los vacíos existentes desde todos los países miembros de la EDA. Asimismo en el estudio se pueden encontrar hojas de ruta con las que se pretende enfocar las inversiones en los ámbitos de referencia, contribuyendo al desarrollo de una industria de defensa europea para que sea, tecnológicamente hablando, soberana e independiente.

Por último, mencionar que los resultados obtenidos en DISCOTECH están siendo fundamentales a la hora de elaborar la Agenda Estratégica (SRA) del IAP 01. La EDA pretende que el modelo seguido con estudios como DISCOTECH se extiendan a otras CapTechs y sean un elemento principal a la hora de confeccionar sus respectivas SRAs.

Para más información dirigirse a la Subdirección General de Tecnología y Centros de la DGAM. PoC: Germán Vergara Ogando (qvergarao@oc.mde.es)

ACRÓNIMOS

ASSPs.- Application Specific Standard Products
 CMOS.- Complementary Metal Oxide Semiconductor
 CNT.- Nano Tubos de Carbono
 COTS.- Commercial off the shelf
 EDA.- Agencia de Defensa Europea
 EO.- Electroóptico
 FPGA.- Field Programmable Gate Array
 GaN.- Nitruro de Galio
 HBT.- Heterojunction bipolar transistor
 InP.- Fosforo de Indio
 IPs.- Intellectual Property
 IR.- Infrarrojo
 LCD.- Liquid Cristal Displays
 LDMOS.- Laterally diffused metal oxide semiconductor
 MEMS.- Micro-Electro-Mechanical Systems
 MMIC.- Monolithic Microwave Integrated Circuits
 MMW.- Ondas milimétricas
 OEOs.- Opto Electronics Oscillators
 PHEMT.- Pseudomorphic High Electron Mobility Transistor
 RF.- Radio Frecuencia
 SiC.- Carburo de Silicio
 SMES.- Superconducting Magnetic Energy Storage
 SoC.- System on Chip
 SQUIDS.- Superconducting Quantum Interference Devices
 SRA.- Strategic Research Agenda
 TRLs.- Technology Readiness Level
 VIS.- Visible

Sistemas de Suspensión Semi-activa y Activa

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

The suspension system of any vehicle has an enormous influence on its comfort and ride quality, especially for off-road operation. Semi-active systems, where the damping coefficient can be continually adjusted, are already being used in civil and military vehicles. The next step in this technology is the use of fully active suspension systems, where elastic and damping elements are replaced with an actuator, leading to large scale improvements in vehicle mobility and crew comfort.

INTRODUCCIÓN

El buen comportamiento dinámico de un vehículo es un concepto amplio compuesto por otros varios y muy dependiente de las condiciones de funcionamiento en cada instante. En un vehículo el sistema de suspensión tiene enorme influencia en dicho comportamiento dinámico afectando al cabeceo, balanceo, distancia de frenado, velocidad de paso por curva, velocidad campo a través, vibración, etc.

Los sistemas de suspensión tradicionales (pasivos) tienen carac-

terísticas fijas como la rigidez de los elementos elásticos (muelles o ballestas) y de los topes de la suspensión, el coeficiente de amortiguamiento del amortiguador, el recorrido de la suspensión, etc. Los fabricantes deben por ello buscar un compromiso entre todas las situaciones predecibles y el tipo de conducción esperable para ese vehículo y ajustar esas características de la suspensión en la fase de diseño. Este ajuste es complicado, pues cada característica contribuye de una manera diferente al comportamiento dinámico. Simplificando, puede decirse que la suspensión debe ser poco rígida para mayor comodidad de los tripulantes, pero debe ser muy rígida para un mejor comportamiento dinámico del vehículo. Así, sería deseable disponer de características variables del sistema de suspensión que optimizaran ese comportamiento en cada situación.

Un tipo particular de suspensión pasiva, la suspensión hidroneumática, resuelve algunos problemas de los sistemas tradicionales aprovechando las propiedades de compresibilidad de los gases para generar una resistencia progresiva. El sistema está dotado de esferas con una membrana central que separa un gas del líquido hidráulico. Variantes de esta suspensión hidroneumática han sido y son utilizadas en vehículos militares como, por ejemplo, el AMX10RC o los

Piranha III y IV (GDLS).

Los sistemas de suspensión semi-activos y activos¹ permiten que las características de la suspensión sean variables, ajustándose de manera automática a las condiciones de la circulación. Estas técnicas mejoran sustancialmente la movilidad del vehículo, sobre todo en terrenos no asfaltados, y la comodidad² para los ocupantes.

Las condiciones de trabajo de los vehículos militares, tanto logísticos como de combate, demandan un comportamiento de la suspensión muy crítico, por lo que es previsible que el uso de sistemas de suspensión semi-activos o activos se extienda en un futuro próximo.

SUSPENSIÓN SEMI-ACTIVA

La filosofía de un sistema de suspensión semi-activa es variar el coeficiente viscoso del amortiguador, modificando con ello la fuerza de amortiguación. Al igual que en un amortiguador pasivo, la fuerza ejercida es proporcional a la velocidad relativa de los extremos, pero la constante de proporcionalidad se puede cambiar. Este tipo de suspensión la montan desde hace tiempo los fabricantes de turismos (Volvo, GM, Mercedes Benz, etc.) en sus gamas altas.

Para vehículos en los que la carga pueda variar mucho, el sistema de suspensión semiactivo debería complementarse con un sistema de control variable de altura que ayude a mantener centrada la suspensión dentro de su recorrido.

Es importante destacar que, a diferencia de los sistemas pasivos, un sistema semi-activo necesita un cierto aporte de energía exterior, no demasiado grande, para hacer variar el coeficiente de amortiguación.

Se explican a continuación las técnicas más usadas en sistemas semi-activos.

¹ En la literatura, sobre todo en la comercial, a veces se emplea el término "activa" para lo que aquí llamaremos "semi-activa".

² La vibración máxima que puede soportar el ocupante de un vehículo es conocida y existe normativa al respecto, por ejemplo, la norma ISO 2631 (referencia [1]). Como norma general, puede decirse que una frecuencia de vibración aceptable para la masa suspendida de un automóvil está entre 1 y 3 Hz, siendo 1 Hz la situación ideal (véase, por ejemplo, la referencia [2]).

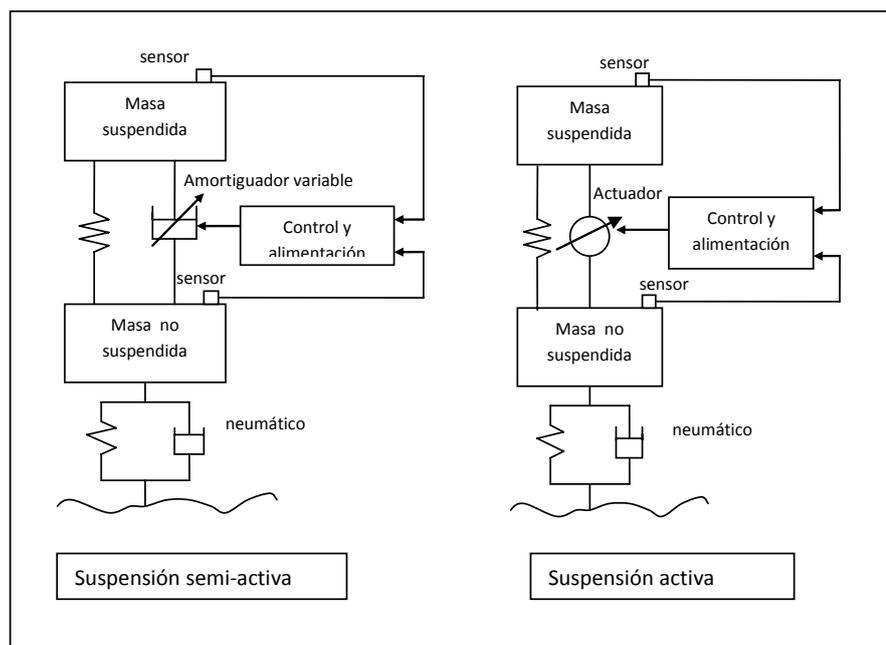


Fig. 1. Croquis de un sistema de suspensión semi-activa (izquierda) con muelle y amortiguador variable y activa (derecha) con actuador.

AMORTIGUADOR CON VALVULA DE SOLENOIDE

El aceite del amortiguador debe atravesar una válvula de solenoide que se abre o se cierra en respuesta a una señal eléctrica para ajustar la resistencia que se opone al paso de dicho aceite (ej.: amortiguador delantero del Volvo S60R, sistema CDC de Opel).

AMORTIGUADOR MAGNETO-REOLOGICO (MR)

Un amortiguador MR usa un aceite especial que contiene partículas metálicas. Al aplicar un campo magnético alrededor del aceite, estas partículas se unen y orientan, aumentando la viscosidad del aceite y, por tanto, su resistencia a fluir. El aumento de viscosidad es proporcional a la intensidad del campo aplicado, siendo además muy rápido (unos pocos milisegundos) y completamente reversible, aunque tiene el inconveniente de la degradación de propiedades del fluido con el uso y con el tiempo.

El sistema MR se ha probado en vehículos militares (HMMWV, FMTV, Stryker, etc) demostrándose las siguientes mejoras respecto a un sistema de amortiguación pasiva:

- Aumentos de la velocidad límite campo a través entre el 30% y el 50%.
- Reducción de las aceleraciones máximas entre el 50%-70% en eventos dinámicos extremos como los giros de 180°.
- Reducción de un 30% del balanceo del vehículo.
- Mejora significativa de la estabilidad y de la conducción.
- Mayor estabilidad de la plataforma de cara a sistemas de armas.

El sistema MagneRide de la empresa Delphi fue de los primeros sistemas MR comerciales. Se ha usado en más de 14 modelos de turismos, entre ellos los Audi TT y R8. El fabricante indica una demanda de potencia máxima de 20 W por amortiguador con un tiempo de ciclo del bucle de control de 1 ms.

El sistema MROADS (Millenworks, Lord Corporation) se ha aplicado a prototipos del Stryker 8x8 y al HMMWV 4x4. Para este último vehículo, la empresa ha anunciado mejoras del 40-70% en la velocidad del vehículo manteniendo en niveles admisibles la energía de vibración absorbida por los ocupantes.

SUSPENSION HIDROACTIVA

Es una variante de la suspensión hidroneumática en la cual el circuito hidráulico, además de esferas adicionales, incorpora válvulas que controlan el flujo de líquido hidráulico en respuesta a órdenes de un controlador.

SUSPENSIÓN ACTIVA

En un sistema de suspensión activa el amortiguador se sustituye por un actuador (hidráulico, neumático o electromecánico) que es el que genera la fuerza. Estos actuadores tienen la ventaja de que su respuesta es mucho más rápida que la de un muelle o amortiguador tradicional. Aunque no son estrictamente necesarios, se siguen manteniendo los muelles para proporcionar una suspensión de base que soporte el peso del vehículo y que reduzca el trabajo de los actuadores, reduciendo así el consumo de energía. Un sistema de sensores mide en tiempo real diferentes parámetros del chasis y de la suspensión y envía estos datos a un ordenador central que controla los actuadores para que éstos ejerzan la fuerza necesaria.

De forma general, la estrategia óptima de control es la que busca minimizar:

- El valor medio cuadrático de la aceleración de la masa suspendida.
 - El valor medio cuadrático del recorrido de la suspensión.
 - El valor medio cuadrático de la deformación dinámica del neumático.
- Al igual que en los sistemas semiactivos, un elemento clave es el algoritmo de control, que puede seguir diferentes modelos: *skyhook* (el más común), *end-stop*, *stability/handling*, etc.

El sistema fue desarrollado por Lotus y aplicado en la fórmula 1, aunque hasta el momento no se han montado en turismos sistemas completamente activos. Como ejemplo de suspensión totalmente activa podemos citar el ECASS (*Electronically Controlled Active Suspension System*), de la compañía Northrop Grumman-L3, actualmente en las fases finales de su desarrollo. Este sistema integrado en un HMMWV triplicó la velocidad campo a través aumentando al mismo tiempo de 5 a 10 veces la estabilidad de la plataforma. El sistema ECASS puede aplicarse a vehículos de ruedas y de cadenas.

VENTAJAS E INCONVENIENTES DE LA SUSPENSION ACTIVA

Entre las **ventajas** podemos enumerar:

- Mayor velocidad³ campo a través, llegando a duplicarla o triplicarla.
- La suspensión puede bajar o subir el vehículo, por ejemplo, para disminuir su firma visual cuando sea necesario.
- El sistema de control de altura está integrado para compensar cambios en la carga del vehículo o en el tipo de misión.
- Mayor comodidad para las tripulaciones, reduciendo la fatiga.
- Si un vehículo de combate está bien estabilizado será mayor la precisión de su armamento. Además, la suspensión compensará con mayor rapidez el retroceso provocado por los disparos, quedando el arma lista para el siguiente disparo en menos tiempo.
- Los equipos embarcados están sometidos a menores vibraciones, lo que aumentará su vida útil.

Mientras que sus principales **inconvenientes** son los siguientes:

- Un sistema de suspensión activa consume una cantidad apreciable de energía de forma continua, especialmente en los actuadores, y sobre todo en vehículos de cierto tamaño y peso. Se investiga en sistemas electromecánicos regenerativos de gran rapidez de carga/descarga que aprovechen la energía disipada para recargar la alimentación, pero es un campo aún a desarrollar.
- Mayor peso del amortiguador.
- Mayor coste.
- En el estado actual de la tecnología, poca fiabilidad.

REFERENCIAS

[1] ISO 2631: *Mechanical Vibration and shock. Evaluation of human exposure to whole-body vibration.*

[2] Aparicio, F. *Teoría de los Vehículos Automóviles.* ETS Ingenieros Industriales de la Universidad Politécnica de Madrid.

³ En la web de la Universidad de Texas (<http://www.utexas.edu/research/cem/projects.html>) es posible ver videos comparativos del uso de sistemas de suspensión activa en vehículos militares.

Proyecto AVIZOR

Graciano Martínez Fuente, Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA) Área de Energía Renovables

The National Institute for Aerospace Technology (INTA), is a public institution, specialized in aeronautic and aerospace research and development belonging to the Spanish Ministry of Defence. For many years, INTA has been carrying out an extensive research programme in order to develop the technologies required for the design and construction of a range of unmanned aircrafts. The Institute has developed several products coming from the activities developed to emphasize SIVA project. SIVA is a sophisticated unmanned aerial surveillance system with multiple applications in civil and military fields, and can be used as an observation vehicle in real time. The vehicles from the SIVA project have been powered by a conventional internal combustion engine and currently, the Institute continues to develop new generation unmanned aircrafts: mini UAV and micro UAV. After due consideration INTA decided to begin the study of a second phase of this project including fuel cells technologies, in order to evaluate the feasibility of including an electrical engine driven from the power supplied by a PEMFC (Proton Exchange Membrane Fuel Cell) or a similar system using fuel cells and H2 technologies. The project is called AVIZOR.

The main objective of this project is to prove the feasibility to include a full UAV system with similar performance capability such as SIVA, but driven by a fuel cell system

Introducción

El Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA) emprendió en 1998 el desarrollo de un sistema de vigilancia y observación basado en vehículos aéreos no tripulados, que se denominó SIVA 1B, (Sistema Integral de Vigilancia Aérea 1B). El INTA ha diseñado, desarrollado y probado el sistema completo y los principales subsistemas clave, incluido el sistema de control de vuelo. El SIVA es un sistema formado por aviones no tripulados, capaces de realizar misiones de vigilancia y observación de forma automática.

Tras esta primera fase, concluida con éxito, el Instituto se planteó realizar una



Fig. 1. Vehículo SIVA.

segunda, en la cual se pretendía sustituir el sistema propulsivo convencional por un motor eléctrico propulsado por un sistema de pila de combustible. Las principales ventajas a destacar de este innovador sistema de propulsión para un vehículo aéreo basado en pilas de combustible frente a un sistema convencional son:

- **Baja detectabilidad**, (baja temperatura y bajos niveles de ruido). Se están realizando ensayos comparativos de medida de ruido; así como de caracterización acústica del prototipo para comprobar de este modo cual podría ser el nivel de detectabilidad producido por el vehículo aéreo.
- **Alta disponibilidad**, el combustible utilizado puede obtenerse de muy diversas fuentes, no estando sujeto a la dependencia de los combustibles fósiles convencionales.
- **Alta eficiencia**, uso de combustibles estratégicos, hidrógeno y oxígeno combinados con la utilización

de la tecnología de pilas de combustible con la que pueden obtenerse rendimientos de hasta un 60% en la actualidad.

- **Bajos niveles de mantenimiento**, se utilizará un motor eléctrico y un sistema propulsivo compuesto fundamentalmente por una pila de combustible polimérica, la cual produce energía eléctrica mediante una reacción electroquímica no teniendo partes móviles lo que reduce sustancialmente las operaciones de mantenimiento.
- **Bajos niveles de contaminación**, se utiliza como combustible el hidrógeno, un combustible limpio, autóctono y que puede ser obtenido a través de energías renovables.¹

El prototipo denominado "AVIZOR", destinado a alojar este innovador sistema de propulsión tiene como principal objetivo la demostración práctica del vuelo de un vehículo aéreo no tripulado propulsado por pila de combustible tipo

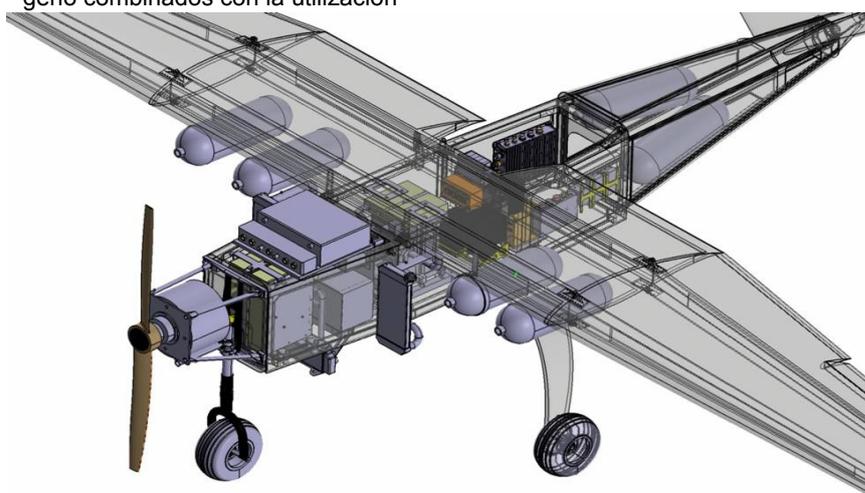


Fig. 2. Esquema Integración General Sistema de Pila de Combustible - AVIZOR.

¹ Más información sobre pilas de combustible en los Boletines nº 8, 9 y 10.

PEM (Proton Exchange Membrane).

El peso máximo del avión es de 300Kg, la autonomía será aproximadamente de 1 hora y la altura que se alcanzará será entre 1000 m y 3000 m.

Sistema de pila de combustible

Para el proyecto AVIZOR, se plantea un sistema de pila de combustible tipo PEM (Proton Exchange Membrane) como sistema principal de propulsión de la plataforma aérea.

La pila de combustible o *stack* es en realidad un apilamiento de unidades individuales denominadas celdas de combustible, cada una de ellas constituida por una membrana de intercambio de protones (que da nombre al tipo de pila), unos electrodos de reacción y unas placas que sirven para distribuir los gases y recoger la corriente de salida.

El sistema de pila de combustible a instalar en el AVIZOR consta de:

- Un *stack* o apilamiento de celdas de combustible, con una potencia media máxima de 27 kW, trabajando en modo *dead-end* (sin recirculación del combustible).
- Un sistema de refrigeración, con agua desionizada como refrigerante, con capacidad de disipar 22kW, con un caudal de 1900 l/h.
- Utilización de oxígeno como oxidante, evitando la utilización de compresor de aire y sistema de humidificación de gases.
- Un sistema auxiliar de energía formado por 110 baterías ion-litio capaz de aportar una potencia de 8kW durante 2 minutos.

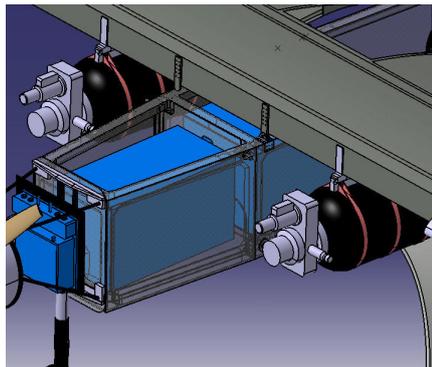


Fig. 3. Detalle de diseño de integración del sistema de combustible, (H₂).

Los 5 kW de diferencia entre el *stack* y el sistema de refrigeración corresponden a la energía necesaria para calentar el *stack* de 20 °C hasta 75°C en el aterrizaje.

Sistema de almacenamiento de combustible

El almacenamiento tanto de hidrógeno como de oxígeno se realiza en forma de gas a presión. En el caso del oxígeno, este se almacena en dos depósitos de 9 litros a 200 bar, situados en el cono de cola. El hidrógeno se almacenará en *pods* subalares a 350 bar, en depósitos de 9 y 6,9 Litros.

Motor eléctrico

Para esta aplicación, se considerarán solamente motores sin escobillas o *brushless*, ya que, de manera ocasional, las escobillas pueden ser peligrosas en presencia de gases de las características del hidrógeno y oxígeno.

El motor eléctrico proporciona una potencia de 30 kW en funcionamiento

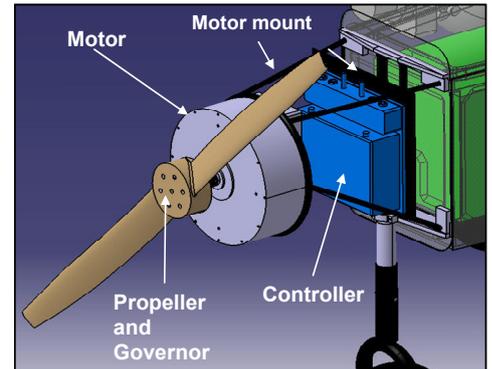


Fig. 4. Diseño de integración motor.

continuo, pudiendo suministrar 50 kW durante aproximadamente 90 s.

Situación actual del proyecto

El reto es que el AVIZOR pueda realizar vuelos de duración mínima 1 hora, elevándose hasta los 3000 metros de altura, y llevando a bordo la carga de pago que le permita seguir ejecutando su actual misión. Para aumentar la seguridad de los primeros vuelos demostrativos, debería reducirse en éstos el tiempo de ascenso y la altura final alcanzada. Pudiendo ser recomendable, incluso prescindir de la carga de pago. Durante la fase de estudio, se ha comprobado que, frente a otros prototipos que se están desarrollando con fines similares, tanto el diseño del AVIZOR como las características de mecánica de vuelo no son las más adecuadas, por lo que, gracias a la experiencia que se ganará con este proyecto, se sacarán las conclusiones oportunas para aumentar la autonomía en vuelo, que por otra parte vendrá dada por la mejora continua y mayor madurez de las tecnologías de pilas de combustible.

Actualmente se están realizando diferentes ensayos tanto del sistema de pila de combustible como del sistema de almacenamiento en las instalaciones del Área de Energías Renovables. Se han realizado los ensayos del motor eléctrico en las instalaciones del Servicio de Actuación de Motor y Vehículos del INTA y se están realizando diferentes trabajos relacionados con la integración de todos los equipos en el modelo de pruebas del proyecto, teniendo previsto comenzar con la integración final en el prototipo de vuelo a comienzos de mayo de este mismo año.

Para más información contacte con:
Graciano Martínez Fuente
(martinezfq@inta.es).



Fig. 5. Imagen caracterización en banco de ensayos motor eléctrico Avizor.

Sistemas de Imágenes Basados en Ondas Milimétricas

Carlos Callejero Andrés, Alfa Imaging

Radiation in the millimetre-wave (mm) and the lower end of the Terahertz (THz) range has the useful property of being able to penetrate clothing. Thus using imaging systems at these frequencies facilitates the detection of weapons and explosives, both metallic and non-metallic, hidden on a person. This is made possible through the detection of the naturally emitted and reflected radiation at these wavelengths which varies depending on the material and its temperature. In addition, certain bands in the millimetre wavelength range (35, 94, 140 and 220GHz) have very high atmospheric transmission (forming the so-called atmospheric windows) and therefore also enable stand-off detection and imaging through adverse weather conditions

such as fog and clouds, as well as dust and smoke.

Alfa Imaging, S.A. has developed an opto-mechanical imaging system with the partial support of the Spanish Ministry of Defence COINCIDENTE Programme. This system is a 94GHz real-time passive millimetre-wave camera designed for the stand-off detection of explosives and IEDs hidden on a person from 2.5 to 20m distance.

During 2010 the 94GHz receiver will be replaced by a new 220GHz receiver in order to increase the image resolution and to test the detection capability of the system at a maximum distance of 50 metres.



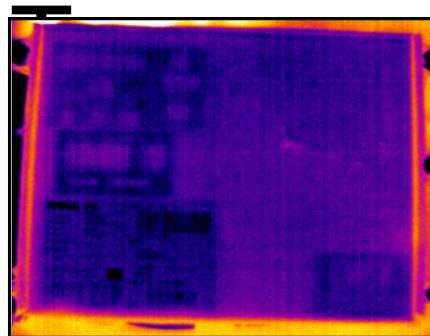
Fig. 1. Ejemplo de imagen de un sistema de formación de imágenes pasivos en milimétricas: a) y b) Imagen visible y en milimétricas, respectivamente, de un sujeto ocultando una pistola bajo la ropa.

anto las ondas milimétricas (mm) como las ondas de terahercio (THz) se pueden utilizar para la obtención de imágenes. Como se puede apreciar en la figura 1, una cámara basada en sensores de milimétricas genera imágenes fácilmente interpretables, tal y como los sensores en el infrarrojo y el visible, de manera completamente pasiva, sin emitir ningún tipo de radiación, a diferencia del radar o de los rayos X. Esto evita la posibilidad de detección del sistema por otros en aplicaciones militares, además de ser inocuo al no radiar ninguna señal. Una comparación de imágenes en visible, infrarrojo y milimétricas se muestra en la figura 2.

Distinción entre mm y THz

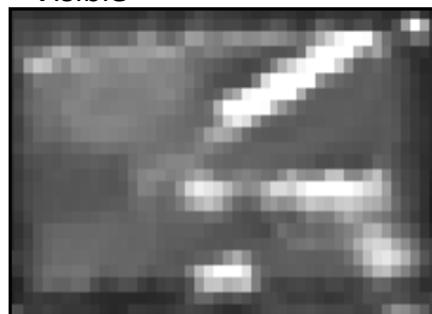
Existe una cierta ambigüedad en las definiciones de ondas milimétricas y de terahercios. En un principio la banda milimétrica se definió entre los 30 y 3000GHz (3THz). Cuando el avance tecnológico permitió la investigación a frecuencias mayores de 300GHz se empezó a llamar banda de terahercios a la parte que va de 300GHz hasta los 3THz.

Existen varias bandas de frecuencias alrededor de 35, 94, 140, 220GHz donde la atenuación es relativamente pequeña tanto en aire como en niebla (ver figura 3), lo que las hace buenas candidatas para el desarrollo de sistemas formadores de imágenes. Las frecuencias más altas de los terahercios permiten una identificación de sustancias pero sufren una mayor atenuación atmosférica que las ondas milimétricas.



Visible

IR



94GHz

Interior

Fig. 2. Comparación de imágenes en visible, infrarrojo y milimétricas. Se trata de una caja de cartón, en cuyo interior se encuentra una pistola metálica en una bolsa de plástico, un cuchillo metálico, plastilina, una bolsa de harina y cable enrollado, todo cubierto por embalaje de burbujas.

Propiedades de las ondas milimétricas

La formación pasiva de imágenes en el rango de las milimétricas (*Passive Millimetre-Wave Imaging, PMMWI*) es un método para formar imágenes mediante la detección pasiva de la radiación térmica generada de forma natural a frecuencias milimétricas. Estos sistemas proporcionan imágenes de contrastes de temperatura como en el infrarrojo, pero a unas longitudes de onda más largas y por lo tanto con mayor penetración, aunque con una resolución menor.

El Ministerio de Defensa ha participado en la financiación a través del Programa Coincidente del desarrollo de un sistema de imágenes basado en ondas milimétricas. Se trata de un sistema pasivo capaz de detectar objetos ocultos por personas a distancias de hasta 20 metros, tanto de día como de noche; con buen tiempo o en condiciones atmosféricas adversas, tales como neblina, niebla, nubes, humo, polvo o tormentas de arena. La posibilidad de ver en condiciones de baja visibilidad que cegaría comúnmente los sensores en el rango visible o infrarrojo, junto con la capacidad de detección de materiales metálicos y dieléctricos están revolucionando multitud de aplicaciones tanto civiles como militares, ofreciendo nuevas perspectivas y posibilidades.

Aplicación a la seguridad

Una de las áreas de aplicación que presentan una mayor proyección es el área de seguridad. Aprovechando la propiedad de las ondas milimétricas



Fig. 4. Imagen de visible fusionada con milimétricas de una persona a 15 m ocultando un cinturón de explosivos. [2]

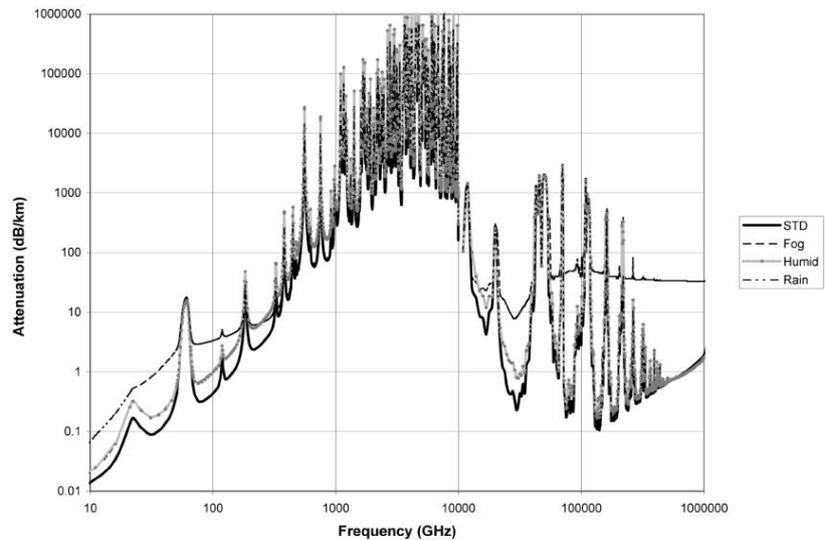


Fig. 3. Atenuación provocada por gases, lluvia y niebla en función de la frecuencia.[1]

de atravesar tejidos se puede formar una imagen en la que se ve la silueta de la persona y se resalta el objeto que no forma parte del cuerpo de esa persona. Los sistemas pasivos además no muestran los detalles corporales. Además, para ayudar al operador del sistema, se realiza una detección automática de amenazas en la imagen resultante. Esta detección automática se consigue mediante un procesado de imagen que incluye la reducción de ruido, la segmentación del sujeto y la detección de una anomalía dentro de ese sujeto.

Esta capacidad se puede utilizar para la detección de explosivos y armas cerámicas y metálicas en numerosas situaciones, como por ejemplo en el control de seguridad de un aeropuerto, en el control de accesos a instalaciones militares, estaciones, grandes eventos, etc., para detectar a distancia la aproximación de un terrorista suicida al perímetro de una instalación.

Otro tipo de procesado que se puede utilizar es la fusión de la imagen milimétrica con la imagen visible, como viene ilustrado en la figura 4. Esto puede resultar útil en algunas situaciones.

Conclusiones

La madurez de la tecnología de ondas milimétricas ha alcanzado un grado tal que es posible encontrar varios de estos sistemas en el mercado, la mayoría de ellos a 94GHz. Sin

embargo, ninguno de estos sistemas alcanza los requisitos que precisan los usuarios finales. Concretamente en la detección de posibles terroristas suicidas, la distancia de detección deseada es de al menos 50 metros.

Alfa Imaging ha demostrado la detección a 15 metros y ha desarrollado un prototipo financiado en parte con el apoyo del Programa Coincidente, que utilizando receptores a 94GHz tiene capacidad de detección a 20 metros.

En los próximos meses se espera disponer de un receptor a 220GHz que aumentará la resolución en las imágenes y permitirá cumplir el objetivo de detección a 50 metros.

Referencias

- [1]. Wallace, H. B. (Apr. 2006). *Mm-wave, Myths and Reality*. SPIE Defense and Security Symp, Orlando,
- [2]. Alexander, N. (Alfa Imaging S.A.) (Nov. 2009). *Stand-off detection of explosives and weapons*. BELCOAST 09, Final report NATO C3 Agency.

En profundidad

Radio Cognitiva

Lorenza Giupponi, Nicola Baldo, Centre Tecnològic de Telecomunicacions de Catalunya (CTTC)

Qué es la radio cognitiva y cuáles son sus beneficios

La radio cognitiva se define como un sistema de radiocomunicaciones, inteligente y con capacidad para modificar sus parámetros de transmisión y recepción en función de las necesidades del usuario y del entorno radioeléctrico en el que está funcionando. Por tanto, una radio cognitiva es capaz de percibir, aprender, decidir y reaccionar de manera dinámica en función de los impulsos recibidos del mundo exterior. Cabe destacar que esto no quiere decir en ningún caso que la radio transmita cuando el usuario no lo requiere o que la radio se comporte de forma anómala, sino que se ejecutarán unos procesos de adecuación al entorno que en cualquier caso serán transparentes para el usuario.

La radio cognitiva funciona en base al denominado *ciclo cognitivo*, definido a continuación y representado en la figura 1.

En primer lugar, la radio cognitiva observa su entorno radioeléctrico y analiza los estímulos generados por el mismo con el fin de deducir las condi-

ciones en las que se encuentra. Posteriormente y dependiendo de las condiciones ambientales de su entorno, la radio cognitiva decide que acción es más apropiada seleccionar con el objetivo de maximizar su adecuación al entorno radioeléctrico y, por tanto, mejorar su utilidad. Basándose en dicha decisión, actúa en el escenario y aprende en función de la experiencia ganada (ej., comparando el beneficio esperado con el obtenido a través de la acción ejecutada).

Desde la introducción del paradigma de la radio cognitiva, la comunidad científica ha propuesto muchos casos de uso, pero sin duda la aplicación más prometedora consiste en el acceso dinámico al espectro radioeléctrico para optimizar su uso en el espacio y en el tiempo. A pesar de que todo el espectro radio esté asignado para las múltiples aplicaciones y tecnologías, su uso está lejos de ser eficiente, como se ha demostrado en los últimos años a través de medidas espectrales realizadas en diferentes ciudades. En particular, el ente regulador del espectro radioeléctrico de Estados Unidos, la *Federal Communications Commission (FCC)*, estima que la utilización real del espectro se sitúa entre un 15% y un 85% del total, con variaciones tanto en el tiempo como en el espacio. Debido a sus características, la radio cognitiva

se ha confirmado recientemente como una posible solución para este problema. De hecho, la radio cognitiva proporciona la capacidad no sólo de compartir espectro radioeléctrico entre diferentes tecnologías, sino también de operar en la banda de frecuencia más adecuada. En particular, en ámbitos civiles, se define un paradigma jerárquico según el cual se denomina sistema primario al sistema radio licenciado, que opera legítimamente en sus bandas (ej. sistema celular, sistema televisivo, etc.), y sistema secundario a la red constituida por radios cognitivas, que accede a las bandas licenciadas de manera oportunista, utilizando el espectro desaprovechado por el sistema primario. La condición que ha de respetarse es que el sistema primario no tiene que verse comprometido por la actividad secundaria, ni tiene que verse alterado por facilitar el acceso cognitivo del espectro. Más específicamente, la radio cognitiva permitirá:

- 1) identificar la presencia y actividad de usuarios primarios y determinar qué porciones del espectro radio están disponibles para un uso oportunista (*spectrum sensing*);
- 2) seleccionar el canal de frecuencia más adecuado para reducir la interferencia causada al sistema primario y satisfacer los requisitos de calidad de servicio del sistema secundario (*spectrum management*);
- 3) coordinar el acceso a los canales disponibles y garantizar una justa distribución de los recursos entre usuarios secundarios, así como su acceso al medio (*spectrum sharing*);
- 4) liberar un canal al detectarse la presencia de un usuario primario, como se muestra en la figura 2, y mantener los requisitos de calidad de servicio del sistema secundario durante el traspaso de canal (*spectrum mobility*).

En los últimos años se han llevado a cabo actividades de estandarización en el campo de la radio cognitiva y, en particular, ha emergido el primer estándar para redes inalámbricas de área regional (WRAN): el IEEE 802.22. El objetivo de estas actividades de estan-

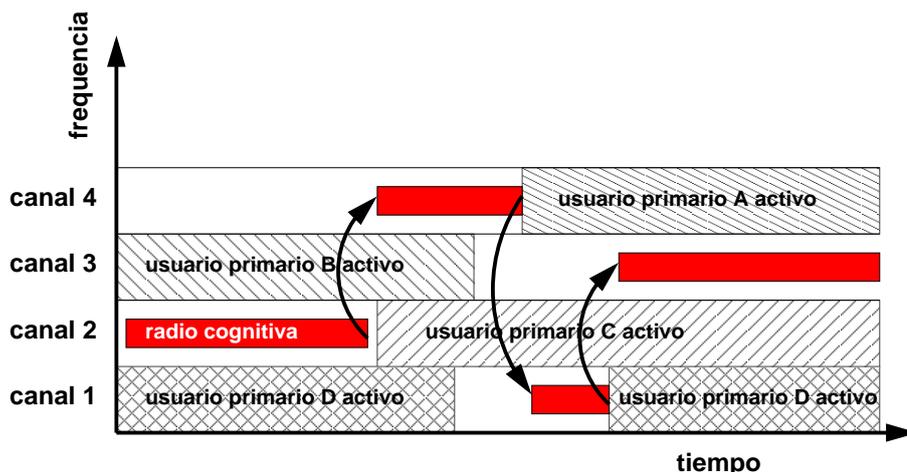


Fig. 1. La radio cognitiva aprovecha el espectro radio no utilizado por los usuarios primarios.

tecnología en profundidad

darización es utilizar técnicas cognitivas para aprovechar y reutilizar las frecuencias asignadas a las transmisiones de televisión, que no se están utilizando en una determinada posición. La idea es proporcionar acceso de banda ancha a áreas caracterizadas por una baja densidad de población. El estándar IEEE 802.22 se centra en la definición del nivel físico y de acceso de estas redes. El nivel físico está caracterizado por la tecnología *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM) y el acceso al medio considera una tecnología mixta *Orthogonal Frequency Division Multiple Access* (OFDMA) y *Time Division Multiple Access* (TDMA). La topología de este estándar es la que se muestra en la figura 3, donde algunas celdas WRAN se despliegan alrededor del área de cobertura de una estación base televisiva. La arquitectura de sistema es centralizada, así que se considera que una estación base cognitiva se encarga de la gestión de los recursos (*spectrum management*) a asignar a los usuarios cognitivos y de su acceso al medio. En las bandas de frecuencia consideradas (54-72 MHz, 76-88 MHz, 174-216 MHz, 470-06 MHz), el sistema cognitivo tiene que coexistir con dos tipos de usuarios primarios: 1) el sistema televisivo constituido por una estación base emisora (que transmite a potencias elevadas, del orden de los 90 dBm, y en áreas de cobertura muy amplias, del orden de los 130 Km) y por los receptores pasivos (las televisiones); 2) los micrófonos inalámbricos, que son mucho más complicados de detectar debido a la aleatoriedad de su posición y a su potencia de transmisión, que suele ser del orden de los 17 dBm, para alcanzar un radio de cobertura del orden de los 100 m. La operación de *spectrum sensing* se realiza de manera distribuida; en particular, todos los usuarios cognitivos se preocupan de escanear el espectro, en búsqueda de posibles usuarios primarios activos en el entorno, durante los intervalos de tiempo en los que no tienen acceso al medio. Estas medidas se transmiten a la estación base central, que toma decisiones respecto a potenciales trasposos de frecuencia.

Una interesante evolución del paradigma de la radio cognitiva es el concepto de red cognitiva. Según esta propuesta, el proceso cognitivo no afecta únicamente a la parte radio de

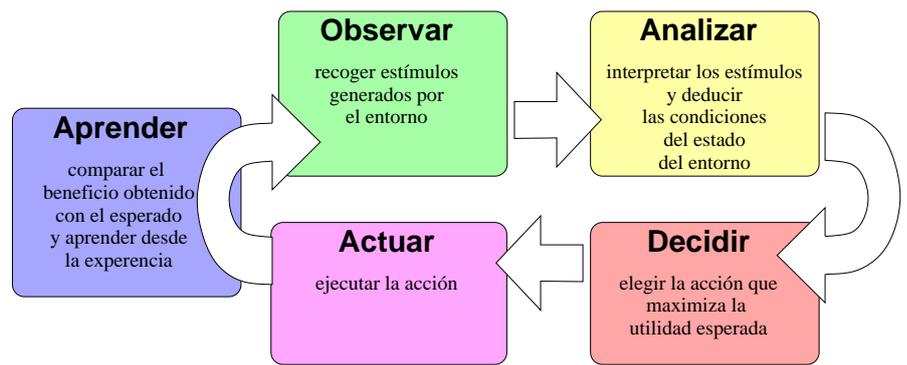


Fig. 2. Ciclo cognitivo.

los dispositivos, sino a la red en su totalidad. El objetivo de la red en su conjunto es alcanzar ciertos niveles de calidad de servicio extremo a extremo. De esta manera, la red no solamente pasa a ser consciente de su entorno, sino también resulta capaz de auto-configurarse, auto-optimizarse y auto-corrigerse. El proceso cognitivo en este escenario se implementa a través de la interacción de diferentes dispositivos, de manera similar a como los seres humanos interactúan en la sociedad.

Beneficios de la radio cognitiva para Defensa

En entornos militares puede resultar extremadamente útil un dispositivo inteligente capaz de adaptarse a las necesidades del usuario y al entorno en el que opera. De hecho, las necesidades y los requisitos de las comunicaciones militares varían en función de muchos factores como, por ejemplo, el tipo de unidad considerada (vehículos terrestres, soldados a pie, aviones, etc.), la jerarquía (batallón, compañía, pelotón, etc.), el tipo de operación (de guerra, *peacekeeping*, etc.), y otras características adicionales. La capacidad de una radio cognitiva para adaptar sus diferentes parámetros de transmisión / recepción en función del entorno que la rodea se presenta como una herramienta extraordinariamente útil en un teatro de operaciones cada vez más cambiante y variable.

En una primera aproximación, la utilidad más inmediata que se puede obtener de esta tecnología es la posibilidad de llevar a cabo una gestión dinámica de las frecuencias utilizadas por las diferentes unidades participantes en una operación. Al día de hoy las naciones cuentan con una planificación fija

de frecuencias, pero esta en muchas ocasiones se muestra ineficiente, y en otras inoperativa, especialmente en los despliegues de coalición. En un despliegue de coalición, aunque la planificación de frecuencias está acordada por todas las naciones participantes, la alta variabilidad del teatro de operaciones puede dar lugar a situaciones que desbaraten la citada planificación: un pelotón que se vea obligado a cambiar el canal de trabajo de su radio por estar altamente interferido, la incorporación de nuevas unidades no contempladas en la planificación inicial, unidades fuera de su área de influencia natural, etc. En todos estos casos una gestión dinámica del espectro, que apoye la planificación inicial, podría resultar muy útil. Un ejemplo se muestra en la figura 4.

Además de las situaciones anteriores, en las que sólo se está considerando la interferencia producida entre sí por las unidades de las diferentes naciones desplegadas, también habría que tener en cuenta las emisiones propias de la nación huésped, que bien podrían ser interpretadas como nodos primarios en función del tipo de misión (*peacekeeping*).

Otro escenario de aplicación directa de la radio cognitiva es el asociado al despliegue repentino y no planificado de comunicaciones sin contar con infraestructura previa. Teniendo en cuenta la creciente participación de nuestras Fuerzas Armadas (principalmente la UME - Unidad Militar de Emergencia) en operaciones de emergencia por desastres naturales (terremotos, tifones, etc), cada vez se hace más necesario contar con un sistema de comunicaciones que sea capaz de levantarse y organizarse de forma au-

tónoma y rápida. En este tipo de escenarios, normalmente, la infraestructura civil de comunicación ha sido dañada o resulta inadecuada para hacer frente a la demanda de tráfico generada. En estas circunstancias extraordinarias las unidades desplegadas se pueden beneficiar de las radios cognitivas, capaces de buscar la banda de frecuencia más adecuada para el despliegue de una red de comunicación auxiliar.

Por último, un tercer escenario de aplicación sería el planteado por el uso de la movilidad espectral, introducida en la sección anterior, como potencial herramienta para fortalecer la fiabilidad, seguridad y privacidad de las comunicaciones. En particular, la agilidad de la radio cognitiva, capaz de cambiar de frecuencia en función del nivel de interferencia recibido, la hace más robusta, por ejemplo, frente a ataques como el *jamming*.

Los beneficios y las posibles aplicaciones de la radio cognitiva en un entorno militar aún se están investigando, y esta tarea ocupa al grupo de trabajo IST-077 del Panel RTO de la OTAN. El Centre Tecnològic de Telecomunicacions de Catalunya (CTTC) está participando activamente en este grupo junto a la Subdirección de Tecnología y Centros de la DGAM.

Iniciativas del CTTC en radio cognitiva

El CTTC desarrolla múltiples iniciativas para investigar la radio cognitiva a nivel físico y de sistema, en el marco de diferentes proyectos con financiación nacional, internacional y privada. En primer lugar, como ya se comentó anteriormente, destacamos la participación del CTTC desde el año 2009 en el grupo IST-077 del Panel RTO de la OTAN, para investigar las aplicaciones de la radio cognitiva en entornos militares. Además, los siguientes proyectos financiados por el sexto y séptimo programa marco de la Unión Europea investigan aspectos clave para el futuro de las radios y redes cognitivas: los proyectos WINNER y WINNER 2 se centraron en el estudio de las redes ubicuas de futura generación y en su capacidad de gestionar dinámica y eficientemente el espectro radio. El proyecto PHYDYAS propone rediseñar el nivel físico de los sistemas de futura generación como alternativa al sistema OFDM. La propuesta se basa en un sistema de bancos de filtros, que se considera más adecuado para radios cognitivas. La iniciativa COST IC092 propone una investigación coordinada a nivel europeo relativa a la radio y a las redes cognitivas y a cómo diferen-

tes tecnologías pueden coexistir en la misma banda de frecuencia. Los proyectos NEWCOM y NEWCOM++ abordan también temas de investigación relacionados con las redes inalámbricas de futura generación, dentro de las cuales la radio cognitiva jugará un papel determinante. Finalmente, respecto a los contratos directos con industria, el proyecto DESSERT, financiado por la iniciativa CISCO *Collaborative Research Initiative* (CCRI), estudia la selección distribuida de interfaz radio para garantizar la movilidad en redes cognitivas.

En estos proyectos, el CTTC desarrolla diferentes líneas de investigación. En particular, se estudia la total descentralización de la toma de decisiones con el fin de reducir al máximo la infraestructura requerida por la implantación de las radios cognitivas y de modelar las interacciones de radios autónomas e inteligentes a través de la teoría de juegos. Ésta es una técnica matemática para modelar las decisiones distribuidas en entornos en los que las acciones de cada nodo tienen un impacto en los nodos vecinos. Se trata de una técnica especialmente apropiada para modelar escenarios cognitivos, ya que decisiones sobre parámetros de transmisión como el canal de frecuencia o el nivel de potencia de transmisión tienen un impacto sobre la calidad percibida por los usuarios, tanto primarios, como secundarios. Por otro lado, también se estudia la aplicación de conceptos de inteligencia artificial que proporcionen capacidades de aprendizaje en entornos inalámbricos. En particular, se estudian los sistemas multi-agente donde cada radio cognitiva es un agente que, de manera distribuida, aprende y toma decisiones a partir de impulsos del entorno. El escenario cognitivo se mapea fácilmente en un sistema multi-agente por las siguientes razones:

- 1) cada radio cognitiva tiene información parcial sobre su entorno;
- 2) no existe necesariamente una entidad centralizada que gestione los recursos de la red secundaria;
- 3) los estímulos que las radios cognitivas tienen en consideración en la toma de decisión provienen de fuentes de información distribuidas espacialmente en el escenario;

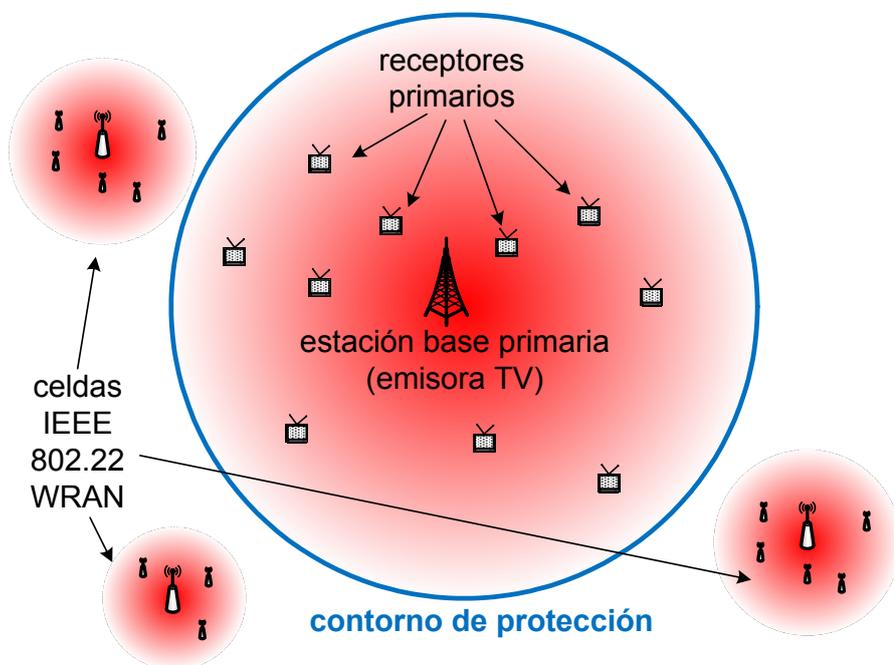


Fig. 3. Arquitectura de sistema del IEEE 802.22.

tecnología en profundidad

4) los procesos de decisión de los diferentes radios son asíncronos en el tiempo;

5) la decisión de cada radio depende de las decisiones de las otras radios y también las afecta.

Otra línea de investigación que se sigue en el CTTC es el uso de redes neuronales para la implementación de capacidades de aprendizaje en radio y redes cognitivas. A manera de ejemplo, consideramos un escenario donde un dispositivo móvil tiene que seleccionar el punto de acceso más adecuado para empezar una comunicación teniendo en consideración informaciones sobre el entorno a su alrededor, como las condiciones del canal, la presencia de interferencia de otros usuarios o los requisitos de calidad del servicio del usuario. La propuesta consiste en que el dispositivo reúna medidas sobre las condiciones de su entorno y sobre la calidad del servicio experimentada en el tiempo y, en función de esta colección de datos, entrene la red neuronal. Dicha red, una vez entrenada, puede utilizarse para predecir la calidad de la comunicación que cada punto de acceso puede proporcionar en las diferentes condiciones del entorno radio. De esta manera, la red neuronal proporciona de manera eficiente la capa-

cidad de aprender desde la experiencia pasada.

Finalmente, en el CTTC también se está investigando cómo realizar un eficiente acceso al medio multi-canal en redes constituidas por simples dispositivos inalámbricos equipados con transceptores capaces de sintonizarse en sólo un canal a la vez. La solución propuesta toma el nombre de *Network Coded Cognitive Control Channel* (NC⁴) y consiste en que los diferentes radios cognitivos salten entre diferentes canales siguiendo secuencias pseudo-aleatorias, intercambiándose información de control cada vez que se encuentran en el mismo canal. A través de la conocida técnica del *network coding*, la información de control puede ser distribuida de manera eficiente entre todos los nodos de la red. Esta información se puede utilizar de forma que dichos nodos puedan coordinarse eficientemente para acceder a porciones del espectro radio infrautilizadas, sin la necesidad de la implementación de un canal común de control. Consideramos que una red secundaria basada en el propuesto algoritmo NC⁴ no sólo resultará más eficiente en términos de prestaciones, respecto a otras notorias soluciones del estado del arte, sino que también resultará más robusta

respecto a ataques como el *jamming* de canal común de control o la emulación del usuario primario.

Líneas futuras

Durante los próximos años se prevé que el estudio de la radio cognitiva avanzará en diferentes direcciones. Muchas de ellas están relacionadas con la capacidad de introducir inteligencia en los radios a través de algoritmos de inteligencia artificial. Como ya se ha mencionado anteriormente, las redes neuronales representan una tecnología prometedora para la implementación de las capacidades de aprendizaje de los radios cognitivos. Aún así, muchos aspectos tienen que investigarse. Por ejemplo, el tiempo de aprendizaje, además de los requisitos de memoria y potencia, que son un problema abierto que el CTTC piensa investigar a través del desarrollo de un prototipo de radio cognitiva para el aprendizaje en tiempo real. Además, otra línea de investigación en la que el CTTC piensa profundizar es en cómo la cooperación entre nodos puede reportar beneficios al proceso de aprendizaje. Por ejemplo, un nodo más inteligente, o que ha tenido más oportunidades en el tiempo o en el espacio para aprender eficientes estrategias de toma de decisión, podría elevarse a

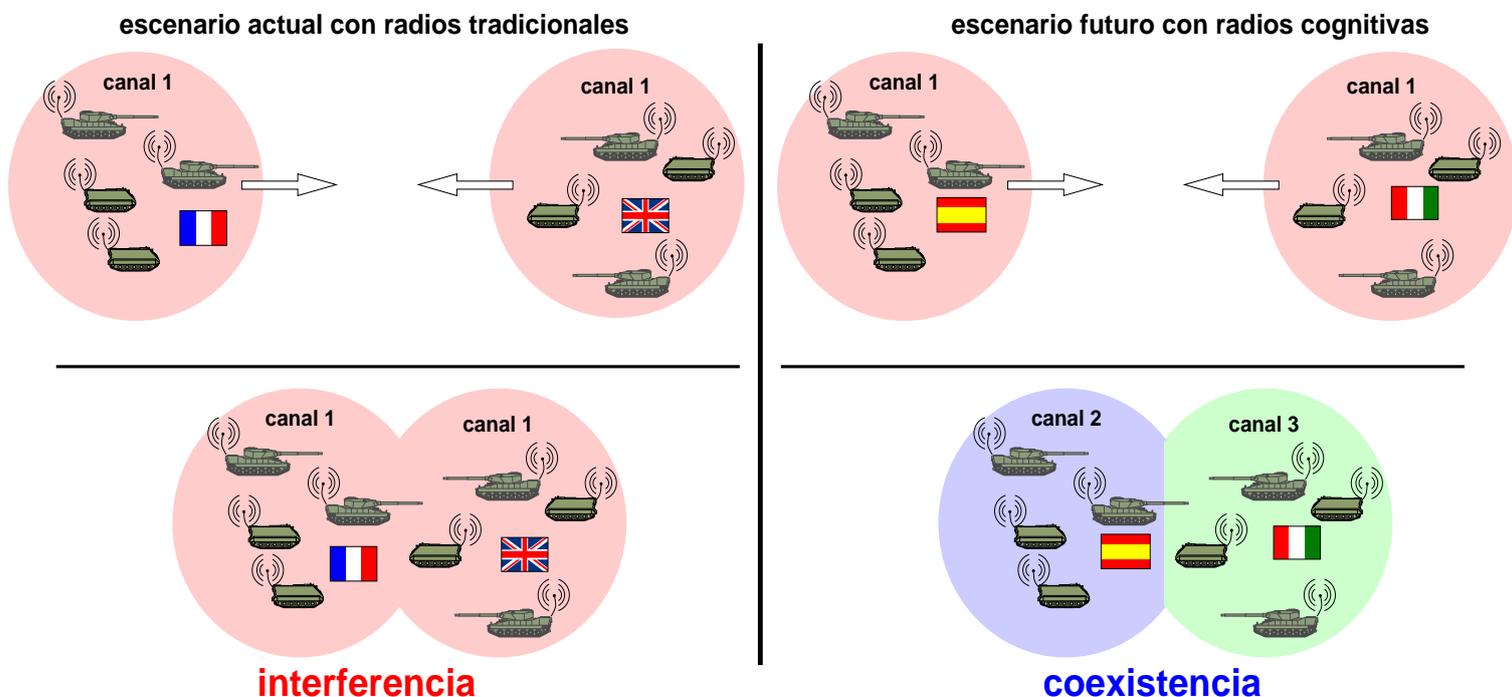


Fig. 4. Despliegue de coalición.

“entrenador” o “docente”, para otros nodos con inferiores capacidades de aprendizaje. Este paradigma, conocido como *docitive radio*, (del latino, *docere* = enseñar y *cognoscere* = conocer) emula el paradigma social de estudiante-docente y puede proporcionar significativos beneficios en términos de tiempo de aprendizaje y eficiencia del proceso de toma de decisión.

Un aspecto al que la comunidad científica aún no ha dedicado suficiente atención durante los últimos años y que tiene una importancia determinante para el desarrollo de las redes cognitivas, tanto en entornos civiles, como militares, es la seguridad. El estándar IEEE 802.22 tiene dedicado a este problema un grupo de trabajo que ya ha identificado muchos ataques. Aún así mucho trabajo queda por hacer. A continuación, se describen los principales ataques identificados hasta la fecha, que se diferencian de los ataques típicos a redes inalámbricas. El primer y más famoso ataque en redes cognitivas es la emulación del usuario primario. Según este ataque, una radio cognitiva capaz de transmitir una señal con las mismas características espectrales

de una señal primaria podría evitar que otros usuarios secundarios ocupen ciertas bandas que entonces quedarían para uso exclusivo del usuario malicioso. Posibles contramedidas incluirían protocolos de autenticación entre primarios y secundarios. Por otro lado, la introducción de estos protocolos comportaría la modificación del mensaje primario debido a la presencia de los secundarios, lo cual está en contradicción con las específicas del FCC. En escenarios donde los primarios son estaciones base televisivas, se pueden aplicar mecanismos basados en localización de la señal maliciosa, considerando como notas las posiciones de los primarios legítimos. Otra posible contramedida es el *Radio Frequency Fingerprinting* (RFF) que es una técnica que permite identificar a los transmisores maliciosos.

Otro ataque típico consiste en destruir las comunicaciones secundarias, a través del *jamming* del canal de control común de la red secundaria. Además, las radios cognitivas también pueden ser atacadas comprometiendo su inteligencia. Un usuario con malas intenciones podría afectar el algoritmo de

aprendizaje de un usuario secundario, manipulando los impulsos en base a los cuales la radio aprende. Finalmente, en escenarios cooperativos, donde los secundarios comparten información (por ej. *sensing* cooperativo y distribuido) para tomar decisiones de manera más eficiente, la difusión de información falsa respecto a la actividad primaria puede causar también la interrupción de la comunicación primaria. En estos últimos casos, esquemas basados en conceptos de reputación pueden servir para reducir el impacto de un ataque malicioso.

Finalmente, como ya se ha discutido en la anterior sección, el protocolo NC⁴ representa una solución prometedora para el acceso al medio distribuido de usuarios cognitivos. Como actividades futuras, el CTTC se plantea construir un prototipo de un sistema basado en dicho protocolo para evaluar prestaciones de sistema y robustez frente a ataques.

Para más información contacte con:
Lorenza Giupponi
(lorenza.giupponi@cttc.es),
Nicola Baldo (nicola.baldo@cttc.es)

agenda

EDA JIP ICET: 3ª Convocatoria

La EDA acaba de lanzar la 3ª y última convocatoria del *Joint Investment Programme on Innovative Concepts and Emerging Technologies* (JIP ICET), centrada en dos de sus Objetivos de I+T:

- *Nanomaterials integrated in textiles for future soldier equipment*
- *Metamaterials in radar applications.*

A diferencia de las dos primeras convocatorias de este programa, se financiarán dos estudios prospectivos en estas dos áreas

tecnológicas. Estos estudios deberán centrarse en el medio y largo plazo. La contribución máxima para cada contrato de 329.933€ y la duración estimada de los contratos será de 1 año.

La fecha límite para la entrega de propuestas es el 7 de junio de 2010.

Al igual que en anteriores convocatorias, para participar todas las entidades interesadas deben registrarse a través de los representantes nacionales.

The screenshot shows the European Defence Agency (EDA) website. The main heading is "EDA Defence R&T Joint Investment Programme on Innovative Concepts and Emerging Technologies (JIP-ICET)". The date is "Brussels 26/03/2010". The text describes the programme, stating that it was approved by the EDA's Steering Board and is funded by a common budget of €15.58 million. It mentions that the programme is for research into emerging technologies which might have a disruptive effect on the battlefield. A quote from Javier Solana, the Head of the Agency, is included: "I am delighted to see that this new way of collaborating in a more integrated and efficient way has proved its worth and is being repeated." The text also states that the programme is managed by a management board which decides how funds are to be allocated for individual projects with no pre-

Para más información, contacten con los representantes nacionales en el Comité de Gestión del Programa: Germán Vergara Ogando (gvergarao@oc.mde.es) y Patricia López Vicente (plopvic@oc.mde.es)

Más información sobre este programa de la EDA en los Boletines nº 18, 19 y 24 y en la página Web de la Agencia: <http://eda.europa.eu/genericitem.aspx?id=368>.

Desarrollo de un analizador para detección de agentes químicos (CANARIO)

Rosa M^a Almazán Carneros, Área de Optrónica y Acústica (ITM-CIDA).

The project CANARIO pursues the design and manufacture of a technological demonstrator based on IR absorption, microemitters and uncooled IR sensor arrays operating in the 2 to 14 μm spectral range, thus covering the MWIR and LWIR regions necessary for a reliable identification of the chemical agents. As far as we know, this non-dispersive system is unique, as it is the first in the world that integrates in its focal plane two types of uncooled IR detectors, microbolometers and VPD (Vapour Phase Deposition) PbSe. As far as Spain is concerned, its responsibilities are focused on the development of the lead selenide detectors, electronics and light filtering, as well as laboratory testing with gases.

Introducción

Hoy en día se dan numerosas situaciones tales como conflictos militares, terrorismo, catástrofes naturales, contaminación por procesos químicos e industriales, etc, que plantean la necesidad de un sistema de detección de gases tóxicos para operar en entornos peligrosos, remotos y en tiempo real. Los sensores químicos existentes hasta el momento, aunque muy sensibles en algunos casos, son muy poco selectivos, incurriendo en frecuentes falsas alarmas además de requerir calibraciones periódicas para mantener su eficiencia. Esto plantea la necesidad de desarrollar sistemas de bajo coste y robustos capaces de identificar varias especies de gases y sensibles a bajas concentraciones de los mismos; además, deberán tener un tamaño y peso apropiados para ser desplegados en grandes áreas, ya sea por personas o por vehículos de tierra o aire.

El ITM-CIDA es uno de los seis participantes del Proyecto CANARIO (Chemical Warfare Agents analyzer based on low cost dual band IR microsystems), financiado por los Ministerios de Defensa de España e Italia y coordinado en el marco de la Agencia Europea de Defensa. Este proyecto persigue el diseño y fabricación de un de-

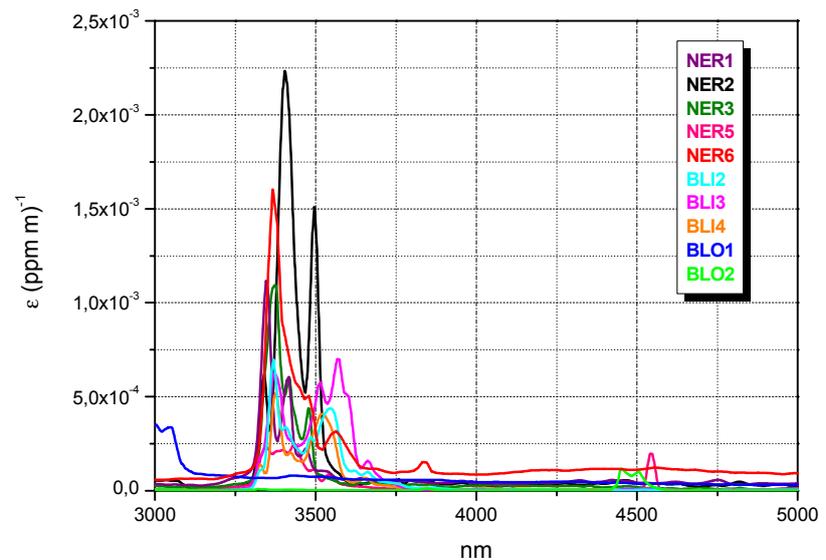


Fig. 1. Espectros de absorción de diferentes CWAs (NERve, BLIster y BLOod) entre 3 y 5 μm .

mostrador tecnológico consistente en un analizador de gases por espectroscopía IR que cubra las necesidades arriba descritas. Se trata de un sistema espectrofotométrico basado en absorción IR y en microemisores y matrices de sensores de infrarrojos no-refrigerados operando en el rango espectral de 2 a 14 μm , cubriendo así las regiones de IR medio (MWIR) y lejano (LWIR), necesarios para una identificación fiable del gas tóxico.

Estos sistemas son no-dispersivos, característica que les hace muy adecuados para esta aplicación porque sus componentes no interactúan con las moléculas del gas a analizar y, por tanto, ni se degrada la muestra ni hay que reemplazar materiales con su uso. La radiación viaja desde el emisor a lo largo de un camino óptico dentro de una celda multi-paso, y disminuye según la absorción característica del gas presente en la celda hasta llegar al detector, situado en el plano focal del sistema óptico. El analizador objeto del proyecto CANARIO es único. Hasta lo que sabemos es el primer sistema del mundo que integra en su plano focal dos tipos de detectores IR no refrigerados (uncooled), los microbolómetros y el VPD (Vapor Phase Deposition) PbSe. En lo que a España respecta, sus responsabilidades se centran en el desarrollo de los detectores de seleniuro de plomo, la electrónica y el filtrado de la luz, así como en la realización de pruebas en el laboratorio con sustancias gaseosas.

Participantes

Los centros que participan en el proyecto CANARIO son los siguientes:

CREO, Consorzio Ricerche Elettro-Optiche (Italia): Líder del proyecto. Organización sin ánimo de lucro para la I+D de tecnologías innovadoras en el sector de materiales, dispositivos y sistemas electroópticos, en particular en detectores y sensores IR. Sus trabajos incluyen monitorización ambiental y fabricación y uso de microbolómetros.

ITM-CIDA (Instituto Tecnológico La Marañosa - Centro de Investigación y Desarrollo de la Armada), dependiente de la SDG TECEN (Subdirección de Tecnología y Centros) de la DGAM (Dirección General de Armamento y Material): Perteneciente al Ministerio de Defensa y dedicado al desarrollo de tecnologías relacionadas con las opto-microelectrónica. A lo largo de los últimos 25 años, el Departamento de Investigación del CIDA ha realizado labores de investigación aplicada y desarrollo tecnológico en el ámbito de la óptica VIS-IR, del procesado de semiconductores en general y en el de desarrollo de detectores de infrarrojo y visión nocturna en particular. Dentro del proyecto CANARIO lidera la participación española.

Selex-Galileo (Italia): Parte integrante del Grupo Finmeccanica, reúne conocimiento y amplia experiencia acumulada en soluciones integradas en los campos de aviación, sensores y sistemas electroópticos aerotransportados y terrestres, sistemas de vigilancia y

protección, radar y formación de imágenes.

CETLI NBC, Centro Tecnico Logistico Interforze NBC (Italia): Instituto militar italiano que trabaja en la destrucción de antiguas armas químicas, mantenimiento de material NBQ (nuclear, biológico, químico) para el ejército e investigación de nuevos materiales relacionados, como detectores o descontaminantes.

DAS Photonics (España): Spin-off de la Universidad Politécnica de Valencia que trabaja en el campo de la tecnología óptica avanzada y en sistemas fotónicos para telecomunicaciones e informática.

D+T Microelectrónica (España): spin-off del IMB-CNM-CSIC (Instituto de Microelectrónica de Barcelona - Centro Nacional de Microelectrónica - Centro Superior de Investigaciones Científicas) que pone a disposición de la industria soluciones enfocadas a cubrir necesidades específicas, englobando diseño, desarrollo y producción de circuitos integrados.

Fundamentos

La identificación del gas se basa en el hecho de que el espectro de absorción infrarroja de cada compuesto constituye una firma inequívoca del mismo, ya que está determinado por su composición química y su estructura molecular. Los modos fundamentales de vibración de los enlaces entre átomos dentro de la molécula presentan bandas de absorción en el infrarrojo medio, especialmente los enlaces O-H, C-H y N-H; y los modos correspondientes a vibraciones del conjunto de la molécula producen bandas en el infrarrojo lejano -huella digital-. Para asegurar la correcta identificación de un compuesto concreto es deseable la detección de absorción en las dos bandas de infrarrojo. (Figura 1)

La ley de Beer-Lambert nos da la relación entre la absorción de radiación por un gas a una longitud de onda determinada y su concentración:

$$T = \exp(-\epsilon CL)$$

donde T = transmitancia, $\epsilon(\lambda)$ = coeficiente de absorción molar, C = concentración del gas y L = camino óptico. La radiación emitida por la fuente viaja a lo largo del camino óptico L interactuando con las moléculas de gas tóxico y de aire, que absorben energía y varían su estado de vibración. Cuanto más larga es la distancia recorrida y/o

mayor es la concentración más radiación es absorbida. La disminución en la radiación desde que sale del emisor hasta que llega al detector será la que permita estimar la concentración del gas objetivo para un determinado camino óptico.

Integración de tecnologías MWIR + LWIR

Como se señaló anteriormente, para una identificación fiable del gas a detectar es necesario obtener información de los rangos de infrarrojo medio y lejano. Éste es el motivo principal de la colaboración entre CREO, líder del proyecto, y el ITM-CIDA. CREO desarrolla los detectores LWIR (microbolómetros de VOx) e ITM-CIDA los detectores MWIR (VPD PbSe).

CREO cuenta con experiencia previa en monitorización ambiental y en la fabricación y uso de microbolómetros, sensores de VOX sensibles a una banda ancha de 7 a 14 μm (LWIR) y cuya resistencia eléctrica varía con los cambios de temperatura del material producidos por la absorción de la radiación incidente (sensores térmicos). Por su parte, el ITM-CIDA ha desarrollado en los últimos años una tecnología propia de sensores de seleniuro de plomo policristalino depositado en fase vapor, sensible a una banda ancha de 3 a 5 μm (MWIR), y cuya resistencia varía en función del flujo de fotones incidentes (sensores fotónicos).

Al comienzo del proyecto se estudiaron los espectros de agentes químicos de guerra (CWAs) y de otros compuestos de menor toxicidad además de la transmisión atmosférica, tras lo cual se eligieron las longitudes de onda más

características en las que se producen las absorciones de estos compuestos. Incorporando filtros paso-banda a los detectores se puede realizar una discriminación espectral que permita detectar la presencia de alguno de los compuestos objeto del estudio. Cada par sensor-filtro recibe el nombre de canal y las señales eléctricas que resultan del conjunto de canales serán interpretadas para la identificación del gas.

Las tecnologías de infrarrojo lejano y medio van integradas en un chip híbrido. Ésta es la primera vez que dos tecnologías diferentes de detección IR comparten un mismo FPA (*Focal Plane Array*), lo cual implica importantes retos tanto de diseño, fabricación e hibridación de los dos tipos de sensores, como de diseño y desarrollo de la electrónica de control y lectura.

Una de las principales aportaciones de CREO es la cavidad óptica que alojará al sistema, que permite que en tan sólo 15 cm de longitud el camino óptico sea de 1,5 m. Además cumple con exigentes requisitos de captación de la energía proveniente del emisor. Esta celda óptica mantiene una excelente capacidad de reproducir imágenes para un área de tan sólo 7,5 x 7,5 mm^2 , por lo que el área efectiva del detector híbrido no podrá exceder este límite, convirtiéndose en el mayor condicionante del diseño del sistema.

Teniendo en cuenta la limitación del área efectiva del detector híbrido así como las longitudes de onda características de absorción de los gases se decidió el número de canales necesarios para cada rango del IR. De este modo, el rango de operación de los mi-

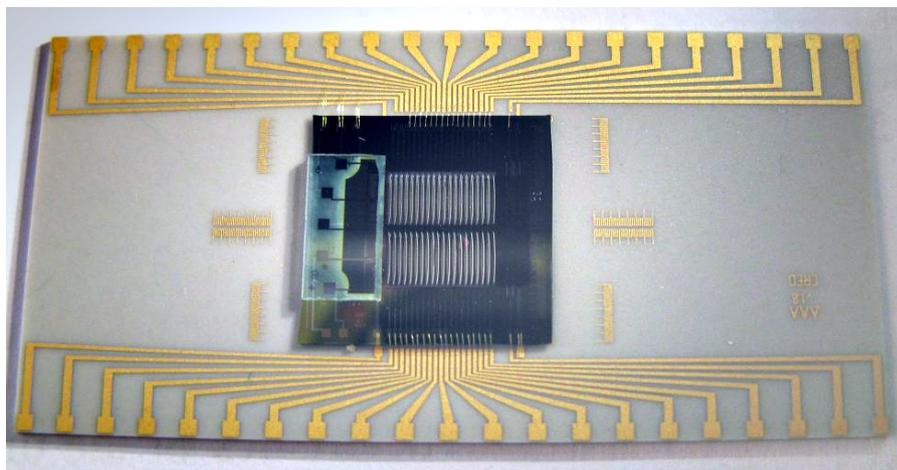


Fig. 2. Plano focal compuesto de un chip híbrido, con cuatro sensores de PbSe para infrarrojo medio y 38 microbolómetros de VOx para infrarrojo lejano.

crobolómetros (7-14 μm) será cubierto con 38 canales mientras que el de los sensores de PbSe (3-5 μm) se cubrirá con cuatro canales. (Figura 2).

Para establecer los intervalos en longitud de onda que cubrirá cada canal, se superponen filtros linealmente variables comerciales sobre los microbolómetros. Para los sensores de PbSe se aprovechará uno de los últimos logros conseguidos por el ITM-CIDA que es la integración monolítica del PbSe sobre filtros interferenciales permitiendo modificar la respuesta espectral [1-2]. De este modo, se integrarán cuatro filtros interferenciales paso-banda diferentes sobre un mismo sustrato y sobre éstos se desarrollarán los sensores de PbSe. Este aspecto es uno de los grandes retos del proyecto para el ITM-CIDA.

Una alternativa innovadora al filtrado en LWIR es la presentada por DAS Photonics que investiga la implementación de filtros HAF (*Hole Array Filters*) para la discriminación espectral del analizador. Estos filtros consisten en una matriz de agujeros hechos en una lámina metálica delgada. Variando parámetros del sistema como radio de los agujeros, periodicidad de la matriz y constante dieléctrica del sustrato que rodea la lámina metálica se puede controlar la longitud de onda transmitida y el ancho de los picos de transmisión. Aplicar esta técnica al rango del infrarrojo supone una novedad y aún se está perfeccionando.

La señal eléctrica generada en el sensor será leída por un microchip (ROIC, *Read Out Integrated Circuit*) específicamente diseñado y procesado para el proyecto y enviada a un PC para someterse a los algoritmos de identificación del gas que se está analizando.

La responsabilidad de la electrónica de control y lectura del analizador de gases desde el sensor a la comunicación exterior recae sobre D+T Microelectrónica. El procesado de datos desde el sensor hasta el usuario implica pre-amplificación de las corrientes provenientes de los sensores MWIR y LWIR, off-set y cancelación de ruido de baja frecuencia, conversión A/D e interfaz I/O. Además, para poder adaptar la electrónica a los diferentes tipos de sensores presentes en la matriz de detectores, es necesario dotar a las fases de pre-amplificación de un cierto

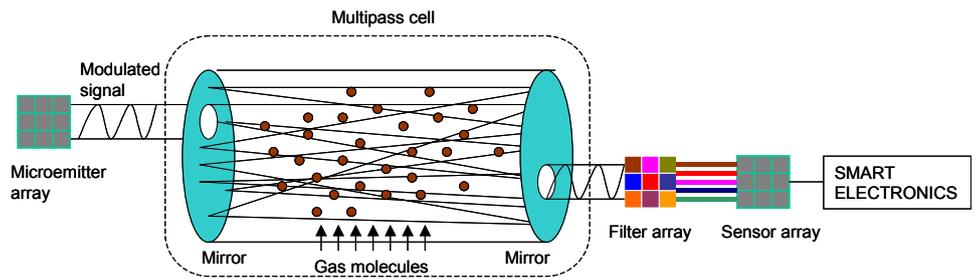


Fig. 3. Esquema del concepto del sistema: emisor, modulador de señal, celda óptica multi-paso, absorción del gas, filtros y sensores.

grado de "programabilidad" de la sensibilidad de la señal y del tiempo de integración, así como un control del rango dinámico en la conversión A/D. La electrónica de control deberá incluir mecanismos de test para la verificación experimental de cada subsistema independientemente.

El HMI (Human Machine Interface) y los algoritmos de detección son desarrollados por Selex-Galileo que aporta al proyecto su asesoramiento como "sistemista". El usuario del analizador contará con un interfaz que le permitirá controlar los parámetros de los subsistemas, obtener la señal cruda de los sensores y, finalmente, los datos procesados, con la comparación del espectro obtenido de la muestra de gas y los espectros de los gases objetivo, dando como resultado, en su caso, una señal de aviso o alarma de presencia de compuesto tóxico. (Figura 3)

Como finalización del proyecto y una vez construido el prototipo definitivo de analizador, se realizarán en CETLI NBC pruebas de test con los gases tóxicos y simulantes de los que dispongan en sus instalaciones.

Aportación del ITM-CIDA al proyecto CANARIO

Centrándonos ya en el trabajo a cargo del ITM-CIDA, éste es responsable principalmente del desarrollo de los sensores y filtros interferenciales en el rango MWIR integrándolos monolítica-

mente.

Los detectores de PbSe se obtienen depositando sobre un sustrato de zafiro, transparente a la radiación MWIR, las capas que conforman los filtros, la metalización para los contactos eléctricos y el seleniuro de plomo, por este orden. Cada elemento tiene su propia geometría, siendo especialmente relevante la de los dos últimos pasos porque influye en la responsividad del sensor y se pretende que ésta sea máxima. Para que cada capa quede con la forma deseada se emplean técnicas fotolitográficas, en las cuales se utilizan máscaras que delimitan las geometrías deseadas.

Desde el punto de vista tecnológico el diseño y fabricación de cuatro filtros interferenciales en un mismo sustrato supone un gran reto. Los requisitos del sistema en cuanto a sensibilidad y capacidad de identificación se reflejan en requerimientos bastante exigentes respecto al ancho de banda (unos 60 nm) y a las transmitancias en la banda de paso $T_{on} > 70\%$ y en la banda de rechazo $T_{off} < 0.1\%$. El tipo de filtro más simple que cumple con lo requerido es el filtro de Fabry-Perot en lámina delgada que se basa en el interferómetro del mismo nombre. Este sistema óptico multicapa de alta reflectancia proporciona, con una sola combinación de láminas, la banda de paso y la de rechazo simultáneamente. La respuesta

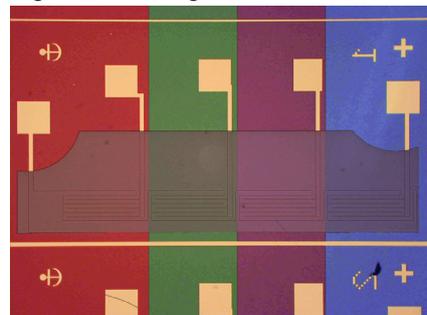


Fig. 4. Detector MWIR de PbSe con cuatro filtros interferenciales integrados.

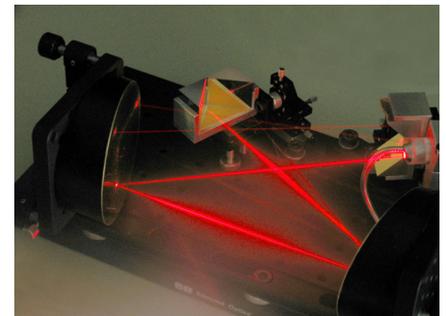


Fig. 5. Celda multipaso CANARIO.

en reflectancia del sistema multicapa es el resultado de la interferencia de los haces reflejados en las distintas superficies de separación entre capas. Para el caso del CANARIO se emplearán filtros de doble cavidad, formados cada uno por dos filtros Fabry-Perot en serie para un comportamiento optimizado. Esto implica alternar capas de materiales con índices de refracción muy diferentes, n_H y n_L , alto y bajo respectivamente.

Los filtros desarrollados en el ITM-CIDA constan de capas de SiO_2 y Ge depositadas por evaporación térmica en vacío, llegando a unas 64 capas por filtro, suponiendo espesores totales particularmente altos en el caso de infrarrojo medio ($\sim 18 \mu m$). Estos espesores tan elevados dificultan el proceso tanto de integración de los cuatro filtros en un mismo sustrato como de la posterior integración de los sensores de $PbSe$ sobre ellos. En particular, implican la adaptación de los procesos fotolitográficos de definición de filtros, haciendo necesario el uso de resinas especiales con toda la puesta a punto y los problemas que ello conlleva. También hay que tener especial atención en el posterior procesado $PbSe$ que puede dar lugar a la aparición de problemas de estabilidad física de los filtros.

Una vez que se tiene el sustrato con los cuatro filtros integrados, se depositan la metalización por pulverización catódica y la capa de seleniuro de plomo por evaporación térmica en fase vapor. Para que el $PbSe$ sea sensible a la radiación IR, se somete a un proceso de sensibilización consistente en un tratamiento térmico en atmósfera reactiva. Finalmente se deposita una última capa de SiO_2 como pasivado para proteger el sensor y evitar que se produzcan contactos eléctricos con otras partes del chip. (Figura 4)

La consecución de todos estos pasos con éxito conlleva la superación de diversos obstáculos con cada nuevo diseño, ya que cada parte del detector (filtros, contactos metálicos, material sensible) debe conservar sus propiedades tras los procesos que se realizan sobre ella. Además de los posibles problemas de los procesos fotolitográficos, hay que destacar otros riesgos tecnológicos como la minimización de problemas como el "cross talk" óptico y la dependencia de la curva de transmisión con el ángulo.

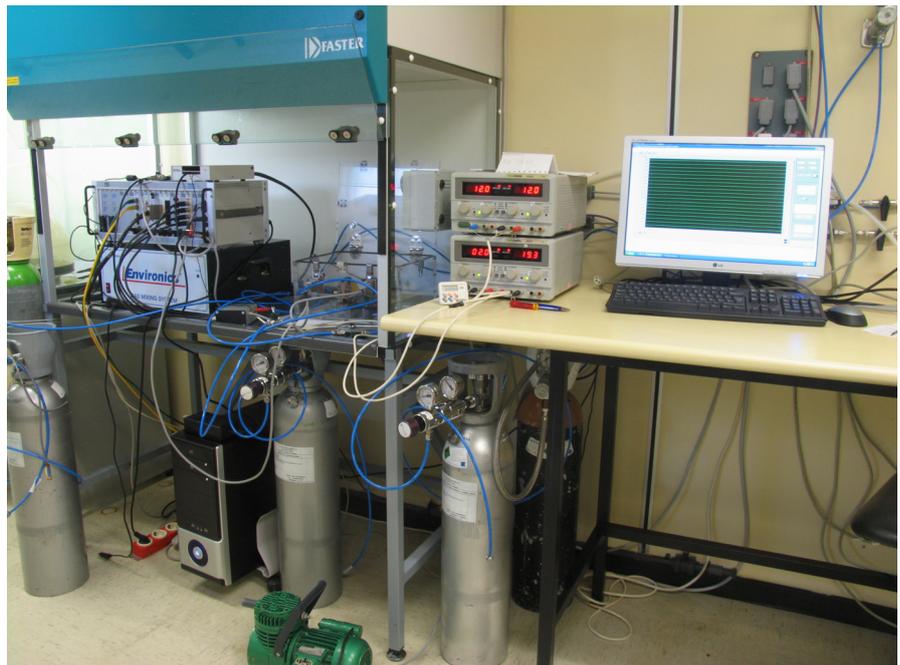


Fig. 6. Montaje experimental completo: botellas de gases, cámara estanca en cabina de extracción, chasis de lectura, fuentes de alimentación y PC de control.

Pruebas de laboratorio con gases

Simultáneamente al desarrollo de los detectores, CREO e ITM-CIDA están realizando pruebas de laboratorio preliminares con gases antes de las definitivas que tendrán lugar en los laboratorios de CETLI NBC.

Actualmente, el ITM-CIDA cuenta con un sistema conceptualmente similar al que será el definitivo CANARIO, con el objeto de realizar pruebas con gases y líquidos volátiles y así validar el diseño y la fabricación de los detectores de infrarrojo medio. Se pretende también comprobar los límites de detección (LoD) es decir, las concentraciones mínimas detectables de cada gas. Los gases y líquidos empleados en las pruebas reciben el nombre de simulantes, ya que, sin ser los agentes químicos de guerra objetivo del CANARIO, presentan una absorción infrarroja similar a la de éstos.

El sistema experimental está compuesto por una cavidad óptica multipaso desarrollada en CREO (Figura 5) alojada en el interior de una cámara estanca. La celda empleada consta de dos espejos parabólicos y dos pares de retroreflectores planos que proporcionan un camino óptico de 1m. En un plano focal de la cavidad está situado el emisor y en el otro el detector. Tras las múltiples reflexiones que sufre la radiación entre los diferentes espejos

llega hasta el detector, generando en el $PbSe$ una señal eléctrica. Cuando se introduce un gas o un líquido volátil en la cavidad, éste absorbe cierta cantidad de energía, observándose una disminución en la señal del detector respecto a la que tenía antes de introducir dicho compuesto. Hasta la fecha se han realizado pruebas con detectores de $PbSe$ con diferentes geometrías, sin filtro y con un filtro interferencial monolíticamente integrado demostrando que la tecnología propia del ITM-CIDA es aplicable a la detección de gases (Figura 6).

En la figura 7 puede verse la disminución de la señal eléctrica de un detector de $PbSe$ monolíticamente integrado con uno de los filtros diseñados para el proyecto CANARIO, al introducir en la cámara estanca diferentes volúmenes de etanol. Estos resultados son muy prometedores ya que se observa la elevada sensibilidad del $PbSe$ frente a cambios producidos por un compuesto presente en bajas concentraciones, así como su rápida respuesta. En poco tiempo dispondremos de una celda multipaso de mayor camino óptico, por lo que los límites de detección del sistema serán mejores.

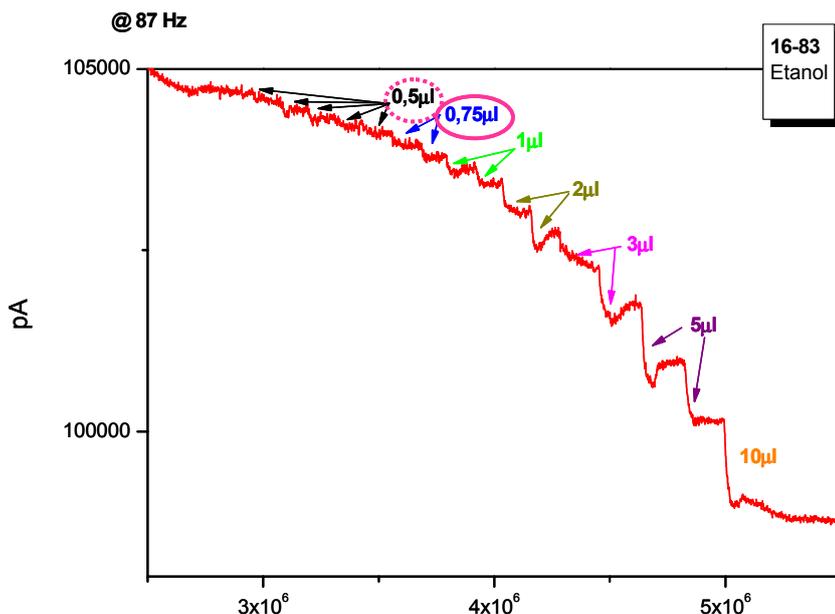


Fig. 7. Evolución temporal de la señal eléctrica arrojada por un canal determinado del detector MWIR en presencia de etanol. El compuesto es introducido en estado líquido en cantidades secuencialmente mayores en intervalos de 2 ó 3 minutos. Se observa que el límite de detección está entre 0,5 y 0,75 µl, lo que equivale a entre 20 y 30 ppm una vez evaporado.

Resultados prometedores

Los agentes de guerra tienen bien establecidos los niveles letales de concentración, planteando directamente un requisito cuantitativo de sensibilidad del sistema, es decir, el reto de una detección temprana de concentraciones a las que el gas no tiene efectos perjudiciales para la salud, o al menos no permanentes. En la tabla se incluyen para ciertos CWAs los valores estable-

cidos de concentración letal que podría causar la muerte al 50% de la población expuesta para un determinado tiempo de exposición (LCT50) y la concentración que podría causar efectos permanentes inmediatos o tardíos en la salud después de 30 minutos de exposición (IDLH). En la última columna se presentan los límites de detección (LoD) simulados para el sistema CANARIO, considerando los

límites de detección de los dos tipos de detectores empleados.

En base a los primeros resultados experimentales las capacidades de detección del sistema CANARIO son realmente interesantes. No sólo porque servirá para la detección de un gran número de agentes de guerra y de compuestos tóxicos sino también por su rapidez de respuesta y por su sensibilidad. Debe destacarse la importancia de la tecnología del PbSe en lo que a detección de gases se refiere, lo que pone de manifiesto su enorme versatilidad en el campo de la defensa.

Para más información contacte con: Rosa Mª Almazán Careros, (rmalmazanc@oc.mde.es).

Referencias

- [1]. Diezhandino, J. et al. (2003) *Monolithic integration of spectrally selective uncooled lead selenide detectors for low cost applications*. Appl. Phys. Lett. 83, 2751.
- [2]. Rodrigo, M. T. et al. (2004) *Process technology to integrate polycrystalline uncooled PbSe infrared detectors on interference filters*. Proc. SPIE, Vol. 5251, 97.

CWA	Tipo de agente	LCT50 (ppm*min)	IDLH ppm	LoD (ppm)_ Detector CANARIO	
				CIDA (MWIR)	CREO (LWIR)
Cloruro de Cianógeno (CNCl)	Sanguíneo	8133	1	2,5	500
Ciclo-Sarin (GF)	Nervioso	25	0,01	0,5	5
Cianhídrico (HCN)	Sanguíneo	4204	1	1	100
Mostaza Nitrogenada 1 (HN-1)	Vesicante	401	0,1	1	100
Mostaza Nitrogenada 2 (HN-2)	Vesicante	874	0,1	0,5	10
Mostaza Nitrogenada 3 (HN-3)	Vesicante	333	0,1	1	10
Sarin (GB)	Nervioso	17	0,01	0,5	5
Soman (GD)	Nervioso	23	0,01	0,5	5
Tabun (GA)	Nervioso	70	0,01	1	10
VX	Nervioso	5	0,001	0,5	5

Tabla 1. Valores LCT₅₀ e IDLH de algunos CWAs y los límites de detección esperados de los detectores que componen el CANARIO.

Boletín de Observación Tecnológica en Defensa

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

em 2010.es