DIRECCIÓN GENERAL DE ARMAMENTO Y MATERIAL

SUBDIRECCIÓN GENERAL DE TECNOLOGÍA Y CENTROS

Nº 10. Primer Trimestre 2006

En este número

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

Contactar

Nodo Gestor
C.N. Ing. Manuel Berná Serna
SDG TECEN C/ Arturo Soria 289
Madrid 28033
mberna@oc.mde.es

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

Observatorio de Óptica, Optrónica y Nanotecnología
C.N. Ing. Arturo Maira Rodríguez
arturomaira@oc.mde.es

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

Observatorio de Tecnologías de la Información, Comunicaciones y Simulación
TCol. CIP Moisés Serrano Martínez
msermar@oc.mde.es

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

Observatorio de Materiales
Dr. José Maroto Sánchez
marotosj@inta.es

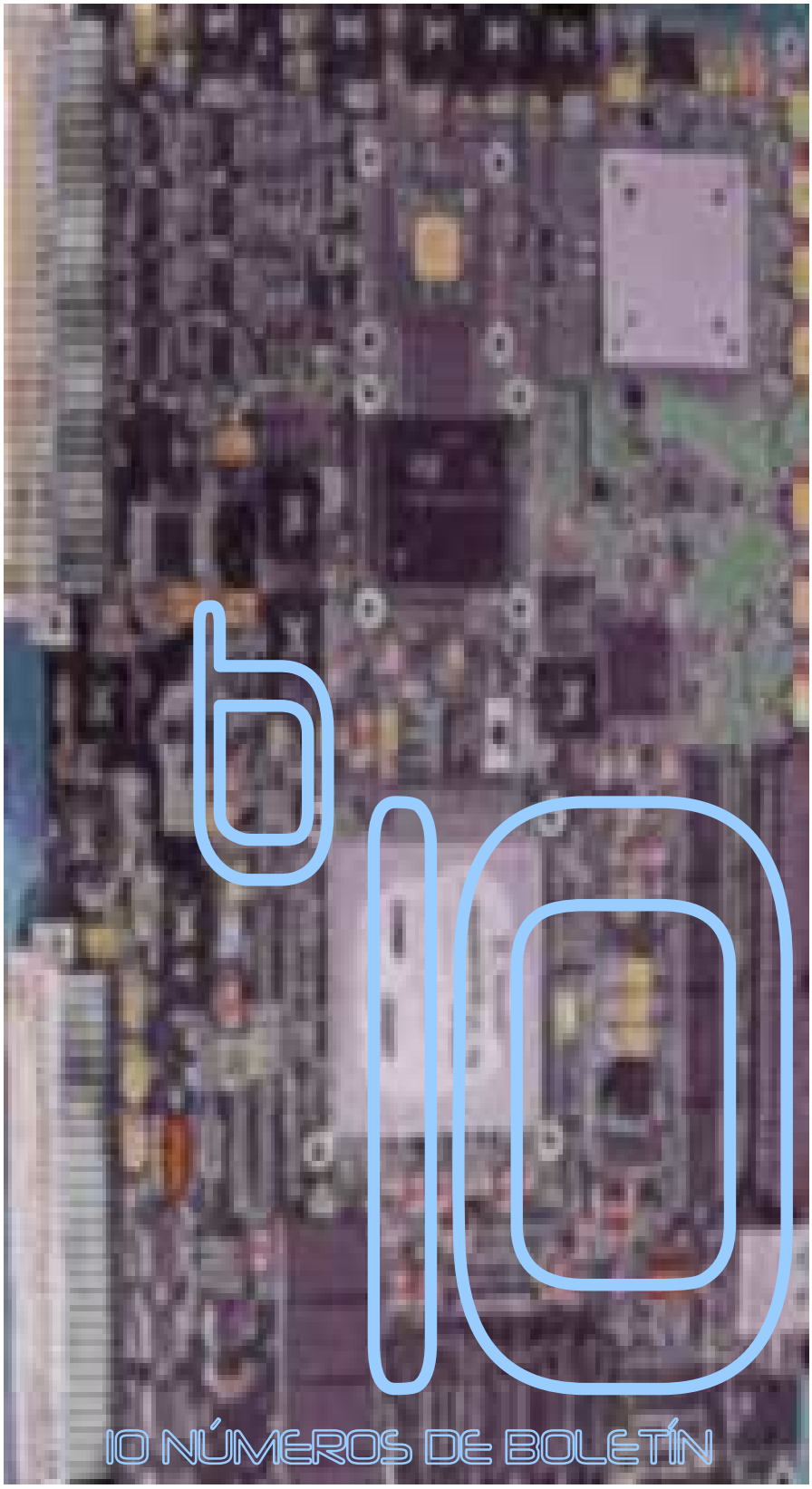
Observatorio de UAV´s y Robótica
Cap. CIESO Jesús M. Aguilar Polo
jaguilarp@oc.mde.es

Observatorio de Energía y Propulsión
C.F. Ing. Gerardo Matres Manso
gdomatres@oc.mde.es

www.mde.es/dgam/observatec.htm

Boletín
de Observación Tecnológica en Defensa

Editado por el Sistema de Observación y Prospectiva Tecnológica



EDITORIAL

El Boletín ya tiene dos dígitos: hemos llegado al número 10. Y así, poco a poco, meta a meta, nos animamos a continuar con el esfuerzo. Y no en balde, dos años y medio después del inicio de su publicación estamos satisfechos de haber conseguido, al menos, la regularidad.

Pero es más, creemos que los objetivos planteados con la creación de los Observatorios Tecnológicos siguen teniendo plena vigencia. Así, la necesidad de "mirar hacia el futuro" en temas de defensa era y es una constante en los países de desarrollados. España ha llegado con un cierto retraso a sistematizar estas actividades, y no sólo en el terreno de las tecnologías de la Defensa, sino en general en la política industrial y tecnológica, pero en muy poco tiempo hemos alcanzado un nivel que nos permite participar, con voz propia, en los foros internacionales.

Así, cuando la recién creada Agencia Europea de Defensa (EDA en sus siglas en Inglés), dirigida por el alto representante de la UE para la política exterior y seguridad, D. Javier Solana, ha comenzado a elaborar un documento genérico de doctrina denominado *Long Term Vision*, con la participación de los estados que la componen, España no se ha quedado atrás sino que está participando activamente en la elaboración de esta visión a largo plazo de los entornos europeo y mundial hacia el 2025. Y quizá, una pequeña parte es debida al camino que ya hemos recorrido con la puesta en marcha de los Observatorios, en el desarrollo día a día de las tareas de vigilancia y del propio Ejercicio de Prospectiva Tecnológica.

Pero no hay que confiarse. Hemos recorrido mucho en poco tiempo, pero es mucho más lo que nos falta por recorrer, y sobre todo por consolidar. Consolidar una estructura dinámica que continuamente esté "mirando hacia el futuro", y cuyos mejores frutos sólo se obtendrán cuando se haya alcanzado una década de funcionamiento

ÍNDICE

Actualidad Observatorios:

- Editorial……..2
- Avance del Ejercicio de Prospectiva Tecnológica……..2
- Reunión GT RTCT: robótica y vehículos automáticos……..3
- RTO SAS: "Assessment of Technologies with a disruptive effect on Defence and Security"……..3

Actualidad Tecnológica:

- 1st NBC Internacional Conference……4
- Proyecto finalizado: SOCCER……5
- EW Trials 2006.....6

Enlaces……6

- Reseña tesis doctoral……..7
- Publicación de la Monografía de NEC.....7

Tecnologías Emergentes:

- Herramienta para reconocimiento automático de buques…….....8
- Materiales para misiles……..10
- Cohetes Aire-Tierra de bajo coste y mayor precisión……..12
- Técnicas de recepción digital en Guerra Electrónica……..15
- Agentes inteligentes y sistemas multiagente.....17
- Espectroscopia de absorción de terahercios.....19

Agenda……...20

En profundidad:

Tecnologías en pilas de combustible……21

Avance del Ejercicio de Prospectiva Tecnológica

Como se ha venido informando en números anteriores de este Boletín, la DGAM, y en particular el Sistema de Observación y Prospectiva Tecnológica de la SDG TECEN, está llevando a cabo el 1er Ejercicio de Prospectiva Tecnológica en Defensa. El objetivo de este Ejercicio es contribuir a actualizar, y en su caso redefinir, las líneas tecnológicas que guiarán la planificación de la I+T del Ministerio en los próximos años.

El pasado mes de diciembre comenzó la primera fase del Ejercicio. En esta primera fase se envió un cuestionario a expertos de la comunidad tecnológica, actores clave del proceso. Entre otros, se seleccionaron expertos de universidades, centros de investigación y departamentos de I+D. El envío se realizó durante el último mes de 2005 y la recepción de los mismos ha tenido lugar durante los meses de enero y febrero.

Actualmente, se está procediendo al análisis de los cuestionarios recibidos y preparando la segunda fase del Ejercicio de Prospectiva, en la que se contará con paneles de expertos de la organización, de la industria de defensa, y con departamentos de investigación de universidades y centros tecnológicos relacionados con programas y proyectos de defensa. Estos expertos aportarán su visión sobre el futuro tecnológico.

Más información en los Boletines Nº8 y Nº9, en http://www.mde.es/dgam/webprospectiva/presentacion.htm y en acorgon@oc.mde.es

Reunión Grupo de Trabajo RTCT: Robótica y Vehículos Automáticos

El pasado mes de enero tuvo lugar, en las instalaciones del Ministerio de Defensa británico en Londres, la tercera reunión del grupo de trabajo LOI 6 RTCT II (Research and Technology Co-operative Team) en "Robótica y Vehículos Automáticos". El objetivo de estos grupos de trabajo es desarrollar capacidades tecnológicas prioritarias para los seis países en el ámbito de la defensa. En concreto, se busca encontrar intereses compartidos por las naciones en el terreno de las plataformas no tripuladas terrestres de apoyo al soldado.

En las reuniones mantenidas con anterioridad en Alemania y Francia, se expusieron las situaciones relativas de cada país, sus capacidades, intereses y prioridades en relación con las tecnologías subyacentes en estas áreas, y se buscaron posibles vías de intercambio de información, así como de colaboración en proyectos de I+T.

Si bien cada nación presenta áreas tecnológicas de interés determinadas, como los programas suecos en autonomía o los proyectos franceses en tecnologías ISTAR, existen muchos sistemas que se pueden considerar de interés común para todos los países, como son las plataformas destinadas a desminado o desactivación de explosivos, las destinadas a misiones de vigilancia de áreas, al combate y apoyo a vehículos terrestres, trabajo en ambiente NBQ, etc. Por ello, en próximas reuniones se tratará de concretar en algunos intereses comunes que permitan la puesta en marcha de un proyecto de colaboración a medio plazo. Mediante esta vía, se pretende capacitar a la industria nacional y europea en estos temas, prioritarios y de gran importancia para la defensa.

RTO Panel SAS: "Assessment of Technologies with a disruptive effect on Defence and Security"

Dentro del panel SAS del RTO, que recientemente ha cambiado de nombre (la nueva denominación es System, Analysis and Studies / Sistemas, Análisis y Estudios) va a iniciar su actividad un nuevo grupo de trabajo (Task Group) basado en los trabajos del grupo exploratorio (Exploratory Team) "Defence Technology Watch, Assessment And Forecast"

La actividad del Exploratory Team ha permitido poner en común buenas prácticas y enfoques novedosos en la identificación y seguimiento de tecnologías emergentes, y en particular avanzar en aspectos metodológicos aplicables a la evaluación e impacto de las nuevas tecnologías sobre los sistemas de defensa.

El Exploratory Team ha contado con la participación de Holanda (nación lider), Reino Unido, Canadá, Francia, Noruega, Suecia, Alemania y España a través del Sistema de Observación y Prospectiva Tecnológica de la SDG TECEN (DGAM).

Tal y como indica el nombre final seleccionado para el Task Group "Evaluación de tecnologías con un efecto disruptivo sobre la Defensa y la Seguridad", las tecnologías disruptivas han sido un aspecto muy debatido en el grupo, lo que no impide que el objetivo final se centre en la evaluación del impacto de éstas sobre capacidades y conceptos operativos.

El pasado mes de enero tuvo lugar la última reunión del Exploratory Team. Próximamente y una vez constituido el Task Group, al que previsiblemente se incorporan nuevas naciones interesadas, se pondrá en marcha un primer ejercicio de evaluación de tecnologías con el doble objetivo de validar la metodología de trabajo e identificar aquellas tecnologías con un mayor potencial sobre los sistemas de defensa y seguridad.

¿QUIERE COLABORAR EN EL BOLETÍN?

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

Contacto: **CN Ingº Manuel Berná**
Tlf. 913954654 mberna@oc.mde.es

THE FIRST NBC INTERNATIONAL CONFERENCE

Entre los días 17 y 18 de octubre del 2005 se celebró en Bruselas la primera Conferencia Internacional NBQ organizada por el grupo SMi y la revista NBC Internacional. El evento reunió a expertos del sector militar, civil e industrial con el objetivo de intercambiar información y poner en común experiencias y lecciones aprendidas. Las jornadas se dividieron en ponencias orales, en sesiones paralelas, y la exhibición de últimas novedades comerciales en el área de Defensa NBQ.

Si bien la mayoría de los países europeos disponen de procedimientos de actuación en caso de accidentes o ataques con agentes NBQ y, en los últimos años, se ha estado trabajando en la mejora de su puesta en marcha de forma eficaz, no existe percepción de amenaza NBQ real y por ello cuestiones relacionadas con doctrina, entrenamiento realista, mejora del equipamiento estándar, elaboración de planes de actuación frente a emergencias biológicas y educación de la población son retos a los que hacer frente.

El desarrollo de sistemas de detección altamente sensibles y portátiles para agentes de guerra química y biológica es crucial para aplicaciones militares y para la Seguridad Nacional. Uno de los principales retos en el desarrollo de biosensores es la integración perfecta de tecnologías basadas en microsistemas electrónicos, como por ejemplo la biología con la detección altamente sensible y la electrónica. Poco a poco se están consiguiendo resultados en este campo, un ejemplo es el nuevo lab-on-chip de la empresa danesa Thomsen Bioscience, totalmente automatizado y capaz de llevar a cabo todas las actividades requeridas para el diagnóstico e identificación de agentes biológicos, desde la toma de muestra hasta el análisis de ADN por PCR. El sistema está pendiente de los resultados de la evaluación realizada por el DSTL británico el pasado mes de noviembre.

Otra novedad en el campo de la detección son los equipos fijos de detección puntual para agentes biológicos en ambientes marinos, donde hasta el momento no existían sistemas con una respuesta satisfactoria en la detección de agresivos biológicos, sin embargo ya empiezan a comercializarse equipos, como el BWAAW (Biological Warfare Aerosol Agent Warning) de THALES, para la monitorización continua de bioaerosoles, cuyo principio físico de actuación es la determinación del tamaño aerodinámico de partículas por láser fluorescente en la banda UV (FLAPS).

Por su parte, en el campo químico la prioridad es la incorporación de la capacidad de detección de TICs (Toxical Industrial Componets) y/o TIMs (Toxical Industrial Materials) a los equipos de detección de agresivos químicos existentes.

Así mismo, mencionar los esfuerzos para incorporar capacidad de reconocimiento y respuesta en UGVs (vehículos terrestres no tripulados), UAVs (vehículos aéreos no tripulados) y UUVs (vehículos no tripulados bajo el agua). También, destacan las nuevas soluciones para protección civil, como el CAB 2000, equipo transportable de rayos X para la inspección de camiones y contenedores, con objeto de detectar elementos peligrosos, o el sistema TADAR basado en ondas milimétricas no ionizantes para el "*screening*" de personas.

En protección, las presentaciones se centraron principalmente en nuevas máscaras. Destacar el nuevo desarrollo de AVON, XM53, para uso militar, que incorpora mejoras importantes: mayor ligereza, protección durante 24 horas y capacidad de protección frente a TICs y TIMs. Otra nuevo desarrollo es la máscara de servicio general es la GSR (General Service Respirator) diseñada por el DSTL y que está siendo desarrollada por TYCO/SCOTT. La máscara responde a unos requisitos muy exigentes: minimización de la carga fisiológica, integración con el equipo de protección personal (EPI) y aumento del espectro de protección incluyendo TICS, además de un incremento en el factor de protección frente a agentes NBQ. Otros requisitos, solicitados expresamente por el MoD británico, tienen que ver con el aumento del campo de visión, la minimización de las resistencias respiratorias de los filtros, la maximización del factor de hidratación y la incorporación de dos cartuchos.

cf: Avon protection

Respecto a los EPI, los progresos se orientan a la búsqueda de trajes ligeros y confortables, con mayor permeabilidad al aire y utilización en cualquier tipo de ambiente. Destaca la empresa Blücher, con su línea de productos Saratoga, tanto para el sector militar como civil.

Por último, y en relación con la descontaminación, el objetivo principal continua siendo la disminución de costes y riesgos, aunque en los últimos tiempos es el campo radiológico el que despierta mayor interés. Un ejemplo de la nueva generación de descontaminantes radiológicos es la tecnología RadPro®, desarrollada por EAI Environmental Alternatives. La tecnología, que tiene su origen en la industria de limpieza medioambiental, está obteniendo resultados muy satisfactorios en la extracción de radioisótopos.

Proyectos finalizados: SOCCER

Dentro de la CEPA 2 de la WEAG (Western European Armament Group), se desarrolló el proyecto SOCCER (Systems on chip from civilian to armament re-use), que comenzó en abril del 2003 y finalizó el pasado mes de noviembre.

Los objetivos del proyecto SOCCER se basaron en la promoción y respaldo a la reutilización de la propiedad intelectual civil en la industria de defensa y aeroespacial. Este planteamiento se debe a que cada día los chips electrónicos, como pueden ser los ASIC o las FPGA, son más complejos de diseñar. Además, no resulta eficiente rediseñar las funciones estandarizadas. Los IPs son bloques prediseñados con unas funciones predeterminadas que representan componentes electrónicos en chips modernos. En la actualidad ya se encuentran en el mercado IPs para funciones de subsistemas tradicionales, tales como: microprocesadores, memorias, protocolos de comunicación, algoritmos de compresión de imágenes...

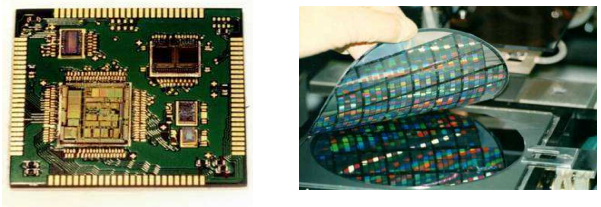


Fig. 1: módulos multi-chip, MCM y ASIC.

En el proyecto se unieron siete industrias europeas punteras en el sector de la defensa y aeroespacial, una academia de reconocido prestigio y empresas de diseño, con el interés común de usar los IPs (Intellectual Property) en Systems-on-Chip (SoC) y con el objetivo de:

- Identificar los requerimientos específicos para la reutilización de la propiedad intelectual en SIC del sector de defensa y aeroespacial.
- Realizar la selección, adaptación y cualificación de IP comercial para el uso en aplicaciones de defensa y aeroespaciales.
- Crear una base de datos para el intercambio de IP para defensa y espacio.

El proyecto SOCCER encaró estas cuestiones, haciendo posible un proceso de selección completo y consistente, común para las industrias de defensa y espacio. Se definieron tres tipos de criterios, técnico, económico y estratégico, necesarios para realizar una elección correcta. De estos tres criterios, algunos son comunes para aplicaciones comerciales o para defensa, mientras que otros se tienen que adaptar o son totalmente específicos para la defensa o el espacio. A la hora de elegir un IP sus características son unos de los factores determinantes, pero además hay que tener en cuenta otros parámetros como: el contenido, la trazabilidad de los requisitos y de la documentación, el soporte, la experiencia del proveedor, realimentación y la compatibilidad con herramientas desarrolladas.

El proyecto SOCCER definió las bases para la creación de una estructura para el intercambio de IP entre las industrias de defensa y aeroespacial mediante la adopción de una metodología para la selección y adaptación de IPs, y mediante una estrategia para su cualificación final. En la primera parte del proyecto se seleccionó la información que debería almacenarse en la librería de IPs para intercambio, de acuerdo con las necesidades específicas de reutilización de las aplicaciones de defensa y aeroespaciales. Una vez terminada esta fase, el proyecto definió un *Proceso de Selección de IPs*, en el cual todos los criterios mencionados anteriormente se aplican para una evaluación en cuatro pasos. Finalmente, el proyecto estableció una metodología para el *Proceso de Adaptación y Cualificación de IPs*. Tras la selección de un IP, mediante el método propuesto anteriormente, éste se puede adaptar para alcanzar el nivel de calidad adecuado a los requisitos de aplicación del usuario final

De la experiencia adquirida a la hora de validar nuevos procesos o metodologías desarrollados en complejas aplicaciones de defensa y aeroespaciales, se realizó un catálogo que incluye todos los IPs usados en demostradores industriales. Esta base de datos no sólo contiene IPs estándar sino también información específica de las necesidades en aplicaciones de defensa y espacio.

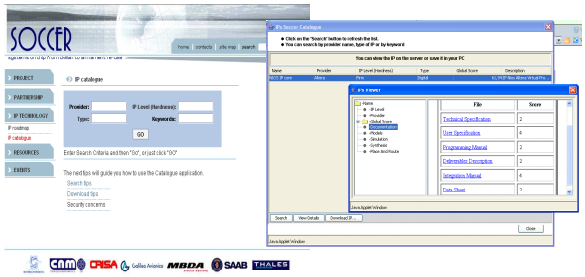


Fig 2: catálogo SOCCER, interfaz de usuario de la página Web http://soccer.crisa.es/ipconsult/welcome3.jsp

La importancia estratégica de estas cuestiones fue uno de los principales resultados del Workshop de la CEPA 2, celebrado en Bruselas los días 15 y 16 de marzo de 2005, "What technologies in Defence Applications for digital signal proccesing now an in the future?". En este sentido, la red SOCCER es un primer paso necesario para la consolidación de la industria europea de defensa y espacio.

Referencias

[1] Virtual Socket Interface Alliance (http://www.vsi.org)
[2] Tools and methods for IP (ToolIP) Project, within MEDEA+ Programme (http://www.medea.org/)
[3] CEPA 2 – White book – ASIC – FPGA – IP – SoC – Issue 7.0
MBDA France – Reference: M/O/E/E/323232-v1 – Dated: 29/08/2005
[4] SOCCER Web page: http://soccer.weao.net

- Este artículo ha sido realizado gracias a la colaboración de D. Germán Vergara Ogando, perteneciente al Centro de Investigación y Desarrollo de la Armada. gvergarao@oc.mde.es –

EW TRIALS 2006

Este año España será el país anfitrión de las EW Trials 2006 y por lo tanto responsable de la definición, organización y análisis de las mismas. Las pruebas tendrán lugar en aguas de Rota en el segundo trimestre del 2006.

Las EW Trials son pruebas de evaluación técnico-operativa de sistemas de guerra electrónica embarcados en buques, realizadas periódicamente por la OTAN. Estas pruebas se celebran anualmente en los países que forman parte del grupo SWG/4 (Special Working Group 4 on Electronic Warfare) al que España pertenece. Los objetivos de estas pruebas han sido consensuados por parte de dicho grupo.

Las Trials 2006 tienen como finalidad potenciar el conocimiento colectivo de los países OTAN y evaluar:

- sistemas ESM en operaciones de litoral y mar abierto,
- contramedidas EW de buques aislados,
- tácticas ASMD (Anti Ship Missile Defence) contra grupos de amenaza,
- medidas RF e IR,
- interferencia en un despliegue simultáneo HK/SK (Hard Kill/Soft Kill),
- impacto EPM en el sistema ESM y efectividad ECM,
- protección de una unidad valiosa en operaciones de Defensa Aérea.

Participarán en dichas pruebas unidades de Cánada, Francia, Alemania, Reino Unido, Portugal, Polonia, Turquía, EE.UU. y España.

La definición de objetivos ha sido categorizada con diferentes prioridades en función del interés mostrado por cada nación en la evaluación de las pruebas y de sus necesidades.

Las pruebas como tales ya están definidas para su ejecución durante las jornadas previstas en mayo. Se trata de 7 tipos de pruebas, que algunos casos consta de distintas variantes. De este modo cada una de las mismas se ajustará a varios objetivos, tendrá unas limitaciones propias, unas unidades participantes, un procedimiento de ejecución claramente definido y unos criterios de éxito establecidos. Comprenderán:

- pruebas de puerto para evaluación de los sistemas ESM / ELINT,
- prueba de buque aislado para evaluación de sistemas ECM contra radares,
- pruebas ASMD: RF “seeker” e IR “seeker”,
- pruebas de protección de unidad valiosa,
- prueba de evaluación frente a interferencias HK/SK,
- pruebas de medidas RCS (Radar Cross Section) e IR,
- pruebas de evaluación de medidas EPM.

La responsabilidad del análisis técnico de estas pruebas recae principalmente sobre el departamento de Electrónica del CIDA exceptuando las pruebas de medidas RCS e IR que serán responsabilidad del CEMEDEM.

Una vez concluidas las pruebas, está previsto un primer análisis rápido de resultados. Un posterior análisis detallado, materializado en un Informe Final, se entregará a los países participantes, en un plazo de 6 meses tras la conclusión de las pruebas.

ENLACES DE INTERÉS

MatWeb

Base de datos gratuita con buscador de las principales propiedades de cualquier tipo de material. Se pueden realizar búsquedas por composición, propiedades, nombre comercial o fabricante. Presenta diversos enlaces y herramientas como glosarios y foros.

www.matweb.com

Grupo Temático de Robótica

Web del Grupo de Robótica del Comité Español de Automática. Dispone de listados de empresas y centros tecnológicos relacionados, así como de todos los proyectos de I+D que se realizan y los grupos de investigación existentes. Editan un boletín on line gratuito.

http://www.cea-ifac.es/wwwgrupos/robotica/index.html)

Observatorio Red.es

Observatorio de las Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información es un órgano colegiado de carácter consultivo, adscrito a la entidad pública Red.es. Su principal objetivo es el seguimiento y análisis del sector de las telecomunicaciones.

http://observatorio.red.es/

TESIS DOCTORAL

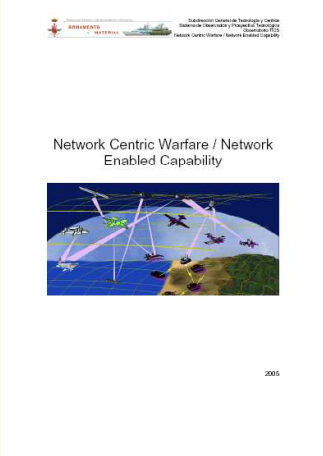
El pasado 10 de febrero, tuvo lugar en el salón de grados de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación (ETSIT) de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM) el acto público de lectura y defensa de la tesis doctoral "Crecimiento por MBE (Epitaxia por Haces Moleculares) de pozos cuánticos de InGaAsN sobre GaAs (111)B y (001) para su aplicación en láseres de semiconductor", por su autor D. Javier Miguel Sánchez, recibiendo por unanimidad del tribunal la calificación de Sobresaliente Cum Laude.

El director de la tesis ha sido el Dr. Álvaro de Guzmán Fernández González, Doctor Ingeniero de Telecomunicación y Profesor Titular de Universidad del Departamento de Ingeniería Electrónica de la ETSIT de la UPM.

La tesis presenta la evidencia experimental de la posibilidad de conseguir láseres de estado sólido de inyección directa en 1,5 micras utilizando como material fundamental el semiconductor cuaternario III-V de InGaAsN (arseniuro nitruro de galio e indio). El autor presenta la optimización de las etapas tecnológicas necesarias para conseguir emisiones ópticas a temperatura ambiente en la longitud de onda reseñada. La dificultad específica a la que se hace frente reside en la obtención de material de base de InGaAsN con una calidad suficiente para obtener luz a 1,5 micras. Esta tarea no es trivial, ya que dicho semiconductor tiende a "expulsar" de su matriz el nitrógeno, por consideraciones termodinámicas, degradando de esta manera la calidad del material. Por lo tanto, el conseguir estructuras metaestables con nitrógeno que aseguren una calidad del material de base es uno de los logros tecnológicos alcanzados por la tesis.

Existen láseres de estado sólido o de fibra que emitien a 1,5 micras, que es una longitud de onda identificada como de sumo interés para Defensa por ser una longitud de onda segura al ojo, ya que el humor acuoso del globo ocular absorbe toda luz por encima de 1,45 micras. Los principales desarrollos en esta longitud de onda han venido por el impulso de las comunicaciones por fibra (láseres de fibra, diodos láser de InP,...). Sin embargo, las potencias de salida son limitadas, factor que podría solventarse con las prestaciones que prometen los dispositivos propuestos en la presente tesis. Sistemas de imágenes activas (LADAR), punteros y telémetros son objeto de "migración" hacia láseres de 1,5 micras desde la banda que utilizan en la actualidad (en torno a 1,0 micras), pero que necesitan requerimientos que las soluciones adaptadas desde los dispositivos utilizados en comunicaciones por fibra no satisfacen completamente. Por lo tanto, los resultados de la tesis y campos que abre para trabajos futuros podrían ser considerados de interés dentro de nuestro sector innovador en el marco de Defensa y Seguridad.

PUBLICACIÓN DE LA MONOGRAFÍA DE NCW / NEC (Network Centric Warfare / Network Enabled Capability)



Estudio monográfico sobre las nuevas iniciativas *net-centric*, orientadas a aprovechar las principios y tecnologías de la Era de la Información para el desarrollo de operaciones militares.

A través de una revisión de la principal bibliografía que se ha publicado sobre el tema, en el documento se analizan los fundamentos básicos que sustentan los nuevos conceptos, así como las principales iniciativas en marcha, prestando especial atención a NCW (*Network Centric Warfare*) o NEC (*Network Enabled Capability*).

Adicionalmente, se revisan de forma general las principales áreas tecnológicas que previsiblemente jugarán un papel fundamental en los futuros entornos *net-centric*. Para ello el estudio se ha restringido al ámbito TICS (Tecnologías de la información, Comunicaciones y Simulación), interés del Observatorio que ha realizado el estudio. También, se han recogido otros factores de carácter no tecnológicos que puede verse influenciados, así como las principales ventajas e inconvenientes que los diferentes autores han apuntado respecto a la adopción de los nuevos planteamientos.

Finalmente, en la monografía se revisan las últimas experiencias producidas durante la implantación de los primeros trabajos en entornos operativos reales, su previsible evolución futura, así como las iniciativas en las que participa España relacionadas con estos nuevos conceptos.

Para obtener una copia en formato electrónico contactar con el Sistema de Observación y Prospectiva Tecnológica: dgardol@oc.mde.es

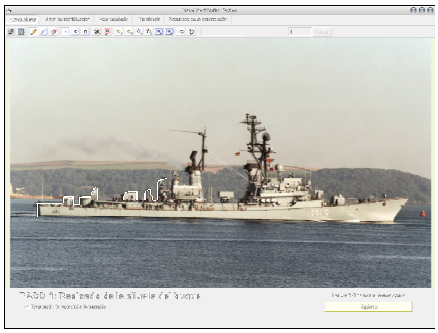
Sistema de Ayuda a la Decisión para la Identificación Naval

El número de sensores de imagen usados en operaciones de vigilancia o inteligencia en escenarios navales, ya sean instalados en tierra o a bordo de plataformas, tiene una marcada tendencia a aumentar. Este incremento de sistemas subraya la necesidad de reducir la carga de trabajo de los operadores que analizan las imágenes, con objeto de aumentar su rendimiento y reducir costes.

Una tarea de vital importancia en este sentido es la identificación naval. Durante años, esta labor ha sido realizada por expertos entrenados en la comparación visual de la imagen observada con bases de datos impresas de siluetas de buques. Lógicamente, toda identificación visual está expuesta a errores, requiriendo además un gran esfuerzo y tiempo por parte del operador, lo que podría suponer una limitación para el incremento de unidades de observación que demandan las necesidades actuales. En este contexto, se hace necesario un sistema automatizado que pudiera asistir al operador durante el proceso de identificación, reduciendo el tiempo necesario para completar la tarea, aumentando al mismo tiempo la fiabilidad de los resultados.

Fig. 1. Plataforma hardware de integración del sistema

Fig. 2. Interfaz de dibujo del prototipo desarrollado para la extracción de la silueta



El Laboratorio de Ensayos del CIDA (Centro de Investigación y Desarrollo de la Armada) en colaboración con SENER Ingeniería y Sistemas S.A., ha desarrollado un prototipo de sistema de ayuda a la decisión para la identificación naval que consigue unos resultados muy prometedores en este aspecto. La entrada al sistema es una imagen de través del buque, de la que se extrae una silueta. Para la obtención de esta silueta, el sistema se ha configurado sobre un *Tablet PC* (Fig. 1), lo que permite resaltar su contorno directamente sobre la imagen del buque visualizada en la pantalla. Esta intervención manual del operador ha demostrado proporcionar resultados más fiables y ser más rápida que algoritmos automáticos de extracción de la silueta. Para ello, la aplicación desarrollada pone a disposición del operador una serie de herramientas de dibujo que convierten esta tarea en algo fácil e intuitivo (Fig. 2).

La silueta usada como entrada al sistema es preprocesada y comparada con las que componen la base de datos, recuperando un pequeño conjunto de potenciales resultados que además es reordenado por similitud con el buque a encontrar (Fig. 3). Este conjunto de resultados se presenta al operador, que realizará la identificación final en base a información adicional de la que disponga.

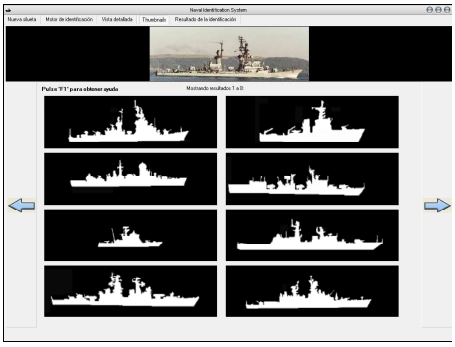


Fig. 3. Pantalla de resultados ofrecida al operador

La base de datos con la que trabaja el sistema se compone en la actualidad de más de 1100 buques de todo el mundo. El sistema puede trabajar sobre imágenes de entrada en cualquier espectro (visible, infrarrojo, intensificación de imagen, etc.) adquiridas en diferentes condiciones atmosféricas y de iluminación y a diferentes rangos de observación. El tiempo total del proceso (incluida la extracción manual de la silueta) es inferior a 3 minutos.

El sistema desarrollado se basa en el uso de la representación denominada Curvatura de Espacios de Escala (CSS). Esta representación, que es parte del estándar MPEG-7, proporciona un método robusto para representar contornos cerrados y ha sido usada con éxito en otras tareas de reconocimiento. Su principal ventaja es la capacidad para discriminar entre un gran número de clases, tolerando variaciones en la silueta con respecto al plano (armamento, sensores incorporados, etc.)

La representación CSS se basa en una operación de suavizado de la curva que reduce el tamaño y la profundidad de las concavidades y convexidades de la misma. Considera la evolución de la posición de los puntos de curvatura cero a lo largo de los diferentes grados de suavizado mientras se aproximan entre sí hasta fundirse. Al representar la evolución de la posición de los puntos de curvatura cero con respecto a los diferentes estadios de suavizado, obtenemos una figura formada por lóbulos (Fig. 4). Las coordenadas (x, y) del máximo de cada lóbulo de la imagen representan la

localización y el suavizado para los cuales se juntan cada pareja de puntos de curvatura cero y suponen una valiosa información para la clasificación.

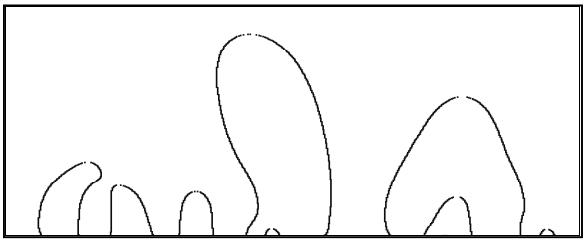


Fig. 4. Ejemplo de imagen CSS

A pesar de la fortaleza y robustez de este método, demuestra ciertas deficiencias que lo hacen inadecuado para la aplicación directa en el problema de la identificación naval. Esto nos ha conducido a desarrollar una representación paralela que ha demostrado ser mucho más adecuada para la identificación de buques.

Entre otros defectos, la representación CSS ha demostrado ser bastante inestable para un gran número de siluetas de buques. En estos casos, una pequeña modificación en la silueta podía provocar modificaciones importantes como el desdoblamiento de lóbulos en la correspondiente representación CSS, haciendo muy diferentes dos imágenes que deberían ser similares (Fig. 5).

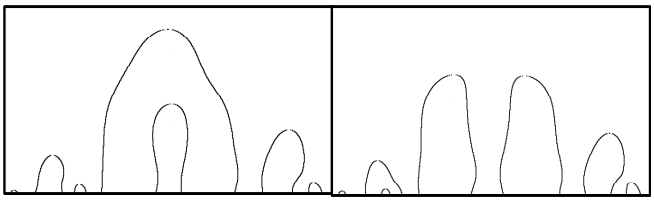


Fig. 5. Efecto del desdoblamiento de lóbulos para una silueta extraída y la correspondiente en la base de datos.

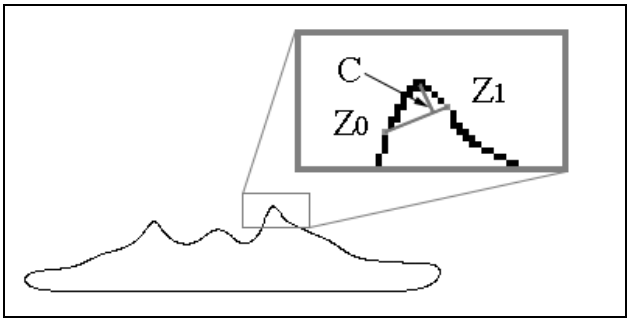
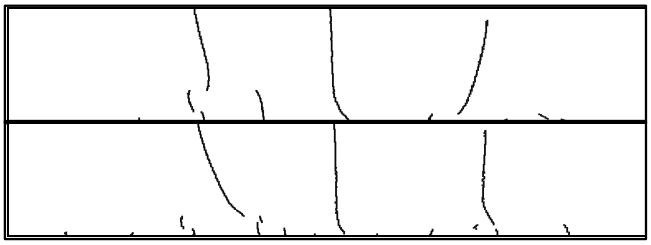


Fig. 6. Concepto de concavidad: Z_0 y Z_1 son la pareja de puntos de curvatura cero, C es la concavidad asociada.

Para solucionar este problema, el uso de los puntos de curvatura cero se ha sustituido por los extremos de curvatura (máximos y mínimos), que han demostrado ser mucho más estables. Además, el uso de la curvatura local se ha reemplazado por el concepto de concavidad (Fig. 6), significativamente más robusto y que permite realizar una umbralización para obviar ramas de poco interés.

El uso de esta nueva representación, bautizada como Concavidad y Convexidad de Espacios de Escala (CCSS) (Fig. 7), ha supuesto una importante ganancia en el rendimiento del sistema. Fue presentada en Brujas (Bélgica) en el "SPIE Europe Symposium: Optics / Photonics in Security & Defense 2005"[1], donde despertó un gran interés. Diversas empresas siguen también de cerca el desarrollo de esta tecnología.

Fig. 7. Imágenes CCSS de máximos de curvatura para la silueta extraída y la almacenada en la base de datos.



El suministro de imágenes reales por parte de la sección de inteligencia del Mando de Operaciones Navales del Estado Mayor de la Armada, así como su visión del problema real han supuesto una inestimable ayuda durante el proceso de investigación y desarrollo.

Se han realizado pruebas de identificación sobre 75 de estas imágenes tomadas en condiciones reales. En el 70% de los casos, el buque fue identificado en primera o segunda posición. En el 99% de los casos, el buque fue identificado en las 6 primeras posiciones, lo que representa un prometedor conjunto de resultados (Fig. 8).

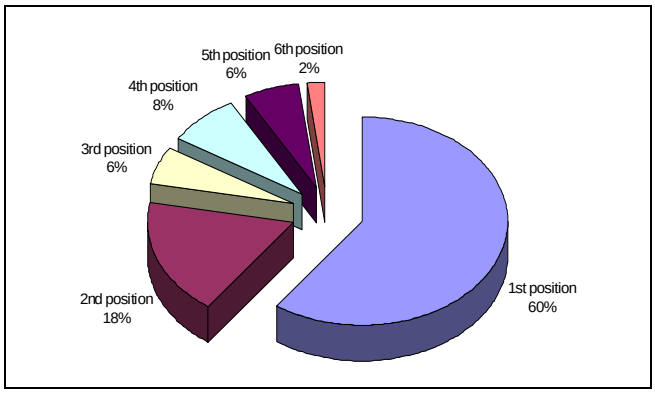


Fig. 8. Resultados sobre el conjunto de pruebas

El Laboratorio de Ensayos del CIDA y SENER Ingeniería y Sistemas trabajan en la resolución de otros problemas relacionados, como la restauración o realce de imágenes muy degradadas o la simulación de sensores, muy útil para la extracción automática o manual de información.

- Este artículo ha sido realizado por Álvaro Enríquez de Luna (CIDA), Carlos Dorronsoro (CIDA) y Carlos Miravet (SENER).-

[1] Á. Enríquez de Luna, C. Miravet, D. Otaduy, C. Dorronsoro. "A decision support system for ship identification based on the curvature scale space representation", SPIE Europe Symposium Optics/Photonics in Security & Defense. Electro-Optical Remote Sensing: Automatic target recognition and signatures II. Proc. of the SPIE, vol. 5988, pp. Bruges, Belgium. Sep 2005.

Misiles tácticos: tecnologías de fabricación/selección de materiales

Desde los primeros diseños de la Segunda Guerra Mundial, se han desarrollado muchísimos sistemas de misiles, desde los más ligeros, que se lanzan desde el hombro del soldado, hasta los grandes misiles balísticos intercontinentales. Dado el enorme mercado y las cifras de negocio que se barajan alrededor de estos sistemas, su producción debe estar estrictamente optimizada, tanto desde el punto de vista de la ingeniería de diseño como de la ingeniería de fabricación. Esto se traduce en la necesidad de encontrar y seleccionar los materiales más adecuados para cada componente y de analizar la viabilidad de dicha selección en los procesos actuales de fabricación. Esto se puede apreciar especialmente en la introducción progresiva de los materiales compuestos en el sector de misiles y en las múltiples dificultades que se encuentran en todas las fases de desarrollo. Así, mientras que en general todos los sistemas de misiles están tendiendo a un mayor uso de materiales compuestos, su uso puede variar significativamente según el tamaño del misil y los requisitos de misión. Así pues, mientras algunas de las propiedades requeridas son similares para cualquier tipo de misil, como por ejemplo la alta resistencia y rigidez, que permiten resistir las tremendas cargas aerodinámicas de un misil táctico. Otros requisitos, como los de temperatura, difieren mucho de un misil de largo alcance a uno de corto. En los vuelos cortos, muy rápidos, se alcanzan altas temperaturas sólo en las superficies, por lo que los componentes experimentan unos grandes gradientes de temperatura, la temperatura de la superficie puede llegar a sobrepasar la temperatura de transición vítrea de la matriz. Debido a estos gradientes de temperatura, se presentan muchos problemas en la medida de ciertas propiedades, mucho más complejos que para el caso de los metales homogéneos. En vuelos más largos, los materiales alcanzan un equilibrio térmico que permite aprovechar mejor las propiedades, en cuanto a comportamiento a alta temperatura.

Para un fabricante de misiles tácticos, la excelente relación resistencia/peso de los materiales compuestos les ha hecho ser seleccionados para diversos componentes estructurales de misiles y, en particular, para el creciente número de superficies aerodinámicas. Pero existen otros factores que están comenzando a promover un incremento en investigación y desarrollo. En primer lugar, y a diferencia de hace no muchos años, cuando se compensaba el mayor precio con la reducción de peso que se podía obtener, los materiales compuestos actualmente pueden llegar a ser competitivos en cuanto a costes con los metales. En segundo lugar, y aún más importante, el comportamiento al fuego de ciertos composites les hace especialmente apropiados para estas aplicaciones. En concreto, pueden llegar a ser especialmente apropiados para soportar los requisitos exigidos en cuanto a "municiones insensibles". Actualmente, los requisitos operativos y de seguridad imponen la necesidad de evitar la explosión de misiles si estos están sujetos a daños causados por fuego, fragmentos o explosiones. Lo que se busca en este tipo de municiones es que sean menos propensas a presentar reacciones violentas, cuando estén sujetas a impactos de bala o fragmentos, calor, fuego u onda expansiva de explosiones cercanas. Uno de los componentes especialmente diseñados según estas indicaciones es el motor cohete, que debe operar adecuadamente en las extremas temperaturas que soporta y conseguir los máximos alcances desde cualquier plataforma requerida. Puesto que el diseño de la carcasa es crítico para su comportamiento y para su clasificación como "munición insensible", dicha cubierta puede realizarse en materiales compuestos, fundamentalmente basados en resinas epoxi, mediante la técnica de "filament winding". De este modo, si el misil es alcanzado por un proyectil o una explosión, la presurización y las características de fallo de dicho componente permite al propelente escapar y arder de una manera mucho más controlada, lo que minimiza los efectos negativos. La fabricación utilizando este tipo de materiales hace que muestren un comportamiento *leak before burst,* que permite a estos depósitos despresurizarse menos rápidamente, en lugar de sufrir una rotura catastrófica, como sucedería con una carcasa metálica.

Por ejemplo, durante las primeras fases de desarrollo del programa JCM (Joint Common Missile) se estudiaron diferentes estructuras mediante análisis detallados, tanto de diseño como de cálculo, para reducir el peso manteniendo los requisitos de rigidez y resistencia necesarios, según las configuraciones del diseño inicial, y manteniendo la compatibilidad con las partes metálicas. Como consecuencia de los estudios realizados, se identificaron hasta 8 componentes que podrían migrar hacia la fabricación en materiales compuestos, como las aletas de los misiles, los alojamientos para los sistemas de actuación, la electrónica de guiado o segmentos del "seeker". Convertido a materiales compuestos, la modificación de ciertos componentes clave, como los alojamientos cilíndricos de las cabezas de guerra, puede llegar a suponer una reducción de peso de entre un 25% y un 30%, lo que se traduce en mayores rangos de

alcance (hasta 28Km. al ser lanzados desde avión) una mayor capacidad de carga de las aeronaves tanto en combustible como en armamento.

A la hora de la implementación de materiales compuestos para la fabricación de componentes estructurales, dentro de los factores importantes a analizar no se encuentra tan sólo la adecuada selección de los materiales en función de sus propiedades, sino la viabilidad de la industrialización de los procesos. Este hecho se puede apreciar claramente en las dificultades que se encontraron en otro de los sistemas en que se ha invertido enormemente para incrementar la transformación de componentes metálicos en compuestos, como es el misil contracarro JAVELIN, producido entre Lockheed Martin y Raytheon Missile Systems. Este arma está diseñada para ser llevada y operada por un único soldado y se trata de un misil dispara-y-olvida de medio rango (2,5Km.) de poco más de 1 metro de longitud y 11.8kg de peso. Uno de los factores determinantes para su diseño fue mantener los requerimientos de peso necesarios para asegurar la portabilidad por una única persona, por lo que el peso total del sistema, incluyendo el lanzador, no debería superar los 23kg. Por tanto, y puesto que los diseños iniciales en aluminio excedían dichos requisitos, se optó por rediseñar ciertos componentes críticos con materiales compuestos, pero buscando mantener un comportamientos estructural similar al del aluminio y la estabilidad dimensional requerida, así como conservar una adecuada competitividad de costes en relación con las versiones metálicas. Se seleccionaron una serie de componentes para ser sustituidos por materiales compuestos, laminados de grafito/epoxi, como son la unidad electrónica de guiado, la superficie del actuador de control y todos los componentes cilíndricos. Estas piezas presentan unos requisitos de tolerancias muy estrictos, cercanos a las micras, por lo que los requerimientos en la producción han de ser muy exactos en cuanto a los espesores de los productos obtenidos. Los procesos de fabricación de los componentes seleccionados para ser sustituidos por materiales compuestos también se han visto intensamente sometidos a procesos de innovación en su automatización. De este modo se trata de incrementar su competitividad y ser capaces de mantener los elevados ritmos de producción requeridos para mantener el suministro de todos los sistemas que necesitan los usuarios finales, salvando las limitaciones impuestas por complejidad técnica característica de estas piezas. Por ello, las piezas se obtienen mediante una adaptación automatizada del proceso “net compression molding”, en que los parámetros físicos fundamentales se controlan mediante PLC (Programmable Logic Controller). Una vez que se consiguió el control completo de las variables del proceso, se demostraron los beneficios frente a la fabricación según métodos tradicionales, que implicaban una gran cantidad de mano de obra muy especializada, y se demostró la posibilidad de conseguir la rentabilidad de las inversiones realizadas en el desarrollo de un mejor sistema de fabricación.

Otros programas de misiles tácticos están realizando esfuerzos internos en I+D para mejorar su comportamiento a través de una mejor selección de materiales. Debido al potencial que implican estos programas, muchas oficinas de programas de sistemas de misiles, especialmente para sistemas ya existentes, están mostrando señales de interés en la implementación en producción de los resultados obtenidos en la investigación.

Uno de los ejemplos que se puede estudiar es el del misil AIM-120 AMRAAM, que se creó en 1991 y se espera que continúe prestando servicio hasta el 2020. Este misil, desarrollado por Raytheon, se encuentra en su quinta generación de actualizaciones, y aunque desde el comienzo de su programa no ha habido cambios de materiales significativos, todavía ahora emplea una cantidad muy pequeña de composites.

Se están realizado muchas investigaciones en materiales y en diseños para aplicaciones especificas, como ciertas configuraciones de estructuras que modifican las cargas aeroelásticas o sistemas activos de control de vibraciones. También, se han estudiado diseños adaptables, en que actuadores, como fibras de aleaciones con memoria de forma, puedan ser embebidos entre laminados, permitiendo la modificación de la aerodinámica durante el vuelo al modificar la forma de las superficies de control. El simple hecho de sustituir las aletas de titanio por resinas compuestas consigue reducciones de peso de hasta un 50%, lo que incrementa apreciablemente el rango del misil y reduce el coste de transporte. Sin embargo, para su producción se requerirían recubrimientos cerámicos o metálicos en ciertos puntos donde la temperatura alcanzada por el misil es superior a la que podría alcanzar la matriz polimérica, lo que complica considerablemente los procesos de mejora demostrados. Estos factores son los que hacen necesario optimizar los procesos de producción, automatización y fabricación con materiales compuestos, para que las escalas necesarias para rentabilizar los ritmos de producción no sean tan elevadas, y limiten su incorporación en un mercado tan estricto y competitivo como es el de fabricación de misiles.

Cohetes Aire-Tierra de Bajo Coste y Mayor Precisión (II)[1]

En el presente artículo se proporciona una visión del proyecto de conversión del cohete *Hydra* de 70mm no guiado con la introducción de conceptos de mejora de precisión de bajo coste (LCPK), entre los que figuran los siguientes:

- APKWS: guía semiactiva mediante un láser de estado sólido junto con navegador GPS.
- LOGIR: guía terminal de imagen infrarroja (IIR) junto con MEM inercial.
- Se comenta también brevemente el proyecto llevado a cabo por NOBLE sobre el CRV-7.

Asimismo, se citarán ciertas pautas a seguir para la mejora de la precisión en cohetes aire-tierra tanto guiados como no guiados.

Fig. 1: detalle del SiIMU02™, segunda generación de MEMS inerciales de bajo consumo (anillos giroscópicos de silicio), desarrollado por BAE SYSTEMS. El diseño permite su incorporación en los nuevos cohetes guiados de pequeño calibre ya que soporta hasta 20.000 g's, pesa unos 100 gramos y posee un volumen menor de 70 cm^3.

A pesar de que los cohetes aire-tierra proporcionan una gran potencia de fuego con un coste ciertamente bajo, tradicionalmente presentan una pobre precisión. Los pilotos se ven forzados a descargar un *pod* completo sobre una determinada área, incluso cuando pretenden eliminar un pequeño objetivo dentro de la misma. Tanto la US Navy como la US Army han podido comprobar cómo con pequeños cohetes guiados de bajo coste se consiguen mejoras de precisión considerables, y que con sólo uno de ellos se consigue la misma eficacia que con el lanzamiento de toda una ráfaga en el pasado.

La transformación de cohetes sin ningún tipo de guía en misiles[2], como ocurre en el caso del APKWS y el LOGIR americanos, repite lo ocurrido con la introducción de los buscadores láser y *kits* de guiado basado en GPS (JDAM) que convierte las "bombas tontas en inteligentes". El *seeker* envía la señal a un autopiloto que a su vez dirige las ordenes al sistema de control para guiar el cohete hacia el objetivo.

[1] Este artículo es continuación del presentado en el Boletín nº 4, tercer trimestre de 2004, Pág. 8, donde se abordaba el desarrollo de este concepto.

[2] Se decide mantener la denominación de cohete en lugar de misil, dado que es una evolución del primero. Un ejemplo de esto, es el MLRS (Multiple Launch Rocket System) guiado o GMLRS (Guided Multiple Launch Rocket System).

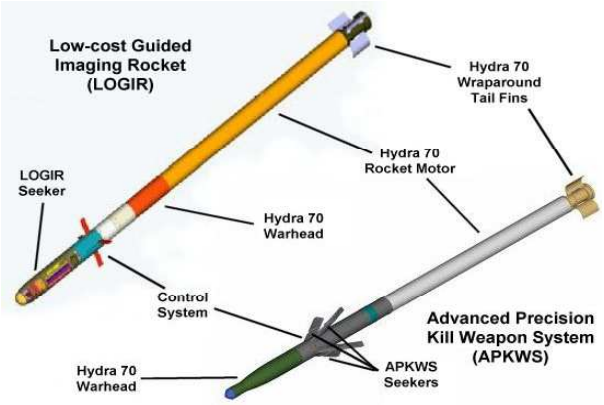


Fig. 2: configuraciones de ambos cohetes guiados. Adviértase la diferente configuración aerodinámica del sistema de guiado. Sin embargo, ambos poseen el mismo motor (MK66) y cabeza de guerra.

APKWS Block II

En 1996, la US Army estableció los requisitos del nuevo cohete, situándolo entre el *Hydra* 70 y el *Hellfire*. El misil resultante (cohete + sistema de guía) emplearía el motor MK66 (Mod. 6) con una nueva sección de guiado. Paralelamente, debía ser compatible con todos los lanzadores de 70mm.

La variante inicial del APKWS incluía la cabeza de guerra M151, a la que se incorporaba un buscador láser semiactivo, con aletas abatibles en flecha positiva para el control del vuelo. Se previó un Círculo de Error Probable (CEP) menor de 1 m. En septiembre de 2002, el programa APKWS se redefinió para incorporar todos los modelos que se dotaban del motor MK66, incluyendo por tanto los de la familia *Hydra* 70. Aunque el primer cohete en integrar guía portaba una cabeza M151, se pensó en hacerlo compatible con otras sin variar el sistema de guiado.

Fig. 3: cabeza de guerra M 151 del APKWS.

En abril de 2005, se canceló temporalmente el programa de General Dynamics acerca de cohetes guiados aire-tierra basados en el *Hydra* de 70 mm, Advanced Precision Kill Weapon System (APKWS), a causa de los pobres resultados y a la falta de fondos que obligó a postergarlo repetidas veces. Sin embargo, se reabrió posteriormente con el nombre de APKWS II, heredando los esfuerzos y la tecnología obtenidos de su antecesor. Redefinido el citado programa, se intenta ahora una mayor reducción de costes para la US Army, estableciendo un contrato tipo *competition* entre las empresas Lockheed Martin y Raytheon.

El APKWS II posee un sistema de guiado semiactivo láser que se instala entre la cabeza de guerra del cohete y el motor; aporta características

multiservicio, multiusuario y multiplataforma[3], diseñado para localizar y destruir blancos estacionarios y móviles, desde edificios y búnkeres hasta vehículos tácticos, permitiendo obtener un impacto directo sobre los mismos con 1 m de CEP.

La compañía Raytheon, líder del programa, ha realizado ensayos en túnel con el APKWS II del 25 de septiembre al 11 de octubre de 2005. Las pruebas proporcionaron datos de coeficientes aerodinámicos en todas las condiciones de vuelo, para así poder completar posteriormente las correspondientes simulaciones de las trayectorias en seis grados de libertad.

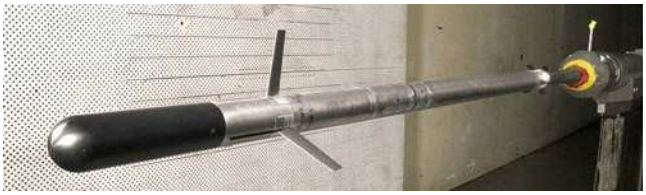


Fig. 4: imagen del APKWS II en el túnel de El Segundo (California), donde se ha verificado el diseño aerodinámico del cohete, incorporando mejoras en los canards y las aletas.

LOGIR (Low-Cost Guided Imaging Rocket)

El Naval Air Warfare Center (US Navy) junto con el Departamento de Defensa australiano, se encuentra desarrollando un sistema de guía para el *Hydra* 70, con el nombre de LOGIR. Integra un sistema de guiado inercial de medio alcance (desarrollado anteriormente para el programa DAMASK[4]) y un buscador de imagen Infrarroja (IIR) en la parte frontal junto con el motor del *Hydra*. Adicionalmente, se está trabajando en un sensor biomimético, junto con el DARPA, para este cohete.

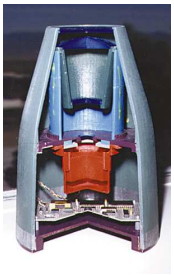


Fig. 5: detalle del sistema DAMASK integrado en una cabeza JDAM.

El *kit* de guiado consta de las siguientes partes, todas ellas con requisitos de bajo coste:

- Buscador de imagen IR sin refrigerar (derivado del DAMASK).
- Unidad inercial mediante MEMS.
- Un sistema de control con actuadores de gas o micromotores.
- Un sistema de procesado de información.
- Incorporación en el futuro de sensores biomiméticos.

Existe una interconexión entre el sistema de adquisición de objetivos de la plataforma de lanzamiento (helicóptero, UAV, etc.) y el cohete. El primero envía información al segundo una vez localizado el objetivo, no requiriendo hacer el seguimiento de este último una vez transmitida dicha información.

Cabe destacar que las tecnologías involucradas en el desarrollo de este cohete son aplicables a munición de mayor de calibre (cohetes de 5´´ y bombas guiadas); en el caso norteamericano se tienen en cuenta para el cohete Zuni y las bombas JDAM. De este cohete se ha completado la etapa de prueba contra objetivos estáticos, y con lanzamiento desde tierra, donde se ha podido comprobar el funcionamiento de la unidad inercial (finales de 2004[5]); posteriormente, se hará lo mismo con el buscador IR durante la fase terminal en distintos escenarios.

El LOGIR está previsto ser lanzado desde un helicóptero MH-60R mediante un *pod* de 18 cohetes, o desde el MH-60S con dos de 36. Igualmente está previsto su empleo táctico desde plataformas navales.

Para el disparo de estos cohetes se desarrolla un nuevo lanzador de 70mm bajo el programa SMART (Smart Munition/Advanced Rocket). Mientras que el actual únicamente incorpora medios para la selección del disparo y armado de espoletas en vuelo, la futura generación integrará diversas funciones del sistema, tales como adquisición de objetivos, opciones de armado y secuencia de tiro, y proporcionará una interfaz digital de control en la aviónica embarcada.

Problemas para adaptar sistemas de guía y mejora de empuje a cohetes ya existentes.

Los esfuerzos para mejorar los cohetes aire-tierra actuales no sólo se centran en el aumento de la precisión[6], sino también en el incremento del alcance. Para ello es necesario la modificación de los motores existentes en los cohetes sin guía. Algunas opciones a considerar son las siguientes:

- Motor con doble empuje para obtener un mayor alcance.
- Rediseño del conjunto aletas-tobera.

  Derivado de lo anteriormente citado, con los retoques de diseño sobre el motor y la incorporación del *kit* de guiado, pueden surgir ciertas dificultades que no conviene soslayar:

[3] El bajo peso de estos cohetes permite su integración en UAVs de alas rotativas, como el RQ-8B Fire Scout en el año 2011 tanto para el US Navy como para el US Army, y en el Vigilante.

[4] Direct Attack Munition Affordable SeeKer. Podría emplear el mismo buscador que la JDAM PIP, que proporciona una precisión de 10 pies (CEP de unos 3 metros) en el impacto, combinada con el GPS/INS. Este sensor de IIR ha sido desarrollado para la industria del automóvil.

[5] En el año 2004 se dispuso un presupuesto de 3 millones de dólares para el desarrollo de la unidad inercial.

[6] Para la incorporación de estos cohetes en plataformas como el helicóptero *Tigre*, se debe tener en cuenta el problema de combustiones secundarias de los gases, que pueden provocar pérdidas en el motor de la plataforma.

- El motor convencional de un cohete no tiene los mismos parámetros de diseño que un misil (se requieren otros perfiles de empuje, y por tanto otras configuraciones del propulsante).
- La corrección del desalineamiento de empuje es compleja, ya que exige un giro mayor en la salida del tubo, hecho a tener en cuenta para la definición de la configuración aerodinámica definitiva (gran parte de la dispersión se produce en la primera décima de segundo de vuelo). Reseñable sobre todo para configuraciones sin guía y aumento de empuje.

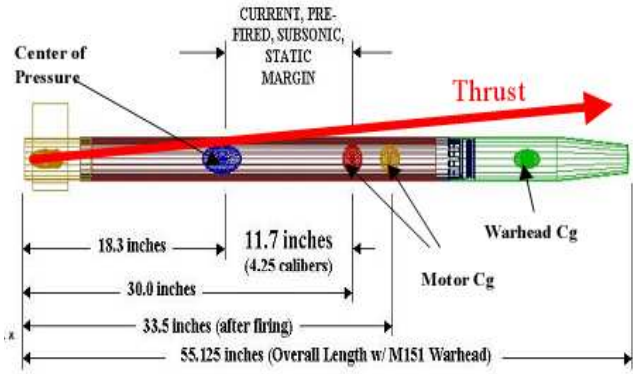


Fig. 5: problemas de desalineamiento de empuje a tener en cuenta para la configuración aerodinámica definitiva. Las contribuciones más significativas son el desequilibrado del motor y la unión tobera-cuerpo del motor.

- Las aletas no están diseñadas para dar respuesta aerodinámica a los cambios bruscos de actitud demandados por el sistema de control, especialmente en el caso de los cohetes FFAR[7] (si son demasiado pequeñas el cohete sufre resbalamiento y si son grandes los giros demandados pueden ser imposibles). La tipología más apropiada en esta aplicación sería la *wraparound*.
- El número de aletas puede no ser el óptimo y el tamaño debe determinarse con diseño, simulaciones en 6 grados de libertad y ensayos en túnel.
- El acoplamiento entre el motor y el conjunto cabeza de guerra-*kit* de guiado puede ser complejo. Esta complejidad aparece por la solución tipo *canard*, que provoca la pérdida de mando aerodinámica, y que conduce en algunos casos a adoptar como mejor solución la liberación del giro (o desacoplamiento) del grupo motor-aletas posterior respecto a la cabeza.
- Los alcances exigibles se pueden estar por encima de 5km (típicos de cohetes de helicóptero actuales).

Las consideraciones anteriores permiten plantear la alternativa de un diseño nuevo del motor cohete, optimizando de este modo el modelo sin guía y el modelo guiado. Como consecuencia de todo ello, el modelo con guía tendría menor dispersión y el no guiado mayor alcance.

[7] Folding-Fin Aircraft Rocket

Uno de los pasos imprescindibles para el desarrollo de estos cohetes es la simulación *Hardware In-the-Loop* (HWIL), para la que se emplean mesas rotacionales de tres o más grados de libertad[8] que simulan los movimientos del misil en vuelo, dirigidos por una simulación en tiempo real que añade los grados de libertad restantes. Con este tipo de simulación, el ahorro en tiempo y coste es notable, ya que permite validar el funcionamiento del *hardware*, del sistema inercial, e incluso el *seeker*.

Para terminar, cabe mencionar que en el caso del helicóptero Tigre, en su versión HAD, se integrarán en el futuro cohetes guiados aire-tierra con una solución semiactiva láser. Esta nueva capacidad permitirá ser más efectivo en el apoyo cercano, combinando potencia de fuego y precisión, y posibilitando a las tropas terrestres designar los objetivos a destruir.

CRV-7

NOBLE demostró con numerosos ensayos que el cohete CRV-7 podía ser guiado con el sistema de control y canards independientes propuesto, con láser semi-activo (strap-down), sensores inerciales y GPS (este último en la versión tierra-tierra). Asimismo, se barajó la posibilidad de incluir otro tipo de guía terminal, buscadores IR y guiado anti-radiación (tal y como se comentaba en el anterior artículo). El número de componentes integrados influye negativamente en el concepto de bajo coste (aunque incrementa la precisión por disparo), por lo que el resultado final en términos de eficacia-coste dependerá de la mejor elección del buscador.

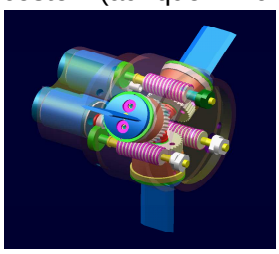


Fig. 6: detalle del servo con los 3 canards independientes.

El cohete guiado CRV-7 ha aprovechado sinergias con la tecnología desarrollada por Kongsberg Defence para el nuevo misil anti-buque NSM.

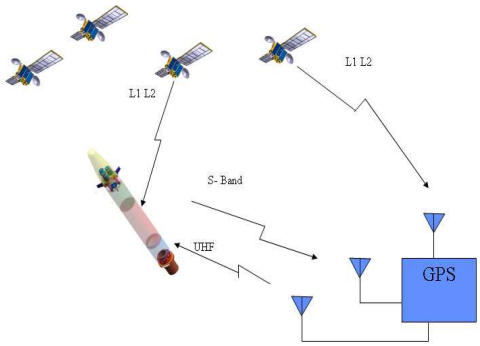


Fig. 7: la señal del GPS en la banda L se transforma a la banda S y es transmitida a tierra donde se procesa. Los datos de posicionamiento GPS y del objetivo son reenviados al misil mediante un enlace UHF.

- Este artículo ha sido realizado por Juan J. Piñeiro Gª de León y Enrique Martín Romero, ingenieros del Laboratorio Químico Central de Armamento (LQCA) y colaboradores del Observatorio Tecnológico AMBP-

[8] Los grados de libertad adicionales -más de tres-, permiten incorporar el blanco en la simulación.

Técnicas de Recepción Digital en Guerra Electrónica

En el ámbito del Radar y los Sistemas de Guerra Electrónica (GE), la utilización de formas de onda más complejas por parte de los radares con características de baja probabilidad de detección requiere una respuesta adecuada en la evolución de los sensores de GE.

Por otra parte la densidad de emisiones en las bandas de comunicaciones, cada vez a mayor frecuencia, ha generado un ambiente radioeléctrico en que los sistemas de recepción basados en receptores analógicos pueden verse degradados en sus prestaciones.

Entre las necesidades a las que han de hacer frente los Receptores de Guerra Electrónica en la Banda Radar están:

- Ancho de Banda: cobertura muy rápida o instantánea sobre el ancho de banda seleccionado para asegurar el 100% de POI de las señales de interés.
- Sensibilidad: máxima sensibilidad que permita la respuesta a la señal de alerta con un margen de tiempo suficiente.
- Margen dinámico: es necesario cubrir un margen dinámico amplio para la recepción simultánea de señales de *high level/close range, low level/far range*.

Los sistemas de recepción digital permiten la medida y caracterización de múltiples señales, siendo sistemas más robustos frente a ruidos y perturbaciones. Permiten detección sin ambigüedad de anchos de banda superiores a 500Mhz y su margen dinámico está limitado por el conversor seleccionado. Mientras que en los sistemas analógicos la sensibilidad es proporcional al ancho de banda, en un sistema de recepción digital depende de las características de la señal y del proceso digital que se realice sobre la señal, haciendo un uso más eficiente del hardware.

RX ANALÓGICA	RX DIGITAL
Sensibilidad limitada a niveles moderados por el ancho de banda del receptor	Mejora sensibilidad en un factor de 6 dB a 20 dB en función del tipo de señal (Proceso de FFT)
Puede ser afectado por ruido o perturbaciones	Robusto en ambientes con ruido o jamming
Medida de una sola señal (la más fuerte)	Capacidad de soportar señales coincidentes (pulso-pulso, pulso-CW, multi-CW)
Medida de frecuencia buena	Mejora medida de frecuencia, especialmente para CW
Entrega flag intrapulso	Entrega información intrapulso pulso a pulso: frecuencia, fase, BW, saltos,...
No soporta Identificación de emisores específicos (SEI)	Capacidades potenciales SEI gracias a la recogida de datos para post-proceso

Tabla 1: ventajas de la recepción digital sobre la analógica.

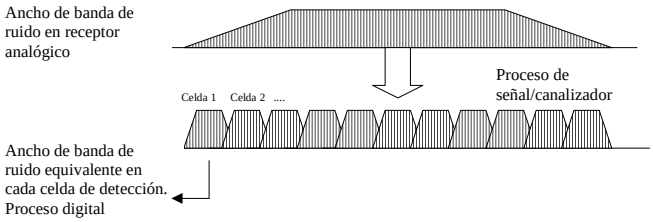


Fig. 1: proceso digital.Ancho de banda d ruido equivalente.

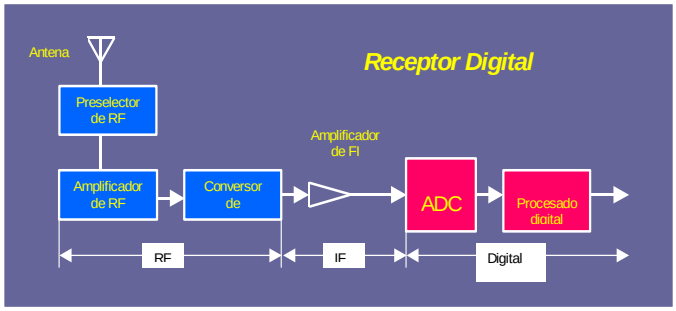


Fig. 2: receptor digital

Los receptores digitales se basan en el muestreo de una señal de RF o FI convertida al rango de operación de un conversor analógico digital. Una vez muestreada y convertida a formato digital la señal se procesa mediante FFTs u otros algoritmos.

El Teorema de Nyquist implica la necesidad de muestrear al doble de la frecuencia de la información contenida, que no al doble de frecuencia de la portadora. Esto permite realizar la denominada conversión directa de frecuencia mediante un proceso de sub-muestreo a partir de la señal seleccionada mediante el filtro anti-aliasing que fija la banda deseada.

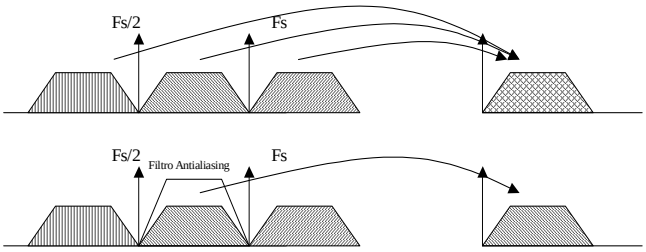


Fig. 3: selección de banda mediante filtro antialiasing.

Este proceso puede realizarse teniendo en cuenta las limitaciones derivadas del ancho de banda analógico del conversor ADC.

Otro factor limitador será la estabilidad de la frecuencia de muestreo ya que el jitter del reloj incrementará el ruido de forma proporcional a la frecuencia de entrada lo que dificulta la conversión de frecuencias muy altas. La sensibilidad del receptor puede verse degradada por los efectos del ruido de fase o jitter (el mismo problema representado en frecuencia o tiempo). El jitter se puede obtener como:

$$\Delta T_{RMS} = \left(\frac{1}{2\pi f_o}\right)\sqrt{\int_0^{\infty} S_\phi(f)df}\ segundos_{RMS}$$

donde $S_\phi(f)$ es la densidad espectral del ruido de fase.

La relación señal a ruido debida a los efectos del ruido de cuantificación con b bits más el jitter es la siguiente:

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{Cuantificacion_y_jitter(dB)} = 10\log\left[\frac{3.2^{2b}}{2+3(2^b 2\pi f\, t_a)^2}\right]$$

Muestreada y digitalizada la señal, se consigue alta sensibilidad procesando FFTs de 1024 puntos, con el fin de aportar precisión temporal para las emisiones pulsadas se utilizan 128 puntos de FFT.

Indra ha realizado diversos desarrollos soportados por el CIDA utilizando técnicas de digitalización avanzada lo que ha permitido el desarrollo de DRFMs (Memorias Digitales de Radiofrecuencia) en el estado del arte, o Receptores Digitales basados en el Programa RDA, cuyos resultados se han implementado con éxito en diversos proyectos nacionales de Guerra Electrónica Táctica e Inteligencia actualmente en servicio, lo que le sitúa en una posición de liderazgo en el ámbito europeo.

Dentro del marco europeo de colaboración de la CEPA 1 se constituyó el Programa Eurofinder RTP 1.15 DIGITAL RECEIVER TECHNIQUES por parte de las empresas BAE Systems (Advance Technology Centre), Ericsson (primera participación de Suecia en este marco de colaboración europea) e Indra Sistemas a través de su División de Guerra Electrónica.

El objetivo del proyecto se centraba en la caracterización de los límites de los circuitos de digitalización en banda ancha generando un hardware común y un firmware parametrizable que permitiera la implementación de un receptor con funciones complementarias de acuerdo a las aplicaciones de interés de cada empresa participante (Radar phased array, SAR de alta resolución y sistemas ESM de banda ancha).

Las técnicas de digitalización empleadas permitían explorar en los ámbitos de margen dinámico, ancho de banda instantáneo y conversión digital de frecuencia.

Se seleccionaron dispositivos en el estado del arte para realizar la función de digitalización:

- Conversor Banda Ancha de diez bits. Capaz de trabajar con señales de entrada de hasta 3GHz de ancho de banda y 2GSPS de frecuencia de muestreo.
- Conversor de Banda estrecha de 12 bits. Capaz de trabajar con señales de entrada de hasta 700MHz y 210MSPS de frecuencia de muestreo.
- Circuito de muestreo y retención. Capaz de realizar submuestreo directo de señales de entrada de hasta 10GHz con 1GHz de frecuencia de muestreo.

La figura 4 muestra un diagrama de bloques con los tres posibles caminos a seguir por la señal de entrada.

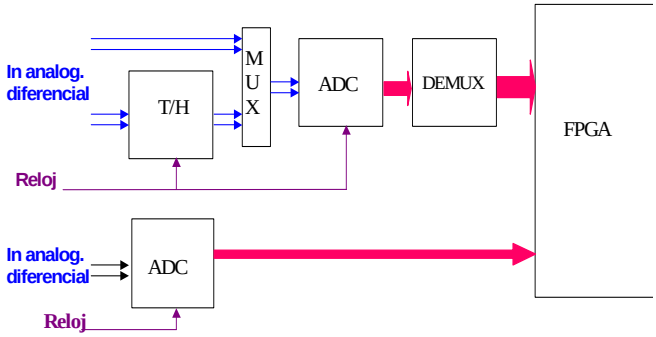


Fig. 4: diagrama de los bloques principales del receptor.

El diseño, fabricación y prueba de la tarjeta corrió a cargo de Indra Sistemas. El aspecto físico de la tarjeta receptor digital fabricada en formato VME doble Europa se muestra en la figura 5.

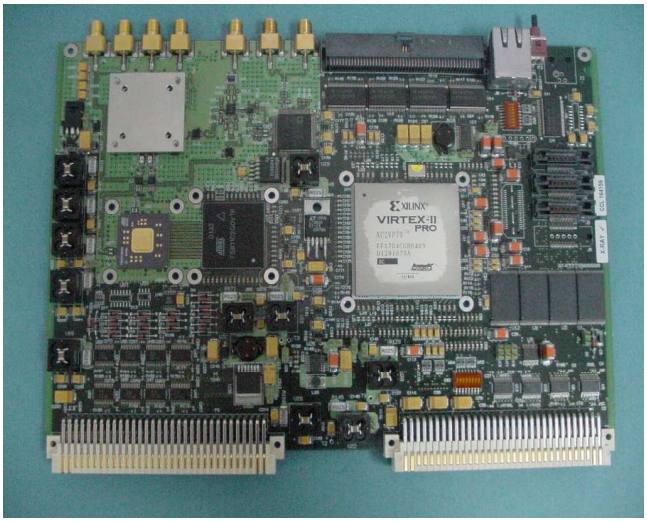


Fig. 5: aspecto físico de la tarjeta receptor digital.

La evaluación del comportamiento de la tarjeta en los tres casos posibles arroja los siguientes resultados relativos a las figuras dinámicas:

Configuración	Fin	Resultado (media)
NB ADC	140-180MHz	SNR 54dBs SFDR 51dBs
WB ADC	650-850MHz	SNR 45dBs SFDR 50dBs
WB ADC + T&H	3.5GHz-8.5GHz	SNR 44dBs SFDR 36dBs

SFDR: Spurious Free Dynamic Range
SNR: Signal to Noise Ratio
WB ADC: Wide Band Analogue to Digital Converter
NB ADC: Narrow Band Analogue to Digital Converter
T/H: Track and Hold

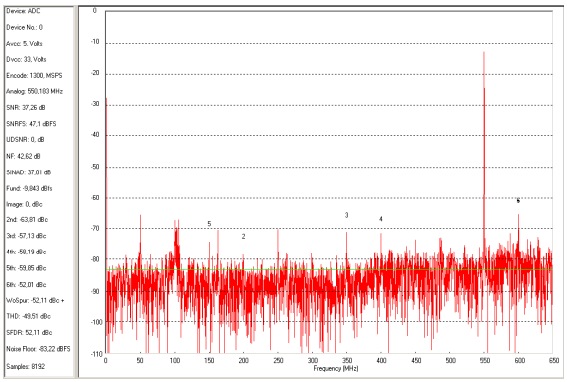


Fig. 6: ejemplo del espectro de salida para Fin=750 MHz y Fs= 1.3GHz

Los resultados que se presentan en la tabla son similares a los esperados y están en consonancia con las especificaciones del fabricante, lo que corrobora la corrección del diseño. En la tercera configuración (WB ADC + T&H) el resultado viene limitado por el margen dinámico libre de espurios del T&H.

La segunda parte del proyecto consistió en la generación de una versión compacta de la tarjeta digitalizadora a cargo de BAE. Dada la imposibilidad de disponer de elementos en chip, se optó por dividir la sección analógica y digital en dos niveles para compactar su relación de aspecto.

Fig. 7: aspecto físico de la versión compacta del receptor digital

Los resultados obtenidos en este proyecto se han utilizado para establecer las características de una nueva generación de productos basados en recepción digital en cuanto a margen dinámico y ancho de banda, que permitan mantener y reforzar la posición de liderazgo en esta tecnología dentro del contexto europeo de la Guerra Electrónica.

La recepción digital directa mediante submuestreo a frecuencias de trabajo elevadas ofrece posibilidades, que si bien tienen limitaciones, abren el campo a nuevas aplicaciones tendentes a eliminar los componentes de RF o al menos a eliminar las secciones de frecuencia intermedia.

Las nuevas líneas de investigación pueden ir dirigidas hacia la verificación del comportamiento de los nuevos dispositivos T/H presentes hoy en el mercado que mejoran las especificaciones tanto en ancho de banda como en frecuencia de muestreo.

La capacidad de la recepción digital asociada a técnicas de proceso de señal en tiempo real permite superar los retos que plantean las nuevas emisiones Radar así como permiten abordar nuevas arquitecturas de sensores.

- Este artículo ha sido realizado por los ingenieros de INDRA: J.M.Pascual (Responsable de Desarrollo de Sensores de la Dirección de Sensores y Defensa Electrónica), J.L.Torralba (Responsable del Grupo de Digitalización Avanzada), Rebeca.L.Serrano (Gestión de Programas Eurofinder) y J.A.Nieto (Responsable de nuevos programas y representante industrial en la CEPA 1). -

Agentes Inteligentes y Sistemas Multiagente

La necesidad de construir aplicaciones complejas compuestas de multitud de subsistemas heterogéneos que interaccionan entre sí, ha propiciado el desarrollo de alternativas software más flexibles y dinámicas. En este contexto, cada vez cobran más interés los denominados agentes inteligentes, definidos como entidades software autónomas capaces de almacenar conocimiento sobre sí mismos y sobre su entorno, con capacidad para planificar, razonar y elegir sus acciones con el fin de poder cumplir los objetivos individuales que tienen asignados, así como cooperar y compartir conocimiento con otros agentes a través de mecanismos de paso de mensajes. Los agentes son normalmente desplegados en entornos abiertos y dinámicos en los que interactúan, cooperan e intercambian información con otros agentes, constituyendo los denominados sistemas multiagente.

Aunque el concepto de agente como entidad computacional aislada tiene su origen en el campo de la ingeniería del software, los conceptos que constituyen la teoría de agentes comienzan con la inteligencia artificial distribuida. De hecho, aunque un agente aislado pueden ser implementado con estructuras software tradicionales, los sistemas multiagente exigen diseños específicos orientados a que varios agentes que interactúan entre sí puedan coexistir, lo que hace necesario definir sus mecanismos de aprendizaje, negociación y coordinación.

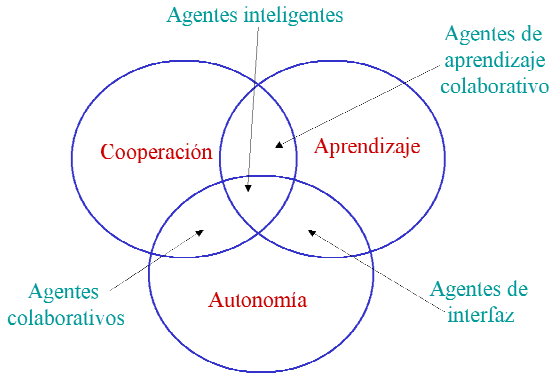
Algunas de las propiedades más importantes que caracterizan a los agentes son: la autonomía (control sobre su estado y sus acciones), reactividad (capacidad de percibir y reaccionar frente al entorno), proactividad (orientado a objetivos, capacidad de aceptar solicitudes y decidir cómo, dónde y cuándo satisfacerlas), persistencia (capacidad de mantener un mismo estado que no se modifica caprichosamente), comunicación (capaz de llevar a cabo comunicaciones complejas con otros agentes software, hardware o humanos), flexibilidad (planificación de sus acciones dinámicamente),

adaptabilidad (se adapta a las preferencias del usuario aprendiendo de la experiencia) o movilidad (puede migrar de una máquina a otra).

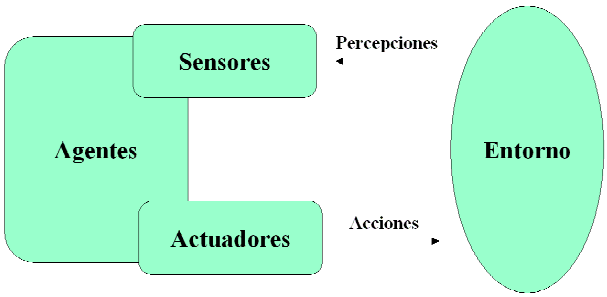
Hasta fechas recientes, una de las mayores limitaciones para la adopción generalizada de la tecnología de agentes en el contexto TIC era la ausencia de una infraestructura que soportase la creación de redes dinámicas y heterogéneas de dispositivos y servicios. No obstante, el desarrollo reciente de las tecnologías middleware, arquitecturas orientadas a servicios, grid computing, Web semántica, protocolos de comunicación inalámbricos,... así como el amplio rango de dispositivos disponibles, desde teléfonos móviles y PDAs hasta centros de procesamiento de alta capacidad, han fomentado el empleo de esta tecnología.

Algunas de las áreas en las que más se ha implantado el uso de agentes y sistemas multiagente son las siguientes:

- Gestión de redes y sistemas: los agentes pueden facilitar la operación y administración de los sistemas a través de acciones concretas de filtrado, configuración dinámica y automatización de tareas.
- Movilidad: la capacidad de los usuarios para acceder a los sistemas desde diferentes localizaciones, a menudo con limitaciones de ancho de banda, pueden ser simplificadas con el empleo de agentes que, en este caso, residen en la red en lugar de en los ordenadores de los usuarios finales, lo que les facilita la localización de los recursos y el procesamiento de la información intercambiada, evitando la sobrecarga de la red por el envío de grandes cantidades de datos sin procesar.



- Correo y mensajería: los agentes también se han aplicado para gestionar el correo de una persona a través de reglas predeterminadas. En el futuro se prevé que los agentes sean capaces de deducir dichas reglas a partir del modelado de los patrones de comportamiento de los usuarios.
- Gestión y acceso a la información: otro de los ámbitos en los que más se están empleando los agentes es en el acceso a una o más fuentes de información heterogéneas y geográficamente distribuidas en redes como Internet (llamados agentes de Internet) con el fin de adquirir, mediar, mantener y monitorear información relevante de acuerdo a las necesidades de los usuarios.
- Workflow y gestión administrativa: los agentes han sido aplicados satisfactoriamente para extraer información elaborada y poder automatizar los procesos de negocio de las empresas.
- Comercio electrónico: en el ámbito del comercio electrónico, es frecuente, que tanto compradores como vendedores, necesiten encontrar productos y servicios muy variados, por lo que el empleo de agentes facilita que los usuarios deleguen parte de sus funciones en ellos.
- Interfaces de usuario adaptativos: los agentes de interfaz realizan una labor de aprendizaje observando e imitando al usuario, o a través de instrucciones explícitas del usuario. Con ello, el agente se adapta a lo largo del tiempo a las preferencias y hábitos del usuario.
- Simulación de procesos complejos: el uso de sistemas muti-agentes para simular procesos de gran complejidad en entornos económicos, sociales o biológicos. Los beneficios de utilizar enfoques basados en agentes se deben al hecho de que comportamientos complejos pueden emerger a partir de reglas simples, que pueden ser más fácilmente manipuladas y evolucionadas.



Aparte de las aplicaciones anteriores, en el ámbito específicamente militar también se han empleado los agentes para abordar problemas relacionados con la fusión de datos e información, simulación o mando y control. Como ejemplo de la potencialidad de la tecnología multiagente en la simulación de operaciones militares cabe destacar el proyecto RTP 11.21 SYNFUL (SYnthetic Forces and Unreal Life), que se desarrolló mediante cooperación internacional en el programa EUCLID del GAEO y en el que se investigó el empleo de las denominadas fuerzas generadas por computador (CGFs), para su aplicación en labores de adiestramiento. Las CFGs son entidades software que simulan el comportamiento de personas, unidades u organizaciones ante situaciones y eventos externos y que son capaces de crear un plan a partir de unos objetivos y hechos iniciales, ejecutarlo y modificarlo en base a las nuevas situaciones que se presenten. Estas características convierten a las CFGs en un tipo de aplicaciones en las que el empleo de la tecnología de agentes resulta muy adecuada.

Terahercios: una Nueva Promesa en Detección

Las tecnologías utilizadas en la detección de sustancias peligrosas, como explosivos, drogas o agentes NBQ no cubren totalmente los requisitos de los usuarios de Seguridad y Defensa que demandan sistemas fiables y sensibles, que permitan una detección rápida y certera, sin falsas alarmas, lo que motiva una búsqueda constante de nueva alternativas. Entre las candidatas más prometedoras destaca *La Espectroscopía de Absorción y el Análisis de Imágenes en Frecuencia de Terahercios* ya que:

- la radiación en el rango de frecuencias de terahercios (THz) es absorbida por la mayoría de las moléculas orgánicas, que emiten un espectro característico que permite diferenciar cada componente del resto,
- explosivos, drogas y agentes biológicos y químicos tienen espectros característicos en la banda de frecuencias de terahercios, que pueden usarse como huellas digitales permitiendo su discriminación, y por último,
- se transmite fácilmente a través de medios no metálicos y no polares, lo que permite "ver a través" de barreras como el papel, ropa, etc.,

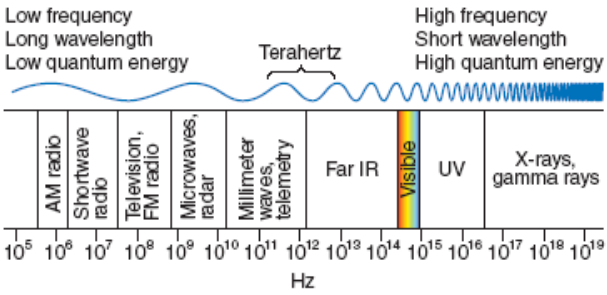


Fig. 1: espectro electromagnético.

Si bien todos los objetos emiten, de forma natural, radiación en la banda de los terahercios, las principales aplicaciones se centran en sistemas activos. Los haces de radiación electromagnética del orden de los terahercios (0.1-10THz) se encuentran, en la región del espectro Electromag.-nético, entre la banda de los microondas y del infrarrojo lejano (Figura 1). Esta radiación comparte con las microondas la capacidad de penetrar en una gran variedad de materiales no conductores, como son el papel, ropa, cartón, madera, plástico y cerámicas, añadiendo una mayor resolución en la obtención de imágenes. Sin embargo, y a pesar de penetrar también el humo, debido a que la atmósfera absorbe fuertemente esta radiación la distancia de aplicación es limitada.

Aunque la radiación de terahercios es conocida desde hace tiempo, ha sido el desarrollo de incipientes fuentes de transmisión de terahercios en los últimos diez años, el factor determinante para vislumbrar un potencial prometedor en áreas muy diversas que van desde seguridad, defensa y espacio, pasando por medicina, farmacia, e incluso en control de procesos industriales. Tenemos así ejemplos de fuentes ya desarrolladas y utilizadas, basadas en distintas tecnologías: oscilador de onda retardada, láser en infrarrojo lejano, láser de cascada quántica, láser de electrones libres y las fuentes de ciclo simple utilizadas en la espectros-copía de absorción en esta banda, en dominio de tiempo o THz-TDS. Sin embargo, todavía es necesario superar considerables retos tecnológicos en cuanto a tamaño, potencia, refrigeración y rendimiento.

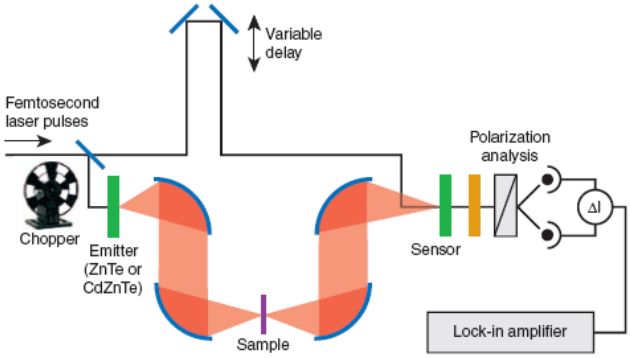


Fig. 2: Esquema de un sistema de espectroscopía de terahercios en el dominio de tiempo

Hasta los sucesos del 11-S las principales áreas de aplicación de los terahercios han sido la exploración astronómica, con receptores pasivos, y la medicina, derivada de la progresiva mejora en el desarrollo de las fuentes de terahercios. Las aplicaciones medicas se basan en la alta densidad de la radiación en la banda de terahercios, así como su capacidad para diferenciar el contenido de agua, la densidad del tejido y la posibilidad de obtener firmas espectrométricas, lo que los convier-ten en una nueva herramienta de apoyo al **diagnóstico de enfermedades**. A pesar de su alta densidad, y al contrario de lo que ocurre con los rayos X, este tipo de radiación, al no ser ionizante, no ocasiona daños al material genético de los organismos vivos. Aunque el liderazgo en este área corresponde a empresas niponas (Nikon), las enormes posibilidades de este campo han hecho que actualmente existan empresas europeas (Teraview, Thruvision,…) interesadas en el desa-rrollo de sistemas con este tipo de tecnología. Uno de los puntos clave para la futura implantación de esta técnica en el sector de la sanidad es la necesidad de reducir el coste de las fuentes de radiación, actualmente muy elevado.

A partir del 11-S, la creciente demanda e inversiones en seguridad y protección pone a los terahercios en el punto de mira, como tecnología de detección a distancia de explosivos, agentes de guerra química, biológica y otras sustancias tóxicas y su identificación mediante el análisis de los espectros de absorción obtenidos y, por otro lado, como sistema de obtención de imágenes permitien-do la detección de objetos amenazantes, no

necesariamente metálicos, ocultos en maletas, ropa, etc.

En particular, y para la identificación de sustancias peligrosas, destaca la tecnología THz-TDS, cuyo desarrollo ha crecido enormente en los últimos cinco años. Esta utilidad es limitada cuando la muestra es muy delgada o tiene una baja absorbancia, por lo que es muy difícil distinguir los cambios en la señal causados por la muestra.

El Army Research Laboratory (ARL) estadounidense, junto con The Edgewood Chemical Biological Center (ECBC), ha demostrado el potencial de este tipo de espectroscopía en detección a distancia (1km) de agentes de guerra biológica a través de estudios con esporas de *Bacillus subtilis*. Estas investigaciones han permitido obtener información sobre las propiedades intrínsecas del material biológico y demostrar que los modos vibracionales intramoleculares son sensibles al estado isomérico de la molécula. La obtención de gran cantidad de información espectral permite la identificación específica de este material biológico. Los resultados de este estudio han demostrado que la detección remota de agentes biológicos es factible para concentraciones consideradas como amenaza en ambientes de batalla proporcionando una detección temprana.

En este sentido, los centros de investigación se están dedicando principalmente a la obtención de bases de datos con los espectros de absorción de explosivos y otras sustancias tóxicas en la región de terahercios y al desarrollo de fuentes, tanto para THz-TDS como para sistemas de tratamiento de imágenes, en este rango que permitan una detección rápida y de mayor sensibilidad que las disponibles en la actualidad.

En conclusión, las múltiples aplicaciones de la tecnología de terahercios, y su potencialidad en el área de Seguridad y Defensa, para la inspección de personas, equipajes, etc., sospechosos de portar sustancias peligrosas, así como la detección a distancia de agentes de biológicos, motivan a países como EE.UU., Alemania, Reino Unido, Australia y Japón a fomentar el desarrollo de esta tecnología en sus diferentes áreas de aplicación.

AGENDA

Sensor-to-Shooter and Time Critical Targeting 2006
14 y 15 de marzo de 2006. Londres, Reino Unido
www.defenceiq.com/2614a

Future Artillery 2006
Del 22 al 24 de marzo de 2006
Londres, Reino Unido
www.defenceiq.com/2485a

UAV Summit
Del 28 al 30 de marzo de 2006 Washington, EE.UU.
http://www.idga.org/cgi-bin/templates/singlecell.html?topic=221&event=9481

Air Surveillance and Reconnaissance 2006
30 y 31 de marzo de 2006. Londres, Reino Unido.
www.defenceiq.com/2613a

Military Robotics 2006
11 y 12 de abril de 2006. Washington, EE.UU.
http://www.idga.org/cgi-bin/templates/singlecell.html?topic=222&event=9344

CBRN Resilience 2006.
27 y 28 de abril de 2006. Londres, Reino Unido
www.nbc2006.org

2006 NanoMaterials for Defence Applications
Del 1 al 4 de mayo de 2006. Virginia Beach, EE.UU.
www.usasymposium.com/nano

2006 International Symposium on Spectral Sensing Research (ISSSR)
Del 29 de mayo al 2 de junio de 2006. Maine, EE.UU.
www.isssr2006.com

8th Annual Biodetection Technologies 2006
15 y 16 de junio de 2006. Washington, EE.UU.
www.knowledgefoundation.com

Symposium on CBNR Threats
Del 18 al 21 de junio de 2006. Tampere, Finlandia.
www.allconferences.com/conferences/20060110040026/

RTO NATO MEETINGS:

SET-105 RSM-020 "Space Sensing&Situational awareness".
24 y 25 de abril de 2006. Maui, Hawai, EE.UU.

17th Business Panel Meeting SET-RTO.
Del 26 al 28 de abril de 2006. Maui, Hawai, EE.UU.
http://www.rta.nato.int

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

Tecnologías en PILAS DE COMBUSTIBLE[1]

En números anteriores de este Boletín se han introducido las pilas de combustible, destacando su importancia en relación con la situación energética actual, sus ventajas, inconvenientes, grado de madurez, principio de funcionamiento... Así mismo se ha destacado el interés que presentan en el entorno de la defensa y su enorme potencial para numerosas aplicaciones militares.

Con este artículo se pretende dar un paso más en el conocimiento de estos dispositivos, dando una visión, más o menos detallada, de las distintas tecnologías en las que se basan, los materiales que utilizan o los principales retos tecnológicos a los que se enfrentan.

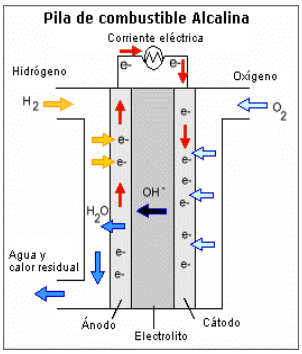
Como ya se apuntó en su momento, las pilas de combustible se clasifican según el electrolito empleado, que condiciona el resto de sus características. Actualmente se pueden distinguir seis tipos distintos de pila de combustible según la naturaleza de su electrolito.

AFC – Pilas de Combustible Alcalinas

Las AFC fueron unas de las primeras pilas de combustible en ser desarrolladas, y el primer tipo de pila usado de forma extensiva en el programa espacial de Estados Unidos para producir energía eléctrica y agua a bordo de las naves espaciales.

Estas pilas disponen de un electrolito alcalino, *KOH* ó *NaOH*. La concentración de la solución depende de la temperatura de trabajo que puede estar entre los 60 y los 200 ºC. En algunos casos, el electrolito es bombeado por la pila, de manera que se encuentra en movimiento. Otra alternativa, más compleja, consiste en contener el electrolito en una matriz de asbestos.

Para los catalizadores en los electrodos, se pueden utilizar numerosos materiales sin necesidad de que sean metales nobles, lo que supone una enorme ventaja. Normalmente se utilizan níquel en el ánodo y catalizadores basados en plata en el cátodo.



El funcionamiento de las pilas alcalinas es el siguiente: en el cátodo, el oxígeno en presencia de agua da lugar a iones OH^- que son los que circulan a través del electrolito hacia el ánodo, donde reaccionan con el hidrógeno generando el agua residual. Este agua generada en el proceso debe ser evacuada para evitar una alteración de la concentración del electrolito.

La principal ventaja de las AFC reside en que la reducción del oxígeno es más rápida, a temperatura ambiente, en electrolitos alcalinos que en electrolitos ácidos. La velocidad de reacción se traduce en un mejor rendimiento, de tal manera que este tipo de pilas se encuentran entre las más eficientes en generación de energía eléctrica, alcanzando valores de hasta un 70%.

Su desventaja reside en su sensibilidad a la contaminación. Una pequeña cantidad de CO_2 en el aire o en el combustible puede afectar su funcionamiento, ya que reacciona con el electrolito y lo envenena. Asimismo, otras moléculas como CO y CH_4 también son dañinas para estas pilas, por lo que es necesario purificar tanto el hidrógeno como el oxígeno utilizados, incrementando el coste del conjunto. Por este motivo, sus aplicaciones se han limitado a la industria aeroespacial y de defensa (vehículos submarinos).

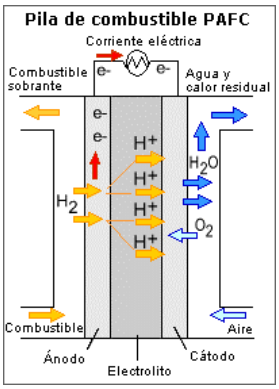
Además, la susceptibilidad que presentan a la contaminación disminuye también su duración, siendo éste uno de los obstáculos más significativos para la comercialización generalizada de esta tecnología.

PAFC – Pilas de Combustible de Ácido Fosfórico

Se consideran como la primera generación de pilas de combustible modernas. Son las pilas que se encuentran en fase de investigación más desarrollada, las más comercializadas y no parecen tener excesivas posibilidades de mejora.

El esquema de funcionamiento de una PAFC se muestra en la siguiente figura:

En este tipo de pila, el electrolito usado es ácido fosfórico (H_3PO_4) concentrado (95-100%) ubicado en una matriz porosa de SiC, con una temperatura de operación comprendida entre 150ºC y 200ºC.



El electrolito no se ve afectado por el CO_2, y otras impurezas, como *CO* ó S, sólo le perjudican en concentraciones muy altas. De este modo, la pila puede utilizar como agente oxidante directamente el aire atmosférico y puede operar con hidrógeno impuro producido a través de la transformación de otros combustibles.

Los electrodos de las PAFC están compuestos por un soporte estructural de carbono, en el que se dispersa un catalizador de platino, y por un material hidrofóbico como el politetrafluoretileno (conocido como PTFE o teflón).

Presentan una eficacia en torno al 40 % como generadores de energía eléctrica, pero pueden alcanzar hasta un 85% cuando se utilizan en

[1] Más información sobre Pilas de Combustible en los Boletines nº8 y nº9.

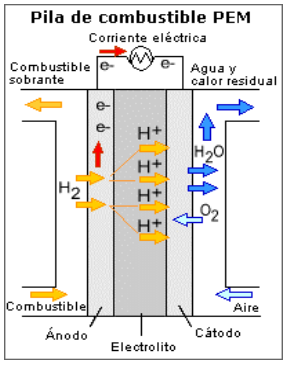
cogeneración. Sin embargo, presentan el inconveniente de que, a igualdad de peso y volumen, las PAFC también producen menos energía que otro tipo de pilas. Esto, junto a la utilización de catalizadores de platino, hace que sean una tecnología cara.

Ventajas adicionales a su inmunidad a las impurezas y su alta eficiencia en cogeneración, son su estabilidad a largo plazo y escasa volatilidad del electrolito.

Sus aplicaciones principales son estacionarias, dado que el electrolito es especialmente corrosivo. De este modo, están indicadas para edificios (hospitales, hoteles, edificios de oficinas, aeropuertos, etc.), aunque también pueden encontrarse en el transporte (vehículos pesados como autobuses y locomotoras).

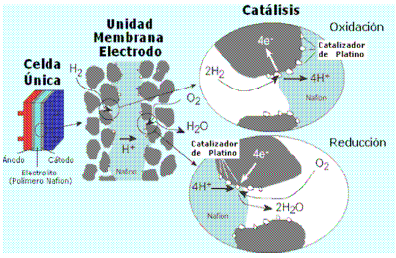
PEMFC – Pilas de Combustible de Membrana Polimérica

Este tipo de pilas trabaja a temperaturas relativamente bajas, entre 80 y 100ºC, y usan una membrana polimérica fina como electrolito. El hecho de que no requieran fluidos agresivos reduce la corrosión y el mantenimiento. Además al necesitar menos tiempo de calentamiento arrancan muy rápidamente y tienen un menor desgaste de los componentes del sistema, incrementando su duración.



La membrana es el componente fundamental de este tipo de pilas y, generalmente, los materiales empleados como electrolitos son sólidos orgánicos poliméricos, usualmente Nafión o ácido poliperfluorosulfónico, que se caracterizan por tener una gran estabilidad química y térmica. El electrolito se hidrata al absorber agua y los protones se pueden mover libremente, por lo que es adecuado que los gases de entrada tengan un cierto nivel de humedad. Debido a esta necesidad de trabajar con agua líquida, la temperatura máxima de trabajo debe de estar por debajo de la temperatura de ebullición, que depende de la presión de trabajo. Además, el contenido en agua debe de ser controlado continuamente para mantener la conductividad iónica.

Los catalizadores se disponen en los electrodos, de modo que exista contacto trifásico entre el catalizador, el aporte de gas y el electrolito. Los electrodos, que han de ser conductores eléctricos y han de ser químicamente resistentes a los compuestos con que entran en contacto, son generalmente de óxidos metálicos o más comúnmente carbono poroso, donde se impregnan los catalizadores de platino o de aleaciones de *Pt/Ru*. El rango de presiones trabajo puede situarse entre los 0,1 y 10 Mpa. El aumento de la misma incrementa el rendimiento de la pila, si bien aún no se ha determinado si el incremento es tan significativo como para compensar la energía utilizada para comprimir los gases. Como características negativas, destacan principalmente los elevados precios de sus componentes y su poca tolerancia a la contaminación por CO o compuestos sulfurosos



Las PEMFC tienen un gran poder energético, soportan altas densidades de voltaje y potencia, y pueden variar rápidamente su suministro de energía en función de la demanda energética. Tienen diversas aplicaciones tanto en equipos para la generación de energía eléctrica estacionarios como, sobre todo, en automóviles, ya que éstos requieren un rápido suministro de energía y tienen muchas variaciones en la demanda energética. Así mismo, las PEMFC se pueden emplear para otras aplicaciones de menor tamaño como el reemplazo de baterías recargables en aparatos electrónicos. El problema actual de este tipo de membrana se centra en su elevado coste de fabricación y en la limitación de la temperatura de trabajo por operar con agua líquida. Una mejora de estos dos aspectos implicaría un salto en el desarrollo de las PEMFC.

Se barajan diversos caminos para el desarrollo futuro de este tipo de pilas, con un gran empuje por parte de la industria automovilística, persiguiendo un incremento de la temperatura de operación. Se están realizando diversos estudios en la optimización de las membranas poliméricas para estas aplicaciones, orientados fundamentalmente a incrementar la conductividad, retener mejor el agua y controlar los caminos de conducción protónica, asegurando una adecuada resistencia y flexibilidad de la membrana. Otras investigaciones actuales están orientadas al desarrollo de electrolitos para celdas PEM de alta temperatura usando como membrana nanocomposites poliméricos, ya que algunos óxidos sólidos pueden incrementar la conductividad protónica, mejorar la retención de agua y mejorar la estabilidad térmica de la membrana. Como refuerzos, se han estudiado diversos tipos de arcillas y aluminosilicatos con gran capacidad de intercambio protónico, consiguiendo de este modo un considerable incremento de las propiedades mecánicas.

DMFC – Pilas de Combustible de Metanol Directo

Son similares a las PEMFC en cuanto a su funcionamiento, pero en este caso se alimentan directamente con metanol puro mezclado con

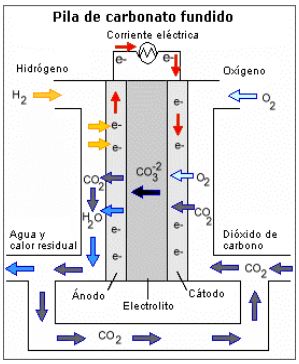
vapor de agua y suministrado directamente al ánodo de la pila, donde por medio de un electrocatalizador (*Pt/Ru* o *Pt/Sn*) se obtiene el hidrógeno sin necesidad de reformador de combustible. Las temperaturas de trabajo son bajas, aunque un poco superiores a las de las PEMFC para aumentar su densidad de potencia. Este tipo de pilas no tienen muchos de los problemas de almacenamiento de las otras, ya que el metanol tiene mayor densidad energética que el hidrógeno, y es fácil de transportar y manejar.

Como inconvenientes, destacar que el metanol envenena el cátodo cuando consigue atravesar la membrana, y que presentan unos rendimientos y potencias inferiores a una PEMFC equivalente, así como unos costes considerables debido al consumo de cantidades elevadas de platino. La tecnología DMFC es relativamente nueva en relación con el resto de tipos de pilas, y por tanto, se puede considerar que su investigación y desarrollo va con considerable retraso respecto a éstas, y no se ha alcanzado un desarrollo competitivo. Debido a sus propiedades y características, las DMFC se aplican fundamentalmente en el sector de la automoción y las aplicaciones portátiles.

MCFC – Pilas de Combustible de Carbonatos Fundidos

Las MCFC pertenecen, junto con las SOFC a las pilas denominadas de alta temperatura puesto que trabajan por encima de los 600ºC. El electrolito que utilizan es un carbonato (Na_2CO_3, K_2CO_3, Li_2CO_3) o una combinación de los mismos retenidos en una matriz cerámica ($LiAlO_2$). Trabajan a elevadas temperaturas (650ºC) puesto que es necesario que los carbonatos fundan para dotar al electrolito de la conductividad iónica que permite el funcionamiento de la pila. Esta temperatura le confiere a este tipo de pilas enormes ventajas, aunque también algunos inconvenientes.

El esquema de funcionamiento de este tipo de pilas, es el siguiente:



En el cátodo, oxígeno y dióxido de carbono dan lugar a iones CO_3^{-2} que son conducidos al ánodo a través del electrolito fundido por las altas temperaturas. Una vez en el ánodo estos iones se combinan con el hidrógeno para generar agua y CO_2, que de nuevo se reconduce al cátodo por una vía independiente

En los electrodos se pueden utilizar metales que no sean nobles como catalizadores, lo que reduce los costes. Se suele utilizar Ni para el ánodo y NiO para el cátodo.

Las MCFC no necesitan un reformador externo para obtener hidrógeno a partir de combustibles de energía más densa. Debido a las altas temperaturas a las que operan, extraen el hidrógeno del combustible dentro de la propia pila de combustible mediante un proceso que se denomina conversión interna, lo que permite reducir costes. Pueden utilizar como combustibles gases procedentes del carbón, metano y gas natural.

Por otra parte, estas pilas no son propensas a la contaminación por CO o CO_2, que, de hecho, se utilizan para su funcionamiento. Pero aunque son más resistentes que otros tipos de pilas a otras impurezas procedentes del carbón, como el sulfuro y las partículas, todavía se trabaja en esta línea.

La elevada temperatura de trabajo hace que las MCFC presenten una alta eficacia en la conversión de combustible en electricidad (60%). Además, si se aprovecha el calor en plantas de cogeneración, el rendimiento total puede llegar a ser de hasta un 85%.

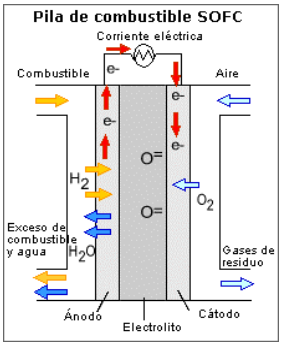
La desventaja más importante de la tecnología de MCFC es la duración. Las altas temperaturas a las que operan estas pilas y el electrolito corrosivo que utilizan, hacen que sus componentes se deterioren, reduciendo la duración de la pila. Los científicos están buscando materiales resistentes a la corrosión para fabricar los componentes, así como diseños que aumenten la duración de la pila sin hacer que disminuya su rendimiento.

La temperatura de funcionamiento de las MCFC provoca que tarden un tiempo considerable en alcanzar la temperatura de operación, por lo que resultan inviables en aplicaciones de transporte, e inseguras en aplicaciones domésticas por el inconveniente adicional de la naturaleza corrosiva del electrolito. En la actualidad, la MCFC se están desarrollando para generación de electricidad a gran escala y aplicaciones de grandes procesos industriales, aunque en el ámbito de la defensa también se contempla su utilización para suministro de energía en plataformas navales.

SOFC – Pilas de Combustible de Óxidos Sólidos

Las pilas de combustible de óxido sólido (SOFC) utilizan como electrolito óxidos sólidos, que para actuar como membrana conductora de iones, han de trabajar a altas temperaturas (hasta 1000 º C). Este electrolito cerámico hace que el funcionamiento sea diferente al de otras pilas, como las PEMFC, ya que la conductividad iónica que produce la energía no es debida a la movilidad de protones, sino de iones oxigeno (O^{2-}), desde el cátodo al ánodo. Este hecho permite que se pueda emplear como combustible no sólo hidrógeno, sino también monóxido de carbono, de modo que en operación, el hidrógeno o el monóxido de carbono

(CO) del combustible reacciona con los iones oxígeno (O^{2-}) del electrolito para producir agua o CO_2 y depositar electrones en el ánodo. Los electrones pasan por un circuito externo y vuelven al cátodo dónde reaccionan con el oxígeno del aire y forman de nuevo los iones (O^{2-}) que se incorporan al electrolito.



El rendimiento general en la conversión de combustible en electricidad oscila entre el 50-60 %, aunque en cogeneración el rendimiento global puede llegar al 80-85 %.

Debido a la alta temperatura de operación de este tipo de pilas de combustible, el tiempo de arranque es bastante grande, y las prestaciones de las celdas son muy sensibles a variaciones de esta temperatura. El principal atractivo de estas pilas se basa en la limpieza de la conversión de la energía química a electricidad, sus bajos niveles de ruido y polución, la posibilidad de funcionar con distintos combustibles y fundamentalmente su alta eficiencia. Las aplicaciones de estas pilas se enmarcan en instalaciones de generación de energía de gran tamaño (MW).

Como electrolitos se emplean fundamentalmente soluciones sólidas basadas en oxido de zirconio (ZrO_2), ya que se le considera buen aislante para las moléculas de gas y los electrones, y a que es un gran conductor iónico de oxígeno a altas temperaturas (0.1 $S \cdot cm^{-1}$ a 1000 º C). Mediante un dopaje adecuado con Y_2O_3 u otros óxidos de tierras raras, es posible estabilizar a bajas temperaturas las fases cristalinas de mayor conductividad y de mayores valores de tenacidad y resistencia a la fractura, en soluciones sólidas $ZrO_2 : Y_2O_3$.

Respecto al futuro de los materiales empleados en la fabricación de electrolitos sólidos, es previsible la materialización de los esfuerzos generados en la investigación nanotecnológica, de modo que exista un mayor control entre el diseño de las micro-nanoestructuras y los caminos de conducción iónica, así como en los métodos de producción de óxidos cerámicos nanoestructurados. Asimismo, comienzan a aparecer electrolitos sólidos para pilas de alta temperatura no basados en óxidos, como nanocomposites de CaF_2 y BaF_2, que presentan propiedades de transporte anómalas y se comportan como superconductor iónico. Sin embargo, casi todos los materiales empleados en la fabricación de células de combustible, presentan el inconveniente de su elevado precio.

El empleo de pilas SOFC capaces de operar a menores temperaturas presenta una serie de importantes ventajas. Así, el empleo a menos de 700 º C permitiría utilizar materiales metálicos de bajo coste en su fabricación, y se reducirían las velocidades de corrosión, lo que haría las plantas más robustas y baratas. Pero según disminuye la velocidad de operación se reduce la conductividad iónica del electrolito y se incrementan las perdidas parásitas, lo que resulta en un rápido deterioro del comportamiento de la pila. Se buscan nuevos electrolitos cerámicos que consigan un balance entre los inconvenientes técnicos asociados con las pilas SOFC de temperatura intermedia y los ahorros en costes potenciales asociados al reemplazo de piezas cerámicas por acero inoxidable.

Respecto a las aplicaciones militares de cada tipo de pila de combustible, podemos apuntar que, por el momento, las alcalinas (AFC), de ácido fosfórico (PAFC) y de carbonamos fundidos (MCFC), son las menos utilizadas en el entorno de defensa. Las AFC se reservan casi exclusivamente para misiones espaciales y aunque en un principio se consideró su utilización para ciertas aplicaciones en submarinos, hoy es más ventajoso utilizar otras tecnologías. Las PAFC se han utilizado en programas de demostración como generadores de energía estacionarios (250 kW) pero no parece tener muchas posibilidades de despuntar en este entorno. En cuanto a las MCFC, en los últimos años el Naval Surface Warfare Center (EE.UU.) les ha prestado atención en un programa para suministro de energía en plataformas navales (625 kW), pero no han tenido mucha más repercusión.

Por otro lado, las pilas de óxidos sólidos (SOFC), membrana polimérica (PEMFC) y conversión directa de metanol (DMFC) sí que están teniendo un desarrollo importante en defensa y se trabaja, tanto en investigación básica como en proyectos de demostración de las numerosas aplicaciones en las que se pueden ubicar. La tecnología de óxidos sólidos se está utilizando sobre todo para APUs (sistemas auxiliares de potencia), cargadores de baterías o incluso como alimentación de dispositivos portátiles (20W a 10kW), y destacan los proyectos para poder alimentar estas pilas con combustibles logísticos como el JP-8. La aplicación de las DMFC se centra en dispositivos de electrónica portátil, fuentes de energía para el soldado del futuro etc. (sin superar los 100W). Por último, las PEMFC son sin duda las pilas más versátiles: aplicaciones portátiles (20-50W), APUs (1-10kW), propulsión de vehículos (20-80kW), de submarinos (300-600kW), de locomotoras (1MW)... Así mismo, las PEMFC son el tipo de pilas que se utilizan para aplicaciones más específicas como vehículos no tripulados (terrestres, aéreos o submarinos) o plataformas aéreas especiales.