

# Boletín

## DE OBSERVACIÓN TECNOLÓGICA EN DEFENSA



SUBDIRECCIÓN GENERAL DE PLANIFICACIÓN, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN  
Boletín de Observación Tecnológica en Defensa n.º 44 • 3.º trimestre de 2014

**Adaptación de un radar de vigilancia y alta resolución para aplicaciones de defensa (ART)**

**Un módem español de transmisión de datos de alta velocidad en HF**

**Nuevos mecanismos de descontaminación química**

**Sistema LIDAR: obtención de información 3D a partir de imágenes 2D**



Edita:



NIPO en línea: 083-14-112-1

NIPO impresión bajo demanda: 083-14-113-7

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

**Director:** CF Ing. José María Riola Rodríguez.

**Redacción:** Héctor Criado de Pastors.

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

**Portada:** Fuente de ionización de espectrómetro de masas portátil y moléculas de gas mostaza, sarín, soman y tabun, artículo "Identificación química en campo mediante espectrómetro de masas portátil".

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

**Colaboraciones y suscripciones:**

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

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



## CONTENIDOS

### Editorial

### Actualidad

- 4 ¿Dónde hemos estado?
- 6 La nueva estructura de la EDA
- 8 4º Edición del curso "análisis de agresivos de guerra química en muestras medioambientales"
- 9 Propulsión UAV con pila de combustible PEM de alta temperatura

### Tecnologías Emergentes

- 11 Nuevos mecanismos de descontaminación química: descontaminación catalítica
- 13 Sistema LIDAR: obtención de información 3D a partir de imágenes 2D
- 16 Proyecto GENERCUS

### En Profundidad

- 19 Adaptación de un radar de vigilancia y alta resolución para aplicaciones de defensa (ART)
- 24 Un módem español de transmisión de datos de alta velocidad en HF

## 2º Congreso de I+D en Defensa y Seguridad “DESEi+d”

El primer Congreso de I+D en Defensa y Seguridad (DESEi+d) celebrado en la Universidad Politécnica de Madrid demostró el interés de contar con un evento académico-científico en el que participasen todos los agentes involucrados en la investigación de plataformas, sistemas y equipos del sector de la defensa, antes diseminadas en otros eventos y congresos en su correspondiente área de conocimiento tecnológico de carácter civil o incluso a los que no encontraban uno suficientemente adecuado. Sus más de 70 contribuciones científicas y 200 participantes aseguraron el éxito del evento.

El segundo Congreso de I+D en Defensa y Seguridad (DESEi+d) se celebrará en las instalaciones de la Academia General Militar, por lo que será el Centro Universitario de la Defensa (CUD) de Zaragoza el que lidere su organización y garantice su alto contenido científico. En este 2014, promovido por la Cátedra Isdefe en la UPM y la Dirección General de Armamento y Material (DGAM), a través de la Subdirección General de Planificación, Tecnología e Innovación (SDGPLATIN), se han organizado los

preparativos para la realización de dicho evento, con el claro objetivo de compartir los avances, descubrimientos y resultados de la comunidad científica nacional del sector.

Sabemos la dificultad de mantener las expectativas de un congreso de este tipo, al tener esta apuesta un carácter anual. El alto número de propuestas recibidas para esta segunda edición garantiza su interés y resultados.

Es importante resaltar que este evento contribuirá además a la edición de la próxima Estrategia de Tecnología e Investigación para la Defensa (ETID), a la presentación de ponencias por los científicos de los Institutos y Centros del Ministerio, a la vigilancia y divulgación de la tecnología del sector asumida por los Observatorios Tecnológicos (SOPT) y a fomentar la realización de programas de I+D por parte de los profesores de los Centros Universitarios de la Defensa.

Deseamos encarecidamente que disfruten de este II Congreso DESEi+d.

# Actualidad

## ¿Dónde hemos estado?

21 a 23  
de mayo

- **X Jornadas de presentaciones de empresas - PCAMI**

Organizadas por el MALOG en el PCAMI, diversas empresas presentaron sus productos y desarrollos tecnológicos en diversos campos de actividad. Las jornadas permiten orientar a la industria sobre líneas de investigación apropiadas para los requisitos de las FAS.



22 a 23  
de mayo

- **Congreso sobre tecnología y seguridad contra los IED**

Organizado por el Centro de Excelencia Contra IED acreditado por la OTAN, con sede en Hoyo de Manzanares (Madrid) e IDS, el congreso tuvo participación del SOPT con una ponencia sobre el alineamiento de esfuerzos en soporte a las soluciones C-IED.



28 de mayo

- **Presentación del USV de IXION en las instalaciones del CEDEX**

Presentación in situ de los desarrollos en cuanto a plataforma y sensorización del vehículo submarino no tripulado. Es un proyecto liderado por CEPESA y en el que colaboran IXION (desarrollo de plataforma e integración de sistemas) y la UCM (desarrollo de nuevas tecnologías a incorporar al sistema) tiene como objetivo el seguimiento e inspección de posibles fugas en líneas de fuel de fondo marino.



30 de mayo

- **Jornada sobre defensa química en el ITM**

Primer foro nacional que reunió a todos los actores implicados en este tipo de amenaza incluyendo a los organismos reguladores. Es la primera de tres jornadas previstas sobre defensa NBQ (las otras serán defensa biológica el 4º trimestre 2014 y defensa nuclear 1º trimestre 2015). En la imagen, vehículo de reconocimiento ligero BQ desarrollado por INDRA.



5 de junio

- **Seminario de la presidencia española de la iniciativa 5+5 defensa**

Celebrado en el CESEDEN en su décimo aniversario, esta iniciativa como objetivo desarrollar la cooperación multilateral para promover la seguridad en el Mediterráneo Occidental así como favorecer el conocimiento y la confianza mutuos. El acto fue clausurado por el ministro de defensa D. Pedro Morenés.



... entre otros eventos



## ¿Dónde hemos estado?

18 de junio

- **Jornada sobre biomímesis**

Organizada por el Instituto Español de Estudios Estratégicos, IEEE en el CESEDEN, se presentaron los resultados del grupo de trabajo sobre la aplicación de la biomímesis en Defensa y Seguridad, así como ponencias de expertos invitados. La publicación del documento está prevista para el próximo mes de septiembre.



25 y 26 de junio

- **Jornadas de cooperación y transferencia de I+D+i: tecnologías duales militar-civil**

En estas jornadas, organizadas por la agencia IDEA y el Ministerio de Defensa en los parques tecnológicos de Málaga y Sevilla (Aerópolis), participó personal de la SDGPLATIN con dos ponencias "Programa COINCIDENTE" y "Desafíos europeos en I+D de Defensa".



26 de junio

- **Visita a CATEC**

Visita a las instalaciones del Centro Avanzado de Tecnologías Aeroespaciales CATEC en Sevilla.



9 y 10 de julio

- **X Cursos de verano de la UPM**

El subdirector de la SDGPLATIN realizó una presentación titulada "I+D de Defensa y RPAS" dentro del curso Sistemas aéreos tripulados de forma remota (RPAS) como parte de los cursos de verano en La Granja, Segovia.



14 a 17 de julio

- **IV Jornadas en tecnologías de doble uso**

El CUD de San Javier, la UPTC y la Academia General del Aire organizaron estas jornadas en las que personal de la SDGPLATIN presentó las ponencias "La contribución de la I+D en defensa a los desarrollos navales", "El impacto del Eurofighter en la capacitación de la industria aeroespacial española" y "La I+D de defensa en el contexto de la Unión Europea. Su aportación al sector nacional de la investigación dual" .



Toda la información sobre estos y otros eventos puede consultarse en el Portal de Tecnología e Innovación del Ministerio de Defensa: [www.tecnologiaeinnovacion.defensa.gob.es](http://www.tecnologiaeinnovacion.defensa.gob.es)

... entre otros eventos

## La nueva estructura de la EDA

Area de Cooperación Internacional en I+D

Palabras clave: Agencia Europea de Defensa, cooperación, Unión Europea

Metas Tecnológicas relacionadas: LFL 0.1.

Desde el pasado 1 de enero de 2014, la Agencia Europea de Defensa (EDA en su acrónimo inglés) tiene una nueva estructura organizativa con el fin de adaptarse al cambiante escenario europeo de la Defensa caracterizado en los últimos tiempos por unos niveles de financiación muy limitados y en el que la presencia de la UE es cada vez más significativa. La nueva organización se encuentra aún en pleno proceso de implantación, pero se puede indicar que se estructura en tres direcciones operativas, una dirección de servicios corporativos y tres unidades adicionales. Las tres direcciones operativas, que tienen un marcado carácter cooperativo, se conocen por sus siglas en inglés como CPS (*Cooperation Planning & Support*), CAT (*Capability, Armaments & Technology*) y ESI (*European Sinergies & Innovation*). Un hecho significativo es que la antigua Dirección de I+T desaparece repartiendo sus funciones entre las tres citadas. En concreto, los grupos tecnológicos de la pasada Dirección de I+T, denominados CapTechs, se distribuyen ahora, con ligeras modificaciones en su perímetro tecnológico, entre las direcciones CAT y ESI. Hay que señalar la novedad de que la EDA ha transformado algunas de las áreas temáticas de estas direcciones en verdaderos **programas**, realzando así su importancia. Cada programa está dedicado a dirigir e integrar todos los esfuerzos en esa área, los cuales incluyen la investigación, el desarrollo de capacidades, la cooperación en armamento, los aspectos industriales, el entrenamiento y la compartición bajo demanda, entre otros aspectos.

Con algo más de detalle, las nuevas direcciones son:

### 1. Dirección de Planificación de la Cooperación y Apoyo (CPS).

Su cometido principal es la identificación temprana de requisitos a nivel



EUROPEAN  
DEFENCE  
AGENCY

europeo, así como de todos los componentes del ciclo de vida de capacidades. Tiene las siguientes responsabilidades:

- a. La redacción del Plan de Desarrollo de Capacidades (CDP), la gestión de la Base de datos de Programas Cooperativos (CODABA) y el *Pooling & Sharing* junto con su Código de Conducta.
- b. El análisis de la comunidad de defensa para identificar y desarrollar las demandas de capacidades.
- c. La armonización, estandarización y certificación, la adquisición conjunta, la formación y el entrenamiento y la mejora de la interoperabilidad. Un ejemplo destacable de las tareas que se desarrollan en materia de formación es el programa "Adiestramiento con helicópteros".
- d. El apoyo a las operaciones civiles y militares derivadas de la Política Común de Seguridad y Defensa (CSDP) y a las actividades del EU Battlegroup, a petición de los estados miembros.

### 2. Dirección de Capacidades, Armamento y Tecnología (CAT).

Esta dirección es la responsable de preparar los programas del futuro maximizando sinergias entre capacidades, armamento e I+T. Su trabajo se desarrolla a través de diferentes áreas de interés:

- a. Superioridad de la Información: sistemas de información y comunicaciones, reconocimiento y vigilancia, espacio y ciberespacio. Incluye los programas de "Ciberdefensa" y de "Comunicaciones vía satélite".
- b. Componente de tierra: C-IED, sistemas blindados, protección de

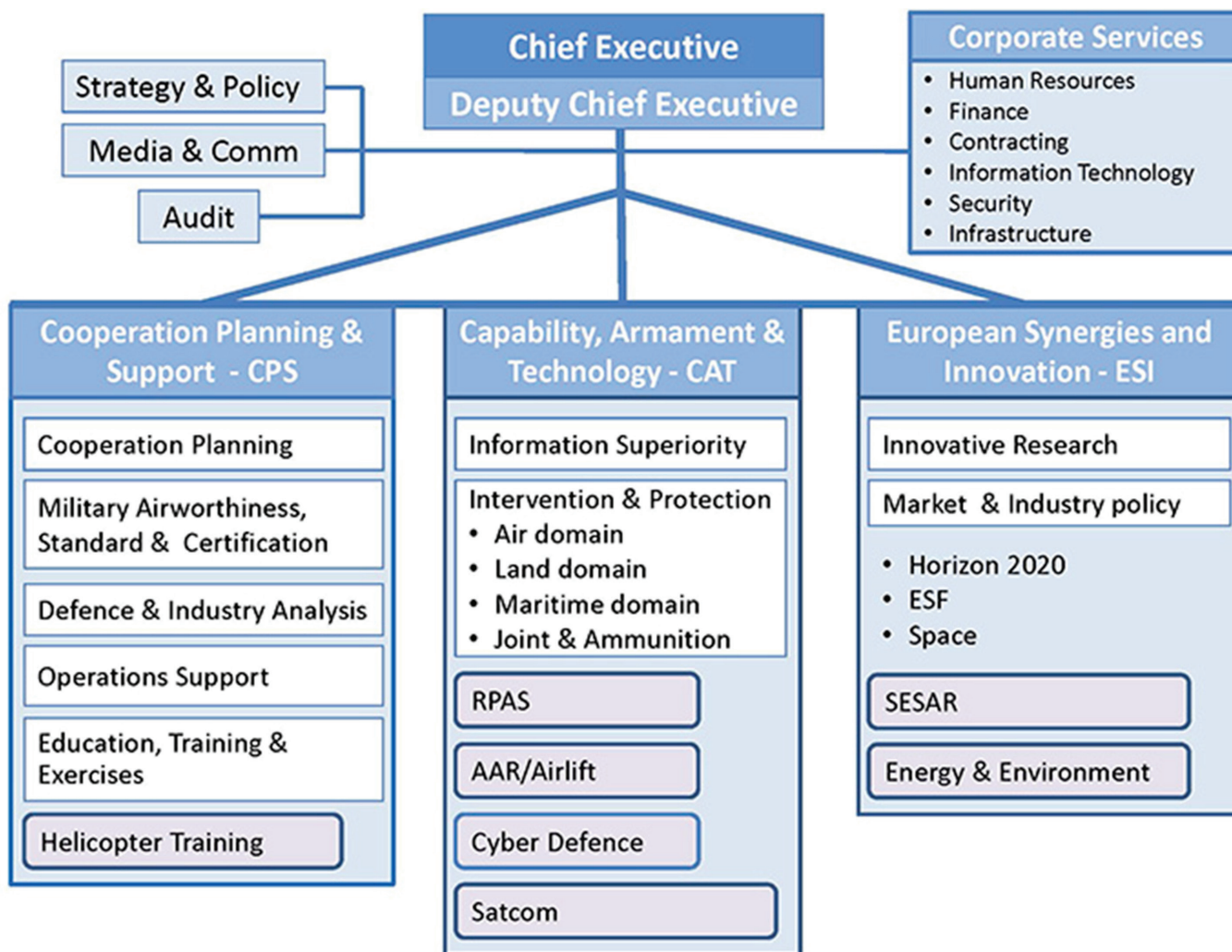
instalaciones y tecnologías de sistemas terrestres.

- c. Componente marítima: vigilancia marítima, medidas contra minas y tecnologías navales.
- d. Componente aérea: incluye los programas de "sistemas aéreos remotamente pilotados" (RPAS en inglés) y "repostaje en vuelo (air-to-air refueling)/airlift)", además del resto de tecnologías de sistemas aéreos.
- e. Componente conjunta: movilidad, transporte, servicios médicos y munición.

Esta Dirección agrupa los CapTechs que hasta ahora se denominaban IAP04, GEM03, ESM01, ESM02, ESM03 y el GEM02 en la parte de Municiones.

### 3. Dirección de Sinergias Europeas e Innovación (ESI).

Recoge gran parte de las funciones de la antigua Dirección de I+T y su objetivo fundamental es facilitar la interacción entre los ministerios de defensa y la UE en las políticas que tengan implicaciones en defensa. Sus cometidos principales son promover y apoyar la inserción de tecnologías por medio de investigación innovadora en diferentes áreas. Asimismo, desarrolla sinergias y desarrolla aspectos complementarios con los programas de la UE como el Horizon 2020 y los Fondos Estructurales. Es responsable de las políticas de industria y mercado de defensa, de las actividades medioambientales y de energía de la Agencia, y actúa además como punto focal de la Agencia para asuntos de espacio. Por último, da apoyo, gestiona y coordina los esfuerzos relativos a la I+T en temas relativos a las siguientes áreas: "módulos y componentes", "nuevos materiales y estructuras",



“energía”, “sensores ópticos y de radio-frecuencia”, “control y guiado” y “protección CBRN”. Incorpora para ello los CapTechs que hasta ahora se denominaban IAP01, IAP02, IAP03, GEM01, GEM04, ESM04 y el GEM02 en la parte de Energía.

En esta dirección se encuentran los programas de “Gestión del espacio único europeo-SESAR” e “Investigación, energía y medio ambiente”, encargándose además de las dimensiones militares de la política del “Cielo Único Europeo” (Single European Sky).

Por otro lado, la Dirección de **Servicios Corporativos**, en una labor de apoyo general, se encarga de gestionar los recursos humanos, las finanzas, los temas legales en contratación, las infraestructuras (incluidas las TI) y la seguridad.

Finalmente, las unidades citadas al comienzo del artículo, son las siguientes:

1. Unidad de **Política y Estrategia**: es la encargada de apoyar a la Junta Directiva (*Steering Board*) y de coordinar las políticas que estén relacionadas con otras organizaciones de la UE, con otros

organismos (ESA, OCCAR, NATO) y con terceros países.

2. Unidad de **Comunicaciones y Medios**: es la encargada de las relaciones con la prensa, la gestión de la *web*, las publicaciones y producciones audiovisuales de la EDA, la gestión de los grandes eventos y otras comunicaciones con el resto de la comunidad de defensa.
3. Unidad de **Auditoría**: de acuerdo con las Normas Financieras de la EDA actúa como colegio de auditores del estado financiero de la Agencia.



## 4º Edición del curso “análisis de agresivos de guerra química en muestras medioambientales”

Esther Gómez Caballero, LAVEMA, Unidad Defensa Química, Área NBQM, ITM

Palabras clave: NBQ, OPAQ, guerra química, análisis NBQ.

Metas tecnológicas relacionadas: MT 4.2.1.

Entre los días 2 y 13 de junio de 2014, ha tenido lugar en el Instituto Tecnológico La Marañosa, ITM, la 4º edición del “Curso para el análisis de sustancias químicas de la Convención sobre la Prohibición de las Armas Químicas en el marco de los Proficiency Tests de la OPAQ”. Este curso ha sido impartido por el Laboratorio de Verificación de Armas Químicas, LAVEMA, del ITM, por iniciativa de la Organización para la Prohibición de Armas Químicas, OPAQ y de la Autoridad Nacional española para la Prohibición de Armas Químicas, ANPAQ.

El LAVEMA, laboratorio designado OPAQ desde el año 2004, es el laboratorio de referencia español en el análisis de agresivos de guerra química y compuestos relacionados en muestras medioambientales. Actualmente existen 21 laboratorios designados OPAQ en el mundo y dado que el LAVEMA es el único laboratorio designado de habla hispana, la OPAQ le solicitó la impartición de este curso en 2010, realizándose además en 2012, 2013 y 2014.

Para llegar a ser un laboratorio designado OPAQ, se deben superar tres ejercicios de intercomparación, llamados Proficiency Tests, PTs, organizados por la OPAQ. El objeto del curso es transmitir los conocimientos necesarios para participar en los PTs y obtener resultados satisfactorios.

Los beneficiarios del curso son representantes del Grupo de Países de América Latina y el Caribe, GRU-LAC. En esta edición, el curso se ha impartido a 15 representantes de los siguientes países: Argentina, Brasil, Costa Rica, Cuba, República Dominicana, Ecuador, El Salvador, Honduras, Méjico, Paraguay y Uruguay.

La duración del curso es de 80 horas y el programa técnico incluye materias relevantes para que los laboratorios aborden con garantías el

desafío de participar en los PTs. Se han impartido conferencias sobre las sustancias químicas clasificadas por la Convención para la Prohibición de Armas Químicas, los tratamientos de distintas matrices medioambientales, la separación y detección por cromatografía de gases y de líquidos, la identificación por espectrometría de masas, el manejo del software de deconvolución de espectros de masas AMDIS, las rutas de síntesis de distintas familias de compuestos de la Convención, la acreditación de los laboratorios bajo la norma de calidad ISO17025, requisito necesario para ser laboratorio designado OPAQ y por último los requisitos necesarios para la elaboración del informe de resultados de un PT.

Como complemento a las clases teóricas recibidas, los alumnos han realizado prácticas de laboratorio y han participado en un simulacro de PT, donde se han aplicado los conocimientos adquiridos.

Este curso forma parte de la colaboración existente entre la OPAQ y el LAVEMA. Asimismo, durante los años 2006 y 2007, personal del LAVEMA facilitó soporte técnico en laboratorios de Perú y Bolivia para el análisis de este tipo de compuestos.



Fig. 1. Participantes en el curso sobre análisis de agresivos de guerra química realizando prácticas de laboratorio. (Fuente: LAVEMA)



## Propulsión UAV con pila de combustible PEM de alta temperatura

Jordi Renau, Universidad CEU Cardenal Herrera

Palabras clave: UAV, propulsión, pila de combustible, PEM.

Metas tecnológicas relacionadas: MT 3.3.1.

El presente proyecto, financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad<sup>1</sup> tiene como objetivo el desarrollo de una pila de combustible ultraligera para propulsar un UAV de pequeño tamaño hasta una elevada altura. Para ello, se cuenta con personal del LIFTEC (Laboratorio de Investigación en Fluidodinámica y Tecnologías de la Combustión), centro mixto del CSIC y la Universidad de Zaragoza, y de la Universidad CEU Cardenal Herrera. Como plataforma de prue-



CEU  
Universidad  
Cardenal Herrera

bas, se dispone de un UAV diseñado por la empresa alicantina Medavia S.A., actualmente propulsado por un sistema híbrido formado por un motor de combustión interna (MCI) y otro eléctrico y que tiene una envergadura de 3,4 metros con una superficie alar de 0,8 m<sup>2</sup> y una longitud total de 1,5 m. El actual peso en vacío es de 12 kg, pero podría aligerarse con algunas modificaciones en los materiales.

A elevada altura, el rendimiento de los MCI se reduce rápidamente debido a la disminución de la presión y densidad del aire. Para compensar esta situación sería necesario incorporar motores sobrealimentados (con compresor) lo que conlleva un incre-

mento del peso total del sistema y la potencia requerida que resulta inasumible en UAVs de pequeño tamaño. La solución implica el uso de sistemas de propulsión independientes de las condiciones atmosféricas como una pila de combustible de tipo PEM membrana de intercambio de protones (PEMFC) alimentada con hidrógeno y oxígeno embarcados en la propia aeronave.

Para el cálculo de la potencia necesaria de la pila, se realizó un análisis del problema aerodinámico para las tres fases de vuelo: ascenso, crucero y descenso. Algunos de los resultados obtenidos para la fase de ascenso se muestran en la figura 2. En línea



Fig. 1. UAV de Medavia S.A. en vuelo. (Fuente: Medavia S.A.)

<sup>1</sup> Ref.: ENE2012-38642-C02-01

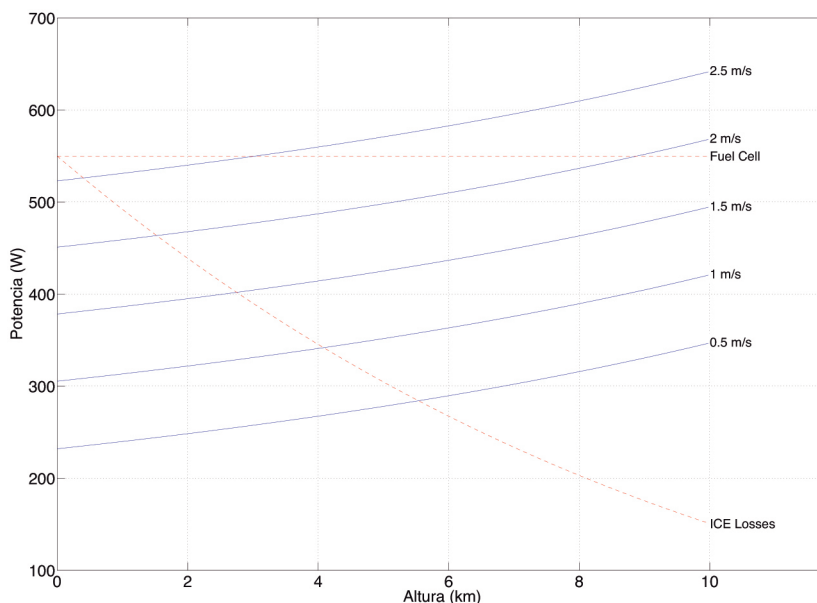


Fig. 2: Curvas de potencia para UAV de 15 kg. (Fuente: Universidad CEU Cardenal Herrera).

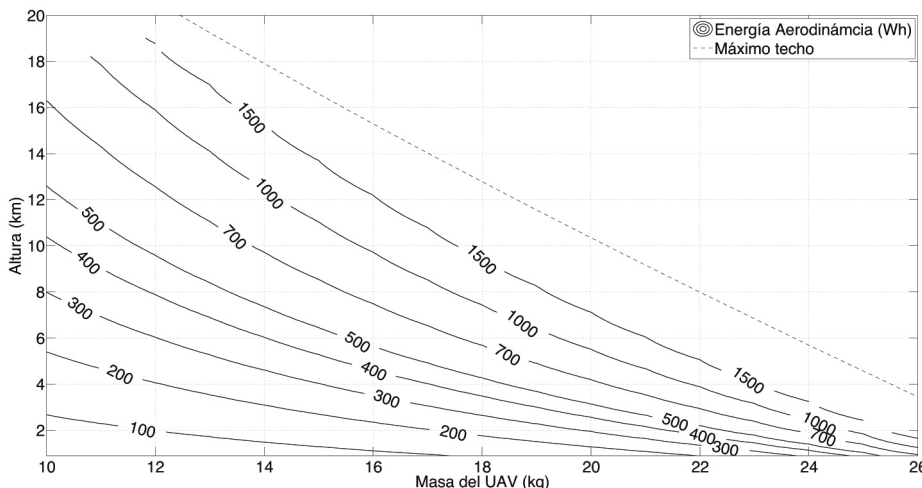


Fig. 3. Limitación de cota en función de la masa. (Fuente: Universidad CEU Cardenal Herrera). Sección Tecnologías Emergentes

continua se representa la potencia demandada para cinco velocidades de ascenso constante diferentes. Las dos líneas discontinuas representan la potencia entregada por la PEMFC (línea horizontal), y por un MCI (curva de tendencia decreciente).

Partiendo del análisis aerodinámico del UAV disponible, en la figura 3 se muestra la limitación de la cota de vuelo en función de la masa total del avión. Como se ve, según la línea de trazos con una potencia nominal de la pila de 550 W (máxima de 700 W) se puede superar la cota de los 10 km para un UAV de 15 kg, así como volar a más de 5 km si la masa es de 20 kg.

Con estos resultados, se propone utilizar una PEMFC de alta temperatura, con una potencia nominal de 550 W,

la cual ha sido diseñada en el LIFTEC. El uso de MEAs (montaje membrana-electrodo) de alta temperatura (160°C) simplifica la gestión del calor generado, así como la eliminación del agua producida ya que se genera en fase vapor. La pila contará con 40 celdas y entregará, en funcionamiento nominal, un voltaje de 22,5 V y una corriente de 24,5 A. Para conseguir una densidad de potencia lo más elevada posible la pila utiliza placas monopolares de aluminio muy delgadas recubiertas con una capa de nitruro de cromo cuya funcionalidad ya ha sido demostrada.

Todo el análisis se ha realizado teniendo en cuenta un rendimiento, en términos de potencia, desde la pila de combustible hasta la hélice de un 57 %. En términos de energía, es decir,

desde la energía química contenida en la botella de hidrógeno hasta la consumida en el vuelo para mantener el desplazamiento (energía aerodinámica) se ha considerado un 23 %. Estos valores, que se consideran muy conservadores, implican una mejora considerable con respecto a los correspondientes a una planta propulsora por motor de combustión, en la que el rendimiento energético a nivel del mar está por debajo del 18%.

Actualmente, se han comenzado los primeros ensayos parciales de la pila de combustible, que será probada de forma total a partir de octubre. La planta de potencia, incluyendo la pila de combustible, será integrada a principios de 2015, esperando que las pruebas de vuelo comiencen en primavera de 2015.



# Tecnologías Emergentes

## Nuevos mecanismos de descontaminación química: descontaminación catalítica

Angélica Acuña Benito. OT NBQ

Palabras clave: NBQ, CWAs, descontaminación, catálisis, catalíticos, polioxometalatos, POM, MOFs, redes metaloorgánicas.

Metas tecnológicas relacionadas: MT 4.2.1.; MT 4.3.1.

### Introducción

La búsqueda de tecnologías avanzadas para la descontaminación de agentes de guerra química y compuestos químicos tóxicos industriales es una línea de investigación muy activa. Las razones principalmente se deben a los problemas asociados con los sistemas de descontaminación que existen en la actualidad. La corrosión, dificultad de uso, la gran cantidad de residuos orgánicos resultantes de la descontaminación, la falta de adecuación a todo tipo de clima y a las condiciones ambientales, poca amigabilidad con el medio ambiente, etc., son algunos de estos problemas. A corto-medio plazo, se prevé el uso de formulaciones biodegradables que pueden ser de uso fácil, respetuosas con el medioambiente, con propiedades anticorrosivas y que contengan ingredientes activos altamente estables.

La descontaminación consiste en la degradación de agentes químicos tóxicos en compuestos no tóxicos o menos tóxicos. Los descontaminantes que actualmente se están empleando en campo para agentes de guerra química (principalmente DS2, lejía acuosa "STB" o la espuma desarrollada por los laboratorios Sandia) se basan en reacciones químicas, oxidación o hidrólisis, que requieren agua. Los agentes nerviosos de la serie G son más fácilmente degradados por hidrólisis, mientras que la Iperita y el VX pueden ser neutralizados por

cualquiera de los dos tipos de reacción. El sarín, tabún, iverita y el VX se hidrolizan espontáneamente por efecto de las condiciones ambientales, pero muy lentamente.

Estos descontaminantes son eficaces pero tienen una serie de inconvenientes:

- Son poco respetuosos con el medioambiente, muchos de ellos resultan dañinos e incluso corrosivos.
- Los productos resultantes de la descontaminación en muchos casos a su vez presentan cierto nivel de toxicidad, y por tanto se requiere una posterior gestión de los residuos obtenidos.
- Son necesarios en grandes concentraciones puesto que son consumidos durante la descontaminación. Esto supone un problema desde el punto de vista económico, ya que no son baratos, y también desde el punto del punto de vista logístico en cuanto a transporte, almacenaje y despliegue.

Las líneas de I+D actuales están dirigidas a la búsqueda de soluciones universales eficaces, no tóxicas y respetuosas con el medio ambiente. Algunas de estas líneas están centradas en la obtención de métodos de descontaminación catalítica, debido a las numerosas ventajas que tienen con respecto a los métodos actuales basados en reactivos.

### Descontaminación catalítica

Los compuestos catalíticos son muy rápidos y selectivos y la cantidad necesaria es inferior (menos del 1%) con respecto a los descontaminantes basado en reactivos. Así mismo, el bajo peso de estos compuestos significa fácil transporte, almacenaje y despliegue en el teatro de operaciones. Por otro lado son más baratos que los agentes reactivos. Otra ventaja importante de los compuestos catalíticos es que pueden ser incorporados en textiles, lo que facilitaría la obtención de tejidos multifuncionales, que además de proteger, permitirían la autodescontaminación.

Las enzimas son uno de los catalizadores conocidos más eficaces para degradar agentes nerviosos organofosforados. Las enzimas son catalizadores biológicos altamente eficientes y ambientalmente benignos. Tal vez la característica más atractiva de las enzimas es que pueden funcionar de manera efectiva en condiciones ambientales normales, lo que disminuye los costes de energía y aumenta la seguridad. Solo 10 miligramos de enzimas degradan la misma cantidad de agente nervioso que 1 kilogramo de cloro concentrado.

Muchas de las investigaciones recientes basadas en descontaminación catalítica se están centrando en el uso de catalizadores como los polioxometalatos o de redes metaloorgánicas.

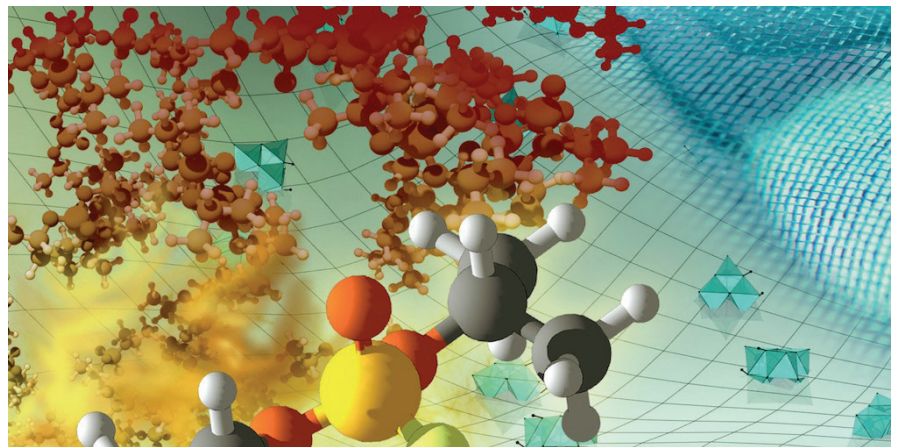
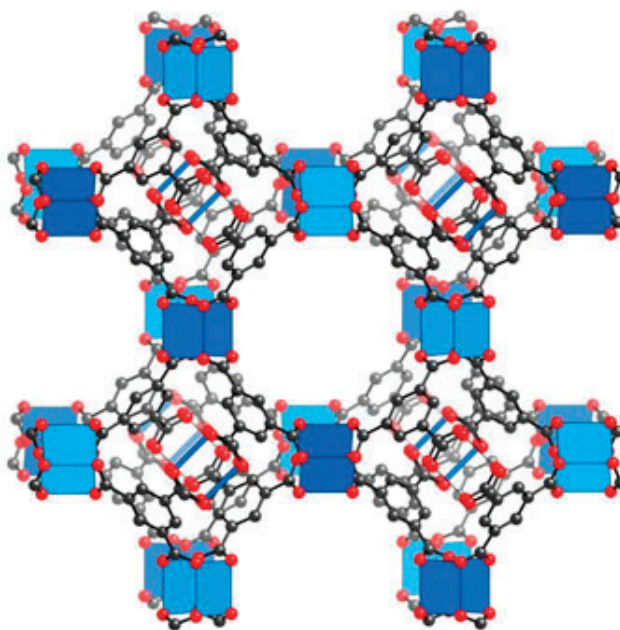


Fig. 1. Polioxoniobiocenos para descontaminación de agentes nerviosos. (Fuente: Oregon State University)



### Polioxometalatos

Los polioxometalatos, POM, son agregados inorgánicos consistentes en la unión de tres o más oxoaniones de metales de transición, en su estado de transición más alto, unidos por átomos de oxígeno encerrados en estructuras tridimensionales.

Los pioneros en el uso de polioxometalatos en descontaminación de agentes de guerra química han sido los investigadores del departamento de química de la Universidad de Emory, que llevan a cabo proyectos de I+D financiados por la oficina de investigación del ejército estadounidense para el diseño y desarrollo de polioxometalatos y la integración de éstos en materiales para aplicaciones en descontaminación. Sus primeras reacciones de descontaminación catalítica basada en POM se desarrollaron y patentaron en el año 2000. Sus estudios más recientes se basan en polioxoniobocenos, que han mostrado su capacidad catalítica para degradar simulantes de agentes nerviosos a temperatura ambiente.

Recientemente, un grupo de investigación de la Universidad de Oregón ha publicado un artículo con los resultados de su investigación con polioxoniobocenos, que pueden degradar y descontaminar agentes ner-

viosos, además de vesicantes. Los polioxoniobocenos son POM con excepcionales propiedades catalíticas en agua, que no se degradan por factores medioambientales, se disuelven fácilmente y pueden ser incorporados en tejidos y en superficies de distintos tipos de materiales.

### Redes metaloorgánicas

Otras líneas de investigación, como la seguida por la Universidad de Cornell, se están centrando en las redes metaloorgánicas (MOF) que capturan selectivamente gases como agentes de guerra química y químicos tóxicos industriales, proporcionando un sistema de adsorción alternativo al carbón activo en los sistemas de protección individual.

Los MOFs son una nueva clase de materiales porosos cristalinos compuestos por iones o grupos metálicos conectados por ligandos orgánicos. Dada su naturaleza porosa y su elevada área superficial, se pueden emplear en una gran variedad de aplicaciones, como en adsorción de gases o compuestos tóxicos, almacenamiento, catálisis, sensores, administración de fármacos, etc.

Por su porosidad elevada y permanente y su capacidad de adsorción selectiva debida a las diferencias de tamaño o forma de las moléculas a

adsorber, los MOF parecen ser buenos sustitutos del carbón activo en los sistemas de protección. El resultado sería ropa de protección que no se satura tan rápidamente, menos pesada y más cómoda, en la que se ha aliviado el problema del estrés térmico.

La Universidad de Cornell también está trabajando con MOF fluorescentes que pueden indicar la saturación del equipo o la presencia de un agente químico específico.

Otras investigaciones más recientes se centran en el uso de nanotubos de carbono para la degradación catalítica de agentes nerviosos, con el objetivo de obtener de igual forma ropa de protección multifuncional, que además de proteger al individuo permita la neutralización in situ del agente de guerra química.

A nivel nacional, también existe interés en el uso de compuestos catalíticos para descontaminación de agentes de guerra química. Así, por ejemplo, la Universidad de Granada ha llevado a cabo un estudio de viabilidad en el marco del Programa COINCIDENTE, basado en el diseño, síntesis y caracterización de MOF macroscópicas, para uso como material adsorbente de agentes de guerra química en los trajes de protección personal y/o filtros NBQ.



# Sistema LIDAR: obtención de información 3D a partir de imágenes 2D

Roberto Ocaña, Ian Wallhead, Teresa Molina, AIDO - Instituto Tecnológico de Óptica, Color e Imagen.

Palabras clave: LIDAR, sistemas de imagen, iluminación activa, detección de objetos.

Metas tecnológicas relacionadas:  
MT 2.1.6.

Un sistema LIDAR (*Laser Imaging Detection and Ranging*) de imagen es un sistema capaz de obtener información 3D de un campo visual de manera instantánea a partir de imágenes 2D sincronizadas con una fuente de iluminación. A diferencia de los sistemas LIDAR de escaneo (no formadores de imagen) que necesitan de un tiempo de barrido de un sensor puntual para obtener la información 3D de un campo visual, los sistemas LIDAR de imagen se destacan por la rapidez en la extracción de la información 3D. Se puede hablar de que los sistemas LIDAR de imagen son sistemas más cercanos a la terminología “tiempo real” permitiendo al usuario seleccionar objetos de una escena o elaborar un mapa 3D de manera instantánea.

Existen básicamente dos tipos de sistemas LIDAR de imagen: los sistemas que guardan la información 3D de una escena en cada pixel y los que usan luz sincronizada junto con un obturador ultrarrápido. En los primeros, cada pixel del sensor no sólo es capaz de registrar la intensidad sino también el momento en el que la luz llega al pixel. Esta característica junto con la utilización de una iluminación sincronizada permite obtener información 3D de una escena tal como se ilustra en la figura 1.

En efecto, supongamos que en el instante  $t=0$  se abre la cámara y se lanza un pulso de iluminación (por ejemplo usando una lámpara flash o un láser). Si todos los objetos de la figura 1 caen dentro del campo visual del sistema LIDAR, podremos decir que la luz de nuestro sistema de iluminación se reflejará primero en los objetos azules, después en los rojos y por último en los verdes. Este orden

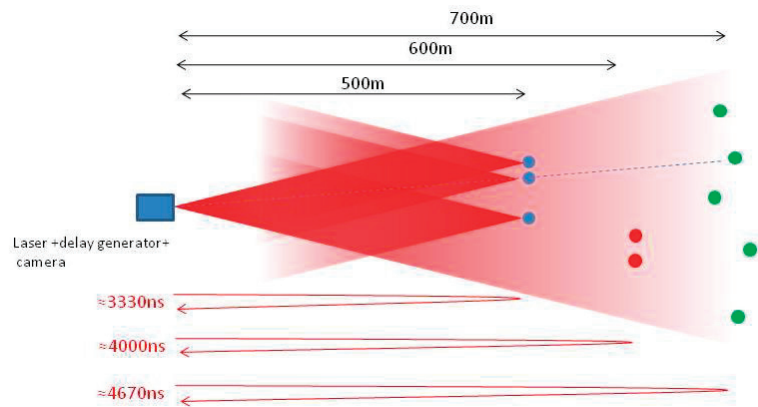


Fig. 1. Principio de funcionamiento de un LIDAR de imagen. (Fuente: AIDO)

es el mismo para la llegada de la luz reflejada a la cámara. El tiempo de llegada de la luz a la cámara depende de la velocidad de la luz y de la distancia a la que están situados estos objetos. Entonces, para la situación ilustrada en la figura 1 tenemos que la luz de los objetos azules situados a 500 m de distancia llega a la cámara 3,33 microsegundos más tarde; la de los objetos rojos (situados a 600 m de distancia) 4 microsegundos más tarde y la de los objetos verdes (situados a 700 m de distancia) 4,67 microsegundos más tarde. Por lo tanto, si cada pixel de nuestro sensor es capaz de registrar el momento en el que la luz le llega, obtendremos como resultado una imagen con información tridimensional de la escena. Este tipo de sistema LIDAR de imagen es sin embargo complejo de desarrollar ya que exige un método de registro del momento de la llegada de la luz a cada pixel y además una lectura rápida de todo el conjunto de pixeles del sensor. Es por ello, que los desarrollos actuales sólo permiten registrar un número limitado de pixeles para la formación de la imagen, necesitan de frecuencias de procesador en el sensor elevadas y por ser desarrollos especiales, el precio del sensor se dispara hasta las centenas de miles de euros. Además cabe señalar, que la precisión de la información 3D dependerá de lo preciso que sea cada pixel del sensor determinando el momento de llegada de la luz.

El segundo tipo de sistema LIDAR de imagen ya mencionado, consigue superar estas desventajas mediante luz sincronizada y obturadores ultrarrápidos. En efecto, en estos sistemas el obturador de la cámara (un inten-

sificador de imagen) decide cuándo comienza la exposición y durante qué tiempo. De esta manera y continuando con el ejemplo ilustrado en la figura 1, si nuestro obturador se abre durante un tiempo suficiente a partir del instante  $t=3,33$  microsegundos, sólo registraremos los objetos azules. Para la siguiente imagen, abriendo el obturador en el instante  $t=4$  microsegundos registraremos los objetos rojos y en una última imagen, abriendo el obturador en el instante  $t=4,67$  microsegundos registraremos los objetos verdes. El tiempo que permanece abierto el obturador en cada captura define la profundidad de la escena a registrar. Por tanto, sabiendo que la luz recorre 30 centímetros en 1 nanosegundo podremos decir que por cada nanosegundo que el obturador permanezca abierto registraremos 15 centímetros de profundidad (nótese que la luz reflejada en un objeto a 15 centímetros habrá recorrido 15 cm en la ida y 15 cm en la vuelta, es decir 30 cm en total). Las tres imágenes captadas usando la anterior metodología contendrán por tanto la información tridimensional de la escena. En general tanto el sistema de iluminación como el obturador (un intensificador de imagen) permiten trabajar a frecuencias tan altas como 100 Hz para escenas con objetos situados a partir de una decena de metros. Esto nos garantiza la obtención de 100 imágenes en 1 segundo o lo que es lo mismo, la capacidad de dividir la escena en 100 imágenes de profundidad en un segundo.

En toda esta discusión se ha omitido hasta ahora el papel que juega la iluminación. De hecho se necesita un control preciso en el rango de los na-

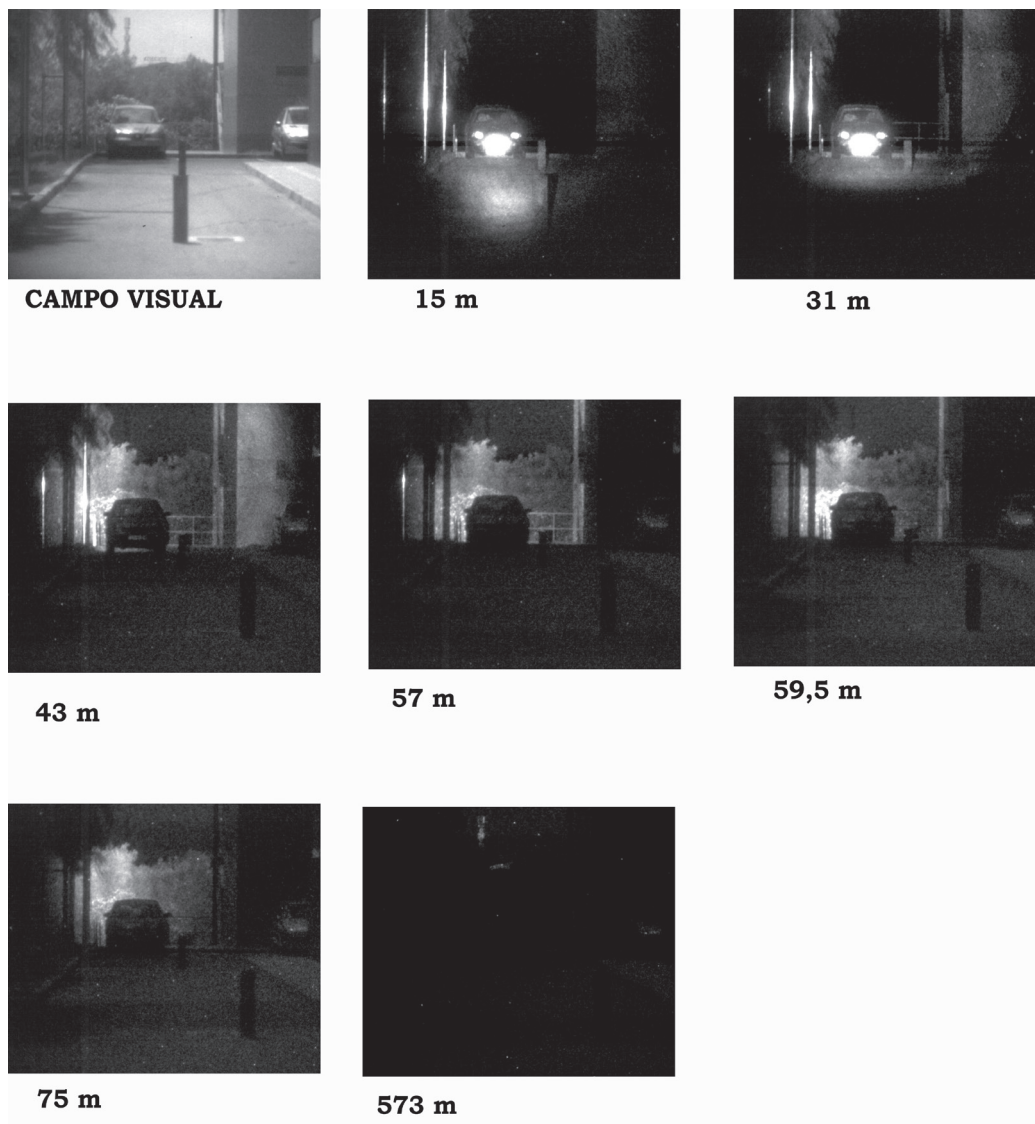


Fig. 2. En la imagen de la izquierda se observa el campo visual del LIDAR y en la imagen de la derecha (captada en tiempo real) se han seleccionado sólo los objetos a una distancia de 185,5 m del LIDAR y con una profundidad de 36 m. (Fuente: AIDO)

nosegundos tanto para el momento de la emisión de la luz como para su duración. Esto sólo se puede hacer con láseres pulsados de alta energía por pulso y duraciones de pulso cortas. La precisión resultante en la profundidad depende tanto del momento y tiempo de apertura del obturador como del momento de emisión del pulso láser y su duración.

En AIDO, teniendo en cuenta los factores anteriormente comentados se ha desarrollado un láser a medida capaz de proporcionar pulsos de iluminación de 7 nanosegundos, a 60 Hz y lo suficientemente energéticos como para impresionar en un régimen de ganancia aceptable (de tal forma

que el ruido se mantenga en un nivel óptimo) un intensificador de imagen acoplado a un sensor convencional CMOS (*Complementary Metal Oxide Semiconductor*) o CCD (*Charge Coupled device*). Esto nos permite no sólo la obtención de 60 imágenes de profundidad en un segundo (con la correspondiente información tridimensional) abriendo el intensificador con un retraso incremental para cada imagen, sino también la captura de video en tiempo real seleccionando una distancia y profundidad de registro y con una frecuencia de refresco de 60 Hz. Nuestro láser de iluminación puede trabajar en el infrarrojo cercano (con una longitud de onda de 1.064 nm)

o emitiendo pulsos de luz verde (con una longitud de onda de 532 nm). Las razones para el desarrollo del módulo que hacen posible la emisión de pulsos verdes son por un lado adaptarnos a la máxima sensibilidad del intensificador (que está en el entorno de 520 a 540 nm para el intensificador disponible en nuestro laboratorio) y por otro lado evaluar la seguridad de la emisión láser para el ojo humano en las condiciones menos óptimas, esto es, con luz visible. De hecho muchas aplicaciones de estos sistemas tienen que contemplar la posibilidad de que haya personas en la escena a captar y el sistema de iluminación debe ser inocuo para el ojo humano.



Fig. 3. En la parte de la izquierda arriba se encuentra una foto de la escena a captar y a continuación una secuencia de imágenes LIDAR a diferentes distancias. La profundidad de captura aplicada es de 36 m. (Fuente: AIDO)

Como se ha comentado anteriormente este sistema puede operar con iluminación infrarroja pero requiere de un intensificador de imagen con un máximo de sensibilidad en el entorno de los 1.064 nm para la longitud de onda. Esto tiene como desventaja tener que utilizar unos intensificadores menos económicos que los que tienen el máximo de sensibilidad en el espectro visible pero por contra la disponibilidad de energía de iluminación con láser en el infrarrojo suele ser mayor que en el visible. En este láser la iluminación verde de los pulsos es obtenida a partir de pulsos infrarrojos por medio de un proceso llamado "generación de segundo armónico". En el proceso se pierden aproximadamente 2/3 de la energía primaria. Esto hace que la operación en infrarrojo sea más adecuada si se dispone de un intensificador de imagen con niveles de sensibilidad aceptables en esta región del espectro. Además la operación en el infrarrojo es más apropiada para aplicaciones en defensa ya que esta región del espectro es indetectable para el ojo humano.

Con todo esto en mente, en AIDO se ha querido llevar a cabo una prueba conceptual que demuestre el potencial de esta tecnología pero que sirva además para evaluar la clasificación de la seguridad láser de la emisión. Para ello se ha utilizado iluminación verde como caso más desfavorable para la seguridad del ojo humano y a la vez un intensificador económico con una sensibilidad máxima en esta

región del espectro. En la figura 2, se presenta una imagen LIDAR tomada con la intención de seleccionar un edificio situado a 185,5 m del sistema y aplicando una profundidad de 36 m. Esta imagen demuestra cómo este tipo de LIDAR nos permite seleccionar objetos tridimensionales de una escena en tiempo real. La reconstrucción 3D de la escena completa es posible a través de un barrido incremental de retrasos de exposición permitiendo de esta manera la obtención de 60 imágenes por segundo cuya precisión en resolución dependerá del tiempo que permanezca abierta la cámara a través del intensificador de imagen. De esta manera se ha podido determinar que los objetos más lejanos de la escena de la figura 2 se encuentran a 690 m (edificios al fondo en la parte de arriba de la imagen). En la figura 3, se muestra una secuencia de siete imágenes LIDAR tomadas a diferentes tiempos de retraso entre la emisión del pulso de iluminación y la apertura de la cámara. Las imágenes muestran que los objetos más lejanos se encuentran a 573 m del sistema.

Los cálculos y mediciones demuestran que a partir de una distancia perimetral de 1,5 m, el sistema se puede clasificar como clase 2. Esto significa que la mirada deliberada hacia el sistema por parte de una persona que se encuentre en la escena es segura, siempre que ésta se encuentre fuera del perímetro de seguridad en torno al LIDAR. Con un sistema formador de imagen (zoom) y de iluminación (lentes

homogenizadoras + divergencia de haz) adecuados, ha sido posible determinar objetos a distancias de hasta 7 km utilizando energías de iluminación más elevadas y estableciendo por tanto perímetros de seguridad mayores.

En resumen, los sistemas LIDAR de imagen con láseres de pulsos cortos y obturadores ultrarrápidos son una solución sencilla y económica para la obtención rápida y precisa de la información tridimensional de una escena. En el instituto, AIDO, se han establecido técnicas y métodos en materia de desarrollo de fuentes láser, diseño óptico y visión artificial que permiten diseñar y realizar este tipo de sistemas para aplicaciones a medida, combinando la iluminación de láseres de pulsos cortos y alta energía y un diseño detallado de sistema formador de imagen. Como resultado, estos sistemas desarrollados pueden operar de forma segura para el ojo humano optimizando las posibilidades de medición tridimensional.

Respecto de las posibles aplicaciones finales, son múltiples y de gran interés las relacionadas con defensa. Se podrían detectar de manera automática objetos y determinar la distancia a la que se encuentran desde el emisor, (y por tanto su posición), así como sus formas y dimensiones. En particular se considera que se aplicarían en la vigilancia de fronteras marítimas y terrestres e instalaciones críticas, y también en los sistemas de designación de objetivos.



# Proyecto GENERCUS

Carmen Iniesta Barberá, Área de Optrónica y Acústica, ITM

Palabras clave: Generación de energía, tecnología termo-acústica, onda progresiva.

Metas tecnológicas relacionadas: MT 3.3.4

## Introducción

El concepto de generar energía por medios termo-acústicos (GENER-CUS) surge con objeto de abastecer energéticamente a las tropas de las Fuerzas Armadas Españolas desplazadas en bases y campamentos, donde el uso de redes de suministro eléctrico resulta inaccesible. En estas circunstancias, la disminución de la dependencia de combustibles fósiles en la generación de energía mediante una transición energética hacia fuentes de energía primaria renovables, se hace crítica para garantizar la continuidad de las misiones de forma más segura, económica y respetuosa con el medio ambiente.

La Unidad de Acústica (UAC) del Área de Optrónica y Acústica del Instituto Tecnológico “La Marañosa” (ITM), desarrolla actualmente una línea de I+D+i en tecnología termo-acústica pionera en España. Actualmente, dentro del marco GENERCUS se están llevando a cabo diversas actuaciones, como la construcción de un demos-

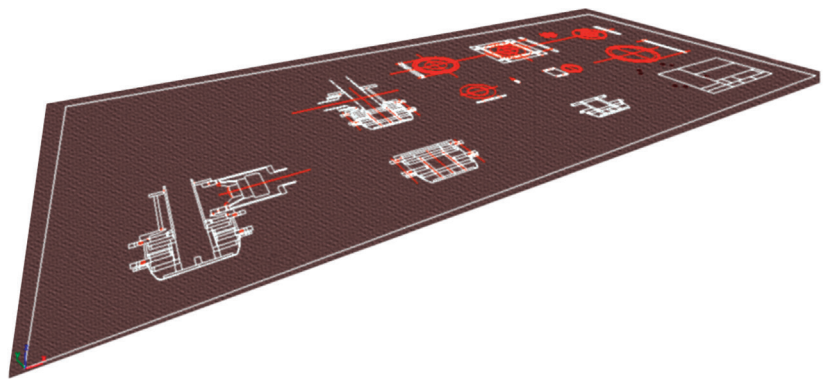


Fig. 1. Infografía de diseño del demostrador de motor termo-acústico que se está construyendo en el ITM. (Fuente: ITM)

trador de motor termo-acústico y la simulación de efectos para el diseño y fabricación de un prototipo de motor propio de la UAC, acorde a las necesidades operativas de la DGAM.

Según lo descrito, GENERCUS marca un objetivo específico que consiste en el desarrollo de un sistema innovador de generación de energía de baja potencia, capaz de proporcionar alumbrado nocturno, alimentar equipamientos de emergencia, tales como cuadros de mando, o dispositivos móviles en bases y campamentos de las FAS, de forma que, por un lado se reduzca el consumo de fuentes fósiles y por otro se incremente el nivel de autoabastecimiento energético, aumentando también así el nivel de seguridad de dichas instalaciones.

## Fundamentos tecnológicos

Todos los motores térmicos transforman un flujo de calor en trabajo mediante una serie de procesos termodinámicos que realiza un fluido de trabajo de manera continuada. En conjunto estos procesos forman un ciclo termodinámico. Los motores termo-acústicos de mayor eficiencia son los denominados motores termo-acústicos de onda progresiva en cuyo núcleo, denominado regenerador, se produce el ciclo termodinámico Stirling, que genera trabajo mecánico a partir de la diferencia de temperaturas entre sus dos extremos. Más concretamente, el cambio del volumen de trabajo de las parcelas de gas adyacentes a la pared de los poros del regenerador entre los valores extremos  $V_1$  y  $V_2$  (con  $V_1 < V_2$ ),

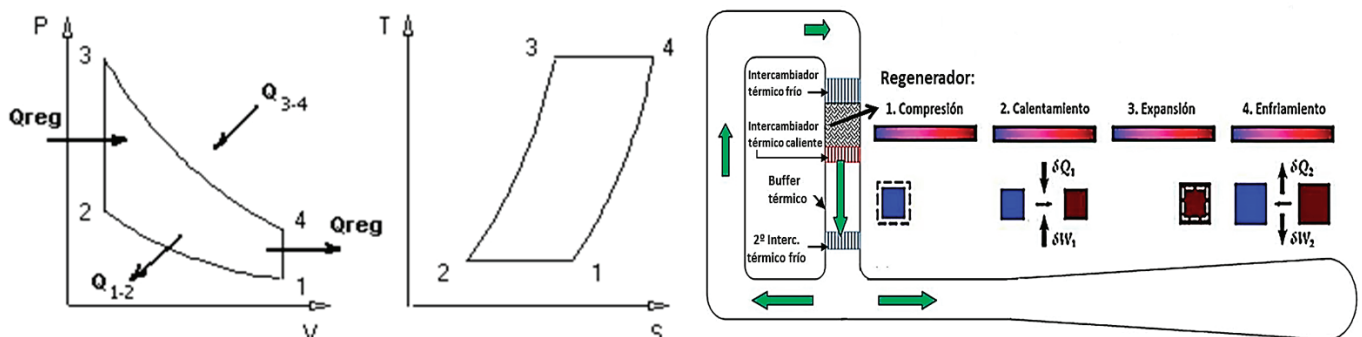


Fig. 2. Motor Stirling termo-acústico, junto a los procesos termodinámicos que experimenta una parcela de gas que oscila acústicamente dentro del regenerador, que forman el ciclo de Stirling. Las flechas verdes representan el flujo de potencia acústica. (Fuente: ITM)



se convierte en una amplificación de la onda acústica existente en el resonador, cuya magnitud es la amplitud de presión, a través de un contacto térmico perfecto. El movimiento de la columna de gas hacia adelante y hacia atrás relativo a la contracción y expansión de las parcelas de gas se controla mediante el gradiente térmico en el regenerador impuesto por los intercambiadores de calor y un circuito de resonancia acústica.

Los motores exotérmicos aportan el calor al ciclo mediante una transferencia de calor por un dispositivo externo (intercambiador de calor), con lo que dichos motores se pueden utilizar en cualquier foco externo de calor como en solar, geotermia, procesos químicos y de fisión nuclear, cogeneración, aprovechamiento del calor residual, etc.

El ciclo termodinámico teórico Stirling tiene el mismo rendimiento que el ciclo de Carnot, es decir, que tiene el máximo rendimiento teórico posible que puede tener un motor térmico. Por tanto, en comparación con otros tipos de ciclos termodinámicos teóricos, el ciclo Stirling parte inicialmente con el máximo rendimiento que se puede alcanzar en un motor térmico.

El motor Stirling termo-acústico es la evolución última y más innovadora del motor Stirling convencional, en el que se simplifica al máximo la mecánica del mismo. En su versión termo-acústica, el motor Stirling carece de partes móviles, no existen ni el pistón desplazador ni el de trabajo, y por lo tanto carece del sistema de acoplamiento entre estos dos pistones del motor original. Funciona gracias a ondas de presión que se generan en el cilindro de gas (resonador), de ahí el nombre de "acústico", merced al calor suministrado en el foco caliente.

Contrariamente a la relativa simplicidad de su aplicación práctica, los principios de funcionamiento de los dispositivos basados en la tecnología termo-acústica son complejos y están fundamentados en un compendio de sendas disciplinas de la física, como la termodinámica, la dinámica de fluidos y la acústica de potencia.

### Análisis de la tecnología

La termo-acústica es una tecnología reciente, surgida a finales de la dé-

cada de los 80, que ha alcanzado ya cierto grado de madurez en el ámbito académico y experimental, en el que existen diferentes líneas de investigación a nivel mundial, motivadas por la búsqueda de fuentes fiables, baratas y ecológicas de energía. Por lo tanto es necesario trabajar en un prototipo termo-acústico que pueda funcionar como elemento captador de la energía térmica existente en un determinado ambiente y que sea capaz de convertirla en energía mecánica, que a su vez pueda ser cedida a un transductor que la transforme y la entregue en forma de energía eléctrica.

El verdadero potencial de aplicación del motor Stirling termo-acústico está en aprovechar su característica más notable: su rendimiento. Por ello precisamente, este tipo de motor térmico es un magnífico conversor de unos tipos de energía en otros, en particular puede resultar muy eficiente para transformar la energía radiante solar en energía eléctrica usando un transductor tipo alternador o dinamo como elemento intermedio. Si se dispone de una superficie que colecte los rayos solares en forma de espejo orientable, sería muy fácil hacer llegar el calor al intercambiador de calor caliente del motor y éste se pondría a funcionar de forma espontánea. Al no haber combustión no existe índice de contaminación (gran ventaja con respecto a otros motores).

Ante una ausencia absoluta de recursos energéticos, con las innovaciones tecnológicas que se incluyen en el proyecto GENERCUS y que se enumeran a continuación, se estima una generación de energía de baja potencia suficiente como para abastecer los requisitos críticos de un determinado emplazamiento, con la activación del motor termo-acústico bien por el calor residual existente de otros equipos adyacentes, bien a partir de una fuente de calor solar.

### Innovaciones de GENERCUS

Los procesos termodinámicos en un motor termo-acústico de onda progresiva son similares a los de un motor Stirling convencional, salvo que en éste último se utilizan partes móviles (pistones), mientras que en un motor Stirling termo-acústico la onda acústica controla la compresión, el desplazamiento y la expan-

sión del fluido de trabajo (aire o gas noble). De esta manera, el fluido de trabajo realiza trabajo sobre su entorno al final de cada ciclo de trabajo, trabajo que amplifica la onda acústica inicial.

En un motor termo-acústico, como en cualquier otro motor, el calor se convierte en energía mecánica. En este caso, el mecanismo de transformación de energía térmica tiene lugar mediante el efecto termo-acústico en el regenerador, componente que queda aprisionado entre los dos intercambiadores de calor y actúa como un regulador térmico entre la parte fría y la caliente. Sin este regenerador no se darían diferencias útiles de temperatura. Está compuesto de un material poroso en el que el calor se puede almacenar durante un tiempo, por ejemplo lana de acero, malla o espuma metálica.

Para que el efecto termo-acústico se genere espontáneamente es necesario imponer un fuerte gradiente de temperatura entre los extremos del regenerador. Para ello es necesario instalar componentes puramente térmicos (intercambiadores de calor), uno en el extremo caliente y otro en el extremo frío (o ambiente) del regenerador, los cuáles también son los encargados de mantener dicho gradiente captando y cediendo calor hacia y desde el regenerador.

El rendimiento de un generador termo-acústico se mide por la relación entre la cantidad de energía mecánica (acústica) producida a la salida del regenerador y la entrada neta de calor al regenerador. Esa relación se denominada  $h_c$  (Rendimiento Térmico de Carnot), es la máxima eficiencia posible en la conversión de energía térmica en energía mecánica y suele expresarse en %. Actualmente se alcanzan registros de  $h_c$  de hasta el 48%.

Para conseguir altas eficiencias con un motor termo-acústico debe haber contacto térmico perfecto entre la pared de los poros del regenerador y la capa de fluido adyacente en la que tiene lugar la transferencia de calor. El espesor de esta capa adyacente viene determinado por la profundidad de penetración térmica que es del orden de centenas de micrómetros.

El contacto térmico perfecto se da cuando el regenerador tiene un tama-

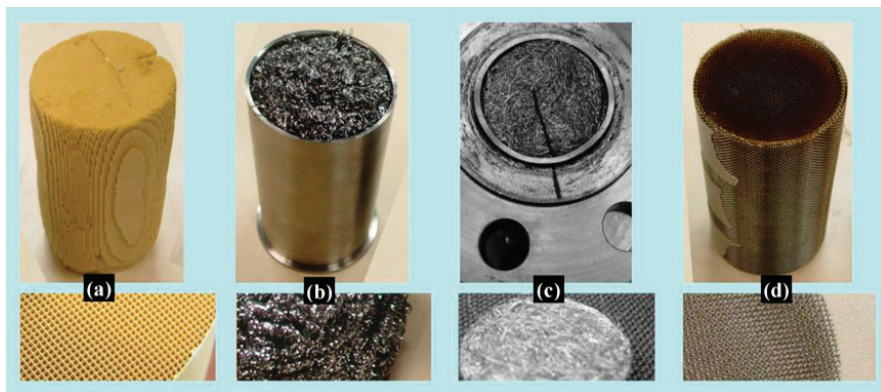


Fig. 3. Diversos tipos de regeneradores: (a) cerámico catalítico; (b) estropajos de acero; (c) lana de acero inoxidable y (d) pantallas de malla de acero inoxidable. (Fuente: ITM)

ño de poro con un diámetro aproximado de 0,1 mm. De esta forma se permite una transferencia de calor perfecta entre el sólido y el fluido, cuando éste se somete a un ciclo termo-acústico debido a una onda acústica progresiva.

El diseño del circuito resonador consigue que la onda acústica en el regenerador sea progresiva.

La diferencia de temperatura combinada con el ciclo termodinámico Stirling en el regenerador, provoca una amplificación de la onda acústica proporcional a la diferencia de temperatura. A cierta diferencia de temperatura la amplificación acústica supera las pérdidas propias del sistema, lo que en principio permite la oscilación. El sistema se activa de forma espontánea debido a las siempre presentes (mínimas) vibraciones en el gas. Si se suministra más calor del necesario para mantener la oscilación, se puede extraer un excedente energético del resonador como una potencia de salida útil.

Los motores termo-acústicos tienen un diseño carente de partes móviles, por lo que se elimina el uso de lubricantes. Además, al producir trabajo neto sin empleo de combustibles fósiles ni gases tóxicos, elimina cualquier tipo de emisión contaminante. Así, la tecnología termo-acústica es económicamente más viable y segura que otras tecnologías renovables de vanguardia.

### Conclusiones y recomendaciones

Como parte del proceso y la estrategia de planificación del GENERCUS, se espera conseguir una serie de logros significativos:

- Integración de energías renovables en abastecimiento energético, que disminuyan las emisiones de CO<sub>2</sub>.
- Ahorro en costes de fabricación y material de piezas de repuesto erosionadas por el rozamiento de las partes móviles.
- Participación en la meta tecnológica 3.3.4. “Generación de energía eléctrica en bases y campamentos” de la ETID de la DGAM-SDGPLATIN.
- Capacidad de aprovechamiento de energía térmica existente en un entorno concreto, siguiendo el concepto básico de recolección energética (“energy harvesting”),

que consiste en extraer la energía que hay en el entorno para transformarla en otra aprovechable, siendo la eléctrica la forma de energía más útil una vez transformada, ya que puede almacenarse en acumuladores o utilizarse para alimentar directamente un consumidor.

El uso de recursos energéticos de autoabastecimiento reduce la vulnerabilidad que resultaría de la carencia o la interrupción de suministro eléctrico en zonas de conflicto o en zonas urbanas que han sufrido cortes de suministro por causas como catástrofes naturales, ataques terroristas, etc. La utilización del motor termo-acústico producto del GENERCUS supondría un pequeño aporte de energía en su versión inicial, pero aun así, representaría un gran avance ya que cualquier cantidad de más de 10 W es útil, y cualquier disponibilidad de energía útil totalmente autónoma puede resultar crucial bajo ciertas circunstancias.

La continuidad de la I+D+i en termo-acústica, permitirá la optimización de los motores termo-acústicos que proporcionen mayores aportes energéticos con mayor eficiencia. Esto ya es una realidad en algunos laboratorios internacionales, tras una experiencia y un trabajo investigador de casi 25 años.

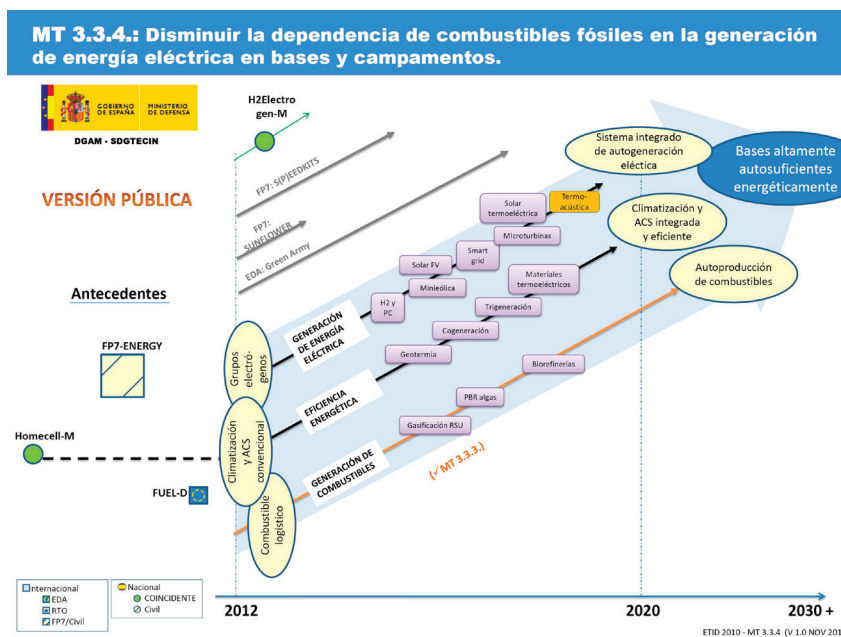


Fig. 4. Hoja de ruta correspondiente a la meta tecnológica 3.3.4. con la adición de la Termoaústica como posible tecnología involucrada en su desarrollo. (Fuente: SDG PLATIN; editada por ITM)

# En Profundidad

## Adaptación de un radar de vigilancia y alta resolución para aplicaciones de defensa (ART)

Javier Carretero Moya, Advanced Radar Technologies S.A.

Palabras clave: radar de alta resolución, protección de instalaciones y bases avanzadas, alerta temprana.

Metas tecnológicas relacionadas: MT 2.2.2.; MT 5.5.1.

Los avances tecnológicos de los últimos años han hecho viable el despliegue de sistemas integrados de vigilancia multi-sensor para dar respuesta a las demandas del mercado de Seguridad y Defensa en, al menos, tres aplicaciones clave como son la vigilancia de fronteras, la protección de infraestructuras críticas y la seguridad en misiones internacionales de las fuerzas armadas. En concreto, las necesidades principales son:

1. La detección temprana de intrusos y atacantes.
2. El seguimiento, clasificación e identificación de las amenazas.

3. La gestión eficiente de los recursos disponibles para la interceptación de las amenazas.

La complejidad de este problema viene dada por la necesidad de garantizar que estas funciones sean satisfechas en escenarios muy diversos (desiertos, vegetación densa, fronteras fluviales, costas) y ante amenazas muy variables, desde personas caminando o vehículos ligeros hasta embarcaciones improvisadas. Estas

necesidades solamente pueden ser abordadas mediante el despliegue de sistemas integrados de vigilancia multi-sensor del que los radares de altas prestaciones son elementos clave debido al rol que desempeñan: el principal sensor de alerta temprana en el sistema.

ART Midrange es un ejemplo de esta nueva generación de radares de vigilancia superficial de alta resolución, integrables en red y específicamente diseñado para satisfacer las demandas de los usuarios finales en las aplicaciones de Seguridad Civil anteriormente reseñadas (Figura 1a).

Las características iniciales de este sensor radar respondían a las necesidades concretas de ese mercado (Tabla 1). No obstante, las tecnologías empleadas (Figura 1b), las prestaciones de partida del producto civil (como la capacidad de detectar a una persona caminando a 4.500 metros de distancia), y la metodología de diseño utilizada convertían la militarización del ART Midrange en una tarea viable.

La transición a una versión militarizada fue el objetivo fundamental de un proyecto en el marco del Programa COINCIDENTE "Adaptación de un radar de vigilancia y alta resolución para aplicaciones de Defensa (ART)". El proyecto ha sido desarrollado por Advanced Radar Technologies S.A.

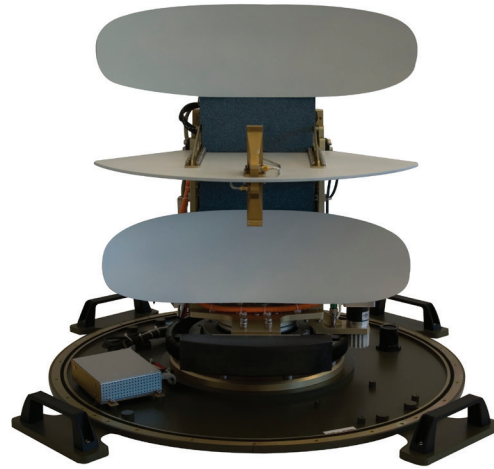


Fig. 1a. Radar de vigilancia superficial de alta resolución ART Midrange. (Fuente: Advanced Radar Technologies S.A).

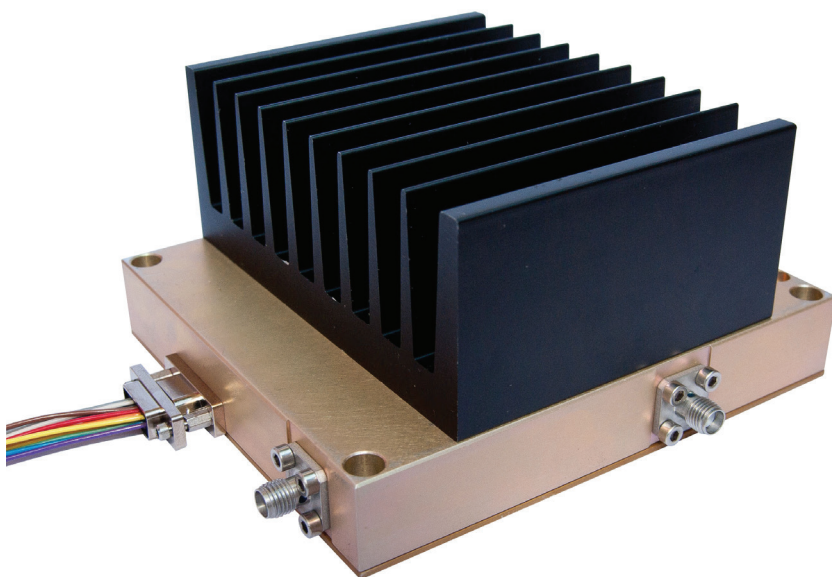


Fig. 1b. Transmisor de estado sólido del radar ART Midrange. (Fuente: Advanced Radar Technologies S.A)



Tipo	Sistema CWLFM Doppler coherente de banda ancha. Baja probabilidad de interceptación (LPI)
Banda	Ku
Ancho de banda	1 GHz
Alcance instrumental/acimut	5000 metros /360 grados
Área de cobertura	78 km <sup>2</sup>
Tipo de blancos	Personas y vehículos, estáticos o en movimiento
Alcance (persona / vehículo)	4500 metros (típico) /5000 metros (típico)
Velocidad de exploración	60 rpm
Resolución en distancia	1 metro – 0.2 metros (configurable)
Precisión en distancia	0.25 metros – 0.05 metros
Procesado	Integración coherente y procesado Doppler, agilidad en frecuencia
Mapa de clutter adaptativo, track while scan y track before detect	

Tabla 1. Especificaciones del radar ART Midrange (Fuente: Advanced Radar Technologies S.A).

junto con la Universidad Politécnica de Madrid y el Instituto Tecnológico La Marañosa (ITM).

Este objetivo se concretó en dos tareas de muy diferente naturaleza pero imprescindibles para la adecuación del producto resultante a las necesidades de Defensa:

1) La adaptación de la cadena de procesado del radar a los requisitos operativos derivados de su aplicación militar.

2) Garantizar la robustez del demostrador ante las muy diferentes condiciones ambientales que caracterizan los escenarios de aplicación del producto civil y su variante militarizada.

**Campaña de adquisición de datos radar reales**

El modelado y la simulación resultan fundamentales en muchas áreas de la ingeniería y el ámbito del radar no es una excepción. En los últimos años,



Fig. 2. Instalación del radar en las instalaciones del Instituto Tecnológico La Marañosa. (Fuente: Advanced Radar Technologies S.A)

se han producido grandes avances teóricos en forma de modelos analíticos y de simulación que tienen un papel fundamental en muchas etapas del ciclo de vida de un sistema radar.

No obstante, el uso de modelos tiene importantes limitaciones que han de ser adecuadamente valoradas. En ocasiones, por ejemplo, no existen modelos con un grado de realismo suficiente, como es el caso de algunos tipos de clutter<sup>1</sup>, de naturaleza no-estacionaria. En otras, es frecuente la disponibilidad de distintos modelos a priori alternativos pero que, en la práctica, dan lugar a predicciones de prestaciones muy diferentes.

Existe un amplio consenso en la necesidad de recurrir a datos radar reales, incluso en fases tempranas del ciclo de vida de un sistema radar. Por un lado, permiten seleccionar de entre los modelos existentes los más adecuados para un escenario concreto o incluso el desarrollo de nuevos modelos en los casos en los que los disponibles no sean suficientemente representativos de la realidad. Por otro, permiten analizar los procesos de detección mediante el procesado *offline* de los datos reales, obteniéndose así unos resultados de mayor calidad que los proporcionados por un modelo de simulación, necesariamente limitado.

Fue precisamente esta la metodología seleccionada para la consecución de uno de los objetivos del proyecto: el diseño apoyado en el uso de datos experimentales de una cadena de detección optimizada para maximizar las prestaciones de ART Midrange ante blancos de interés militar en escenarios representativos de las zonas de despliegue de este tipo de sistemas.

El punto de partida para el proceso de adaptación de la cadena de procesado del radar a los requisitos operativos derivados de su aplicación militar fue un análisis riguroso de sus posibles escenarios de uso. Esto hizo posible formalizar las funcionalidades y prestaciones necesarias, la definición de un protocolo de pruebas-validación y la selección de emplazamientos con características adecuadas para la eje-

<sup>1</sup> El término *clutter* hace referencia a los retornos radar no deseados, procedentes por ejemplo del terreno o de la vegetación, y que compiten con la señal recibida de los propios blancos de interés.





Fig. 3. Instalación temporal del radar en el ITM, empleando un mástil para despliegue rápido en campo. (Fuente: Advanced Radar Technologies S.A)

cución del mismo. Más concretamente, el plan de pruebas del proyecto incluía dos objetivos clave:

1. La creación de una base de datos radar, tanto de blancos como de *clutter*, representativos de la aplicación objetivo y adquiridos en escenarios de interés para Defensa.
2. La comprobación experimental de determinados parámetros radar considerados como críticos desde el punto de vista de Defensa.

A partir de estos objetivos fundamentales se estructuró la campaña de ensayos en tres fases diferentes:

1. Adquisición de datos radar de blancos de oportunidad y *clutter* heterogéneo (urbano).
2. Adquisición de datos de *clutter* de interés para Defensa por su similitud al entorno de la zona de operaciones, sin blancos controlados, en ubicaciones en campo en del ITM (Figura 2).
3. Adquisición de datos de blancos controlados en ubicaciones en campo en las instalaciones del ITM (Figura 3).

El conjunto de grabaciones realizadas incluye:

1. Grabaciones de referencia para calibración, empleando reflectores tetraédricos y un procedimiento diseñado específicamente para el proyecto (Figura 4).

2. *Clutter* representativo de la aplicación objetivo:

- a. Terreno plano y despejado.
- b. Terreno plano con grupos de árboles dispersos.
- c. Caminos sin asfaltar.
- d. Terreno con colinas y vegetación baja (Figura 5).

- e. Terreno con vegetación espesa.
  - f. Lluvia y niebla.
3. Blancos de oportunidad.
  4. Blancos controlados, con las correspondientes trazas GPS para hacer posible la correlación de los datos radar con la dinámica real de cada blanco:
    - a. Persona caminando.
    - b. Personas caminando agrupadas.
    - c. Personas caminando en fila.
    - d. Vehículos ligeros.
    - e. Vehículos.

Además, es importante destacar que el conjunto de comportamientos (dinámica) de los blancos durante los ensayos de campo comprendía casos de especial interés como son los siguientes:

1. Detección de blancos en trayectorias de aproximación por vía asfaltada/sin asfaltar. Situación muy frecuente caracterizada por un nivel de *clutter* bajo, tanto por las características de la superficie como por el ángulo de incidencia (relieve mínimo).
2. Detección de blancos débiles (de baja sección radar) en trayectorias de aproximación lenta por zonas de



Fig. 4. Reflector tetraédrico en zona de bajo nivel de clutter en el ITM. Procedimiento de calibración del sensor. (Fuente: Advanced Radar Technologies S.A)



## en profundidad

mayor desnivel (Figura 6). Situación adversa para la operación de este tipo de sensores debido tanto a la naturaleza del blanco (sección radar y velocidad radial) como al nivel de *clutter* (ángulo de incidencia debido al desnivel del terreno).

3. Detección de blancos débiles (de baja sección radar) en trayectorias tangenciales con desnivel del terreno. Situación muy adversa debido a la muy baja velocidad radial y al nivel de *clutter*.
4. Detección de blancos débiles (de baja sección radar) en trayectorias de aproximación desde zonas de *clutter* intenso (grupo de árboles).

La campaña de ensayos de campo se prolongó durante cerca de 20 meses dando lugar a una completa base de datos radar, uno de los resultados clave del proyecto y un recurso de gran valor intrínseco en el ámbito de la defensa: los blancos seleccionados y el entorno utilizado son totalmente representativos de aplicaciones objetivo como la protección de despliegues temporales o bases operativas avanzadas. Esto es consecuencia tanto de las prestaciones del radar empleado (en especial debido a la resolución en distancia de escasos centímetros del sensor) como de las capturas que componen el conjunto de datos adquiridos.



Fig. 5. Uno de los terrenos seleccionado para la campaña de pruebas de campo por ser representativo de la aplicación objetivo. Colinas con vegetación baja y grupos de árboles aislados. (Fuente: Advanced Radar Technologies S.A)

### Caracterización de datos radar y evaluación de las prestaciones de cadenas de procesamiento alternativas

La reducción del tamaño de la celda de resolución es una técnica inmediata para mejorar las prestaciones de un sensor radar debido a que implica una disminución de la potencia de los retornos radar no deseados que compiten con el blanco en el muy frecuen-

te escenario de detección limitada por *clutter*. No obstante, esta estrategia tiene, al menos, dos inconvenientes que deben ser tenidos en cuenta en la fase de diseño de los sistemas radar de alta resolución para poder alcanzar la potencial mejora de prestaciones. En primer lugar, si la resolución en distancia sobrepasa un determinado valor dependiente de la aplicación, la energía procedente de los blancos se distribuirá en varias celdas de distancia adyacentes. Ajustar el tamaño de la celda de resolución a las dimensiones físicas del blanco a detectar es una posible manera de evitar el problema. En segundo lugar, el *clutter* en radares de alta resolución tiene un comportamiento diferente al de baja resolución, complicando significativamente la derivación de esquemas de detección adecuados.

Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores, la disponibilidad de datos radar reales (y en crudo) resulta crucial. El análisis estadístico de datos experimentales es un requisito fundamental para determinar las estrategias de detección de alta resolución más adecuadas de entre las decenas de propuestas teóricas de diversa índole existentes, así como para el diseño de técnicas novedosas fundamentadas en bases sólidas. Por estos motivos, la disponibilidad de datos reales, tanto de *clutter* superficial como de una serie de blancos representativos, fue uno de los aspectos más interesantes del



Fig. 6. Ensayo con tres personas caminando con separación radial de tres metros en zona de *clutter* intenso debido al elevado desnivel del terreno. (Fuente: Advanced Radar Technologies S.A)

proyecto al hacer posible las siguientes actividades:

1. El diseño e implementación de una herramienta de caracterización de datos radar reales.
2. La aplicación de dicha herramienta al conjunto de datos disponibles para realizar una pre-selección de las estrategias de detección candidatas.
3. El diseño apoyado por el uso de datos experimentales de una cadena de detección optimizada para maximizar las prestaciones de ART Midrange ante blancos de interés militar en escenarios representativos de las zonas de despliegue de este tipo de sistemas.

El estudio de los datos reales empleando la herramienta de caracterización estadística desarrollada permitió determinar los aspectos a considerar en el diseño de las posibles cadenas de procesado:

1. El compromiso entre la resolución en distancia y agilidad en frecuencia.
2. La naturaleza del procesado Doppler a realizar.
3. La conveniencia de emplear esquemas de detección avanzados basadas en el concepto de mapa de *clutter* pero adaptados a entornos de *clutter* no-gaussiano.

Desafortunadamente, este problema no tiene solución teórica a priori y ha sido escasamente tratado en la biblio-

grafía libre acceso sobre el tema. Por todos estos motivos, las conclusiones obtenidas son especialmente relevantes puesto que son el resultado de uno de los pocos estudios experimentales expresamente diseñados para tal fin y realizado a las elevadas resoluciones en distancia consideradas (del orden de centímetros).

Las cadenas de procesado a evaluar se construyeron mediante la combinación de bloques funcionales expresamente diseñados para analizar el impacto en las prestaciones operativas del radar de cada uno de los tres aspectos enumerados anteriormente. Para ello se desarrolló una herramienta gráfica que, de manera intuitiva, hace posible:

1. La definición de la cadena a evaluar mediante la introducción de los parámetros necesarios.
2. La selección de los datos reales (ensayos de campo) a los que aplicar la cadena de procesado a caracterizar.
3. La obtención de resultados gráficos como, por ejemplo, la representación de la salida de la cadena de detección sobre una ortofotografía del terreno.
4. La obtención de resultados cuantitativos: la estimación de la probabilidad de detección y probabilidad de falsa alarma para una cadena de procesado determinada.
5. La capacidad de comparar tanto gráficamente como de forma

cuantitativa las prestaciones obtenidas por cada posible cadena de procesado en presencia de los datos reales (Figura 7).

La herramienta gráfica desarrollada permitió analizar la respuesta de 12 cadenas de procesado diferentes ante los datos reales disponibles. Entre las conclusiones obtenidas destaca la confirmación experimental de que la alta resolución mejora las prestaciones del sistema radar incluso para resoluciones tales que los blancos de interés resulten divididos en varias celdas de distancia.

### Conclusiones

El proyecto COINCIDENTE "Adaptación de un radar de vigilancia y alta resolución para aplicaciones de defensa (ART)" destaca por haber empleado un enfoque completamente experimental para garantizar que el sistema ART Midrange cumple con los requisitos operativos y de fiabilidad necesarios para su utilización en defensa.

La superación con éxito de una campaña de pruebas de campo, de más de veinte meses de duración y basada en un amplio y cuidadosamente seleccionado conjunto de ensayos con blancos de especial interés, supone un claro aval para el proyecto. Además, el análisis de los datos disponibles ha permitido demostrar que las prestaciones de algoritmos diseñados para la detección de blancos distribuidos en varias celdas de distancia, denominados habitualmente blancos extensos, son mejores que las proporcionadas por un sistema de baja resolución en el que el blanco esté confinado en una única celda.

La capacidad de proporcionar una alerta temprana al detectar y realizar el seguimiento automático de posibles amenazas a distancias significativas (una persona caminando a más de 4.500 metros), junto con su muy reducido tiempo e infraestructura de despliegue (Figura 3), lo convierten en un elemento clave para garantizar la seguridad en aplicaciones más allá de la vigilancia de fronteras o de infraestructuras críticas, tales como la protección de despliegues temporales o de bases operativas avanzadas de nuestras Fuerzas Armadas.

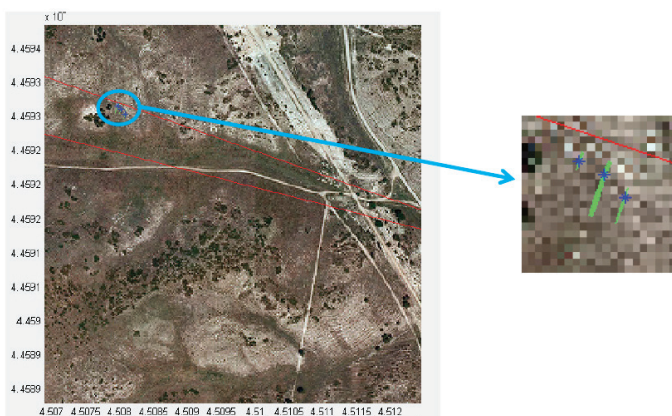


Fig. 7. Representación gráfica de la salida (detecciones) de una de las cadenas de procesado analizadas. Datos radar reales correspondientes a tres personas caminando en una zona de clutter intenso. (Fuente: Advanced Radar Technologies S.A)



## Un módem español de transmisión de datos de alta velocidad en HF

Iván A. Pérez Álvarez, IDeTIC. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (ULPGC); Santiago Zazo, Universidad Politécnica de Madrid (UPM); Cte. Ingeniero Javier Bermejo Higuera, Instituto Tecnológico 'La Marañosa'.

**Palabras clave:** Comunicaciones HF, nuevas modulaciones, mejora calidad de voz, mejora en velocidad de transferencia.

**Metas tecnológicas relacionadas:** MT 6.2.1.; MT 6.2.2.

### Introducción, contexto y perspectivas en defensa

En la actualidad, existe una necesidad expresada por las FFAA de comunicaciones HF (ionosféricas) que permitan comunicaciones a muy larga distancia, sin necesidad de desplegar infraestructura de repetición entre extremos, que además ofrezcan una calidad de voz aceptable, con cierta velocidad de transmisiones de datos y con un enlace estable y permanente.

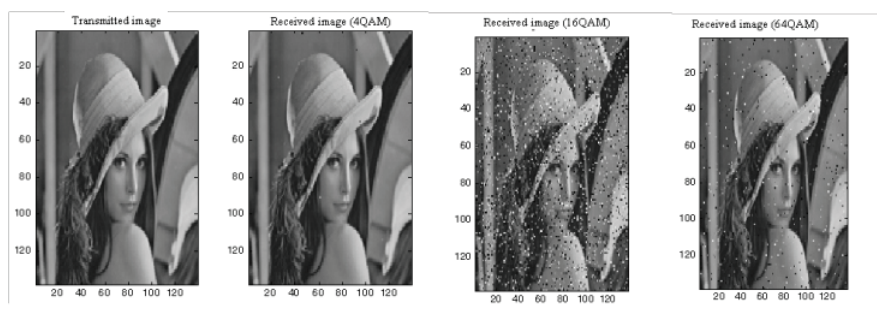


Fig. 1. Transmisión de una fotografía a distintas velocidades. (Fuente propia)

La ionosfera es una infraestructura de repetición natural que presenta una fiabilidad cuestionable. Por ello, se plantea la necesidad de mejorar la disponibilidad del canal de forma automática y transparente para el usuario con el fin de conseguir una tecnología en HF para comunicaciones con suficientes prestaciones (calidad, velocidad) que puedan sustituir en ciertas aplicaciones con bajos requerimientos de ancho de banda a las comunicaciones por satélite.

En este sentido los grupos de investigación de GAPS en la Universidad Politécnica de Madrid (UPM) e IDeTIC en la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (ULPGC) llevan más de 15 años trabajando en

comunicaciones en la banda de HF. Si inicialmente los desarrollos tenían una orientación civil en el ámbito aeronáutico, en un plazo muy breve se puso de manifiesto el interés para nuestras Fuerzas Armadas, siendo este enfoque el que ha dirigido nuestra actividad en los últimos años. La base fundamental de estos desarrollos es el uso de principios de SDR (*Software Defined Radio*) que mejoran indudablemente las prestaciones de las comunicaciones HF y garantizan la interoperabilidad con el resto de las redes de Defensa. Hemos de indicar que esta transmisión de datos es perfectamente integrable con un sistema de encriptado.

Como primer paso, la transmisión de voz digital interactiva con una supresión total del molestísimo ruido del enlace analógico y con un grado de inteligibilidad equivalente a una conversación telefónica despertó gran interés en los tres ejércitos tal como se puso de manifiesto en la publicación "Romper las barreras del retardo en HF: una idea hecha realidad" en el Boletín de Observación Tecnológica en Defensa, N.º 18, páginas 43 - 45, 1.º trimestre 2008.

Posteriormente, la transmisión de datos de alta velocidad tomó todo el protagonismo introduciendo elementos innovadores como es el uso de modulaciones modernas, diversidad de antena y de canal convirtiendo el enlace habitual percibido como inestable y de baja velocidad de transmisión en un nuevo paradigma con comunicaciones fiables, permanentes y de alta velocidad. En este tiempo, hemos de agradecer a las FFAA su colaboración permitiendo que estos sistemas hayan sido probados en sus instalaciones tanto fijas como móviles definiendo de forma coordinada las pruebas de interés así como la propia funcionalidad de los equipos.

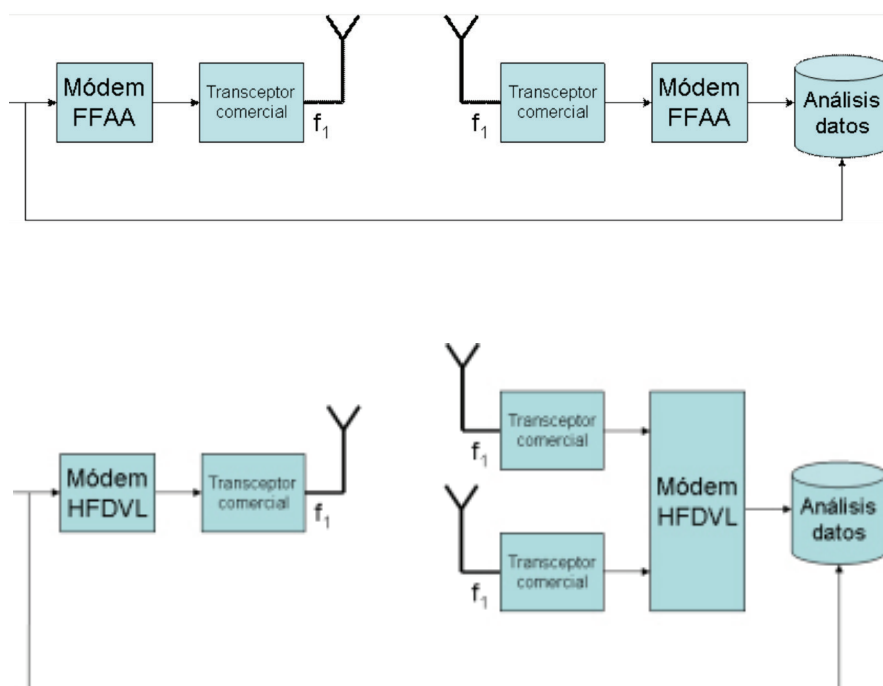


Fig. 2. Esquema de pruebas del módem comercial (arriba) y HFDVL (abajo). (Fuente propia)

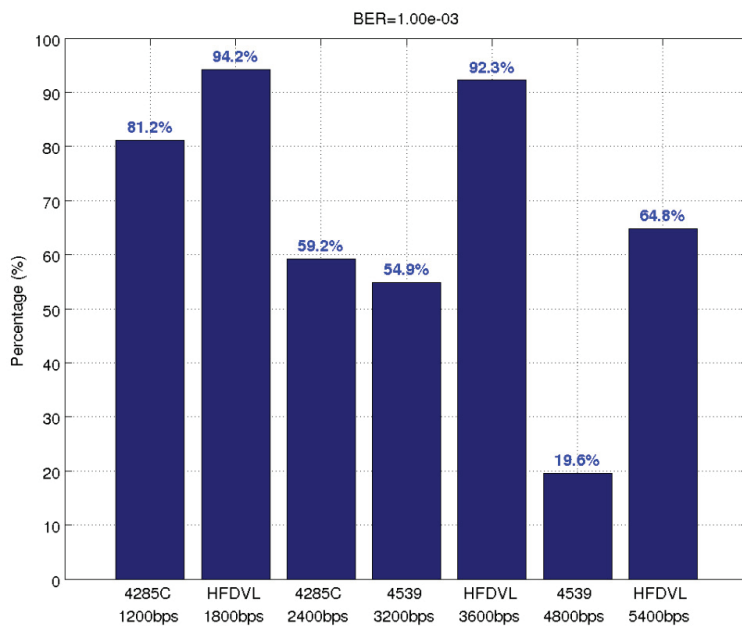


Fig. 3. Disponibilidad: HFDVL y formas de onda 4285-C y 4539 en BER=10<sup>-3</sup> (izda) y velocidades nominal y media de transmisión por tramas (100 bits) (dcha). (Fuente propia)

de protección de errores muy potentes y también el uso de entrelazados de más memoria que permite la distribución más uniforme de los errores en lugar de su aparición en ráfagas (en los intervalos en los que el canal de transmisión sea adverso) con lo que se mejoran las prestaciones de los codificadores sustancialmente. Por otro lado, también se requieren tasas de error mucho más bajas que la transmisión de voz para tener una calidad satisfactoria por lo que la selección del codificador de canal es esencial. Hoy en día, los códigos que ofrecen las mejores prestaciones son los turbo códigos y los códigos LDPC (*Low Density Parity Check*). Entre estos dos tipos de códigos, los códigos LDPC irregulares son los mejores en términos de BER (*Bit Error Rate*), por lo que se han elegido para el módem de datos. En cuanto a los turbo códigos, las prestaciones son similares a LDPC tal como se indica en la literatura especializada pero supone una mayor complejidad en cuanto a su implementación por lo que han sido descartados en este escenario. La tabla 1 muestra los distintos modos de funcionamiento del módem en modo datos, donde se puede observar que la velocidad mínima del sistema es de 1.800 bps y la máxima de 8.640 bps:

La figura 1 muestra el resultado de una transmisión secuencial sin retransmisiones de una fotografía a distintas velocidades con un LDPC de tasa 1/2. Es notable observar que durante la transmisión de la 16-QAM el canal era más hostil que en el caso de la 64-QAM.

Puede observarse que, en cualquier caso, la tasa de error es muy baja por lo que esta estrategia de modulación/codificación no sólo es muy adecuada en transmisiones en radiodifusión sino que es la clave de la eficiencia en cuanto a la velocidad real que se garantiza, cuando se combina con mecanismos de retransmisión tipo ARQ (*Automatic Repeat Request*).

Sin embargo, el aspecto más destacado de los últimos años ha sido la colaboración del Ministerio de Defensa mediante el proyecto del Programa COINCIDENTE de la Dirección General de Armamento y Material (DGAM) de título “Desarrollo, implementación y prototipado de una forma de onda español en HF para la transmisión de voz digital y datos en el ámbito de Defensa (MDEF-HFDVL)”, que ha posibilitado la construcción de una plataforma hardware específica y el desarrollo de aplicaciones como el correo electrónico, mensajes cortos y transmisión de ficheros cumpliendo con los principios del STANAG 5066<sup>1</sup>. Ha nacido así el Sistema HFDVL (*HF Data+Voice Link*) basado en el módem HFDVL. Todo ello abre la puerta a un futuro en el que probablemente estos equipos puedan cubrir las necesidades de comunicación a larga distancia de nuestras FFAA.

### Fundamentos del módem de datos HFDVL

Se describirán a continuación aquellos aspectos más significativos que diferencian al módem de datos frente al de voz que ya fue descrito en la publicación de 2008 de este mismo Bo-

letín. Este aspecto es muy importante porque hemos desarrollado un nuevo módem a partir de los conceptos de la SDR de manera que las formas de onda están compuestas por módulos que pueden ser reaprovechados en una gran medida. Se respeta por tanto la estructura de trama OFDM (*Orthogonal Frequency Division Modulation*) con 73 portadoras en una canalización estándar de 2,7 kHz cumpliendo con la norma MIL-STD-188-141C, siendo 60 de datos con pilotos intercalados de forma uniforme para la estimación e interpolación de canal incluyéndose ahora constelaciones 16 y 64-QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*) además de la 4-QAM ya existente.

El principal aspecto diferenciador con el caso de voz digital es que la transmisión de datos no requiere interactividad por lo que se puede asumir latencia de varios segundos. Este aspecto es fundamental en el diseño ya que posibilita el uso de códigos

Codificación	Tasa de codificación	Velocidad neta de transmisión [bits/seg]		
		QPSK	16QAM	64QAM
LDPC	1/2	1800	3600	5400
	4/5	2880	5760	8640

Tabla 1: Velocidades de transmisión netas del módem de datos HFDVL. (Fuente propia)

<sup>1</sup> STANAG 5066 PROFILE FOR HIGH FREQUENCY (HF) RADIO DATA COMMUNICATIONS.

## Procesado multicanal en espacio/frecuencia

Si bien es cierto que la modulación OFDM con el potente codificador incorporado proporcionaba por sí misma una mejora de prestaciones muy notable frente a diseños convencionales monoportadora, sin embargo la fiabilidad de la comunicación estaba lejos de lo habitualmente esperado en otras bandas. La razón fundamental es que la comunicación ionosférica presenta fluctuaciones importantes de potencia de señal recibida o bien incrementos puntuales de interferencia que provocan que los enlaces se interrumpían con cierta frecuencia.

Tomar conciencia de este problema nos indujo a plantearnos una estrategia complementaria que robusteciera el sistema frente a estos desvanecimientos: la explotación de una fuente de diversidad a nivel de señal. Es decir, si una transmisión se realiza por canales independientes bien porque se reciba por antenas separadas o por canales de frecuencias alejadas es muy poco probable que todas simultáneamente sufran este tipo de desvanecimiento. La combinación óptima de estos canales se percibe por el usuario como si se transmitiera por un canal estable por lo que se eliminan notablemente las interrupciones de la transmisión. En nuestros experimentos se concluyó que la diversidad espacial es muy importante recibiendo por antenas que incluso no necesitan estar muy alejadas (decenas de metros) pero sí es deseable que tengan diagramas de radiación bien diferenciados como, por ejemplo, disponer de polarizaciones distintas. En la sección de pruebas mostraremos de forma concluyente esta mejora de prestaciones.

### Pruebas de verificación del módem de datos HFDVL

Para la verificación y comparación de las prestaciones de nuestro módem con formas de onda estándares se ha contado muy especialmente con la colaboración de las FFAA, permitiéndonos usar sus instalaciones. Destaca la campaña de pruebas específicas en los meses de junio-julio de 2011 porque se estableció una prueba sistemática de una semana completa a lo largo de todo el día para extraer estadísticas de prestaciones del módem HFDVL (en recepción con

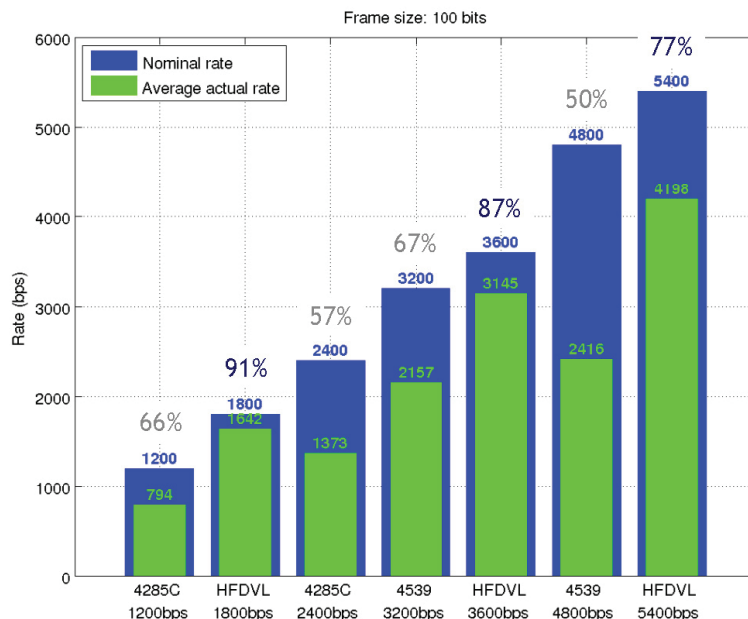


Fig. 3. Disponibilidad: HFDVL y formas de onda 4285-C y 4539 en BER=10-3 (izda) y velocidades nominal y media de transmisión por tramas (100 bits) (dcha). (Fuente propia)

MÓDEM	FORMA DE ONDA	VELOCIDAD (bps)
Harris RF-5710/RF-5710A	4285-C, entrelazado largo	1200
Harris RF-5710/RF-5710A	4285-C, entrelazado largo	2400
Harris RF-5710A	4539, entrelazado medio	3200
Harris RF-5710A	4539, entrelazado medio	4800
Sistema HFDVL	4QAM, entrelazado largo, LDPC 1/2	1800
Sistema HFDVL	16QAM, entrelazado largo, LDPC 1/2	3600
Sistema HFDVL	64QAM, entrelazado largo, LDPC 1/2	5400

Tabla 2: Formas de onda usadas en las pruebas

dos antenas) y un par de módems comerciales habitualmente usados por las FFAA que corresponden a la norma STANAG 4285<sup>2</sup> y la STANAG 4539<sup>3</sup> porque es previsible que también se use de forma habitual en un futuro próximo. El escenario escogido contempla una única estación transmisora CIGAPAL ubicada en Almatriche (Gran Canaria) perteneciente a la Armada y varias estaciones recepto-

ras en la península: VIGÍA (Madrid) y JMOVA (Zaragoza) del EA y Bermeja (Madrid) de la Armada. La tabla 2 resume las características de las distintas formas de onda que se evaluaron y compararon:

Los diagramas de bloques de la figura 2 representan de forma esquemática los despliegues realizados destacándose que se usaron exclusivamente los transceptores comerciales disponibles en las estaciones.

Una vez realizadas las pruebas exhaustivas, se muestra en la figura siguiente los resultados en términos de fiabilidad del enlace (porcentaje del tiempo que se puede mantener una cierta tasa de error) y en términos de



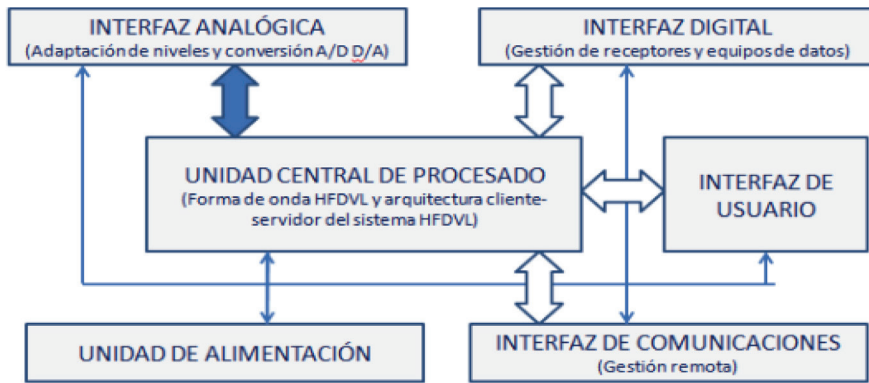


Fig. 4. Arquitectura de la plataforma HW del Sistema HFDVL. (Fuente propia)

la velocidad de transmisión real (bits recibidos correctamente) frente a la velocidad nominal. Se puede observar que el sistema HFDVL muestra un comportamiento muy robusto para su modo más lento (1.800 bps) con una disponibilidad superior al 90%. Adicionalmente, es especialmente notable que estas prestaciones se mantienen en el modo a 3.600 bps también con una disponibilidad superior al 90%. En el modo más rápido a 5.400 bps también es bastante robusto pudiendo ser usado en torno al 65% del tiempo.

Por lo tanto, podemos concluir que la ganancia de disponibilidad de cualquiera de los modos del HFDVL es significativamente mayor que en los sistemas comerciales, al menos en las condiciones en las que se han realizado las pruebas. Ello indica que podemos hablar de una siguiente generación de sistemas con velocidades nominales altas (3.600 bps) que pueden operar casi en cualquier canal (90%). Tal como hemos indicado anteriormente, la combinación multiantena juega un papel muy importante en la consecución de estas prestaciones. En este caso hemos dispuesto sólo de dos antenas, por lo que es previsible que estas prestaciones sean mejorables si se utilizara un mayor número de ellas. Para facilitar la comparación entre las distintas formas de onda, también se muestran todas ellas (ordenadas crecientemente por su velocidad nominal), con la velocidad real media.

En la figura 3 se comprueba cómo las dos velocidades reales medias mayores se obtienen con la forma de onda del HFDVL a 3.600 y 5.400 bps. A éstas les sigue la forma de onda 4.539 a 3.200 y 4.800 bps, con velocidades

medias muy parecidas entre sí, pero bastante alejadas de sus valores nominales. Posteriormente se encuentra la del HFDVL a 1.800 bps, con una velocidad real media muy cercana a la nominal y, por último, las formas de onda 4.285-C a 1.200 y 2.400 bps.

### Proyecto COINCIDENTE

El proyecto COINCIDENTE, en conjunción con la cofinanciación obtenida desde el Programa de Investigación y Desarrollo en Cooperación del CDTI, supone el impulso definitivo para convertir el sistema HFDVL en una realidad como producto operativo. Para ello, los grupos de investigación realizan una alianza comercial con la empresa MM CICOM Telecomunicaciones S.L. de tal forma que sea posible presentarse a ambos programas de financiación y definir unos objetivos industriales y comerciales para el sistema. Entre estos objetivos estuvieron el definir y desarrollar una plataforma HW-SDR para soportar todas las necesidades operativas del sistema, desarrollar todo un sistema de interfaz de usuario y canales de entrada/salida de información estándar y, finalmente, como gran reto a nivel de aplicación, desarrollar la norma STANAG 5066 (modo ARQ) integrándola en el sistema y ofertando servicios de transferencia de ficheros, mensajería corta (SMS) y HFMail.

#### a) Plataforma HW del sistema HFDVL

Los módulos principales que componen la plataforma HW-SDR que soporta al sistema HFDVL son los que se muestran en la figura 4. Se compone de:

- Una unidad central de proceso donde se combinan tecnologías CPU de propósito general con unidades

FPGA. La tarjeta CPU de propósito general actúa como núcleo de procesamiento y la FPGA se encarga de las tareas de la entrada y salida de señal en banda base hacia las distintas radios HF del sistema.

- Un módulo de interfaz analógica que permite la gestión simultánea y transparente al usuario de hasta 4 señales HF. Esta interfaz gestiona las señales audio hacia y desde los transceptores, permite adaptar los niveles de señal en grandes rangos y realizar filtrados programables. También es la encargada de la gestión de los PTT.
- Un módulo de interfaz digital para el control de los sistemas radio, hasta un número de 8.
- Un módulo de interfaz de comunicaciones basado en red Ethernet y USB. En el caso Ethernet permite la gestión remota del sistema, como la capacidad de envío y recepción de ficheros vía red, o como puerta de enlace a los servicios ofrecidos por la aplicación STANAG 5066, como puede ser el HFMail. En el caso USB, permite tanto el envío de ficheros como la grabación de los recibidos.
- Finalmente incorpora una unidad de alimentación, tanto para unidades móviles como fijas, y una interfaz de usuario basada exclusivamente en una pantalla táctil.

A nivel SW la plataforma HW-SDR es gestionada completamente por un sistema SuSE Linux Enterprise que aglutina el control de las comunicaciones, soporta los sistemas de gestión de usuario y lo más relevante de todo, soporta el conjunto de formas de ondas, modos de trabajo y protocolos de alto nivel. En la figura 5 se muestra una vista general de la plataforma así como un detalle de las capacidades de conexionado trasero. El sistema tiene unas dimensiones de 130 mm de ancho, 110 mm de alto y 250 mm de fondo. En la parte frontal dispone de pantalla táctil, 2 entradas USB, la conexión Ethernet, una salida VGA y el interruptor de operación. En la parte trasera dispone de los 8 canales de control para radios, las 4 líneas de señal de audio+PTT de las radios, la señal de audio+PTT del operador, el conector de alimentación (permitiendo alimentaciones de 24/48 VDC y 110-240 VAC) y el interruptor general del sistema.

b) Descripción de las aplicaciones soportadas: voz, datos modo noARQ continuo y datos modo STANAG 5066 ARQ

El Sistema HFDVL ofrece al usuario múltiples modos de trabajo, todos ellos integrados completamente en la plataforma actual. Antes de dar un breve repaso a cada uno de ellos y sus características más relevantes hay que destacar que el usuario puede interactuar con el Sistema HFDVL en dos modos: local y remoto (vía Ethernet). Ambos modos son idénticos, de hecho es exactamente la misma aplicación la que visualiza y manipula el usuario en modo local (directamente sobre la plataforma HW) y en modo remoto (en su PC). Esto permite una total gestión y uso de todas las capacidades del sistema, incluida las comunicaciones de voz, desde cualquier punto de la red en la que esté conectado el módem. El ancho de banda consumido en el modo remoto es muy reducido, permitiendo el uso completo del sistema desde redes muy limitadas y remotas. Las aplicaciones soportadas son:

- Voz: el sistema permite establecer comunicaciones digitales e interactivas de voz con una calidad muy notable, similar a la de una conversación telefónica. En el modo voz el usuario puede conmutar en cualquier momento al modo analógico si lo desea y retornar a modo digital posteriormente. El usuario puede interactuar desde una consola o bien directamente con un sistema de pulsador conectado al sistema. En este modo el módem trabaja a una velocidad fija de 2.460 bps siguiendo una forma de onda propia OFDM-CDM muy robusta y que garantiza total confidencialidad sin necesidad de encriptado adicional.
- Datos No-ARQ continuo: es el modo base del sistema HFDVL que se apoya en la modulación OFDM y codificación LDPC ya comentadas. En este modo, conocido también como modo *broadcasting* o radiodifusión, el sistema transmite en sentido unidireccional, sin esperar contestación por parte de los sistemas receptores. A diferencia de los estándares que trabajan en modo paquete, el sistema lo hace en modo continuo, lo que, conjuntamente con las velocidades elevadas de transmisión de que dispone, le permite incrementar



Fig. 5. Vistas general y trasera del Sistema HFDVL. (Fuente propia)

de forma notable la velocidad real de transferencia ya que no existen tiempos muertos de parada y re-sincronización necesario en modo paquete. En este modo el sistema ofrece dos servicios posibles: el de SMS (mensajes cortos) o el de transferencia de ficheros. Para cada uno de ellos el usuario tiene varias opciones de interactuar:

- o SMS: en modo local dispondrá de un teclado y ratón conectado al frontal del equipo (puertos USB), y en modo remoto podrá enviar y recibir SMS desde su propia consola.
- o Ficheros: con el interfaz en modo local puede cargar y descargar ficheros desde dos puntos diferentes: por un lado desde los puertos USB, sería una operativa completamente local; y por otro, depositando y recogiendo los ficheros desde las carpetas de red que exporta el sistema, sería por tanto una operativa remota de gestión de ficheros. En modo remoto, ejecutando la interfaz de usuario en su propio PC, puede navegar por su sistema de ficheros enviando y recibiendo directamente desde y en el disco.
- Datos ARQ con la STANAG 5066: en este modo el sistema realmente se comporta como un nodo de una red STANAG 5066 gestionando el envío y recepción de información de una forma totalmente autónoma al usuario. En este modo, el sistema ofrece al usuario tres servicios, o mejor dicho tres *Service Access*

*Points* (SAP según la terminología de la STANAG 5066) que son: SMS, transferencia de ficheros y HFMail. Los tres servicios son simultáneos y, por tanto, se pueden estar enviando SMS, correos y ficheros al mismo tiempo, e incluso a nodos diferentes de la red. Así mientras, por ejemplo, estamos manteniendo una conversación vía SMS con una unidad en vuelo podemos estar al mismo tiempo recibiendo un correo electrónico con ficheros adjuntos procedentes de una unidad desplegada en una determinada zona del área de operaciones. Todo el proceso de gestión es transparente al usuario una vez se define, configurando la gestión de la red STANAG 5066. Para el servicio HFMail el sistema no requiere de ningún sistema propietario fuera del Sistema HFDVL, siendo completamente compatible con los sistemas estándares SMTP de gestión de correo existentes en el mercado. En la figura 6, se muestra al sistema HFDVL trabajando en modo ARQ. A la derecha se muestra una captura en modo local en una de las pantallas de información, en concreto, de la evolución de SNR (con una situación estable de enlace entre 10 y 13 dB). A la izquierda se muestra una captura de pantalla trabajando en modo remoto donde se aprecia una conversación de SMS, una recepción de fichero (foto en color), y de fondo un cliente de correo *Thunderbird* y una carpeta de ficheros transmitidos y recibidos.

Desarrollos actuales. HF de banda ancha

Para finalizar este artículo, creemos conveniente dar unas pinceladas sobre la que sin duda se consolidará como la siguiente generación de módems y radios en HF: *el sistema HF de banda ancha*. Si indudablemente en numerosas aplicaciones es necesaria una mayor velocidad de transmisión, debemos mostrar un cierto escepticismo respecto a que el módem descrito por la norma MIL STD 188-110 C (capa física) sea la solución más eficaz. Aunque apenas se dispone de información relativa a prestaciones, resulta muy poco verosímil que en condiciones normales de transmisión puedan usarse constelaciones tan densas como 256-QAM por lo que debemos ser muy prudentes en cuanto a la verosimilitud de las velocidades prometidas por la norma. Ello se debe a que esta forma de onda sigue siendo monoportadora, por lo que va a sufrir un desvanecimiento selectivo muy significativo (mucho más severo que en banda estrecha) que requerirá de operaciones de igualación muy complejas, e igualmente se va a ver mucho más afectada por la multitud de interferencias existentes en la banda HF. Por otro lado, en su diseño se insiste en usar códigos convolucionales que, como ya hemos indicado, ofrecen peores prestaciones que los LDPC o Turbo Códigos. Adicionalmente, la combinación multiantena se complica notablemente en este caso. Desde un punto de vista de disponibilidad espectral tampoco está claro que en general se tenga acceso a 24 kHz seguidos por lo que se va a exigir cierta redistribución del espectro. Y para finalizar, un aspecto de enorme impac-

to presupuestario: se necesitarán nuevos transceptores/amplificadores de banda ancha por lo que los equipos antiguos son incompatibles.

Bajo nuestra perspectiva, hemos demostrado que OFDM es una modulación robusta y eficiente en banda estrecha (3 kHz), que, combinada con potentes codificadores y explotando adecuadamente la diversidad espacial, proporciona al usuario una percepción de canal estable y permanentemente disponible. Estas características la hacen también especialmente atractiva en banda ancha por varias razones:

- La igualación es igual de sencilla que en banda estrecha (desvanecimiento plano por portadora).
- Admite una granularidad total pudiéndose transmitir un número arbitrario de portadoras permitiendo, por tanto, gran flexibilidad en cuanto al ancho de banda.
- No requiere de transmisiones contiguas en ancho de banda sino que pueden seleccionarse distintas subbandas transmitiéndose distintos bloques de portadoras donde haya disponibilidad espectral o por donde se perciba que el canal es más favorable.
- Pueden ser transmitidas por un transceptor de 24 kHz, o bien por otro de ancho de banda mucho mayor, si se desea potenciar la transmisión en bloques de portadoras bien separadas. Por otro lado, pueden ser utilizados varios transceptores convencionales de 3 kHz en paralelo

(alimentando distintas antenas) por lo que puede proporcionar multiplexación frecuencial sin necesidad de adquirir nuevos transceptores.

- La combinación multiantena va a resultar igualmente eficiente.

Todas estas modificaciones son posibles con un esfuerzo razonable gracias al concepto SDR en el que se basa el Sistema HFDVL y que puede ser combinado con los principios de la radio cognitiva para seleccionar de forma dinámica los canales más favorables transmitiéndose velocidades muy superiores a las actuales de forma transparente para el usuario que percibe un canal de alta disponibilidad y calidad.

### Conclusiones

El resultado del proyecto MDEF-HFDVL permitirá al Ministerio de Defensa mejorar muy notablemente el uso que hace de sus instalaciones actuales para la transmisión en HF, aprovechando y sin tener que cambiar los diferentes tipos del parque de transceptores de HF que dispone. Los equipos del demostrador del sistema HFDVL garantizan plena capacidad de integración con el resto de los sistemas radio existentes, transceptores y antenas. No debe en ningún caso interpretarse como un sistema alternativo a otros módems comerciales sino una opción más a usar a su conveniencia en escenarios de comunicaciones exclusivos para nuestras FFAA.

Se han cumplido de forma clara todos los objetivos inicialmente planteados con el proyecto e incluso, en algunos casos superados; en concreto, los siguientes:

- Integración del módem de voz en la plataforma y realización de las pruebas de verificación y validación para comprobación de su correcto funcionamiento: se ha obtenido una calidad en la transmisión de voz similar a la obtenida con telefonía móvil, con la agradable sensación de interactividad. Esta calidad, especialmente notable por la ausencia de ruido, va a facilitar las comunicaciones de defensa donde la voz sigue siendo muy importante en escenarios como la ayuda a la navegación de nuestras aeronaves, comunicaciones buque-tierra, comunicaciones terrestres y el enlace remoto desde misiones muy alejadas.

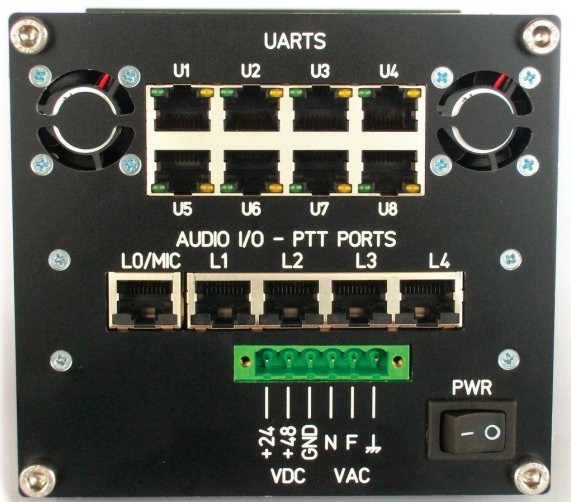


Fig. 5. Vistas general y trasera del Sistema HFDVL. (Fuente propia)





Fig. 6. Sistema HFDVL con STANAG 5066 trabajando en modo local y remoto. (Fuente propia).

módem HFDVL se aconsejan las siguientes:

1. Implementación de la pila de protocolo IP conforme al STANAG 5066.
2. Realización de los trabajos y modificaciones necesarias para la certificación de los módem conforme a las normas MIL-STD-810-G y MIL-STD-461E, lo que permitiría su instalación en vehículos tácticos terrestres (con la configuración actual sólo es factible instalarlo en *shelter*, aeronaves y buques).
3. Sin modificación de la plataforma HW, incorporar un mecanismo de gestión automática del enlace que explote los principios de la radio cognitiva para usar el espectro selectivamente de forma automática para evitar las interferencias y maximizar así las prestaciones.
4. Adaptación del módem HFDVL a la banda de VHF con canalizaciones de 25 kHz y canales de trasmisión más estables, lo que supondría un notable incremento de las velocidades de trasmisión de datos y disponibilidad de los enlaces.
5. Adaptación del módem HFDVL a las futuras generaciones de transceptores de radio de HF con canalizaciones de 25 kHz en vez de los 3 kHz actuales, lo que supondría un notable incremento de las velocidades de trasmisión de datos.

- Integración de un módem de datos para transmisiones sincrónicas tipo radiodifusión con una única antena y transmitiendo en un solo canal: se ha obtenido velocidades de trasmisión de datos de hasta 5.400 bps muy superior a las velocidades reales actuales en sistemas de HF que no suelen pasar de 700 bps, es decir un 73% superior.
- Integración de la versiones multi-banda/multi-antena del módem de voz digital interactiva y el módem de datos, con capacidad de combinación de señales en recepción. Aumenta notablemente la disponibilidad del enlace en la banda de HF hasta en un 64% frente a un 19,6% de los sistemas de HF actuales, es decir un 300% superior. La recepción con múltiples antenas que incluso pueden estar mucho más próximas si disponen de polarizaciones distintas, proporcionaría comunicaciones estables de alta calidad.
- Desarrollo de tres aplicaciones de usuario: sistema de correo basado en el protocolo HMTP, chat y sistema de transferencia de ficheros en modo ARQ y no-ARQ compatibles con la norma STANAG v1.2 5066 operativas en comunicaciones punto a punto y basadas en conectividad IP. Actualmente a nivel nacional no se tenía hasta ahora una aplicación de este tipo, probada y validada.
- Las características anteriores suponen un paso importante hacia el au-

tomatismo de las comunicaciones HF, reduciendo sustancialmente la necesidad de disponer de operarios de radio especializados.

El desarrollo conseguido con este proyecto pone a nuestras FFAA en la cabeza de una nueva generación de comunicaciones HF donde el enlace está siempre disponible, las velocidades cubren la mayor parte de las necesidades básicas y los retardos dejan de ser significativos en comunicaciones de voz.

En cuanto a las líneas de trabajo a realizar en un futuro para mejorar el

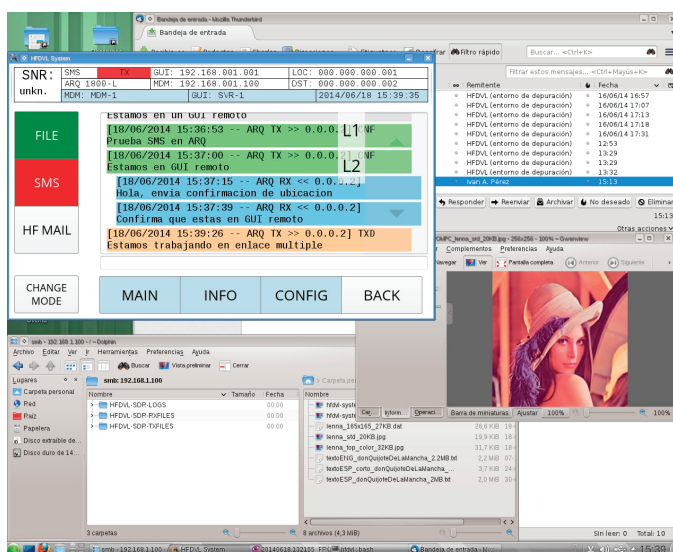


Fig. 6. Sistema HFDVL con STANAG 5066 trabajando en modo local y remoto. (Fuente propia).

# Impresión Bajo Demanda

Borrar

## Procedimiento

El procedimiento para solicitar una obra en impresión bajo demanda será el siguiente:

Enviar un correo electrónico a **publicaciones.venta@oc.mde.es** especificando los siguientes datos:

**Nombre y apellidos**

**NIF**

**Teléfono de contacto**

**Dirección postal donde desea recibir los ejemplares impresos**

**Dirección de facturación**  
(si diferente a la dirección de envío)

**Título y autor de la obra que desea en impresión bajo demanda**

**Número de ejemplares que desea**

Recibirá en su correo electrónico un presupuesto detallado del pedido solicitado, así como, instrucciones para realizar el pago del mismo.

Si acepta el presupuesto, deberá realizar el abono y enviar por correo electrónico a:

**publicaciones.venta@oc.mde.es**

el justificante de pago.

En breve plazo recibirá en la dirección especificada el pedido, así como la factura definitiva.

## Centro de Publicaciones

Solicitud de impresión bajo demanda de Publicaciones

Título:

ISBN (si se conoce):

N.º de ejemplares:

Apellidos y nombre:

N.I.F.:

Teléfono

Dirección

Población:

Código Postal:

Provincia:

E-mail:

*Dirección de envío:  
(sólo si es distinta a la anterior)*

Apellidos y nombre:

N.I.F.:

Dirección

Población:

Código Postal:

Provincia:

# Boletín de Observación Tecnológica en Defensa

Disponible en

<http://www.tecnologiaeinnovacion.defensa.gob.es/es-es/Contenido/Paginas/Publicaciones.aspx?cat=BOLETINES TECNOLÓGICOS>

<http://publicaciones.defensa.gob.es/inicio/revistas>



**SOPT**  
SISTEMA DE OBSERVACIÓN Y  
PROSPECTIVA TECNOLÓGICA



SUBDIRECCIÓN GENERAL  
DE PUBLICACIONES  
Y PATRIMONIO CULTURAL