

Boletín

DE OBSERVACIÓN TECNOLÓGICA EN DEFENSA



SUBDIRECCIÓN GENERAL DE TECNOLOGÍA Y CENTROS
Boletín de Observación Tecnológica en Defensa nº 18 • 1er Trimestre de 2008

- **Sistemas de Protección en Plataformas Terrestres**
- **EDA: JIP Force Protection**
- **Programa COINCIDENTE**

**ROMPER LAS BARRERAS DEL RETARDO EN
LAS COMUNICACIONES DIGITALES EN HF:
UNA IDEA HECHA REALIDAD**



Nodo Gestor

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

Observatorio de Armas, Municiones, Balística y Protección

T.Col. CIP Nicolás Braojos López
nbraojos@oc.mde.es

Observatorio de Electrónica

C.N. Ing. Arturo Montero García
amonterog@oc.mde.es

Observatorio de Energía y Propulsión

C.C. Ing. Juan Carlos Huertas Ayuso
jchayuso@fn.mde.es

Observatorio de Defensa NBQ

TCol. CIP Juan C. Fernández Fernández
jcfernandez@oc.mde.es

Observatorio de Materiales

Cte. CIESO-EA Jesús M. Aguilar Polo
jaquilarp@oc.mde.es

Observatorio de Óptica, Optrónica y Nanotecnología

Ing. D. Fernando Márquez de Prado Urquía
fmarquezu@oc.mde.es

Observatorio de UAVs, Robótica y Sistemas Aéreos

Cte. CIETO-EA Manuel A. González López
mgonlo2@oc.mde.es

Observatorio de Sistemas Terrestres y Navales

Col. CIP Manuel Engo Nogués
mengnog@et.mde.es

Observatorio de Tecnologías de la Información, Comunicaciones y Simulación

Ing. D. Francisco Javier López Gómez
fjlopez@oc.mde.es

www.mde.es/dgam/observatecno.htm

Boletín editado por el Sistema de Observación y Prospectiva Tecnológica
Subdirección General de Tecnología y Centros de la DGAM.



CONTENIDOS

3 Editorial

Actualidad:

Agencia Europea de Defensa (EDA)

4 *Joint Investment Programme*: Diez preguntas clave

Proyectos COINCIDENTES

5 Proyecto COINCIDENTE finalizado: Receptor Software Multicanal

5 Proyecto COINCIDENTE finalizado: Amplificador de alta potencia para TWT de 300W de 6,5 a 18 GHz de onda continua

6 Proyectos COINCIDENTES 2007

7 Proyectos COINCIDENTES Next Limit

Otras noticias

8 Evaluación de uniformes de protección NBQ para el programa COMFUT (Combatiente del Futuro)

9 ToE Protección Respiratoria

10 Centro de Experimentación NEC "Amper.LAB"

11 Programa SOSTAR-X (*Stand-off Surveillance and Target Acquisition Radar*)

12 Enlaces

Tecnologías Emergentes:

13 Sistemas de Protección en Plataformas Terrestres

En profundidad:

15 Romper las barreras del retardo en las comunicaciones digitales en HF: una idea hecha realidad

19 Agenda

El Sistema de Observación y Prospectiva Tecnológica nació en el año 2003 con un claro afán de reunir y procesar todo el conocimiento tecnológico disperso en nuestra organización. Con esta idea han venido funcionando ocho Observatorios a los que, desde el mes de febrero, se le une un nuevo grupo de expertos, reunidos dentro del Observatorio Tecnológico de Sistemas Terrestres y Navales. Este nuevo grupo surge ante la demanda de estudios y necesidades prospectivas que aparecen en el ámbito de las plataformas futuras a emplear en escenarios terrestres y navales.

En este sentido, la labor de un Observatorio dedicado a un área tecnológica es la de recoger, procesar y analizar la información técnica de mayor relevancia asociada a dicha área tecnológica. Además, cada Observatorio es un órgano colegiado de carácter consultivo, de seguimiento y de análisis del sector, centrandó su actividad en cinco líneas de actuación:

1. Realizar estudios prospectivos sobre desarrollos tecnológicos que pueden afectar a sistemas a utilizar por nuestras FAS.
2. Establecer indicadores sobre nuevas tecnologías (viabilidad, implantación, madurez, etc.)
3. Recabar información sobre actualidad nacional y europea en materia tecnológica.
4. Desarrollar labores de asesoría en cuanto a nuevos proyectos de investigación, tecnología y desarrollo.
5. Apoyar la elaboración, seguimiento y evaluación de programas, tanto de adquisición como de I+D, dentro del MINISDEF.

Con los nueve Observatorios Tecnológicos en funcionamiento esperamos dar respuesta a las crecientes demandas de asesoramiento tecnológico, a lo que contribuirá también el nuevo formato y maquetado de nuestro Boletín de publicación trimestral. Este Boletín pretende ser un foro para dar respuesta a las inquietudes tecnológicas de los miembros del Ministerio de Defensa en relación con su trabajo diario.

Agencia Europea de Defensa (EDA)



Joint Investment Programme: Diez preguntas clave

¿Qué es el JIP (*Joint Investment Programme*)?

El JIP es la primera iniciativa de la EDA para el lanzamiento de programas de tipo A¹. Esta iniciativa nace en la Dirección de I+T de la Agencia, y tiene como objetivo gestionar una inversión conjunta en I+T orientadas a necesidades militares compartidas por los países miembros (pMS) de la agencia. Todos los pMS están invitados a participar contribuyendo con unos fondos que pasan a el presupuesto común de programa. Este fondo común se destina a financiar los proyectos propuestos por consorcios que han de ser multinacionales y heterogéneos (industria, centros tecnológicos y universidad). Además, y como característica del JIP, la financiación de los proyectos no se ajusta a compromisos ni a criterios de justo retorno a lo contribuido por cada país (aunque se persiga el equilibrio global de la distribución de fondos).

¿En qué se diferencian estos proyectos de los tipo B (*CapTechs*)?

Los programas tipo A están abiertos a todos los países miembros. El compromiso de los fondos se realiza previamente a conocer los destinatarios de los fondos y los objetivos específicos perseguidos con los proyectos financiados. Además, el balance entre los fondos aportados por un país miembro y el retorno por medio de financiación a industria y universidad no tiene por que ser neutro, pudiendo ser positivo o también negativo.

¿Cómo se participa en los proyectos de los programas JIP?

En el JIP pueden participar todos los actores involucrados en el marco de la Defensa, lógicamente, cada uno con funciones diferentes. Así:

- La EDA y los Ministerios de Defensa en la gestión del programa.
- La industria, formando y liderando consorcios multinacionales con

PYMES, Universidades y centros de investigación europeos. Estos consorcios presentarán las propuestas a ser elegidas a convertirse en proyectos financiados por el programa. Para la participación en los proyectos, se recomienda consultar la dirección de la EDA <http://www.eda.europa.eu>, donde se recogen las instrucciones precisas, y se incluye el punto de contacto nacional.

¿Cómo se gestionan los JIP?

Los países contribuyentes al programa, establecen un conjunto de reglas y un comité de gestión (formado por representantes de cada Ministerio de Defensa). Este comité se reúne periódicamente con la EDA para la aprobación de las convocatorias, la gestión de la selección de las propuestas, y la supervisión de los proyectos contratados. Por otro lado, los representantes en el comité actúan también como punto de contacto entre las entidades participantes (industria y universidad) de cada país y la EDA. La EDA actúa como agencia de contratación en nombre de todos estos países contribuyentes.

¿Cuántos programas existen en la iniciativa *Joint Investment Programme*?

Actualmente sólo existe uno, sobre Protección de la Fuerza (*JIP on Force Protection -FP*). Durante la primavera de 2008, está previsto el lanzamiento de un segundo programa JIP sobre conceptos innovadores y tecnologías emergentes (*JIP Innovative Concepts and Emerging Technologies-ICET*).

¿Qué áreas y objetivos cubre el *JIP on Force Protection*?

Partiendo de una capacidad objetivo (Protección de la Fuerza), se han identificado 18 objetivos de I+T distribuidos entorno a 5 áreas:

- Protección individual
- Protección colectiva
- Análisis de datos.
- Comunicaciones tácticas seguras en entornos urbanos.
- Planeamiento y entrenamiento de misiones en entornos asimétricos.

¿Qué países participan en el JIP FP?

19 países miembros (PMs) de la EDA y un vigésimo (Noruega) gracias a un acuerdo administrativo con la EDA. España participa con un 4,8% del presupuesto total (54,93 M€), es decir con 2,64 M€. Es significativa la ausencia del Reino Unido.

¿Cuál es el estado del JIP FP?

En febrero de 2008, se puso en marcha la primera convocatoria (Protección Colectiva), con los proyectos ya firmados e iniciándose (uno de ellos, MUSAS, liderado por la empresa española GMV). En abril se realizará la evaluación de las propuestas de la segunda convocatoria (orientada a sistemas de comunicaciones tácticas).

¿Cuáles son los siguientes pasos en el JIP FP?

Se acaba de iniciar el proceso de registro (hasta el 15 de mayo) de potenciales contratistas para la tercera convocatoria, en las áreas de I+T de:

- Fusión de datos y apoyo a la decisión con múltiples sensores.
- Análisis de amenazas y contramedidas en C4ISR
- Interfaces hombre-máquina.
- Nuevos sensores y técnicas para la captura de datos.

El fondo remanente de las dos convocatorias anteriores (aprox. 27 M€) deberá cubrir esta tercera convocatoria y una cuarta sobre "Planeamiento y entrenamiento de misiones en entornos asimétricos".

¿Y los siguientes pasos en el JIP?

Desde noviembre de 2007, un grupo de países miembros de la EDA (entre ellos España) ha trabajado en la identificación y definición de objetivos de I+T que formen la base para el lanzamiento de otro programa JIP sobre conceptos innovadores y tecnologías emergentes. Está previsto que las decisiones finales sobre el ámbito completo de este programa, así como el interés de cada uno de los países en participar económicamente, estén listas para finales de abril. De ser así, se lanzaría el segundo programa *Joint Investment Programme* en junio de 2008.

¹ Más información en el Boletín nº 9

Programa COINCIDENTE

Proyectos COINCIDENTES finalizados: Receptor Software Multicanal

Dentro de la iniciativa del Programa COINCIDENTE, de la Subdirección General de Tecnología y Centros de la DGAM, se ha finalizado recientemente el proyecto "Receptor Software Multicanal", desarrollado por Indra Sistemas.

El objetivo del proyecto era el desarrollo de un receptor multicanal que realizase la mayor parte de sus funciones por medio de procesado digital de señal, lo que se conoce como Receptor Software. Estas funciones, (entre las que destacan el filtrado de señal, generación de frecuencia de oscilador local, mezcla de frecuencias y demodulación de señal), se han programado sobre una FPGA (*Field Programmable Gate-Array*).

El hardware del prototipo está formado por una tarjeta comercial de evaluación de FPGA y por una tarjeta de adquisición y entrada/salida. Esta última tarjeta ha sido diseñada y fabricada por Indra para el proyecto.

El software del prototipo consiste en dos receptores distintos: uno para la banda de HF y otro para las bandas de VHF-UHF. Ambos receptores pueden procesar hasta cinco canales independientes y son capaces de demodular

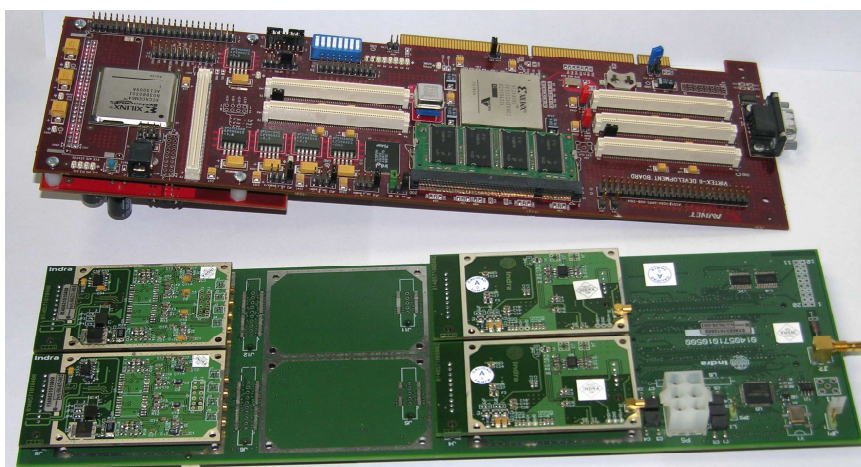


Figura 1. Receptor software multicanal.

distintos tipos de señales analógicas y digitales (AM, FM, FSK, etc.). En la FPGA se puede programar indistintamente cualquiera de estos dos receptores.

Los resultados obtenidos se consideran satisfactorios, cumpliéndose las especificaciones exigidas al sistema. Además, el desarrollo de este prototipo ha permitido a la empresa adquirir una importante experiencia en las técnicas de recepción software, principalmente en la implementación de algoritmos de procesado de señal sobre FPGAs. (rutado y temporización de señales, utilización de recursos hardware, aritmética de punto fijo, etc.).

En el área de Defensa, los receptores software constituirán uno de los componentes fundamentales de los

futuros sistemas de Guerra Electrónica ESM (Electronic Support Measures) y de Radio Software. En ambos sistemas, la gran ventaja que aportan los receptores software es su extraordinaria versatilidad, ya que permiten la recepción e interceptación de distintos tipos de señales utilizando un único equipo, que se configura o reprograma en función del tipo de señal que se quiera recibir. Además, la utilización de un único equipo radio para la recepción de distintos tipos de señales permite reducir el peso y volumen de los sistemas que integran dichos equipos.

Amplificador de alta potencia para TWT de 300W de 6,5 a 18 GHz de onda continua

Alfredo Ramírez y Antonio Martínez, responsables del Área de Defensa de la empresa RYMSA.

Un amplificador de alta potencia (abreviadamente llamado HPA) es un dispositivo que aumenta una señal de microondas de bajo nivel, comprendida

en una banda fijada de frecuencia, hasta llevarla a un nivel de potencia determinado. Este efecto debe conseguirse con la menor distorsión posible de la señal. La energía necesaria se



Figura 1. Fuente de alimentación del HPA.

toma de la red eléctrica de 220 VAC monofásica. Además, el HPA incluye los elementos de control necesarios para garantizar la seguridad de las secuencias de encendido y apagado, la gestión de alarmas y las comunicaciones remotas.

El HPA, desarrollado por RYMSA, trabaja con una señal en el rango de 10-0 dBm, en una banda de frecuencia de 6,5 a 18 GHz y proporciona más de 300 W de potencia.

Está compuesto de dos unidades, cada una de ellas alojadas en un cajón diferente. En el primero se alojan las

fuentes de alimentación, el control y las comunicaciones (Figura 1). En el segundo, el tubo de onda progresiva, TWT, y el resto de los componentes de radiofrecuencia, incluyendo las guías de onda de salida.

El programa se ha ejecutado en dos fases claramente diferenciadas: en la primera se desarrolló la fuente de alimentación y posteriormente se continuó hasta completar el HPA.

Se pretendía alcanzar un diseño de HPA con la utilización de un TWT de mayor potencia que los hasta ahora utilizados en proyectos pasados. De este modo, se simplificarían los sistemas de antena compuestos de este tipo de fuentes y TWTs, con la consiguiente reducción de precios asociada.

En ambas fases, los trabajos se han llevado a dentro del Programa COINCIDENTE de la Subdirección General de Tecnología y Centros (SDG TECEN) en colaboración con el Centro Investigación y Desarrollo de la Armada (CIDA-ITM) y ha culminado con éxito a finales del pasado año.

Este amplificador refuerza la línea de productos en la que esta empresa

viene trabajando en los últimos diez años. La colaboración con la SDG TECEN/CIDA ha permitido el desarrollo de amplificadores de potencia que trabajan entre 2 GHz y 40 GHz. Así, hoy en día, RYMSA ofrece HPAs con diferentes características:

- Banda 2 a 8 GHz; 150 W.
- Banda 6,5 a 18 GHz; 100 W.
- Banda 6,5 a 18 GHz; 350 W.
- Banda 18 a 40 GHz; 40 W.

Actualmente, en la empresa se ha comenzado a trabajar en modificaciones que permitan proporcionar mejores características a los amplificadores:

- Utilización de dos TWTs en lugar de sólo uno. La potencia de salida es mayor y además se incrementa la fiabilidad del amplificador y del sistema completo, ya que el fallo de un TWT no implica el fallo total del equipo.
- Implementación de TWT de mayor potencia. El objetivo es trabajar con la máxima comodidad posible con potencias del orden de 500 W y superiores.

Ambas mejoras combinadas pueden permitir una optimización de las características de los amplificadores, facilitando que los sistemas a los que van destinados tengan más alcance y, por supuesto, mayor fiabilidad.

Para conseguir estos objetivos RYMSA aún debe trabajar para desarrollar fuentes de alimentación más fiables, sistemas de control aún más seguros y mejorar los métodos de evacuación del calor generado para evitar el malfuncionamiento de los equipos por exceso de temperatura. Y todo eso, por supuesto, con unas dimensiones lo más reducidas posibles y con un peso mínimo.

El diseño y fabricación de este tipo de equipos por la industria nacional permite aumentar notablemente la disponibilidad de los mismos en los sistemas en los que se pueden emplear, (perturbadores de sistemas de guerra electrónica, equipos de ensayo para simulación de radares y pruebas de contramedidas electrónicas, ensayos de EMC, etc.), mejorando los tiempos de respuesta ante posibles fallos, averías, así como mayor flexibilidad ante mejoras, modificaciones, adaptaciones, etc.

Proyectos COINCIDENTES 2007

Durante el 2007, se ha procedido a la contratación de siete proyectos, presentados a la convocatoria del Programa COINCIDENTE 2007. Estos son:

- SIFES, simulación fluidos-estructuras, de la empresa NEXT LIMIT, que contará con el apoyo de la SDG TECEN. Este proyecto simulará la aerodinámica, la térmica y el flujo turbulento en fluidos gaseosos (más información en el siguiente artículo).
- PETN, proyecto español de técnicas novedosas en la detección de explosivos, de la empresa RAMEM que contará con el apoyo del LQCA-ITM. Este proyecto realizará un estudio de la viabilidad de una nueva técnica de detección de volátiles procedentes de sustancias explosivas, de interés en el área de la seguridad.
- BIOSENSOR, de la empresa BIOSENSORES S.L, que contará con

el apoyo de la FNM-ITM. Este proyecto desarrollará la tecnología de biosensores de afinidad molecular basada en el uso de sondas de ADN específicas contra microorganismos de interés para guerra biológica y/o bioterrorismo y para seguridad ciudadana, además del desarrollo de un prototipo que incorpore un inmunobiosensor automatizado.

- Detección a distancia de explosivos mediante ondas milimétricas y terahercios, de la empresa GATE-ALFA Imaging, que contará con el apoyo del CIDA y LQCA-ITM. Se trata de un estudio de viabilidad técnica y económica de la detección a distancia de un terrorista suicida mediante sistemas de ondas milimétricas (mm) y terahercios (THz), determinando la frecuencia idónea y el modo de operación más conveniente para esta aplicación.
- VIDEO ARIES, adaptación a defensa del sistema de grabación panorámica y ultra rápida en video digital, de la empresa ARIES, que contará con el apoyo del PEC-ITM. El proyecto adaptará el sistema a las necesidades militares de un sistema de

filmación con múltiples cámaras de video de alta velocidad encaminado a aumentar y mejorar las características de los sistemas existentes.

- CADILAR, herramienta de caracterización de diodos láser de alta potencia para aplicaciones lidar, de la empresa Indra, que contará con el apoyo del CIDA-ITM. El proyecto desarrollará una herramienta de caracterización de diodos láser de alta potencia para lidar que sea capaz de determinar la divergencia del láser diodo y la distribución espacial de intensidad en el campo lejano y las propiedades físicas del haz en el campo cercano.
- TERSO+, de Indra, que contará con el apoyo del PEC. Este proyecto dotará al demostrador SDR / SCA del proyecto TERSO, evolucionando y ampliando sus capacidades, de las funcionalidades necesarias para convertirlo en el punto de partida del nodo español de la iniciativa internacional SDR/SCA denominada ESSOR.

Proyectos COINCIDENTES NEXT LIMIT: SIFES

Pedro Antonio Casas Alcalde, Centro de Investigación y Desarrollo de la Armada (CIDA-ITM)

El desarrollo de herramientas CFD (*Computational Fluid Dynamics*) comenzó en la década de los 60 con los primeros programas de simulación de flujo potencial. Desde entonces, el progreso en este campo ha sido importante, existiendo actualmente códigos comerciales capaces de realizar simulaciones en régimen turbulento, con presencia de superficie libre, etc.

Sin embargo, y a pesar de los esfuerzos realizados, la precisión de los resultados obtenidos mediante el uso de las mencionadas herramientas CFD no ha progresado como se esperaba, siendo imposible usarlas como herramientas estándar de diseño en ingeniería. Esta situación contrasta fuertemente con lo sucedido en el ámbito del cálculo de estructuras, donde los códigos basados en técnicas FEM (*finite element model*) han alcanzado un nivel de madurez capaz de permitir su uso rutinario en cálculos de ingeniería.

La raíz de las diferencias indicadas consiste en que los algoritmos y sistemas de mallado desarrollados hasta la fecha se adaptan muy bien a la resolución de problemas de mecánica de medios continuos definidos en dominios básicamente indeformables (como pueda ser la estructura de un buque), pero han funcionado mal cuando se ha intentado adaptarlos a la resolución de problemas de naturaleza intrínsecamente deformable (como por ejemplo el flujo de alrededor de un buque).

La resolución de estos últimos problemas requiere planteamientos radicalmente distintos a los usados tradicionalmente, y es en la década de los 80 cuando la introducción de técnicas de partículas (como los métodos SPH, por ejemplo) permite abordar por primera vez problemas de mecánica de medios continuos intrínsecamente deformables de una forma sencilla y natural.

Dichas técnicas modelizan el campo fluido mediante un planteamiento

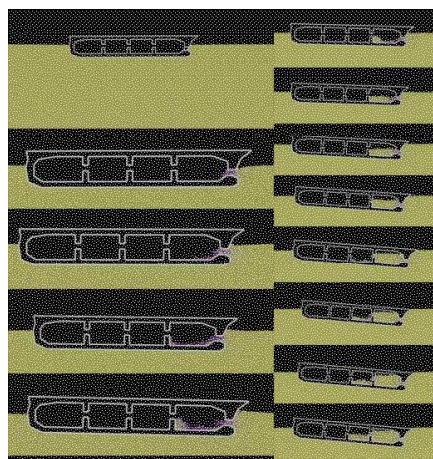


Figura 1. Inundación progresiva de un buque de carga simulado con técnicas SPH (cortesía de NEXT_LIMIT)

lagrangiano, es decir, lo dividen en partículas discretas que se mueven libremente, con lo cual el problema se reduce conceptualmente a describir la trayectoria de las citadas partículas. De lo dicho se deduce claramente que los problemas de mallado desaparecen, puesto que no existe malla alguna, y que es posible la aplicación de las mencionadas técnicas sin restricciones a cualquier tipo de problema en mecánica de fluidos (problemas con superficie libre, difusión, acústica, etc.)

Aunque las técnicas de partículas constituyen actualmente un campo de investigación candente, no existen herramientas comerciales disponibles en el ámbito de la mecánica de medios continuos, siendo la empresa española NEXT LIMIT la que se encuentra actualmente más cerca de conseguir un producto comercial, que evidentemente será absolutamente puntero a nivel mundial.

Esta situación tan favorable para la citada empresa ha sido posible gracias a los enormes esfuerzos en I+D realizados por la misma, en los que ha colaborado el MINISDEF dando apoyo financiero a los proyectos DYSEBIN, GISEM,

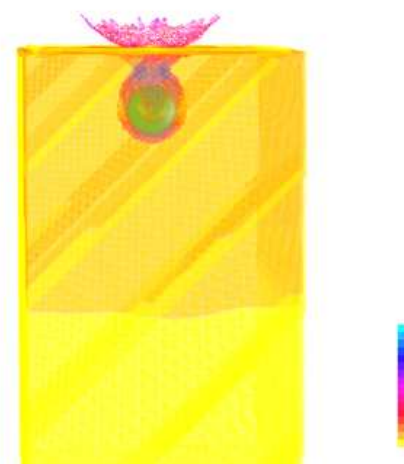


Figura 2. Impacto de una esfera sobre la superficie libre de un líquido simulado mediante técnicas SPH (cortesía de NEXT_LIMIT)

CARENA y SIFES (este último actualmente en desarrollo) a través del Programa COINCIDENTE.

Es de justicia decir que NEXT LIMIT constituye un auténtico ejemplo a seguir para las empresas españolas, ya que se ha apoyado de forma absolutamente real y efectiva el I+D propio para conseguir productos competitivos a nivel internacional, habiendo empezado ya a cosechar los frutos del esfuerzo realizado en forma de premios y reconocimiento público (por ejemplo, hace unas semanas que recibieron el Oscar de la Academia de Cine de Hollywood al mejor producto de efectos especiales por ordenador).

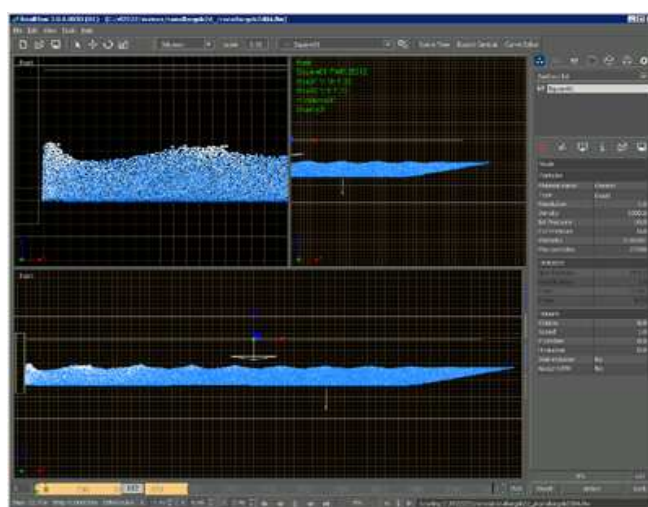


Figura 3. Generación de olas en un tanque de experimentación mediante técnicas SPH (cortesía de NEXT_LIMIT)

Otras noticias

Evaluación de uniformes de protección NBQ para el programa COMFUT (Combatiente del Futuro)

Javier Arias Abuin, Darío Hugo Cuervo Rodríguez y Joaquín Valencia Arribas, Subunidad de Evaluación de Materiales NBQ de la FNM-ITM

Desde el pasado mes de septiembre de 2007, se está llevando a cabo, en el marco del programa COMFUT que se desarrolla en la Academia de Infantería de Toledo, la evaluación de una serie de uniformes de protección NBQ, de última tecnología, procedentes de diferentes empresas nacionales e internacionales. Los trajes NBQ, junto con la máscara de protección, tienen la capacidad de aislar el cuerpo del usuario, durante un periodo de tiempo limitado, de un entorno exterior con presencia de agresivos de tipo químico o biológico. Esta investigación supone una novedad en el ámbito de la defensa NBQ en España, ya que es la primera vez que se realizan pruebas de laboratorio y de campo sobre este tipo de equipamiento.

ENSAYOS

La investigación se está desarrollando en dos partes bien definidas: una serie de ensayos, en laboratorio, de evaluación de las propiedades físicas y de protección química de los uniformes, y un conjunto de pruebas con voluntarios para conocer el grado de confort y las impresiones de los usuarios sobre los diferentes trajes, así como su capacidad de protección frente a un simulante de agresivo. La evaluación de las propiedades físicas y de la capacidad de protección frente a agresivos químicos de este tipo de equipamiento es una de las funciones de la Subunidad de Evaluación de Materiales NBQ perteneciente a la Unidad Q de la Fabrica Nacional La Marañosá (FNM) (futuro Instituto Tecnológico La Marañosá - ITM). En sus instalaciones se

están realizando ensayos de uniformes nuevos y tras haber sido lavados en 7 ciclos, evaluando así el grado de degradación de las características y capacidades protectoras de los trajes con los lavados.

Las pruebas físicas que se ejecutan sobre los tejidos incluyen, entre otras, ensayos de tracción y desgarrado, de repelencia a los aceites, de resistencia a la abrasión y al mojado, o de permeabilidad al aire y al vapor de agua.

Los ensayos sobre la capacidad de protección de los diferentes tejidos que conforman los uniformes se realizan frente al agresivo químico Iperita (HD), tanto en forma líquida como en forma de vapor. En el primer caso se mide la cantidad acumulada de HD en contacto con los diferentes uniformes, que consigue traspasar el tejido protector tras 24 horas de ensayo. Para evaluar la protección frente al agresivo en forma de vapor, se monitoriza la cantidad de HD que traspasa un uniforme durante la aplicación constante de un caudal de aire contaminado con el agresivo, a una concentración determinada, a través de una muestra del tejido. También, se realizan ensayos

sobre los guantes y cubrebotas pertenecientes a los diferentes uniformes, evaluando su resistencia frente a HD en forma líquida mediante la determinación del tiempo necesario para que las primeras trazas de agresivo atraviesen estos materiales.

PRUEBAS DE CAMPO

Adicionalmente, se ha desarrollado una metodología para evaluar la capacidad de protección de los trajes NBQ en condiciones de campo frente a la sustancia "salicilato de metilo (MS)". Debido a que el nivel de toxicidad de esta sustancia es bajo y tiene propiedades físicas semejantes a la Iperita, el MS es el compuesto elegido habitualmente en las investigaciones de campo, para simular el comportamiento de este agresivo. Por esta razón, los voluntarios equipados con los trajes fueron rociados en el exterior con pequeñas cantidades de esta sustancia, evaluándose posteriormente la capacidad protectora de los tejidos mediante el análisis en laboratorio de parches de carbón activo colocados debajo de cada uniforme y sujetos al cuerpo del usuario.

Un uniforme NBQ no sólo debe prote-



Figura 1. Voluntario realizando pruebas físicas y de habilidad para evaluar la capacidad de confort y maniobrabilidad de los trajes de protección NBQ ofertados al programa Combatiente del Futuro.

ger frente a este tipo de amenazas durante el mayor tiempo posible; también es importante el confort, la maniobrabilidad y el agotamiento del combatiente equipado con el mismo, pues esto incidirá directamente en sus capacidades en el campo de batalla. Es por esto que, además de las pruebas antes detalladas, se han diseñado un conjunto de tests físicos y de habilidad, tanto en interior como en exterior, para ser realizados por los soldados voluntarios provistos de los uniformes. La evaluación de los trajes NBQ por el usuario se realizó en días sucesivos y de forma

alterna, para tener la posibilidad de efectuar comparaciones entre los diferentes uniformes. Las pruebas realizadas incluyen la medición del tiempo necesario para vestirse el uniforme y el resto del EPI (equipo de protección individual), pruebas de habilidad, de tiro y de concentración, marcha en cinta, paso de obstáculos en exterior o, medida de la pérdida de peso corporal tras las pruebas. En la mayor parte de los casos, se ha efectuado y registrado una monitorización continua de la temperatura corporal, pulsaciones y sudoración de los usuarios durante los

diferentes tests y, a la finalización de las pruebas diarias, se realizaban encuestas personales sobre las sensaciones producidas por cada traje.

El conjunto de todas estas pruebas supone una exhaustiva evaluación, no realizada anteriormente a nivel nacional, de los uniformes de protección NBQ. De este modo, se dispondrá de una valiosa información que será muy útil para la modernización y futuro suministro de este tipo de equipamiento a nuestras FAS.

ToE Protección Respiratoria

Javier Arias Abuín, Darío Hugo Cuervo Rodríguez y Joaquín Valencia Arribas, Subunidad de Evaluación de Materiales NBQ de la FNM-ITM

La constatación, a partir de varios informes del CSG (*Challenge Sub-Group*) de la OTAN, de las elevadas concentraciones de agresivos biológicos en forma de aerosol a las que pueden estar expuestos los soldados en sus diferentes escenarios de actuación, hacía necesario revisar la protección proporcionada por las máscaras actuales. Por tanto, el PPSG (*Physical Protection Sub-Group*) decidió crear un grupo de expertos temporal (ToE) para adecuar el ya existente tríptico D-103 (documento básico en materia de protección respiratoria) a la amenaza biológica. El trabajo de este grupo, ya finalizado, se extendió desde mayo de 2005 a febrero de 2007 y en él participaron representantes de diez países miembros de la OTAN (Alemania, Bélgica, Canadá, Dinamarca, España, Estados Unidos, Francia, Holanda, Noruega y Reino Unido).

El nivel de protección respiratoria se determina mediante el parámetro denominado factor de protección (FP), definido como la relación entre la concentración externa de agresivo y la que penetra en el interior de la máscara debido a un mal ajuste de la unión cara-máscara, al deficiente funcionamiento de las válvulas de exhalación, de voz y/o del cartucho filtrante, etc. Una de las conclusiones del trabajo de este ToE ha sido que el FP debe aumentarse en un orden de magnitud hasta alcanzar, en condiciones controladas de laboratorio, el valor de 106

frente a agresivos biológicos y de 105 frente a agresivos químicos gaseosos. Esto supone un gran reto para la industria en cuanto al diseño de nuevas máscaras, y para los laboratorios de evaluación, que deben desarrollar nuevos métodos para evaluar con fiabilidad factores de protección tan altos. En este sentido, otra de las aportaciones de este ToE fue la descripción detallada de varios métodos para determinar el FP. En ensayos de laboratorio (usando respiradores artificiales o soldados) destaca el uso de una macro-cámara acondicionada para crear una atmósfera de un aerosol de NaCl (diámetro de partícula 0,1-0,2 micras), llegándose a determinar un FP de hasta 105. También, se pueden usar aerosoles líquidos de aceites vegetales, DOP (dioctil ftalato), DEHS (dietilhexil sebacato) o bien gases como el He o SF₆. Para la detección se usa un APS (contador aerodinámico de

partículas), un fotómetro de llama para los aerosoles y un FTIR (infrarrojos) o un CG-MS-ECD (cromatografía de gases-masas) para los gases. También se pueden usar bacterias o esporas inocuas viables (por ejemplo: *Bacillus Globigii*, BG) actuando como simulantes o los propios agresivos biológicos reales (en este caso usando respiradores mecánicos), siendo esta última opción normalmente descartada, porque su peligrosidad no se ve compensada por la obtención de más información adicional sobre la proporcionada por los ensayos con simulantes o con los compuestos mencionados anteriormente.

Para minimizar el tiempo y coste de una evaluación, se definen las condiciones de validez de los ensayos realizados con gases para evaluar la protección frente a aerosoles. Por otra parte, hay que resaltar que las máscaras



Figura 2. Macro-cámara acondicionada para crear atmósferas controladas que simulan un ataque con agresivo químico de forma que se ensaya del nivel de protección de la máscara.

ras y los filtros deben superar la evaluación independientemente, para así asegurar la interoperabilidad entre cualquier tipo de filtro y máscara.

También, es muy importante que la evaluación del FP pueda ser realizada por el propio soldado (o su unidad operativa) en el escenario de actuación, donde el factor de protección disminuye en uno o dos órdenes de magnitud debido al movimiento irregular y/o brusco del soldado y a las condiciones cambiantes de la climatología y eventual concentración de agresivo. En este sentido una opción es el uso

de métodos cualitativos como un gas de olor característico (por ejemplo el amoníaco). Otra posibilidad es el uso de un contador portátil de partículas, uno de cuyos modelos está siendo evaluado en la Subunidad de Evaluación de Materiales NBQ de la FNM (futuro ITM). Finalmente, se destaca la evaluación especial para algunas unidades como pilotos de combate, en la que los procedimientos pueden diferir debido al flujo continuo de aire que proporcionan los equipos autónomos y a la autogeneración de partículas por los mismos.

Actualmente, en la Subunidad de Evaluación de Materiales de la FNM (futuro ITM), se realiza la evaluación de máscaras frente a la concentración ambiental de partículas usando un respirador mecánico y en el futuro se espera poder realizarla frente a aerosoles artificiales usando un generador de aerosoles. También, se espera poder contar con un nuevo banco de pruebas para la evaluación de cartuchos y máscaras frente a agresivos reales en forma de gas.

Centro de Experimentación NEC "Amper.LAB"

AMPER Programas de Electrónica y Comunicaciones, S.A.

Dentro del concepto de los Centros de Experimentación NEC o Battlelabs, Amper Programas ha establecido un centro de experimentación de conceptos NEC denominado Amper.LAB, cuyo objetivo es la puesta en marcha de la experimentación de desarrollo de conceptos (CDE) y de arquitecturas de sistemas de sistemas, así como la realización de ejercicios de experimentación e interoperabilidad tanto nacionales como internacionales.

El centro surge como respuesta a los retos de los ejércitos del siglo XXI, que necesitan adaptarse a las nuevas amenazas y a los cambios constantes. Para ello tienen que adoptar un proceso de transformación que les permita responder con soluciones rápidas y efectivas



Figura 1. Exposición en el área VIP de la zona de demostraciones durante una visita al centro.



Figura 2. Vista general de la zona de demostración del laboratorio con los puestos técnicos y la zona VIP.

a estos cambios. Una interacción temprana y mayor con la industria es un factor significativo para aumentar la capacidad de adaptarse a los nuevos desafíos, de forma que todos los sistemas C4ISR (*Command, Control, Communications & Computer – Intelligence, Surveillance & Recognizance*) y de telecomunicaciones, pueden interconectarse y experimentar en nuevos conceptos y sistemas.

Desde un punto de vista conceptual, un CDE es una red con arquitectura de sistema de sistemas que conecta de manera transversal una serie de sistemas militares que pueden estar ubicados en lugares dispersos. Los sistemas de sistemas son capaces de proporcionar capacidades que ninguno de los sistemas que lo constituyen proporciona por sí solo.

La experimentación CDE es la herramienta para identificar, desarrollar y validar, en un entorno de coste reducido previo a su implantación definitiva, los nuevos conceptos operativos (doctrina y estructura de fuerzas), así como de

conceptos sobre nuevos materiales y equipos, y conceptos logísticos y de disponibilidad de fuerzas.

OBJETIVOS DEL AMPER.LAB

El objetivo principal del Amper.LAB es procurar la infraestructura técnica y recursos necesarios para:

- Integrar las soluciones *network-enabled* (NEC) en un centro de experimentación con una arquitectura basada en servicios (SOA).
- Desplegar tanto nuevos sistemas como sistemas anteriores permitiendo su interoperabilidad, así como interoperar con sistemas de terceros.
- Proporcionar capacidad de interconexión con centros de experimentación del Ministerio de Defensa.
- Disponer de una *Networking and Information Infrastructure* sobre los sistemas de telecomunicaciones en servicio (RBA/CNR, RETUME) y futuros (SDR, RTIP, WiMax, etc.) de forma que se

pueda medir la eficacia de los sistemas de información en un entorno real.

- Facilitar la experimentación en nuevos conceptos y capacidades militares permitiendo la incorporación de nuevos avances tecnológicos y su desarrollo.
- Proporcionar una herramienta que permita la elaboración de CONOPS a los Estados Mayores.

DEMOSTRACIONES REALIZADAS

Desde su instalación, en octubre de 2007 hasta la fecha, el Amper.LAB ha realizado media docena de demostraciones, contando con visitas como el Director General de Armamento y Material, la Jefatura CIS del Ejército de Tierra, la Subdirección General de Tecnología y Centros, y de clientes del área del Golfo Pérsico, Suiza, etc.

Programa SOSTAR-X (*Stand-off Surveillance and Target Acquisition Radar*)

Eva Llamas Pérez, Ingeniero de Sistemas de Isdefe. Asistencia Técnica a la SDG TECEN en el programa SOSTAR.

A finales de 2001, Alemania, España, Francia, Holanda e Italia acordaron el inicio de un proyecto, denominado SOSTAR-X, para la realización de un demostrador que permitiera comprobar la capacidad de la industria europea para desarrollar un demostrador de un radar SAR/MTI (*Synthetic Aperture radar/ Moving Target Indicador*) de vigilancia del terreno. Uno de los objetivos de este programa era reducir la diferencia que existía entre Europa y

EE.UU. en esa área de conocimiento, para evitar que se produjese un vacío tecnológico insalvable a corto y medio plazo.

El programa SOSTAR-X finalizó en octubre de 2007 tras haber completado con éxito las diferentes fases de pruebas en vuelo y realizar una demostración operativa del sistema que permitió demostrar a personalidades de los países participantes los logros alcanzados en este programa.

Para desarrollar el trabajo las empresas líderes de los países participantes, Dutch Space, EADS, Galileo Avionica, Indra Sistemas y Thales, se constituyeron en la UTE SOSTAR GmbH, con sede en Friedrichshafen (Alemania).

El coste final total del programa ha sido entorno a unos 100 M€, con un porcentaje de participación del 28% por parte de Francia, Italia y Alemania cada uno, España con un 10,5% y Holanda 5,5 %.

Dentro del programa SOSTAR, Indra ha sido la empresa española participante en el desarrollo del radar. Su principal aportación técnica se ha centrado en el desarrollo del modo *Swath SAR* y el *roll actuator* de la



Figura 1. Comparación entre Imagen visible y swath SAR (desarrollado por Indra) de un mismo área obtenida con el SOSTAR-X.

antena, compartiendo con el resto de las empresas la responsabilidad de la ingeniería de sistemas. A pesar de que el porcentaje de participación de España en el programa ha sido menor que el de Francia, Alemania e Italia, se ha destacado por la alta calidad del trabajo realizado y los buenos resultados obtenidos.

Por otra parte, España ha facilitado como GFE (*Government Furnished Equipment*) la integración de un sistema Data Link para envío de datos a tierra. Este trabajo ha sido desarrollado por la empresa EADS-CASA.

Las principales fases por las que ha pasado el programa ha sido las de desarrollo, integración y pruebas en vuelo. Durante la fase de desarrollo se tuvieron que solventar, además de las cuestiones técnicas de cualquier programa complejo como éste, otros aspectos derivados de la criticidad de la tecnología. Inicialmente se había previsto el uso de amplificadores de potencia TriQuint HPA, pero la licencia de exportación fue denegada por EE.UU. por razones de "Seguridad Nacional", por lo que, cuando ya se había avanzado en el diseño, hubo que modificarlo para emplear amplificadores de tecnología europea HPA HELLIX.

La fase de integración se realizó en dos partes, una primera integración en tierra, que permitió verificar el correcto

funcionamiento conjunto de los subsistemas (*antena, core electronics, procesador radar, O&C (Operations & Control)*) y una segunda integración de éstos con la plataforma.

Después de la integración satisfactoria del sistema en tierra, considerando que el sistema estaba suficientemente maduro y estable, se procedió a la instalación del sistema en el avión y a su prueba en vuelo.

Se realizaron dos fases de pruebas en vuelo, los vuelos industriales, que fueron utilizados para probar el sistema y los distintos modos de operación de manera incremental, y los vuelos de cliente a través de los que se demostró el cumplimiento de los requisitos del sistema.

La fase de vuelos industriales se dividió a su vez en tres partes:

- V0: donde se verificó el funcionamiento de los modos de calibración. Durante esta fase, no se encontraban instaladas las versiones SW de los distintos modos en los procesadores, sino que sólo se recogieron y grabaron datos, que posteriormente fueron procesados en tierra para la prueba de los modos.
- V1: donde se instalaron, en los procesadores de a bordo, los modos y funciones correspondientes a la cadena MTI.

- V2: donde se finalizó la actividad de integración y verificación del sistema con todos los modos instalados.

Durante la fase de vuelos de aceptación por el cliente se llevó a cabo la verificación formal de todos los requisitos de la Especificación Técnica, que concluyó satisfactoriamente. Como cierre oficial del programa se realizó una demostración operativa en Cazaux (FR) en la que estuvieron presentes representantes de los respectivos Ministerios de Defensa de las naciones participantes. Durante la misma se mostró la operación real del radar con transmisión a tierra de datos en tiempo real a través del Data Link que España ha aportado como GFE al programa.

La continuación de las líneas de trabajo iniciadas por los participantes durante este programa, dirigidas a poseer una capacidad ISTAR propia, están centradas actualmente en el posible desarrollo de un radar SAR/MTI a instalar en el futuro Advance UAV, al haberse abandonado por diversas razones otras iniciativas como por ejemplo el desarrollo del radar TCAR (Transatlantic Cooperative AGS Radar) dentro del programa AGS de la OTAN.

enlaces de interés

Centro Nacional de Experimentación en Tecnologías del Hidrógeno y las Pilas de Combustible

El Centro del Mapa de Instalaciones Científicas y Técnicas Singulares dentro del Programa INGENIO 2010, con sede en Puertollano, estará al servicio tanto de las empresas como de toda la comunidad científica y tecnológica.

<http://www.cnetnpc.es>



Punto de información sobre I+D+i (CDTI / MITC)

Desde esta página el Centro para el Desarrollo Tecnológico e Industrial (CDTI) ofrece asesoramiento gratuito sobre instrumentos de financiación de proyectos tecnológicos innovadores.

<http://www.cdti.es/pidi>



Servicio de Información y Noticias Científicas

Plataforma de la Fundación Española para la Ciencia y Tecnología (FECYT), donde se puede encontrar, además de noticias sobre distintas áreas de conocimiento, un calendario de actividades y una recopilación de enlaces a páginas de interés.

<http://www.plataformasinc.es>



Tecnologías Emergentes

Materiales para Blindajes en Plataformas Terrestres

Luís M. Requejo Morcillo, Técnico del Observatorio de Materiales con la colaboración de Jorge Lega de Benito, Técnico del Observatorio de Armas, Municiones, Balística y Protección.

La función básica de un blindaje en una plataforma es proporcionar protección balística, es decir, tiene que ser capaz de detener impactos directos de proyectiles, metralla y onda aérea. En función del tipo de amenaza, de su calibre, peso y velocidad, se han desarrollado sistemas de protección específicos a lo largo del tiempo. Los requisitos de protección balística están normalizados en el marco de la OTAN y aparecen recogidos en la norma STANAG 4569.

Históricamente, los materiales metálicos han sido los más comúnmente empleados para la fabricación de plataformas y de sus correspondientes sistemas de protección. Esto es debido a que estos materiales han sido los que mejor cumplían los requisitos estructurales, entre otros, para su utilización en sistemas de protección pasiva. La búsqueda de sistemas que permitan establecer un compromiso entre movilidad y protección, ha motivado el desarrollo de aleaciones metálicas y de nuevas familias de materiales cada vez más

ligeros.

El acero ha sido, es y posiblemente seguirá siendo el principal referente en cuanto a los materiales utilizados en los sistemas de protección, ya que presenta una serie de propiedades características entre las que se pueden destacar:

- Elevada resistencia mecánica.
- Resistencia a la degradación en muy diversas condiciones ambientales.
- Coste reducido por su elevada producción y por la facilidad con la que se puede transformar (mecanizado, tratamientos térmicos, etc.)

El desarrollo del acero ha ido encaminado a conseguir aleaciones cada vez más resistentes a la rotura, es decir, más tenaces. Esto se ha ido consiguiendo mediante la adición de microaleantes, el control de la microestructura y el desarrollo de tratamientos termomecánicos. Así, desde finales de la Segunda Guerra Mundial se empleó el acero RHA (acero de laminado homogéneo) y, posteriormente, durante la Guerra de Vietnam, se desarrolló el HHA (acero de alta dureza), que mejora las propiedades mecánicas del anterior y que se utiliza actualmente en vehículos blindados ligeros (LAV).

Mejorar la protección de un vehículo implicaría añadirle más láminas de acero o hacer éstas más gruesas,

incrementando el peso del vehículo y reduciendo su movilidad. Para salvar esta limitación, se han llevado a cabo importantes progresos con aleaciones de aluminio y titanio para su empleo como sistemas de protección. Se han desarrollado, y de hecho se utilizan en diversas plataformas, aleaciones como la 5083 (Al-Mg), que presenta buena resistencia a la formación de grietas y a la fragmentación, y que también es resistente a los procesos de corrosión y fácilmente soldable, o la 2019 (Al-Cu-Mg), que tiene mayor dureza y resistencia a la fragmentación que la anterior, pero que se comporta peor frente a la corrosión. Aún así, en un futuro próximo se esperan importantes progresos en las aleaciones endurecibles por precipitación, basadas en las familias 5XXX (Al-Mg) y 7XXX (Al-Zn-Mg). Además, se esperan posibles alternativas a las aleaciones de aluminio como son las de magnesio, que si bien, no tienen una gran eficiencia balística, cuentan con la ventaja de su extremadamente baja densidad.

El empleo de aleaciones de titanio, a pesar de ser más ligeras y resistentes que las de aluminio y que las de acero, quedó reducido en un primer momento a la industria aeronáutica, debido a su elevado coste. Pero las últimas propuestas para obtener titanio a precios más competitivos, han hecho posible su uso en plataformas terrestres ligeras, como por ejemplo la aleación Ti-6Al-4V (6% en peso de aluminio y 4% en peso de vanadio), desarrollada por



Figura 1. Coche blindado de época (1932)



Figura 2. Actual vehículo blindado (Golan Rafael)

Watertown Arsenal.

Para reducir el peso total de un sistema de protección y mejorar la resistencia frente a todo tipo de amenazas, los diseñadores están introduciendo en los últimos sistemas "alternativas" complementarias a la base metálica. Una alternativa es el empleo de materiales cerámicos, pero tienen una consistencia quebradiza y por lo tanto, son sensibles a los choques. Cuando un proyectil impacta sobre el material cerámico, éste se rompe y pierde su efecto protector cuando se enfrenta a múltiples golpes. Debido a ello, la cerámica por sí sola no ofrece gran eficiencia en la protección balística.

Los materiales compuestos (matrices poliméricas reforzadas con fibra de vidrio, de carbono, etc.) son ligeros y resistentes, pero los procesos de fabricación son laboriosos y costosos, siendo además, muy sensibles al daño por impacto, pudiendo presentar problemas de deterioro de sus propiedades mecánicas por absorción de agua. Para compensar estas desventajas, se planteó la utilización de refuerzos híbridos como sistemas de protección (metal-compuesto, metal-cerámica y los innovadores metal-cerámica-compuesto).

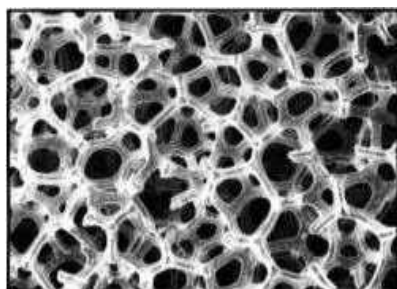


Figura 3. Micrografía de una espuma metálica.

Los materiales híbridos pretenden aunar las ventajas de los diferentes tipos de materiales evitando, en la medida de lo posible, sus inconvenientes. Así, se puede obtener por un lado elevada resistencia al impacto y durabilidad, junto con la facilidad de mecanización y fabricación típicas de los materiales metálicos. Por otro, la elevada resistencia y rigidez específicas en la dirección de la fibra y la buena resistencia a la fatiga de los materiales compuestos, y por último, la alta dureza y resistencia mecánica propia de los materiales cerámicos. Otra ventaja añadida es la reducción

de peso a consecuencia del uso de este tipo de materiales, de modo que, por ejemplo, en sistemas compuestos para la protección de vehículos, la cerámica ha podido reemplazar ampliamente al acero previamente utilizado con una reducción de peso de hasta el 50%.

Las estructuras híbridas o blindajes multicapa, se muestran muy eficientes en su utilización como sistemas de protección. El diseño de estas estructuras (Figura 4) se basa en el hecho de que si un proyectil choca sobre la superficie cerámica, la punta del mismo se deforma, causando una ampliación de su sección eficaz (convirtiéndose la energía cinética de los proyectiles en energía elástica o trabajo plástico). Después, al penetrar en la cerámica, el proyectil es micronizado y debido a su menor masa, la energía cinética de los fragmentos es notablemente más baja, siendo absorbida por completo por la deformación elástico-plástica dentro del material de respaldo. Los laminados de materiales compuestos de matriz polimérica de la capa externa se emplean para proteger la lámina cerámica de golpes de pequeña intensidad y del rayado. Los de la capa interna para atrapar los fragmentos originados por el impacto contra la cerámica o del propio proyectil, y que éstos no alcanzan el interior del vehículo. También son utilizados en los bajos de los vehículos como medida de protección para el personal en caso de explosión de minas. Para estos casos, el uso de geles o líquidos contenidos en las capas interiores del blindaje da buen resultado contra los efectos de estos artefactos.

Se espera una evolución lineal y progresiva de los sistemas de protección, siguiendo una línea continuista con las tendencias actuales basadas en refuerzos híbridos metal-cerámica-compuesto. Las líneas de investigación principales que determinarán el futuro de estos materiales están encaminadas a aumentar las propiedades mecánicas relacionadas con la resistencia al impacto mediante la eliminación o reducción de los defectos microestructurales, por medio de un mayor control microestructural y de procesado. Los defectos microestructurales (dislocaciones, bordes de grano, impurezas, intersticiales, vacantes,

maclas, poros, etc.) actúan como concentradores de tensiones y núcleos de formación de grietas y deterioran las propiedades de los materiales.

Por el momento, por razones económicas, la alúmina de alta pureza es la cerámica más utilizada para el blindaje de vehículos ligeros, pero es de esperar un abaratamiento de otros materiales cerámicos más eficaces que permitan obtener blindajes más ligeros, como son el diboruro de titanio, el nitruro de aluminio o el nitruro de boro. También se espera la implantación de espumas metálicas entre las capas cerámicas y metálicas, ya que son materiales muy porosos, y por tanto tienen una gran capacidad de absorción de energía por deformación.

En general, los materiales metálicos empleados en blindajes siguen siendo los que presentan una serie de propiedades que no pueden compararse a las de otros tipos de materiales. Entre ellas, el coste, la fabricabilidad, durabilidad, capacidad de resistencia a múltiples impactos y a un amplio espectro de amenazas. Pero hay que tener en cuenta el peso agregado a una plataforma terrestre como resultado del blindaje y los efectos de éste sobre la maniobrabilidad de dicha plataforma. Así, vehículos como pueden ser todoterrenos, camiones, etc. que requieren una maniobrabilidad mayor, no pueden ser equipados con un blindaje muy pesado. Por tanto, el diseño y el desarrollo de materiales para blindaje más ligeros (híbridos) es la alternativa de futuro para así obtener lo que podríamos denominar como materiales multifuncionales.



Figura 4. Esquema del impacto del proyectil sobre un blindaje multicapa.

Tecnología en Profundidad

Romper las barreras del retardo en las comunicaciones digitales en HF: una idea hecha realidad

Dr. Santiago Zazo Bello y Dr. Iván A. Pérez Álvarez

Motivación

Este artículo resume una línea de colaboración entre Aena y las Universidades Politécnica de Madrid y de Las Palmas de Gran Canaria a lo largo de estos últimos años, cuya finalidad era diseñar un sistema de comunicaciones digitales de bajo retardo que funcionara de una forma estable y de manera transparente para el usuario. El objetivo ha sido el diseño, implementación y verificación en enlaces reales de un sistema de comunicaciones completo que permita transmitir voz digital interactiva (sin retardo apreciable), a través del enlace ionosférico. Presentado por Aena, este trabajo ha sido dado a conocer en varias reuniones plenarias y grupos específicos de la OACI (Organización Internacional de Aviación Civil) con objeto de promover que el sistema equie a las aeronaves comerciales, complementando las actuales prestaciones del sistema HF DL (Transmisión de Datos por Enlace HF). Todas aquellas personas que hayan tenido contacto con la transmisión de voz analógica mediante un enlace HF pueden confirmar que la inteligibilidad de la comunicación es muy reducida debido al desvanecimiento del canal y la muy molesta presencia del ruido. La voz digital codificada a 2400 bps (bits por segundo) proporciona una calidad muy aceptable, donde además el ruido no está presente. Aunque la aplicación inicial ha sido el sector aeronáutico, el sistema es extensible, de forma inmediata, a otras aplicaciones de comunicaciones de largo alcance en entornos de defensa, seguridad, salvamento marítimo, diplomático, etc.

Las comunicaciones HF cayeron en desuso con la aparición del satélite, debido fundamentalmente a la clara mejora de calidad y a la casi total

garantía de disponibilidad mundial, a costa de un notable incremento del coste. Debido a ello, HF quedó limitado a sistemas de reserva y emergencia, o a casos de información de baja prioridad que pueda ser recibida durante un cierto tiempo con calidades mediocres.

Aena y los grupos de investigación iniciaron a finales de los noventa un estudio del sistema HF DL que estaba siendo desarrollado en ese momento por la OACI. Entre otras cosas, se concluyó que el nuevo sistema era en realidad una adaptación con cambios mínimos de un sistema militar MIL-STD-188-110A desclasificado a finales de los años ochenta y por tanto diseñado posiblemente hacía más de una década.

El sistema HF DL, dado su origen militar, es de una gran robustez para garantizar la transmisión de datos de baja velocidad (hasta 1800 bps) en un entorno tan hostil como HF. Sin embargo, por ser un diseño tan antiguo, sus prestaciones se basan en herramientas convencionales que tienen grandes limitaciones, mitigadas en parte por la inclusión de un retardo importante. Este retardo, de varios segundos en muchos casos, no tiene ningún impacto en las comunicaciones de datos pero imposibilita la transmisión de cualquier tipo de comunicación interactiva, como es el caso de la voz.

La pregunta que nos hicimos por tanto hace unos años fue: ¿Es posible una comunicación HF sin retardo, continua en el tiempo y de mayor calidad?.

La respuesta fue encontrada en un ámbito mucho más activo tecnológica-

mente que el HF y que también se enfrentaba a importantes retos científicos: los sistemas de comunicaciones móviles de tercera (3G, UMTS) y cuarta generación (4G).

El objetivo de este trabajo era proponer a la OACI, una vez que se hubieran realizado pruebas en un enlace real, un sistema complementario al HF DL, denominado HFD+VL (HF Data+Voice Link, Transmisión de Datos+Voz por Enlace HF) que permitiera, a voluntad, transmitir datos HF DL o voz digital interactiva HF VL.

El retardo en comunicaciones ionosféricas

Los sistemas de comunicaciones en la banda de HF (3-30 MHz) realizan transmisiones transhorizonte, utilizando a la ionosfera como reflector natural y así, alcanzar en uno o varios saltos coberturas prácticamente globales. Complementario al enlace vía satélite (Figura 1), permite comunicar dos puntos muy alejados con una infraestructura y precio mínima.

Es fundamental tener en cuenta las características del canal de HF para entender la solución adoptada. Por un lado, en HF se produce un fenómeno de multicamino (la señal se refleja en varias capas de la ionosfera) y por otro, el canal cambia con el tiempo (la ionosfera es un medio dinámico, natural, muy dependiente de la actividad solar). Esto justifica por qué el entrelazado juega un papel tan importante en los sistemas convencionales y por qué, por tanto, el retardo ha sido aceptado como inevitable en estas aplicaciones:

- El multicamino implica dispersión

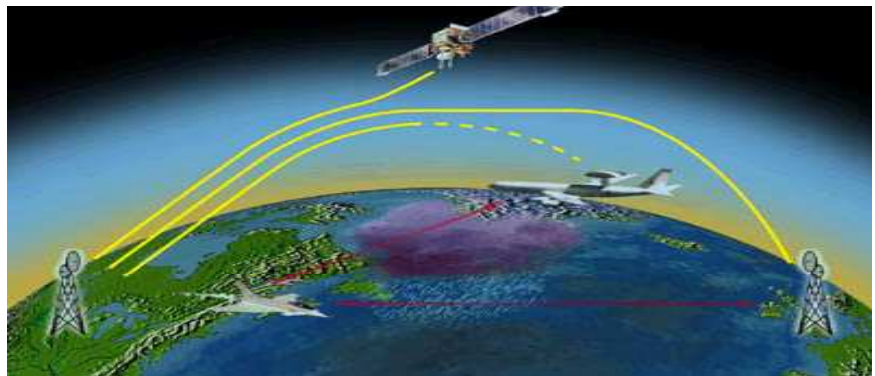


Figura 1. Sistemas de comunicaciones aeronáuticas

temporal de la energía transmitida y supone un fenómeno de interferencia entre símbolos, que hace que el proceso de igualación (también conocido como ecualización de canal) sea una operación muy compleja y crítica en el receptor, limitando las prestaciones del sistema.

- La variabilidad temporal del canal supone desvanecimientos completos de la señal que el usuario percibe como pérdida del enlace.
- En los sistemas convencionales el entrelazado rompe las ráfagas de error que se producen por el efecto combinado de ambos factores ayudando así a que el proceso de decodificación funcione adecuadamente. Estos entrelazados son muy grandes e introducen retardos de varios segundos.

La alternativa desarrollada se basa en modulaciones tipo OFDM (Multiplexación por División en Frecuencia Ortogonales) y en particular un esquema denominado MC-CDMA (Sistema de Acceso por División de Código sobre Multiportadora) que combina las ventajas de OFDM y de los modernos sistemas de espectro ensanchado de tipo CDMA.

El sistema OFDM consiste en descomponer la señal a transmitir en un conjunto de portadoras de banda estrecha denominadas subportadoras, convirtiendo la transmisión serie en una transmisión paralela. En la Figura 2 se presenta el proceso de generación de señal a transmitir, donde se observa cómo los símbolos en serie pasan por un convertidor de serie a paralelo. El convertidor reparte de forma ordenada los símbolos que le llegan a cada una de las salidas, quedando el símbolo 1 ubicado en la salida 1, el 2 en la 2, y así sucesivamente hasta la N. Una vez disponibles los N símbolos, cada uno es modulado por una portadora (f_1, f_2, \dots, f_N) y finalmente combinados para formar el símbolo OFDM definitivo compuesto de N símbolos en paralelo. La modulación de cada una de las subportadoras se realiza de manera convencional con el esquema de modulación que se desee (PSK o QAM). El sistema OFDM es por tanto una modulación de tipo multiportadora frente a los esquemas clásicos (como el HFDL) donde toda la información

depende de una única portadora, y que por tanto es monoportadora.

Obsérvese que el símbolo OFDM resultante tiene una duración temporal N veces mayor que cada uno de los símbolos serie. Esta característica es la que hace, en parte, que la forma de onda OFDM sea extraordinariamente robusta frente a canales muy hostiles, por lo que ha sido seleccionada como forma de onda para numerosos sistemas WLAN (Redes de Área Local Inalámbricas) como Wi-Fi, WiMax, sistemas de radiodifusión de audio y vídeo (DAB, DVB), transmisiones por cable (xDSL, PLC) o futuros sistemas móviles como LTE. El sistema OFDM presenta dos ventajas importantes:

- Debido al incremento considerable de la longitud del símbolo, el efecto del multicamino es prácticamente irrelevante, por lo que se evitan los problemas asociados a los complejos y críticos igualadores convencionales de los sistemas monoportadora, como el del HFDL.
- Debido a que ahora se puede

frecuencia (se dispone de diferentes portadoras) como en el tiempo (los sucesivos símbolos OFDM) es posible introducir señales de entrenamiento para conocer el canal de una manera mucho más eficiente que en los esquemas clásicos.

Pero OFDM, aún siendo más robusto que los sistemas monoportadora, por sí sólo no es suficientemente robusto para los canales HF si, como se indicó anteriormente, se debe obviar el uso de entrelazadores que introducen retardo en las comunicaciones. Por ello se tuvo que ir un paso más adelante, y optar por una estrategia que se podría denominar de espectro ensanchado tipo MC-CDMA. En realidad no es espectro ensanchado, puesto que se respeta la canalización estándar de HF de 3KHz, sino que lo que se hace es transmitir todos los símbolos por todas las portadoras de manera simultánea utilizando un conjunto de códigos ortogonales de ensanchamiento del tipo que se utilizan en comunicaciones móviles como UMTS (Figura 3). De esta forma todas las portadoras de

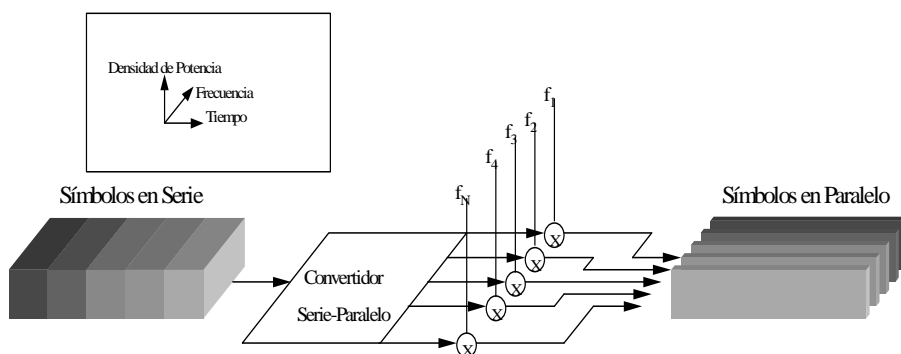


Figura 2. Sistema de Transmisión OFDM

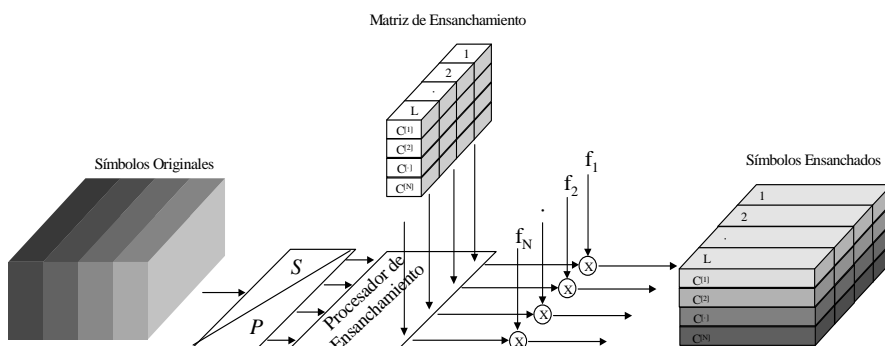


Figura 3. Sistema MC-CDMA. Ensanchamiento por códigos ortogonales

información de cada uno de los N símbolos transmitidos, lo que lleva a que, ante una situación adversa del canal donde se dé la anulación o desaparición de algunas portadoras, puedan ser recuperados los N símbolos mediante un adecuado procedimiento de reconstrucción de la información. Las pruebas realizadas durante largos periodos de tiempo, muestran que el sistema se vuelve extraordinariamente robusto incluso sin codificador ni entrelazado.

Módem HF para voz digital interactiva: diseño y desarrollo

El módem desarrollado es un software que se ejecuta en dispositivos de propósito general (p.e. ordenador personal) con total flexibilidad (módem de Radio Software). Sus principales características son:

- Se utilizan símbolos OFDM de duración total 1/30 segundos.
- La frecuencia de muestreo es de 9600 Hz, lo que permite utilizar los dispositivos de audio habituales disponibles en los ordenadores de propósito general.
- Se utilizan en total 73 portadoras con una separación entre ellas de $Df=37,5$ Hz, ocupando un ancho de banda total de 2737 Hz, encajando así en la máscara espectral de las transmisiones en HF. Los pilotos de estima de canal son en total 13, dedicándose por tanto 60 portadoras a datos.
- El diseño de los pilotos sigue un patrón deslizante en la rejilla tiempo-frecuencia para evitar unos persistentes. El procedimiento de interpolación tiempo-frecuencia para la estima completa del canal se ha demostrado que funciona correctamente en enlaces reales. Este diseño se realizó para el peor de los canales, teniendo en cuenta los márgenes de coherencia de cada una de las dimensiones. En la Figura 4 se puede observar el comportamiento para un canal simulado.
- La modulación QPSK es la más robusta y proporciona las velocidades de información requeridas. Con 60 portadoras de datos y la duración del símbolo, se puede proporcionar hasta 3600 bps. Si se considera el uso del codificador

de voz MELP funcionando a 2400 bps, es posible robustecer el sistema mediante codificación u otros mecanismos para reducir de 3600 a 2400. Teniendo en cuenta el proceso de ensanchado utilizado, el módem final funciona a 2460 bps, utilizando los 60 bits no necesarios para corregir ajustes del sistema.

El aspecto más destacable del desarrollo es la implementación de avanzados algoritmos de detección multiusuario que permiten resolver de forma eficiente la interferencia que producen los distintos símbolos que se transmiten simultáneamente mediante la modulación MC-CDMA. Se ha demostrado que el detector multiusuario es la estrategia de detección óptima en estos escenarios

Plataforma de comunicaciones HFD+VL (HF Data+Voice link)

La plataforma de pruebas desarrollada se basa en unos equipos profesionales de Rohde-Schwarz XK2100L (idénticos tanto en Madrid como en Las Palmas) y un PC en el cual se integra el módem. En la Figura 5 se aprecia la arquitectura HFD+VL basada en el concepto cliente-servidor. El cliente contiene la interfaz gráfica de usuario (GUI) y el codificador de voz MELP y es el lado en el que se ubica el usuario. El servidor contiene el módem HFD+VL y controla al transceptor HF. La conexión entre ellos se realiza vía Ethernet, pudiendo estar ambos corriendo en un mismo ordenador si así se requiere. Las medidas de retardo global han verificado que en entornos de red LAN se obtienen valores infe-

riores a 200 ms, encontrándose la mayor parte del tiempo entre 125 a 150 ms.

En la Figura 6 se muestran las prestaciones de BER conseguidas comparándolas con las disponibles públicamente de un módem OFDM de 39 tonos MIL-STD-188-110A. Se observa que a nivel de simulación el módem desarrollado presenta unas prestaciones muy superiores en las mismas condiciones de canal HF (canal moderado ITU-R), con la diferencia a favor del módem HFD+VL que éste prácticamente no introduce retardo en la comunicación.

Así mismo se aprecia el comportamiento obtenido en pruebas de enlace real entre Madrid y Las Palmas, donde se observan mejores prestaciones aún que en canal simulado. Esto se debe a que las condiciones de canal en las que se hicieron estas pruebas son más benévolas que las generadas por el canal simulado.

En la página Web (www.hfdvl.eu) se pueden encontrar grabaciones reales en el enlace Madrid-Las Palmas así como las publicaciones realizadas en este ámbito por los grupos de investigación en los últimos años.

Capacidad del sistema para soportar otras aplicaciones

El sistema de comunicaciones desarrollado puede ser fácilmente extendido a la transmisión de datos. Por un lado al tratarse de un módem, puede ser usado tal cual por un sistema externo como pueden ser aplicaciones conocidas del tipo TX-ARQ. Por otro lado la arquitectura permite ser expandida

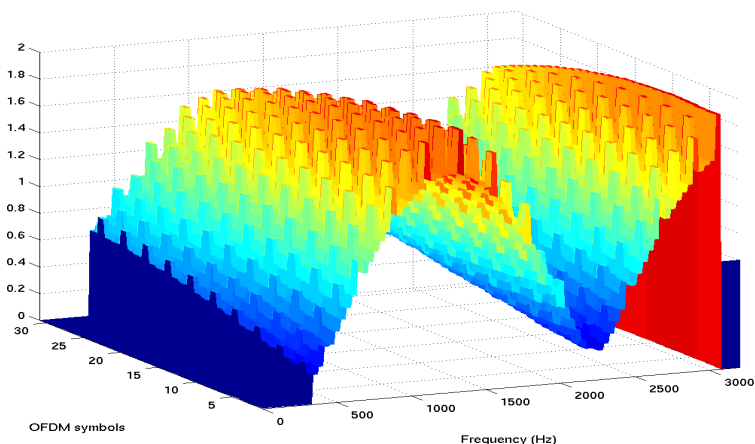


Figura 4. Estimación de canal realizada por el modem durante un segundo (con portadoras piloto resaltadas). Canal de 2 rayos, 0,5 mseg de dispersión temporal y 0,2 de dispersión Doppler.

tecnología en profundidad

añadiéndole las funcionalidades que hagan que el sistema se adapte a las peculiaridades de la transmisión de datos.

En el primer caso se dispondría de un módem de 2460 bps, pero con la peculiaridad de un retardo mínimo. Debido a ello, la tasa neta de transmisión se incrementa notablemente, ya que en situaciones hostiles del canal, el grado de retransmisiones solicitadas es muy elevado. En un módem convencional, cada retransmisión sufre del retardo requerido por los sistemas de entrelazados, que como ya se ha comentado es del orden de segundos. En el módem HFD+VL se trata de poco más de 100ms. Esto supone que, en comparación con el módem convencional y en función del tamaño de entrelazado de éste, la velocidad de retransmisión se ve incrementada en factores de decenas, aumentándose la tasa neta de transmisión y reduciéndose significativamente el tiempo dedicado al envío de cada mensaje.

En el segundo caso, actualmente ya se dispone de un primer prototipo que permite alcanzar velocidades de hasta 8600bps de tasa neta. El diseño actual contempla los siguientes aspectos novedosos:

- Se puede asumir una cierta latencia (del orden de segundos) en la mayor parte de las aplicaciones. Este aspecto es favorable porque relaja las restricciones que hemos impuesto para el diseño

del módem de voz por lo que podemos beneficiarnos del principio de diversidad temporal mediante el uso de entrelazadores. Como ya hemos comentado anteriormente, el entrelazado es clave para que los codificadores funcionen correctamente.

- Se requieren tasas de error mucho más bajas que para voz del orden de 10^{-4} – 10^{-5} , lo que obliga a un replanteamiento del sistema tanto de la capa física como de la capa de enlace. Estas tasas fuerzan claramente al uso de potentes esquemas de codificación. Teniendo en cuenta el estado del arte, los códigos que presentan mejores prestaciones están basados en estructuras realimentadas 'turbo' o LDPC.
- Se utiliza una modulación OFDM ya que en este caso se dispone de potentes esquemas de codificación que compensan las pérdidas de portadoras.

Todas estas aplicaciones exceden el objetivo del presente artículo, y serán tratadas en próximas publicaciones.

Conclusiones y líneas futuras

En este artículo se han presentado, de forma resumida, las principales contribuciones del trabajo realizado por los grupos de investigación y Aena para lograr la transmisión de voz digital interactiva. Este estudio está en una fase de cierta madurez, realizándose

pruebas permanentes de forma automática entre estaciones. La investigación se enfoca actualmente en otro conjunto de temas que tienen como objetivo poder garantizar un enlace estable y permanente, tanto para la aplicación de transmisión de datos como de voz.

La base de las contribuciones futuras está en un desarrollo HW de un transceptor de banda ancha de 1 MHz de ancho de banda que va a permitir hacer transmisiones selectivas en distintas bandas de frecuencia (dentro del margen del transceptor) ya sea para monitorizar el enlace y dar comandos de control, como para realizar transmisiones en bandas alternativas y poder combinar las señales recibidas de forma óptima y robustecer así el sistema frente al desvanecimiento. Se destacan dos líneas fundamentales:

- Funcionamiento integrado y simultáneo de la transmisión de información y de sondeo de canal: esta estrategia generaliza el concepto clásico de ALE (Establecimiento Automático de Enlace) dando lugar a lo que hemos denominado ALMA (Gestor Automático de Enlace) que sondea de forma automática todos los canales disponibles utilizando el transceptor de banda ancha, permite decidir cuál es el canal más adecuado para la transmisión instantánea y gestionar de forma transparente para el usuario el cambio de canal, de manera que

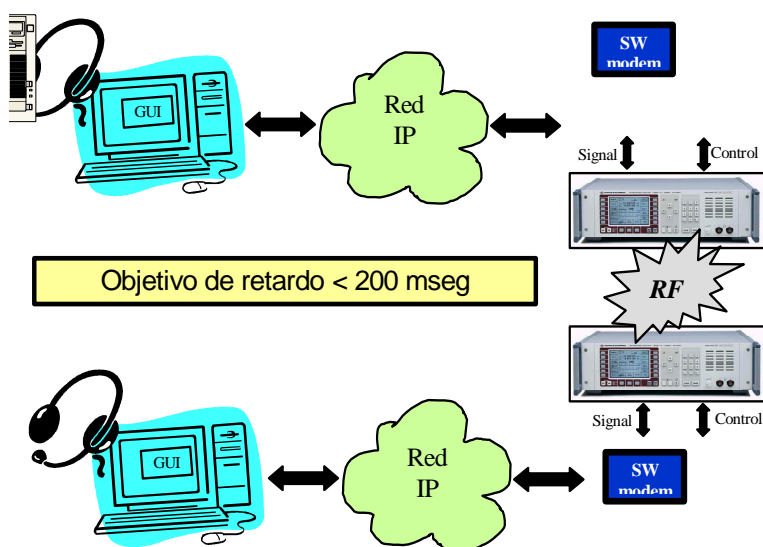


Figura 5. Arquitectura de comunicaciones HFD+VL y montaje físico del lado servidor

éste perciba el enlace de HF como estable y permanente.

- Transmisión multibanda / multiantena para sacar provecho de la diversidad frecuencial y espacial y así robustecer al sistema frente al desvanecimiento completo de la señal.

Interés para Defensa

Dentro de Defensa, la aplicabilidad es obvia. Las actuales operaciones en las que se ven envueltas las Fuerzas Armadas se extienden mucho más allá del horizonte visual dentro del mismo despliegue. Ello está conduciendo a que para las comunicaciones intra-batallón cada vez sea más necesario el empleo de sistemas en HF sobre los de VHF/UHF, ante la complejidad, difícil disponibilidad y coste del empleo del satélite. La mejora de la calidad en las comunicaciones, tanto de voz como de datos sobre HF, que se consigue con los trabajos presentados en el presente artículo, así como la versatilidad de su implementación en software para futuros sistemas basados en Radio Software, permite aventurar la posibilidad de un óptimo empleo de los trabajos aquí expuestos por parte de las FAS.

Debido al interés mostrado por los diferentes Ejércitos, a finales de febrero de 2008 se realizaron pruebas del sistema HFDVL en las instalaciones que el Ejército del Aire tiene en Zaragoza. Las comunicaciones de pruebas, que resultaron completamente satisfactorias, se realizaron entre Zaragoza y la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Así mismo,

en estos momentos se está acometiendo el proceso necesario para realizar el mismo tipo pruebas por parte de la Armada

- El equipo de trabajo lo forman el Grupo de Aplicaciones del Procesado de la Señal (GAPS) de la ETS de Telecomunicación de la UPM y el Centro Tecnológico para la Innovación en Comunicaciones (CeTIC) en la ULPGC. El efecto combinado de ambos grupos ha posibilitado el desarrollo teórico y la implementación práctica con pruebas reales de un sistema de comunicaciones completo. Queremos destacar, y agradecer, que toda esta actividad no hubiera sido posible sin la financiación y apoyo de Aena, que desde 1998 viene manteniendo la línea de investigación en las comunicaciones HF. Especialmente queremos mostrar esta gratitud a D. Eleuterio Esteban del Pozo, que siempre mantuvo la ilusión de llevar a buen puerto el trabajo que se estaba realizando.

Las personas implicadas, actualmente o en el pasado, en los equipos de investigación

son las siguientes:

Universidad Politécnica de Madrid

- Director de los proyectos: Dr. Santiago Zazo Bello
- Colaboradores: Dr. Ivana Raos, Dr. M. Julia Fernández Getino, Dr. José Manuel Páez Borrallo

Universidad de Las Palmas de Gran Canaria

- Director de los proyectos: Dr. Iván A. Pérez Álvarez
- Colaboradores: Dr. Eugenio Jiménez Yguacel, Ing. Eduardo Mendieta Otero, Ing. Héctor Santana Sosa, Ing. Javier López Pérez, Ing. Juan P. Fernández Cabrera, Ing. Baltasar Pérez Díaz, Ing. Samuel Rodríguez Martín, Ing. Lourdes Suárez Torres, Ing. Adrián Segura Cabrera, Ing. Laura Piñero Prieto, Ing. Esther Lidia Guerra Morales, Ing. Yaiza Rosales Medina, Ing. Ricardo Pérez Expósito Rosales Medina, Ing. Ricardo Pérez Expósito -

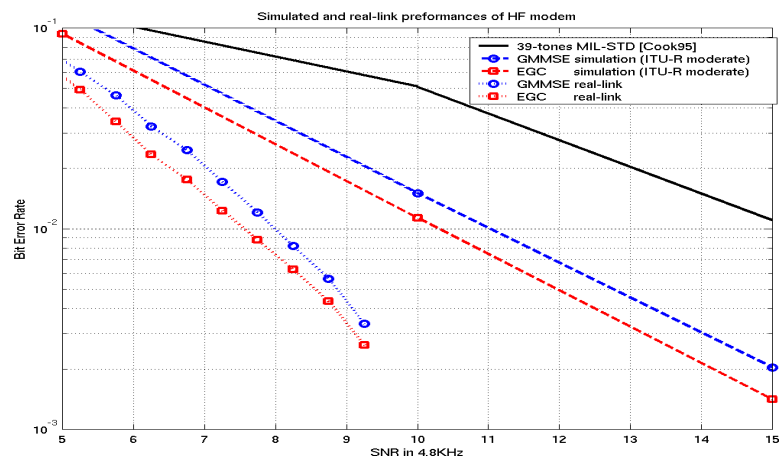


Figura 6. Comparativa de prestaciones entre el modem HFD+VL y el 39 tonos MIL-STD-188-110A.

agenda

4ª Conferencia Internacional Hydrail

9 de junio, 2008. Valencia (España)

<http://www.hydrail.org>

XIV Congreso Ibérico y IX Congreso Iberoamericano de Energía Solar CIES 2008

Del 17 al 21 de junio, 2008. Vigo (España)

<http://www.wwebs.uvigo.es/cies2008>

VIII Congreso de la Ingeniería del Transporte

Del 2 al 4 de julio, 2008. A Coruña (España)

<http://www.cit2008.org>

4th NBC International Conference and Exhibition

Del 28 al 30 de octubre, 2008. Brno (República Checa)

<http://www.surreyhouseuk.com>

RTO NATO MEETINGS:

SCI-195 Lecture Series on "Advanced Autonomous Formation Control and Trajectory Management Techniques for Multiple Micro UAV Applications"

22 y 23 de mayo, 2008. (España)

SCI-187 Symposium on "Agility, Resilience and Control in NEC"

9 de mayo, 2008. (Holanda)

<http://www.rto.nato.int>

Boletín de Observación Tecnológica en Defensa

Disponible en <http://www.mde.es/dgam/observatecno.htm>