

Boletín

DE OBSERVACIÓN TECNOLÓGICA EN DEFENSA



SUBDIRECCIÓN GENERAL DE TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN
Boletín de Observación Tecnológica en Defensa nº 31 • 2º Trimestre de 2011

Hélices CLT: tecnología BAM

- Proyecto SIMPLE
- El futuro en nuestra voz
- El reto del ahorro energético en UNAMID



Edita:



NIPO: 075-11-165-4 (papel)

NIPO: 075-11-164-9 (en línea)

Depósito legal: M-8179-2009

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

Director: CF Ing José María Riola Rodríguez.

Redacción: Patricia López Vicente.

Consejo Editorial: Cap. Aurelio Hinarejos Rojo, Oscar Jiménez Mateo, Tomás A. Martínez Piquer, José Agrelo Llaverol. **Equipo de Redacción:** Nodo Gestor: Guillermo González Muñoz de Morales, David García Dolla; Observatorio de Armas, Municiones, Balística y Protección (OT AMBP): Jorge Lega de Benito; 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): T.Col. Alfredo Fernández López, 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): Col. CIP Manuel Engo Nogués; Observatorio de Tecnologías de la Información, Comunicaciones y Simulación (OT TICS): Ing. D. Francisco Javier López Gómez, Fernando Cases Vega, Nuria Barrio Santamaría.

Portada: imagen del ensayo de cavitación y CTL instalada en el BAM, artículo "Hélices CTL: tecnología BAM" (Imagen del CEHIPAR).

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

Colaboraciones y suscripciones:

observatecno@oc.mde.es

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



DGAM
Subdirección General de Tecnología e Innovación

CONTENIDOS

Editorial

Actualidad

- 4 Desarrollo de capacidades NBQ
- 6 RTO-SET-123: Nanotecnología y manipulación electromagnética
- 7 Jornada sobre soluciones tecnológicas en C-IED
- 8 6ª Jornadas de presentaciones de empresas DISA
- 8 Jornada "Robótica en el sector de la seguridad y la defensa"
- 9 Convenio de colaboración con INNOVAMAR
- 9 Jornada de difusión sobre el Programa EFC-JIP CBRN
- 10 Tecnologías de doble uso: I+D al servicio de la sociedad

Tecnologías Emergentes

- 11 El reto del ahorro energético en UNAMID
- 15 El futuro en nuestra voz
- 18 Proyecto SIMPLE

En profundidad

- 22 Hélices CTL: tecnología BAM

El Programa COINCIDENTE

Es observable que desde hace al menos dos décadas las transferencias tecnológicas entre el mundo civil y el de defensa evidencian que los ministerios de defensa no lideran, salvo excepciones, la revolución tecnológica, siendo ésta liderada cada vez más por la dinámica de los desarrollos tecnológicos en la sociedad civil. En este contexto, y aceptándose también que las tecnologías no son ya específicamente de defensa o específicamente civiles, sino que la tecnología es una y lo que difieren son sus aplicaciones, se anticipa que parece más que probable que en los próximos años el I+D de defensa ya no va a ser la fuente mayoritaria de tecnologías de base, sino que ligado al I+D civil será principalmente fuente de avances incrementales de tecnologías desarrolladas por éste. La velocidad de los cambios tecnológicos y el hecho de que ya no estén liderados directamente por el sector de defensa le requerirán un esfuerzo para la incorporación de los resultados obtenidos y el control de la tecnología, tanto en términos de oportunidad como de amenaza.

Todo esto plantea al I+D de Defensa el doble desafío de por un lado saber orientar e incorporar los avances existentes a las necesidades militares y por otro lado, mantener el liderazgo y empuje tecnológico en esas otras áreas, de interés puramente militar, donde el I+D civil no está desarrollando esfuerzos.

En el ámbito europeo se identifican ya los primeros pasos formales para buscar sinergias y explotar complementariedades entre los esfuerzos de I+D civiles y de defensa. En el ámbito nacional cabe señalar que existen diversos instrumentos que

permiten fomentar el I+D en el sector civil, y desde el mundo de la Defensa debemos aprovechar este empuje para aplicar los desarrollos resultantes al ámbito militar. Un ejemplo de este tipo de herramientas es el Programa de Cooperación en Investigación Científica y Desarrollo de Tecnologías Estratégicas (Programa COINCIDENTE), que constituye un vehículo capacitador de las PYMES, universidad, organismos de I+D y empresas en general, en aquellas áreas tecnológicas que son de interés para Defensa.

Se trata de un programa promovido por la DGAM cuyo objetivo principal es aprovechar las tecnologías desarrolladas en el ámbito civil para su aplicación innovadora en proyectos con funcionalidad militar, que cubran necesidades demandadas actualmente o futuras. La última convocatoria al Programa se publicó el 19 de mayo del 2011, indicándose las áreas tecnológicas prioritarias en las que deben enmarcarse las propuestas, todas ellas incluidas en la Estrategia de Tecnología e Innovación para la Defensa (ETID).

No cabe duda de la necesidad de adaptación a un entorno cada vez más tecnológico, ya que los ministerios de defensa son por naturaleza grandes consumidores de tecnología, por lo que hay que fortalecer mecanismos para la incorporación del conocimiento científico-tecnológico en sus sistemas, lo que significa desarrollar sinergias entre aplicaciones de seguridad civiles y militares. En esta incorporación al nuevo entorno, se enmarcan las actividades de I+D de la SDG TECIN como este Programa COINCIDENTE.

Actualidad

Desarrollo de capacidades NBQ

Cap. Francisco Javier Ruiz Peñalba, Área NBQ y Materiales/ITM

Bajo el lema "Una visión nacional en un entorno multinacional" y coincidiendo con el 20º aniversario de la Reunificación Alemana, tuvo lugar los días 30 de noviembre y 1 de diciembre el 1º Simposio sobre desarrollo de capacidades NBQ en el Palacio de Congresos de Berlín, organizado por el Ministerio de Defensa de la República Federal de Alemania y la Asociación Alemana de Tecnología para la Defensa.

Se articuló en 4 sesiones plenarias, estructuradas en temas de interés político, aspectos técnicos y defensa NBQ civil y militar, 2 sesiones de paneles técnicos y una exposición estática.

Durante el transcurso de las primeras y como interés político, se expusieron las decisiones tomadas en la reciente cumbre de Lisboa (19/11/2010), relacionadas con las funciones y misiones de la EDA y la NATO, que hasta ahora eran comunes y estaban duplicadas. Se decidió que la EDA se responsabilice del desarrollo de capacidades de investigación y la OTAN lo haga de la ejecución de actividades. Sobre la relación entre C-IED y CBRN, se determinó que son áreas diferentes, pero que mantendrán una colaboración cuando se vean implicadas actividades relacionadas con la química.

Para la OTAN será de vital importancia descubrir nuevas amenazas y en qué escenario se presentan, así como definir qué requisitos necesita. Esto permitirá que las naciones puedan reducir los gastos, sus presupuestos y adaptar sus ejércitos a lo que la OTAN necesite.

A corto plazo, se espera la firma del nuevo tratado START III, que reducirá la disponibilidad de material NBQ. También se indicó, por parte de varios conferenciantes, que las cuatro fases a ejecutar en una respuesta colectiva a cualquier evento NBQ deben ser: prevenir, proteger, responder y recuperar.

Entre las nuevas tecnologías mostradas destacaban equipos de varios fa-

bricantes para descontaminar todo tipo de vehículos y aeronaves, el interior de los mismos, personal y equipo, material sensible y terrenos, empleando tecnologías de vacío, fluidos a presión, termoaerosoles, extracción de gases y "descontaminación vertical".

También fueron de interés los nuevos tipos de materiales descontaminantes con mayor y más rápida biodegradabilidad, de gran importancia para actuaciones en entornos civiles, tanto para agentes específicos (N, B y Q), como genéricos.

En las operaciones de planeamiento de gestión de crisis y emergencias civiles en las que participe la OTAN, se contempla el planeamiento, la instrucción y procedimientos específicos, despliegue de expertos civiles, expertos OTAN para apoyar a las autoridades civiles y el uso de capacidades no militares.

Se hace una llamada de atención a un esfuerzo coordinado para un mejor aprovechamiento de los recursos económicos y la utilización de la tecnología en el campo de la seguridad y la investigación, tanto para el uso civil como el militar.

Se puso de manifiesto la necesidad de normalización, compartir información, utilización de escenarios reales y creación de instalaciones NBQ civiles, para que no sea sólo una responsabilidad militar.

En relación con la investigación y desarrollo, se consideró de importancia involucrar a los usuarios finales con el objetivo de establecer buenas prácticas

demostraciones en el que se identificarán errores o faltas y se podrán recomendar mejoras. También será necesario tanto instrucción real como trabajo en simulación.

El área de mayor sensibilidad a nivel civil es el riesgo de contaminación del agua potable y la garantía de su suministro en condiciones salubres, por lo que se está potenciando la detección y análisis de dicha área.

Dentro de las capacidades NBQ del ejército alemán, se puede ver la capacidad de potabilización de agua y el envasado de la misma en formato de bolsa de gran resistencia y con capacidades de 250 y 500 cm³.

Sobre los desafíos y soluciones de la defensa biomédica, la pronta identificación de los agentes causantes de una plaga o epidemia es crucial. Requiere de la disponibilidad de dispositivos de diagnóstico desplegados de campaña así como un amplio abanico de ensayos de confirmación basados en últimas tecnologías, cuya disponibilidad comercial es actualmente escasa.

Además de los agentes biológicos artificiales con más probabilidad de aparecer en un evento, surge una nueva serie de amenazas de agentes naturales. La resistencia creciente de virus y bacterias, es también uno de los nuevos desafíos y amenazas.

Deben evolucionarse las técnicas bioforenses para tomar las "huellas dactilares" de los agentes biológicos, para permitir identificar y trazar cada cadena a través de una base de datos.



Fig. 1. Escenario del congreso.

El perfeccionamiento y uso de nuevas tecnologías en los equipos científicos y el uso de materiales COTS (*comercial off the shelf*), han permitido reducir a un 20% su volumen y masa en los últimos 10 años. Estos avances permiten el desarrollo de vehículos de menor tamaño y más ligeros, tanto de reconocimiento como de identificación, la inclusión de más equipos en el mismo volumen integrando los sensores N, B y Q, junto con los sensores meteorológicos, los sistemas de comunicaciones y de navegación. Disponen

de capacidad para recogida de muestras mediante un brazo robotizado o sondas de recogida de muestras, protección balística y capacidad de auto-defensa y ocultación.

La divulgación de conocimientos y la disponibilidad de materiales relacionados con el ámbito nuclear y radiológico (de uso industrial y médico, fuentes huérfanas, armas y componentes de las mismas, manejo y almacenamiento de fuentes, dispositivos radiológicos improvisados y ataques terroristas y de otra naturaleza) hacen que exista una amenaza potencial posible y creíble, y que requiere un manejo experto y especiales medidas de protección.

Para reducir o eliminar las amenazas NBQ es necesario aumentar las capacidades de detección, establecer procedimientos precisos y efectivos, obtener una mayor capacidad de captación de información y hacer un eficiente intercambio de la misma. También sería necesario utilizar UAVs (*Unmanned Aerial Vehicles*) y UGVs (*Unmanned Ground Vehicles*), efectuar reconocimientos e identificaciones rápidas y fiables, hacer

uso de CIMIC y finalmente establecer sistemas de gestión de crisis.

Para prevenir actos terroristas mediante detección temprana de material nuclear y radiológico ilícito in-situ es importante la capacidad de detección, pero lo es más la capacidad de identificación in-situ del material radiactivo, así como que dichos instrumentos sean muy sensibles mediante el perfeccionamiento y uso de blindajes especiales, principalmente de DU (*Depleted Uranium*).

Actualmente, se están investigando sistemas de detección pasivos muy sensibles para radiaciones gamma y de neutrones, que incluyen tecnologías para eliminar el fondo natural (NBR - *Natural Background Rejection*) y con misiones para el escaneado de edificios. También equipos móviles (MDS - *Mobile Detection System*) o fuentes móviles (MPMS - *Mobiles Portal Monitor System*) para detectar, identificar y ubicar posibles localizaciones de emisores gamma o controlar sus movimientos a distancia.

En el campo de los biosensores también se están obteniendo avances para detectar radiaciones mediante bacterias sensibles a las radiaciones que producen bioluminiscencia. El inconveniente a solventar es que no es posible la lectura en tiempo real.

Finalmente, debido a la climatología invernal, se pudo observar que equipos con finalidades específicas en entornos civiles podrían ser utilizados en caso de incidentes NBQ y en este caso particular en descontaminación de equipos pesados.



Fig. 2. Exposición material NBQ.



Fig. 3. Equipos potencialmente utilizables para actividades de descontaminación NBQ de material.



Fig. 4. Demostración de la agencia alemana de emergencias tecnológicas.

RTO-SET-123: Nanotecnología y manipulación electromagnética

Julio Plaza del Olmo, Área de Optrónica y Acústica, ITM

Desde noviembre de 2006, y hasta marzo de 2010, se desarrolló la actividad del grupo SET-123/RTG-067 "Nanomaterials for sensors, sources and Electromagnetic manipulation". El grupo se creó como consecuencia del grupo exploratorio SET-ET-040, donde se identificaron distintos tipos de nanotecnologías interesantes para la seguridad y defensa.

El grupo estuvo liderado por Estados Unidos y tuvo participación activa de 6 países: Estados Unidos (AFRL), Canadá (DRDC), Turquía (Universidad de Bilkent), Reino Unido (DSTL), Noruega (FFI) y España, representada inicialmente por el CIDA y por el INTA.

El grupo tuvo cuatro temas principales de trabajo. El primero, estructuras cuánticas para detectores sintonizables, fue liderado por EE.UU. y buscaba el desarrollo de sensores capaces de detectar una banda estrecha de radiación, que pudiera ser seleccionada a través de la aplicación de un voltaje externo. Este tipo de detectores permitirían la detección multispectral de objetivos con un único elemento sensor, facilitando su integración en distintos tipos de plataformas. En este tema de trabajo, se consiguió la colaboración del Instituto de Sistema Optoelectrónicos y Microelectrónica (ISOM) de la UPM, y se desarrolló un

método de fabricación de este tipo de sensores.

El segundo tema, liderado por Canadá, se dedicó al estudio de los nanotubos de carbono (CNT) y su viabilidad como sensores de infrarrojo. El crecimiento de CNTs en grandes superficies es posible hoy día gracias a técnicas de depósito de vapor químico (CVD), que en combinación con técnicas de plasma (PE-CVD) permiten que los CNTs crezcan en vertical y alineados. Con esta configuración, los CNTs pueden ser sensibles a la radiación IR. Además, la dependencia del diámetro de los CNTs de las condiciones de crecimiento hace posible diseñar una respuesta espectral concreta. El trabajo realizado permitió comprobar la posibilidad de crecer los CNTs en esta configuración, aunque no fue posible medir la respuesta frente a radiación IR. También se identificaron otras posibles dificultades para el desarrollo de dispositivos, como la forma de crear contactos por donde extraer la fotocorriente o la temperatura de crecimiento, por el momento incompatible con la integración de tecnología CMOS, lo que dificulta la lectura de la señal eléctrica generada.

El tercero de los temas trabajados liderado por Noruega, fue el desarrollo de fuentes de único fotón (*Single-Photon Sources*, SPS). Este tipo de dispositivos, en combinación con detectores de único fotón (*Single-Photon Detectors*, SPD) están orientados a la distribución segura de claves en criptografía cuántica, donde la clave se distribuye en forma de fotones con una polarización determinada. Debido a las propiedades de la mecánica cuántica,

si un fotón es interceptado y observado por alguien no autorizado, su estado de polarización cambiará. De esta forma es posible detectar que el canal de comunicación no es seguro. Para ello, sin embargo, es necesario contar con fuentes y detectores que transmitan y reciban un único fotón cada vez.

El FFI (Noruega), junto con QinetiQ (UK), trabajaron en el diseño de un dispositivo SPS basado en la generación de Ondas Acústicas de Superficie (SAWs) en estructuras p-n. La onda acústica confinarían electrones en el lado p, que tras pasar por una puerta estrecha, se recombinarían uno a uno en el lado n de la estructura, consiguiendo la emisión de un único fotón con una velocidad determinada por la frecuencia de la onda acústica. El FFI consiguió fabricar la estructura p-n, demostrando que un dispositivo así es en principio viable.

Por último, el cuarto tema en el que trabajó el grupo estuvo relacionado con metamateriales y fue liderado por Turquía. Este tipo de materiales son estructuras artificiales que presentan propiedades que no es posible encontrar en la naturaleza, tales como un índice de refracción negativo. Estos materiales dan la oportunidad de manipular la radiación electromagnética para poder guiarla, atenuarla, o amplificarla según la necesidad y la aplicación prevista, siendo la más popular la invisibilidad o *cloaking* de objetos.

Para este tema de trabajo se decidió organizar un *workshop* (la actividad SET-139), que se celebró en Estrasburgo en abril de 2008 y que contó con la participación de cerca de 50 expertos pertenecientes a universidades, centros tecnológicos e industria, entre ellos nueve de los mayores expertos mundiales en metamateriales.

Durante las charlas se expusieron distintas formas de aprovechar estas estructuras en aplicaciones que van desde la radiofrecuencia, las ondas milimétricas y los terahercios hasta las frecuencias ópticas (IR y visible). Además, se comentó la posibilidad de extender estos conceptos a los metamateriales acústicos.

Como resultado final se decidió proponer a la RTO la creación de un grupo exploratorio dedicado exclusivamente a metamateriales, que se inició en 2010 y del cual ha salido un grupo de trabajo (el SET-181) que comenzó sus tareas en abril de 2011.

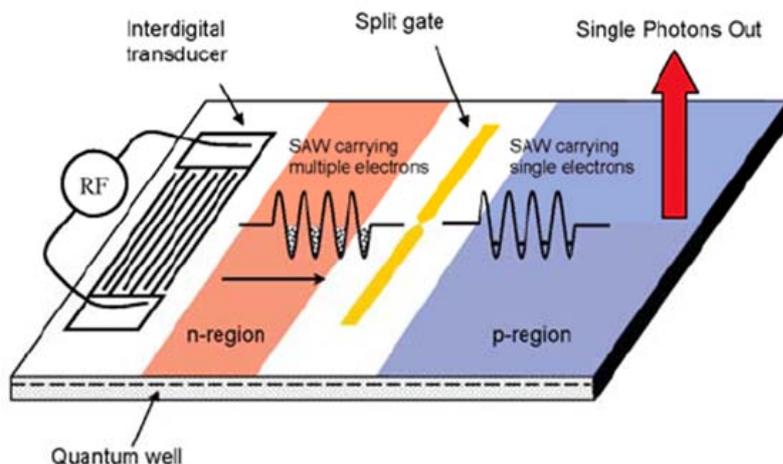


Fig. 1. Esquema de fuente de único fotón (*Single-Photon Source*).

Jornada sobre soluciones tecnológicas en C-IED

Guillermo González Muñoz de Morales,
Nodo Gestor SOPT

El pasado 30 de junio de 2011, se celebró la Jornada Monográfica sobre "Soluciones Tecnológicas en C-IED" (*Counter Improvised Explosive Devices*) organizada por el Sistema de Observación y Prospectiva Tecnológica (SOPT) de la Subdirección General de Tecnología e Innovación (SDG TECIN) y la Academia de Ingenieros del Ejército de Tierra (ACING) de Hoyo de Manzanares, donde tuvo lugar el evento.

Como en otras jornadas organizadas por el SOPT, el objetivo que se persigue es favorecer el alineamiento de los desarrollos industriales y de la I+D con las necesidades operativas. Adicionalmente, como objetivo secundario tiene mejorar el conocimiento sobre la capacidad nacional y facilitar el contacto de la universidad, centros tecnológicos y la industria para posibles futuras colaboraciones en este ámbito.

La jornada se organizó en tres bloques, el primero dedicado a comunicar los intereses y necesidades tecnológicos del Ministerio de Defensa y las FAS en C-IED, y los dos siguientes bloques estuvieron dedicados respectivamente a las soluciones presentes y futuras (I+D) de la base tecnológica e industrial nacional.

En total se realizaron 15 ponencias, en las que, entre otros, se abordaron temas como:

- Las necesidades materiales del ET en el campo CIED y las prioridades tecnológicas de la DGAM en este ámbito.
- Las capacidades del Instituto Tecnológico de la Marañosa en C-IED, principalmente en explotación C-IED (química y electrónica), y de evaluación y ensayo de inhibidores contra RC-IEDs. A destacar la prevista potenciación de esta última capacidad con el proyecto SICAIN (Sistema de Caracterización de INhibidores) que empezará con la implementación de una pista de evaluación de inhibidores.
- Las diferentes capacidades de la industria y universidad española en el campo de la detección de



Fig. 1. Clausura de la Jornada.

explosivos y componentes de IEDs. En este sentido, se presentaron desarrollos y productos para la detección de IEDs:

- Ocultos bajo la ropa mediante cámaras pasivas de ondas milimétricas.
 - Mediante análisis espectroscópico (DMA y láser) de trazas de explosivos.
 - A distancia con las mejoras derivadas de la fusión de diferentes sensores (LIBS / RAMAN).
 - Con soluciones basadas en tecnología polarimétricas.
 - Mediante nuevas tecnologías para el desarrollo de sensores basados en nanotecnología.
- También se mostraron capacidades e iniciativas orientadas a la neutralización y gestión de incidentes, como:
 - Plataformas robóticas para la neutralización de IEDs.
 - Posibilidades de neutralización con microondas de alta potencia.
 - Soluciones en la evaluación de riesgos

para aplicaciones de explotación de incidentes.

Las casi 100 personas de 40 entidades diferentes que asistieron al evento son un indicador del interés con que fue acogida la jornada, que contó con representantes de las FAS y fuerzas de seguridad, Ministerio de Defensa, empresas, institutos de investigación y universidades.

Las presentaciones están disponibles en la intranet de Defensa en la dirección:

<http://observatecno/observatorios/?q=node/1688>

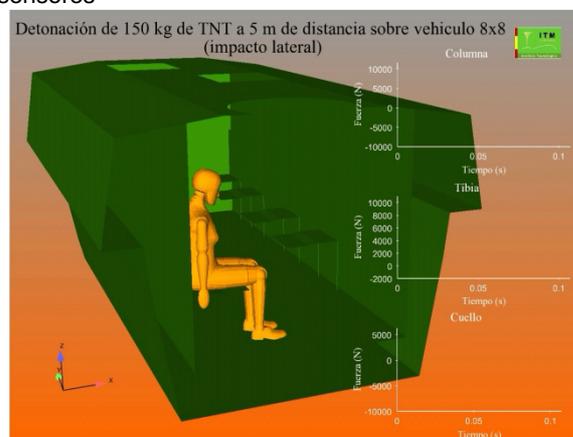


Fig. 2. Simulación por elementos finitos.

6ª Jornadas de presentaciones de empresas DISA

Pedro Carda Barrio, OT OPTR, Héctor Criado de Pastors, OT ENEP

La Dirección de Sistemas de Armas (DISA), perteneciente al Mando de Apoyo Logístico del Ejército viene organizando dos veces al año una serie de jornadas de presentaciones de empresas que permiten a la industria presentar las últimas novedades en armamento y material a los usuarios finales.

La última edición de estas jornadas se realizó durante los días 24 a 26 de mayo de 2011 en las instalaciones del

Parque y Centro de Abastecimiento de Material de Intendencia (PCAMI).

Las presentaciones cubrieron un amplio espectro de sistemas: sistemas TICS como nuevos cifradores IP tácticos y radio enlaces tácticos, sistemas de lucha contra amenaza NBQ y C-IED (laboratorios móviles), novedades en el área de optrónica (infrarrojos, gafas de visión nocturna, intensificación de luz, e imágenes de fusión entre ambas), estaciones de armas remotas, soluciones de infraestructura (módulos y naves prefabricadas, infraestructura aeroportuaria transportable, potabilizadoras de agua, incineradores móviles), afustes y mantenimiento de cadenas, micro- y mini-UAVs y sistemas de identificación

biométricos combinados (iris, vascular, facial, huella).

Las jornadas incluyeron tanto la presentación de actividades de las 15 empresas participantes, como la exposición de sistemas.

A la jornada acudieron tanto operativos de los diferentes Ejércitos y el Órgano Central del Ministerio de Defensa, como personal de las Fuerzas y Cuerpos de Seguridad del Estado.

La siguiente jornada se celebrará previsiblemente en octubre de 2011.

Jornada “Robótica en el sector de la seguridad y la defensa”

CF Ing. José M^a Riola, SOPT/SDG TECIN, y Juan Jesús Díaz, OT SNAV

El pasado día 9 de junio, la Fundación Círculo de Tecnologías para la Defensa y la Seguridad organizó, en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Aero-náuticos, esta jornada con objeto de dar a conocer las aplicaciones de la robótica y las diferentes misiones en las que su uso aporta significativas ventajas al sector de la defensa y seguridad.

La jornada parte de una descripción del estado del arte de estas técnicas, ex-

poniendo cómo existen diferentes misiones en las que su uso aporta significativas ventajas frente a los medios empleados en la actualidad.

La industria nacional ha confirmado que estas tecnologías cuentan con un estado de madurez tal que le permitirá afianzar sus actividades y crear firmes expectativas de exportación hacia entornos europeos.

Se ha destacado que durante las próximas décadas se irá integrando en mayor medida a tareas de vigilancia, protección y combate aportando significativas sinergias a la actuación conjunta entre hombres y máquinas.

El SOPT participó en esta jornada con la ponencia “visión prospectiva de la robótica militar”, presentada por el C.F. José M^a Riola.

Desde el punto de vista del sector de Defensa, el uso de máquinas automáticas o semi-automáticas para sustituir o mejorar las capacidades naturales del ser humano, ha sido una ambición tradicional de los ejércitos, que el desarrollo de la automática está permitiendo de forma efectiva desde el último

tercio del siglo pasado.

El Ministerio de Defensa reflejó que no ha sido ajeno a este desarrollo y ha implementado numerosas tecnologías en diversas áreas de su actividad: sistemas aéreos no tripulados (UAV *Unmanned Aerial Vehicle*); sistemas marinos no tripulados tipo ROV (*Remotely Operated Vehicle*) o UUV (*Unmanned Underwater Vehicle*); robots industriales manipuladores; robots de gestión de almacenes; robots terrestres tele-operados; sistemas de control automático de estaciones radar o de comunicaciones, etc.

La jornada sirvió para evidenciar que una de las aplicaciones cuyo uso se ha extendido con mayor rapidez dentro del entorno en el que nos referimos, es en el de los sistemas no tripulados en todo tipo de escenarios (terrestres, navales y aéreos).

Desde el punto de vista militar se indicó que si bien es cierto que las tecnologías antes descritas pueden mejorar la eficacia y eficiencia, presentan ciertos problemas asociados de no ser gestionados de una forma adecuada como son el manejo de la información, la definición de nuevas reglas de enfrentamiento y ética en el uso de estos sistemas autónomos, etc.

Finalmente resaltamos que esta jornada ha servido como foro en el que los usuarios han expuesto sus necesidades debatiéndose los aspectos más significativos que afectarán al futuro de este sector.

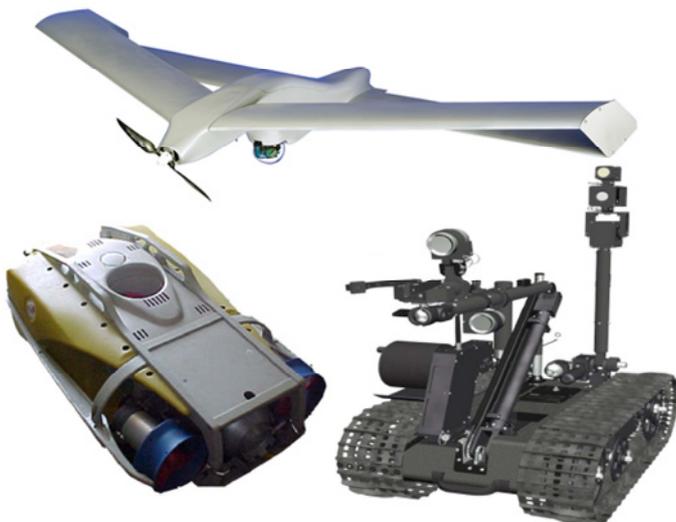


Fig. 1. Aplicaciones de robótica en seguridad y Defensa: UAV, ROV submarino y ROV para desactivación de explosivos.

Convenio de colaboración con INNOVAMAR

Héctor Criado de Pastors, OT ENEP

El pasado 28 de junio de 2010 se firmó un convenio de colaboración entre el Ministerio de Defensa y la Fundación Instituto Tecnológico para el Desarrollo de las Industrias Marítimas (INNOVAMAR) para la actuación coordinada en el ámbito de la I+D de defensa y seguridad, relacionada con temas marítimos.

La actuación coordinada se realizará en el ámbito del Ministerio de Defensa por la Dirección General de Armamento y Material (DGAM), a través de SDG TECIN, y comprende los siguientes objetivos básicos:

a) Compartir conocimiento y experiencia sobre la estructura del tejido industrial en el sector marítimo, de defensa y



seguridad español y sus capacidades tecnológicas.

b) Coordinar y, en su caso, complementar el apoyo a proyectos que desarrollen tecnologías duales (aplicaciones civiles y militares), de tal manera que las empresas con proyectos de interés para ambos organismos reciban un apoyo adecuado.

c) Contribuir al fortalecimiento de las capacidades de la industria española, diversificándolas y orientándolas teniendo en cuenta las necesidades de capacidades militares de las Fuerzas Armadas Españolas a medio y largo plazo.

d) Trabajar conjuntamente y defender los intereses nacionales en lo que a la participación de la industria española en programas internacionales se refiere.

e) Colaborar en la promoción de las tecnologías duales consideradas de interés mutuo, tanto aquellas cuyo desarrollo sea exclusivamente nacional como las que se realicen en cooperación con alguna entidad u organismo extranjero.

INNOVAMAR es una fundación de carácter privado, sin ánimo de lucro, que agrupa a todos los sectores públicos y privados relacionados con la mar, cuyos objetivos fundamentales son:

a) Fomentar la investigación y el desarrollo en la industria de construcción naval y su industria auxiliar, así como en el transporte marítimo y la explotación de los recursos marinos.

b) Promocionar, en estos mismos ámbitos, la investigación científica y técnica y las actividades de formación.

c) Ser un foro de convergencia de los intereses marítimos, donde sea posible una discusión amplia y clara sobre el presente y el futuro del sector marítimo.

agenda

Jornada de Difusión sobre el Programa EFC-JIPCBRN

Óscar Jiménez Mateo y Angélica Acuña Benito, OT NBQ

El próximo día 14 de septiembre, tendrá lugar una jornada sobre un nuevo programa de la EDA en el área de la defensa NBQ. Esta jornada tiene como objetivo dar a conocer a la industria, centros de investigación y universidades las oportunidades que se van a ofrecer en cuanto a la participación en proyectos de I+T en el ámbito NBQR a través del Programa Internacional JIP CBRN, en el que participa el Ministerio de Defensa y que ha sido concebido en el CapTech ESM04 de la EDA, grupo de trabajo dedicado al área tecnológica de Defensa NBQR.

El programa JIP CBRN abordará un conjunto de actividades de I+T en el marco de la Defensa NBQR y se desarrollará dentro de un nuevo marco de cooperación europeo (*European*

Framework Cooperation, EFC)¹, para la coordinación de las actividades de la EDA con las de la Comisión Europea (EC) y la Agencia Espacial Europea (ESA).

El alcance del programa JIP-CBRN es el desarrollo de actividades de I+T que mejoren las capacidades de protección NBQR:

- conciencia situacional (incluyendo detección e identificación de agresivos químicos y biológicos),
- descontaminación,
- modelado y simulación,
- integración de información,
- protección individual y colectiva.

La duración estimada del programa es de cuatro años.

¹ Más información en el Boletín nº28, "EFC: Cooperación Europea en I+T de Defensa"



Si bien la participación en este proyecto está abierta a todo tipo de entidades, el modelo JIP está diseñado para fomentar la participación de PYMES, universidades e institutos de investigación. Los trabajos se adjudican a consorcios internacionales en procesos de libre competencia tras las diferentes convocatorias del programa.

Las inscripciones se pueden realizar en: observatecno@oc.mde.es, antes del 6 de septiembre del 2011.

Tecnologías de doble uso: I+D al servicio de la sociedad

CF Ing. José M^a Riola, SOPT/SDG TECIN

Durante los pasados días 18, 19 y 20 de julio se ha celebrado un curso de verano organizado por el Centro Universitario de la Defensa (CUD) de la Academia General del Ejército del Aire en San Javier y la Universidad Politécnica de Cartagena (UPCT), bajo el título "Las Tecnologías de Doble Uso: la Investigación y el Desarrollo al Servicio de la Sociedad Civil y Militar". Las sesiones se repartieron entre las aulas de dicha universidad en Cartagena y del CUD de la Academia.

El objetivo del curso era ofrecer una perspectiva acerca de las tecnologías de doble uso, abordando recientes aplicaciones y sistemas derivados de la investigación civil y militar.

Este CUD es uno de los tres centros que en las Academias Militares conforman la Red de Centros Universitarios de la Defensa. Este sistema educativo nació con el objetivo de posibilitar la impartición de enseñanza en las titulaciones universitarias de grado que, conjuntamente con la formación militar general y específica, constituyen la preparación de los futuros oficiales. Como no puede ser de otra manera, desde sus orígenes, en los CUD se han propiciado colaboraciones con el Ministerio de Defensa en actividades culturales, formativas e investigación.

Por ello y como muchas de las universidades e instituciones de la geografía española, con el comienzo del verano, los CUD ofrecen cursos y conferencias, tanto para universitarios como para



profesionales en activo. En el caso de los estudiantes, estos cursos contribuyen a ampliar su formación relacionada con la cultura de Defensa, precisamente muy extendida en los países que se destacan por sus aportaciones de I+D. Para los alumnos de las academias militares la idea es mejorar su perfil profesional con atractivas materias de estudio.

Cuando se habla de las tecnologías de doble uso, debemos de tener presente que uno de los vectores estratégicos de toda universidad es la transferencia tecnológica, una faceta que describe el éxito de la cooperación entre la empresa y un grupo universitario. Desde el punto de vista de la Defensa los avances tecnológicos deben tener plasmaciones concretas y no ser sólo una aportación al estado del arte, han de concretarse en mejoras de productos y servicios hacia las FAS.

Otro aspecto tecnológico relevante para la investigación en los ámbitos civil y de defensa, es que están superando la separación mantenida hasta hace poco tiempo, necesitando aprovechar las sinergias, y en especial, la enorme progresión de la investigación civil acaecida en los últimos años, reconociendo que las tecno-

logías básicas son comunes, aunque las aplicaciones difieran.

En base a este necesario acercamiento entre la formación universitaria y la investigación, y bajo este paraguas de las tecnologías duales, se desarrolló el citado curso donde las presentaciones de muchos de los ponentes, tanto institucionales como industriales, pusieron sobre la mesa numerosos ejemplos de proyectos de investigación, demostrando los beneficios de la sinergia y la complementariedad entre los dos ámbitos en el presente y en el futuro.

La DGAM tuvo una gran participación, contando con las siguientes aportaciones: "La política de I+D de Defensa: metas y retos tecnológicos"; "Aplicación del concepto CD&E en ámbitos civiles"; "La convergencia de la investigación tecnológica civil y de defensa en el ámbito europeo"; "Aplicaciones civiles y militares de la acústica atmosférica". Además, también participó en la mesa redonda inaugural "Entorno de Tecnologías de Doble Uso".

UNIVERSITARIO DE LA DEFENSA



Tecnologías emergentes

El reto del ahorro energético en UNAMID

Francisco Javier Santos, Isdefe, y Héctor Criado de Pastors, OT ENEP

Energías renovables y eficiencia energética en misiones

Las diversas tecnologías de generación de energía y de mejora de eficiencia energética están en una fase de crecimiento en el ámbito civil. Si bien algunas tecnologías son actualmente maduras y viables, como la energía eólica, o están a punto de serlo, como algunas tecnologías solares, muchas de ellas están en un proceso continuo de I+D, tanto de las propias tecnologías, como en la mejora de los procesos de producción.

Desde el punto de vista militar, se pueden considerar todas estas tecnologías como emergentes, dado que los sistemas de producción de energía actualmente empleados por las Fuerzas Armadas se basan en desarrollos con varias décadas de antigüedad. El uso de estas tecnologías en este campo tiene un importante potencial, ya que redundaría en una disminución muy significativa de la cadena logística en operaciones con bases y campamentos estables, lo que podría suponer un cambio significativo tanto en

coste como en planeamiento de las misiones.

Por este motivo, existe un gran interés en estudiar la viabilidad y adaptación de estos sistemas al entorno militar por parte de los principales actores a nivel internacional.

La EDA desarrolla la iniciativa *Green Energy on Camps*, con trabajos conjuntos de los Directorios de Capacidades y de R&T, con el fin de mejorar la eficiencia de los campamentos de los países miembros desde varios puntos de vista: desarrollo de proyectos tecnológicos conjuntos, análisis del consumo actual, guías de diseño de campamentos y adquisición de material energéticamente eficiente o manuales para el personal operativo.

Por su parte, la RTO ha creado el grupo de trabajo SAS-083 *Power and Energy on Operations* para analizar de forma conjunta el ciclo completo de la energía en operaciones (para más información, consultar el Boletín de Observación Tecnológica en Defensa nº28).

Por último, la ONU ha desarrollado trabajos de mejora de eficiencia en algunas misiones internacionales, como en la Operación UNSOA, como se puede ver en la guía *Assessment of Energy, Water and Waste Production Options for the Proposed AMISIM HQ Camp in Mogadishu, Somalia and the*

Support Base in Mombasa, Kenya. Además, bajo el paraguas de la ONU se lleva a cabo la misión UNAMID, en la que se han realizado varios proyectos de demostración de energías renovables aplicados a misiones internacionales.

Características de UNAMID

Darfur, una región situada al oeste de Sudán, se extiende sobre aproximadamente 500.000 km², una superficie similar a la de España, entre unas latitudes de 10º y 15º. Con dos épocas bien diferenciadas, una de lluvias entre los meses de junio y septiembre, y otra seca y calurosa durante el resto del año.

El inicio del conflicto en Darfur se remonta al año 2003, a su vez el país vive en la actualidad un proceso de referéndum para la separación de la región sur del resto. En este contexto, Naciones Unidas desplegó una misión el 31 de Julio del 2007 (*Security Council Resolution 1969*), con un mandato claro de proteger a los civiles, facilitar la ayuda humanitaria y mediar en el proceso político interno. UNAMID, las siglas en inglés de *United Nations African Union Hybrid Mission in Darfur*, ha desplegado casi la totalidad de los 20.000 militares, 6.000 policías y 4.000 civiles previstos en 4 Cuarteles Generales (MOB), 40 campamentos militares (FOB) y 80 comisarías de policía, además de disponer de un presupuesto cercano a los 1.800 millones de dólares anuales. Está considerada una de las mayores operaciones de paz de la ONU.

En esta fase de la misión y en este contexto, ISDEFE, en su papel de empresa de capital público y perteneciente al Ministerio de Defensa, desarrolla en el marco de un acuerdo internacional entre España y la ONU una labor de consultoría en distintas áreas de conocimiento como ingeniería conceptual y de detalle, gestión de contratos (de raciones de alimentación, combustibles, cadena de suministro) y *project management*.

La ingeniería se ha centrado en el diseño de los Cuarteles Generales, los campamentos militares, los



Fig. 2. Haboob (tormenta de arena).

tecnologías emergentes

aeropuertos y otros proyectos singulares destacando entre ellos un centro de proceso de datos (*Data Center*) y un hospital "*ROLE 2 enhanced*".

Energía en UNAMID

Durante la fase de despliegue de la misión, podríamos decir que dos son los objetivos principales en cuanto a las instalaciones se refiere, la rapidez del despliegue y la fiabilidad, debido a que se desarrolla una actuación simultánea sobre diversos puntos geográficos situados en un entorno de alta hostilidad, tanto medioambiental como de seguridad. Por esta razón, se emplean desde hace ya tiempo grupos electrógenos para la generación de energía eléctrica, pues se trata de una solución que a pesar de sus detractores medioambientales, se actúa en detrimento de los dos objetivos mencionados líneas arriba, rapidez y fiabilidad.

Se estima que UNAMID pueda tener un gasto de 85.000 millones de litros de combustible al año, incluyendo JET y gasóleo. La huella logística de esta misión es significativa y, por lo tanto, es una prioridad diseñar teniendo en cuenta la eficiencia energética y la implantación de energías renovables.

No obstante, es interesante valorar los aspectos más destacables a la hora de implementar una solución que implique el desarrollo de una nueva tecnología.

Restricciones al cambio

La primera restricción que impide una "revolución verde" es la cultura de la Organización. Debe tenerse en cuenta que en una organización madura como Naciones Unidas no todos los cambios son bienvenidos, lo que unido a la falta de conocimiento acerca de la viabilidad y fiabilidad de estas nuevas tecnologías convergen en una restricción, que se hace mayor cuanto menor es el escalafón jerárquico. En este sentido, una adecuada política de formación técnica concienciaría sobre las soluciones presentes, facilitándose la introducción de otras nuevas.

La falta de experiencia y de conocimiento técnico, potenciado por unas rotaciones frecuentes de personal, condicionan el diseño mediante estas tecnologías, incluyéndose la fase de compra (dificultad de redacción de las especificaciones técnicas para un pro-

ceso de licitación internacional), así como la posterior puesta en marcha de la instalación y el mantenimiento.

En Darfur concretamente, la ausencia de datos fiables acerca de mapas de radiación, datos de vientos, geotérmicos, etc. influyen negativamente en la fase de diseño.

Del mismo modo, la extrema severidad medioambiental penaliza la eficiencia de los equipos electrónicos así como las baterías (temperaturas de hasta 50 C) o el rendimiento del conjunto de la instalación (tormentas de arena denominadas haboobs en el argot local)

En cuanto a la logística, merece un capítulo aparte el estudio de la accesibilidad relacionado con la época del año, infraestructuras existentes y

afectación de éstas por la época de lluvias. Asimismo, la seguridad que ofrecen estas vías y el riesgo de sabotaje tendrán una gran influencia en el diseño y dimensionado de la instalación. Así como ocurre, por ejemplo, con el dimensionado del volumen de almacenamiento de combustible.

Por último, el aspecto estratégico es fundamental en el desarrollo de nuevas aplicaciones militares de energías renovables, considerándose crítico el nivel de exposición (sabotaje por tierra, mar o aire) así como la garantía de servicio (redundancia de generación).

Proyectos piloto

Como consecuencia de lo anteriormente mencionado, ISDEFE considera que la manera de introducir soluciones



Fig. 2. grupo de generadores en UNAMID.

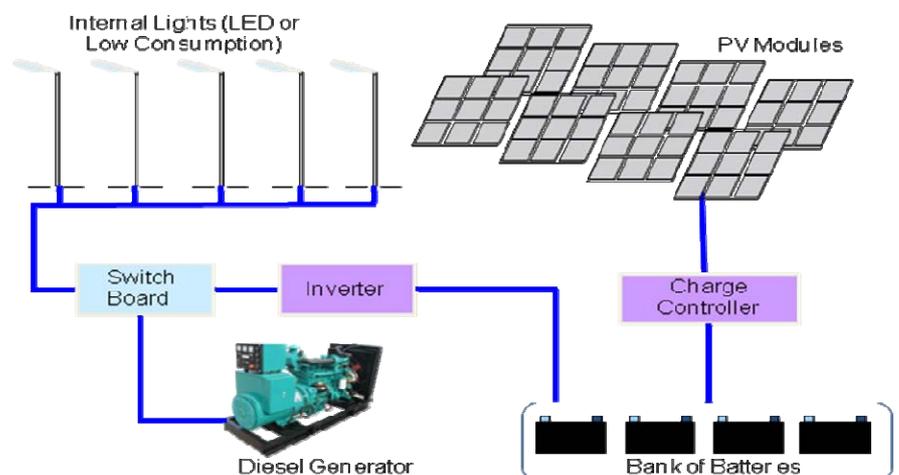


Fig. 3. Diseño de instalación de iluminación de la plataforma de aeronaves de UNAMID.

basadas en el aprovechamiento de energías renovables pasa preferiblemente por la selección de proyectos que no afecten a sistemas críticos para que se aporte experiencia a la misión mediante pruebas piloto. Estas propuestas se materializan en Darfur en la promoción de dos proyectos piloto que pretenden demostrar con hechos la fiabilidad de estos proyectos:

- Energía fotovoltaica para el suministro eléctrico a las plantas de tratamiento de aguas residuales en campamentos militares.
- Energía fotovoltaica para el alumbrado de seguridad en terminales, plataforma y accesos de los aeropuertos.

El primero de los proyectos supone un ahorro teórico en combustible de hasta 8.750 l/ año-campamento, con unos beneficios adicionales asociados al uso de una planta de tratamiento de aguas que son el ahorro en el consumo de agua (fluxores, riego, lavado de vehículos) de hasta 20 m³/día, un ahorro en combustible asociado a la logística del agua y una disminución de riesgos a las personas durante el transporte del agua desde pozos remotos.

El segundo de los proyectos consiste en el alumbrado de seguridad de la carretera de acceso, así como el perímetro de la terminal y la plataforma de aeronaves de UNAMID. Las dos primeras áreas se iluminan mediante un sistema fotovoltaico aislado (*stand-alone system*). Para la zona de la plataforma se diseña una planta fotovoltaica con un ahorro aproximado de hasta 35.000 l/año-aeropuerto respecto de la generación eléctrica realizada con generadores diesel.

Con la implantación de estos sistemas en todos los aeropuertos y campamentos se podrá reducir el consumo de combustible en 455.000 l/año, equivalente al 0,54% del consumo total de la misión. A pesar de que esta cifra pueda no impactar no debería despreciarse el poder haber afectado al consumo de la misión con el desarrollo únicamente de dos proyectos piloto.

Soluciones aplicables

En la actualidad, la industria ofrece un mercado maduro con experiencia sufi-

ciente en distintas aéreas (aeroespacial, civil, industrial, automovilístico, etc.) como para comenzar a aplicar soluciones existentes, probadas y fiables teniendo muy presente el reto que supone adaptar al ámbito militar aquellas que no tengan aplicación directa.

Uno de los factores críticos en la misión es la dependencia de terceros en la cadena logística para la obtención de energía eléctrica. La posibilidad de utilizar recursos existentes en el área de operaciones significa diversificar el riesgo, así como reducir el consumo del hasta ahora imprescindible petróleo, incrementándose de esta manera el nivel de seguridad y fiabilidad de la misión y, reduciendo la huella logística.

Para avanzar en la implantación de nuevas tecnologías, ya sea por el uso de energías renovables o simplemente mediante sistemas de mejora de la eficiencia energética en operaciones de paz y de gestión de crisis es necesario que gobiernos, industria y organismos de investigación vayan de la mano para afrontar el reto de la adaptación al ámbito militar.

Dentro de las tecnologías actualmente disponibles en otras áreas, existe un amplio abanico de tecnologías susceptibles de aplicación en una misión de paz con las características operativas y climáticas mencionadas, una vez que los distintos proyectos piloto hayan logrado superar las restricciones de cultura de la Organización anteriormente mencionadas.

Energía solar

La generación de energía eléctrica mediante el aprovechamiento de energías renovables localmente disponibles, debería fundamentarse, dada la experiencia actual, en el uso de energía fotovoltaica.

Los sistemas de energía fotovoltaica convencional, como los empleados en los proyectos piloto, han demostrado que pueden funcionar autónomamente en sistemas aislados, mediante el correcto dimensionado de la instalación, considerando la caída de potencia real respecto a la potencia pico nominal debidas a las elevadas temperaturas, y el uso de sistemas de apoyo (baterías convencionales en este caso) para mantener la potencia en caso de reducción de la potencia suministrada por causas meteorológicas o ambien-

tales, tales como cielos cubiertos o tormentas de arena.

Dada la situación intertropical de Darfur, las variaciones en el ángulo de incidencia solar son pequeñas, por lo que se pueden emplear sistemas fijos, evitando el uso de seguidores solares, que aumentarían tanto el coste logístico y de instalación, como el mantenimiento.

Además de la tecnología solar convencional, existen varios desarrollos solares interesantes para este tipo de misiones:

- Células solares flexibles, integradas en lonas, que puedan usarse tanto en tiendas de campaña, como en toldos de sombra para evitar la radiación solar directa sobre contenedores. A pesar de que su rendimiento es menor que las células solares convencionales, su uso sobre infraestructuras ya establecidas permite no tener que ocupar nuevas áreas para su despliegue, además de reducir indirectamente la demanda de climatización.
- Células de capa fina, pese a tener una potencia pico menor que las convencionales, la reducción de potencia debida a luz difusa o a temperatura elevada es menor, por lo que la diferencia de rendimiento efectiva respecto a las células convencionales es menor que en países meridionales. Además poseen un coste menor que las células convencionales, por lo que es interesante estudiar su uso en campamentos en los que la extensión superficie a emplear no sea un factor crítico en el diseño del campamento.

- Diseños de colectores mixtos fotovoltaicos/termosolares, en los que el ciclo térmico facilita el enfriamiento de las células fotovoltaicas, mejorando el rendimiento eléctrico.

A medio y largo plazo, existen otras tecnologías en fase de I+D de generación de electricidad mediante energía solar que podrían resultar de interés:

- Sistemas de concentración solar, como discos Sterling.
- Células solares de concentración, siempre que puedan solucionar los problemas de evacuación térmica.

Energía eólica

El uso de energía eólica, más allá de pequeños microgeneradores en sistemas híbridos que puedan apoyar a

tecnologías emergentes

otros sistemas de generación principales (generadores diesel, energía solar) debe realizarse siempre tras un estudio previo de las condiciones locales. Tanto la escasez de recurso eólico, como la existencia de fuertes tormentas de arena que puedan dañar los aerogeneradores (ya sea por la velocidad excesiva del viento o por el posible daño de los materiales y maquinaria debido al impacto de partículas a gran velocidad), pueden suponer factores de fracaso de la implantación de energía eólica en misiones.

Sin embargo, en localizaciones con buenas condiciones ambientales, el uso de aerogeneradores eólicos desplegables de baja y mediana potencia podría ser útil en misiones de ayuda humanitaria, como UNAMID, donde no existan problemas debidos a la vulnerabilidad de los aerogeneradores.

Aprovechamiento de residuos

Otro método alternativo para la generación de energía eléctrica es el aprovechamiento energético de residuos. Actualmente existen varios proyectos de demostración por parte de países OTAN (EE.UU., Holanda) en misiones internacionales (Irak, Afganistán) en los que se emplean técnicas de incineración y/o gasificación de residuos. Este método permite la reducción de la cadena logística tanto del combustible diesel no utilizado, como del transporte de residuos fuera de las bases y campamentos. Además, dado que en definitiva estos sistemas emplean un generador eléctrico estándar, su integración en la arquitectura de los sistemas eléctricos habituales de bases y

campamentos es una tarea sencilla.

Eficiencia energética en climatización

Desde el punto de vista de la eficiencia energética, es importante destacar que en las misiones en esta zona climática, la mayor carga suele ser la climatización de espacios. En el caso de UNAMID, las cargas de climatización se concentran en la generación de frío, debido a las continuas temperaturas elevadas existentes.

La climatización de la mayoría de las infraestructuras de bases y campamentos se suele realizar mediante unidades individuales de aire acondicionado, lo que resulta muy ineficiente desde el punto de vista energético, existiendo varias alternativas que pueden permitir mejorar el rendimiento de los sistemas de climatización.

Un buen ejemplo de ello son las máquinas de adsorción. Estos sistemas se basan en un proceso de adsorción de moléculas del líquido refrigerante por parte de un elemento sólido, enfriando dicho líquido. Para completar el proceso, es necesario extraer las moléculas adsorbidas, lo que se logra al recircular líquido proveniente de un foco caliente.

Un tipo de máquina de adsorción especial es el denominado frío solar. Este sistema emplea como foco caliente un sistema de colectores solares que elevan la temperatura del agua del ciclo varias decenas de grados por encima de la temperatura ambiente. El agua caliente empleada puede utilizarse secundariamente para producir

agua caliente sanitaria a 60°C.

Otra opción de climatización es el uso de geotermia de baja entalpía. Estos sistemas introducen agua en perforaciones a poca profundidad con el fin de utilizar el terreno como foco térmico estable (a unos 15°C) para realizar un enfriamiento previo o precalentamiento antes de que alcance la bomba de calor correspondiente. De este modo, se logra mejorar la eficiencia de la bomba de calor obteniendo unos rendimientos muy superiores. Con el fin de mantener el rendimiento del sistema a largo plazo, y no producir contaminación térmica del terreno, es necesario realizar un estudio del terreno para asegurar que la configuración final del sistema frío/calor realiza un intercambio neto anual de temperatura de valor cero.

Integración en metodología de diseño

Por último cabe destacar que ISDEFE ha desarrollado una metodología de diseño de campamentos militares. Esta metodología está basada en una herramienta informática capaz de ser parametrizada en función de los estándares de la organización, requerimientos de la fuerza a desplegar, necesidades operativas, logísticas y climatología de la misión en particular. El diseño incluye soluciones alternativas a los sistemas tradicionales de generación eléctrica, climatización, etc. y buenas prácticas constructivas de ahorro energético.



Fig. 4. Visión de campamento de UNAMID.

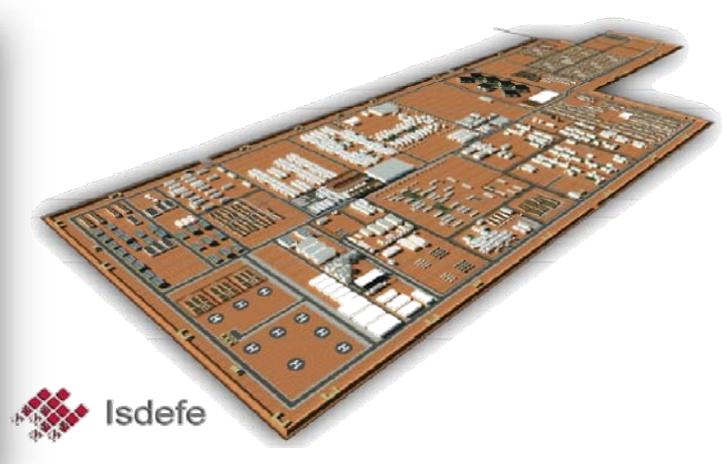


Fig. 5. Infografía de la herramienta de diseño de campamentos de ISDEFE.

El futuro en nuestra VOZ

CC. Ing. Juan Carlos Huertas Ayuso,
Cap. CIP Mario de la Fuente Martín,
Unidad Mando y Control del ITM, y
Guillermo Duplá Salorio, INSA



La reciente promulgación por la Dirección General de Armamento y Material (DGAM) española de la ETID 2010 (Estrategia de Tecnología e Innovación para la Defensa), en un intento de coordinar y alinear la investigación en el Ministerio de Defensa para la consecución de las capacidades demandadas; declara las metas tecnológicas en diversas Áreas de interés para nuestro país. De las cuatro metas asignadas a la Línea de Actuación Funcional "Sistemas de Información para Mando y Control (C2)" del Área TICS (Tecnologías de la Información y las Comunicaciones y Simulación), la meta 6.1.4, consistente en facilitar la interacción humana con los sistemas C2, tiene entre sus objetivos disponer de interfaces hombre – máquina (IHM) que demanden una interacción mínima por parte del usuario para el manejo del sistema en uso.

Algunos aspectos del IHM que pueden ayudar a alcanzar dicha meta ya habían sido identificados, no sólo por nuestros centros de investigación sino también por otros pertenecientes a diversos países miembros de la OTAN. Éste es el caso de la integración del habla en los sistemas de información, tanto desde el punto de vista de la Inteligencia como desde el Mando y Control de operaciones. La organización RTO (*Research and Technology Organisation*) de la OTAN había creado un grupo de trabajo, el IST-031/ RTG-013 "*Research Study Group on Speech and Language Technology*" con el objeto de estudiar el estado del avance tecnológico de esta área y su aplicabilidad a los entornos militares, que presentan especificidades tales como robustez frente a condiciones adversas de funcionamiento, entornos acústicos y mecánicos extremadamente ruidosos, operadores sujetos a condiciones de estrés acusado que



Fig. 1. LCM1-E del GNP.

introducen distorsiones adicionales en las señales, exigencias de operación multilingüe, etc.

Una vez identificada la tecnología y su potencial aplicación a las capacidades militares, el antiguo Centro de Investigación y Desarrollo de la Armada (CIDA), perteneciente a la anterior Subdirección General de Tecnología y Centros (SDG TECEN), actual SDG TECIN, inició en 2006 una línea de investigación, junto con la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM), con el doble objeto de adquirir conocimiento y de incorporarse al grupo de trabajo OTAN arriba mencionado. El proyecto se denominó SIMHADE (SIMulación de algoritmos de procesado del HAbla para DEfensa) y se desarrolló entre los años 2006 y 2008. En él se consiguió la integración activa en el grupo internacional y el desarrollo de un sistema *baseline* de entrenamiento y prueba de modelos acústicos para poder desarrollar sistemas de reconocimiento del habla, verificación de locutores e identificación del idioma hablado. También se desarrollaron tres demostradores tecnológicos, centrado cada uno ellos en una de estas funciones.

Con la creación del Instituto Tecnológico de La Marañosa (ITM) integrando los centros de investigación dependientes de la SDGTECEN, esa línea

de investigación fue absorbida por la Unidad de Mando y Control del Área de las Tecnologías de la Información, las Comunicaciones y Simulación (TIC-S); procediendo al análisis de los resultados obtenidos en el proyecto SIMHADE, decidiendo continuar con el grupo de trabajo OTAN, transformado ya en el IST-078/RTG-036 *Research Study Group on Speech and Language Technology: MACHINE TRANSLATION FOR COALITION OPERATIONS*, y centrar los esfuerzos nacionales en el desarrollo de una herramienta SIRHA (Sistema de Reconocimiento del Habla) a partir de uno de los tres demostradores tecnológicos previamente desarrollados.

El proceso de generación del SIRHA se ha enfocado bajo la metodología CD&E (*Concept Development and Experimentation*) muy útil para el mundo I+D+i, e implementada en las siguientes fases: adquisición de conocimiento, desarrollo de un demostrador tecnológico, validación por los usuarios, mejora y desarrollo de un prototipo integrable, integración y validación final.

Para la validación del demostrador inicial se eligió al Grupo Naval de Playa (GNP), perteneciente a la Flota de la Armada Española, como unidad operativa y a sus patrones como usuarios. A esta unidad pertenecen las nuevas lanchas de desembarco LCM1-E (*Landing Craft Mechanisers*) dedica-

das al transporte de tropas, vehículos y material desde los buques anfibios hasta las playas de desembarco. Estas lanchas disponen de un novedoso sistema de control, el SCE (Sistema de Control de Embarcaciones)¹, que ayuda a sus patrones a controlar la ejecución del movimiento de las lanchas hacia tierra mediante una consola táctil. En una primera etapa, se aprovecharon unas maniobras militares de Operaciones Anfibias realizadas en diciembre del 2008 para grabar una base de datos de locuciones de varios patrones en entorno real. En las cabinas donde éstos llevan a cabo su actividad, existen unas condiciones de ruido ambiental extremo, producido por los motores de la lancha, por el impacto del agua sobre el casco y por los sistemas de comunicaciones que operan dentro de la cabina.

Con esa base de datos, durante al año 2009 se realizaron mejoras en el demostrador y se entrenaron de nuevo los modelos acústicos implementados; disponiendo en septiembre de 2009 de una nueva versión del demostrador para realizar las pruebas de validación con los usuarios a bordo de las lanchas. La tasa de acierto en ambiente ruidoso fue superior al 91,5% sobre las frases de prueba previamente elegidas por los patrones. Durante el proceso de validación, los usuarios apuntaron que esta tecnología podría ser útil para el manejo del SCE instalado en las lanchas, ya que al tener las dos manos en los controles de las turbinas, el acceso a algunas funciones del SCE mediante la voz les resultaría de gran utilidad. Es decir, las pruebas también se aprovecharon, tanto por parte del equipo de desarrollo como de los usuarios, para definir algunos nuevos requisitos útiles para el futuro prototipo a integrar con el SCE.

Partiendo del conocimiento adquirido durante los años anteriores y de las herramientas desarrolladas, se decidió convertir el demostrador de reconocimiento del habla en una herramienta fácil de integrar con cualquier sistema de mando y control y que sea útil para recoger comandos por voz. Y, como no podía ser de otra manera por el interés manifestado durante la validación del demostrador, fue el GNP la

¹ Referencia: artículo "El sistema de control de embarcaciones (SCE)" publicado en el Boletín de Observación Tecnológica en Defensa nº 24. Tercer Trimestre 2009.

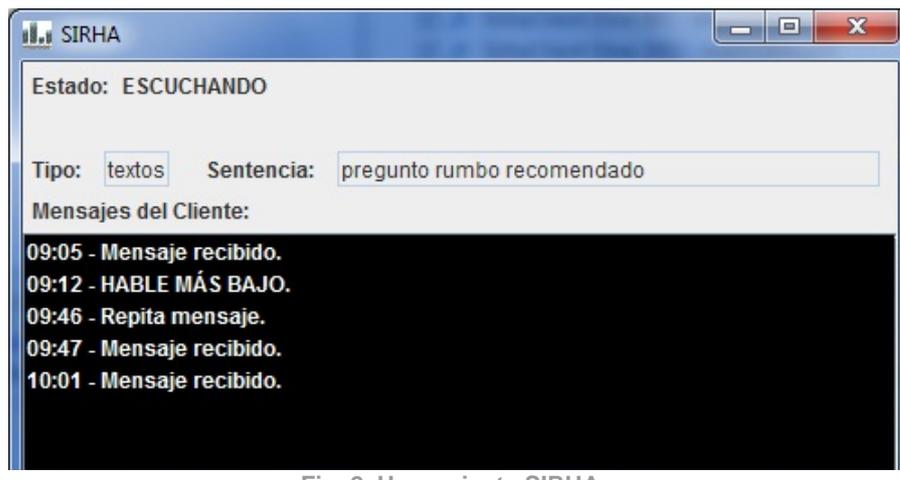


Fig. 2. Herramienta SIRHA.

primera unidad destinataria del SIRHA, el cual tiene por objeto facilitar la integración del patrón con el SCE a través de un IHM para la gestión de los mensajes y de las novedades emitidas, que sólo requiera el empleo de la voz. Para dar continuidad al conocimiento adquirido en las fases anteriores, se siguió contando con el apoyo del personal técnico participante desde el inicio y perteneciente a la universidad UPM, y a la empresa pública INSA a partir del 2010.

Esta nueva herramienta se concibió con vista a ser lo más integrable posible con cualquier sistema de mando y control. Para ello se decidió emplear un interfaz simple por medio de un conjunto de mensajes sobre una capa de comunicaciones que utiliza una interfaz TCP/IP (un socket), permitiendo que la aplicación de mando y control y la herramienta SIRHA convivan en la misma máquina o en máquinas distintas. Como la función de la herramienta SIRHA es reconocer automáticamente una serie de sentencias prefijadas por el usuario y enviárselas en forma de texto a otra aplicación, el SIRHA viene a ser otro interfaz más de entrada para el usuario, como lo son el teclado o el ratón. Para conseguir aún mayor flexibilidad, también se permitió que las sentencias a reconocer vía voz puedan ser configuradas por el propio sistema de mando y control que va a trabajar con la herramienta SIRHA, con una capacidad superior a 100 sentencias distintas. Además, para ajustarse a las necesidades del sistema que quiera utilizarlo, presenta distintas interfaces de usuario en función de las características que tenga el sistema de mando y control. Por ejemplo, las sentencias reco-

nocidas, el estado de ejecución y los mensajes definidos por el sistema de control se pueden mostrar visualmente o no en el SIRHA. Otra característica que hace la herramienta muy versátil es que está programada en Java, lo que la convierte en una aplicación multiplataforma pudiendo ejecutarse con los sistemas operativos Windows y Unix. La base tecnológica, tanto en el SIMHADE como en el SIRHA, consiste en el uso de una estructura conjunta de modelos acústicos de fonemas basados en cadenas ocultas de Markov y de un modelo de lenguaje de trigramas. El primero realiza un tratamiento estadístico de procesos doblemente estocásticos donde uno de los eventos es subyacente y, por tanto, está oculto y se tiene que conocer a través de observaciones, es decir, mediante el empleo y análisis de base de datos de grabaciones de voz directas. El segundo, emplea un tratamiento estadístico de probabilidades sobre grupos de tres palabras, discriminando entre alternativas similares y seleccionando la de mayor ocurrencia. Los modelos acústicos se entrenaron previamente utilizando la herramienta SIMHADE y diversas bases de datos en español, entre otras la grabada durante las maniobras del GNP en 2008. Durante el 2009 se añadió un sistema de Control Automático de Ganancia (AGC) y se mejoró la inteligencia del demostrador, orientada a intentar adivinar la frase más probable una vez identificadas las palabras. Con estas mejoras se obtuvo un motor de reconocimiento de muy altas prestaciones, y con una tasa de error muy baja, incluso en ambientes ruidosos.

Durante el año 2010 se desarrolló el prototipo con la nueva arquitectura y con todas las propuestas solicitadas por los usuarios; y además de las mejoras ya incorporadas con el nuevo sistema AGC, se llevó a cabo una cuidadosa selección del micrófono a suministrar para que se ajustara lo más posible al uso que se le quería dar, teniendo en cuenta tanto criterios técnicos como funcionales de cara a los patrones de las lanchas. El proyecto SIRHA se terminó en el mes de septiembre y durante el último trimestre del año 2010 se ha llevado a cabo la integración con el sistema SCE por parte de la empresa GMV.

Aprovechando que este año en curso está en desarrollo una nueva versión de SCE para ampliar sus funcionalidades, se ha decidido, con objeto de optimizar la gestión de la configuración, que la funcionalidad de comandos por habla no entre en producción hasta la entrega de su siguiente versión en junio de 2011. A partir de ese momento se podrá llevar a cabo la validación final de la primera implementación del SIRHA integrado con el SCE en un entorno operativo. Como las aplicaciones del habla desarrolladas son propiedad intelectual del Ministerio de Defensa, están disponibles para su incorporación en cualquier sistema que lo solicite, habiendo detectado posibles candidatos en los sistemas de los carros de combate y en el próximo Combatiente del Futuro, entre otros. Sin embargo, esta herramienta y su aplicación directa no tienen por qué restringirse al uso militar, siendo viable

su integración con sistemas de uso civil.

De cara al futuro la Unidad de Mando y Control del ITM tiene previsto continuar con la línea de investigación del tratamiento del habla existiendo actualmente dos proyectos en marcha. El primero pretende estudiar la viabilidad del reconocimiento automático de emociones mediante la voz, y se va a abordar un estudio sobre el estado del arte en esta tecnología, centrándose en las principales técnicas utilizadas, como los Modelos de Mezclas Gausianas (GMMs), las Máquinas de Vectores Soporte (SVMs) o las Redes Neuronales (NNs). La comparación de estas técnicas se realizará con pruebas de evaluación empleando una base de datos patrón de emociones en español, la cual fue recopilada durante el año pasado por personal de la UPM para este fin. Se trata de la base de datos de emociones más amplia disponible en español, orientada para la investigación de reconocimiento automático de emociones. Como resultado se espera obtener un demostrador tecnológico que ofrezca la mejor tasa de acierto posible.

El segundo proyecto, planificado para el 2011, va a consistir en profundizar en el reconocimiento automático del habla. Partiendo de la herramienta SIRHA, que es capaz de reconocer una serie de frases preestablecidas, se pretende hacer un demostrador que reconozca un texto libre con una tasa de acierto superior al 90%. Para ello, se van a investigar diversas

técnicas; como el uso combinado de un modelo de lenguaje general con varios modelos específicos de diversas áreas de interés (médica, tecnológica, operativa, etc.), la incorporación de nuevas palabras a los modelos ya existentes y que se vayan identificando durante el proceso de reconocimiento y la aplicación del contexto del discurso para optimizar tanto la búsqueda como el reconocimiento.

Si se consigue el éxito en los dos proyectos, se intentarán unir ambas líneas de investigación, con el fin de estudiar la capacidad de detectar la entonación que afecta a la prosodia del locutor, de cara a poder sintetizar el habla de un modo mucho más natural mediante la fusión de la entonación con la gramática y el contexto. Esto permitiría desarrollar sintetizadores del habla de un modo mucho más natural, humanizando el IHM. En ambos proyectos, se continúa con el grupo de trabajo inicial para aunar esfuerzos y aprovechar la sinergia de los conocimientos adquiridos.

Como se desprende de este artículo, a día de hoy existe una dinámica en las tecnologías del habla dentro del ITM, con la experiencia heredada de proyectos anteriores y que está en pleno desarrollo, siempre buscando la posible incorporación de las mismas para satisfacer necesidades en proyectos de Defensa, aunque puedan ser también de aplicación civil.

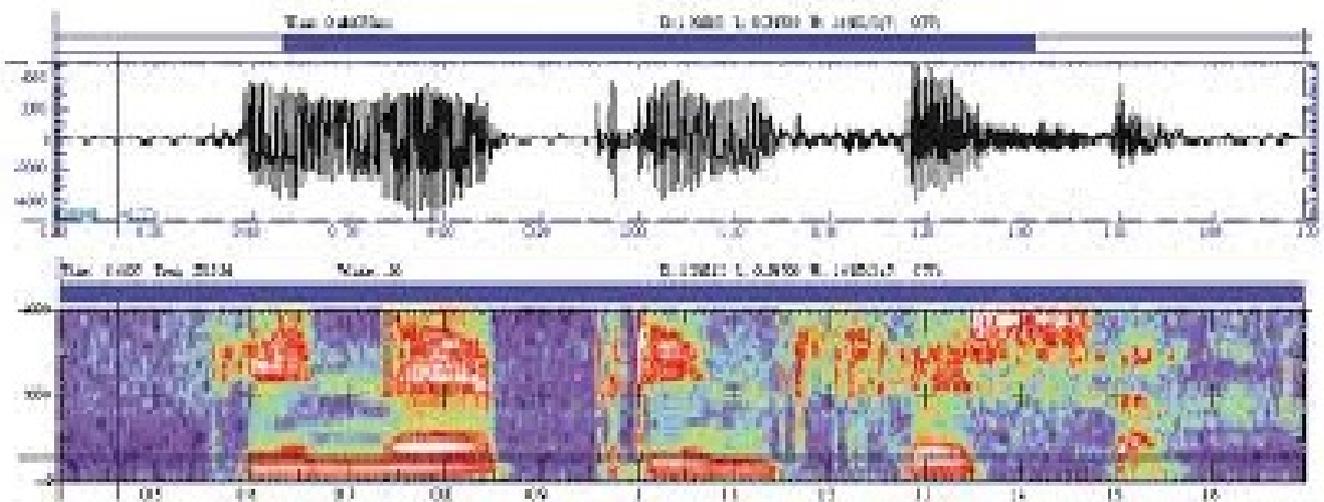


Fig. 3. Representación gráfica del habla

Proyecto SIMPLE

Sara Galán Pulido, SDG TECIN, Juan Antonio Nieto Sacristán, Indra, y María Luz Gil Heras, Indra

INTRODUCCIÓN

Con el objetivo de dotar a las Fuerzas Armadas de sistemas de Radiofrecuencia (RF) en el estado del arte reduciendo los tiempos de desarrollo actuales, con menores costes de ciclo de vida, y atendiendo a la vez a las restricciones en el peso y volumen impuestas por las plataformas (tales como UAVs, barcos, plataformas aéreas tripuladas, etc.), y a las cada vez más exigentes necesidades operativas requeridas a los distintos sensores, surge el concepto de Sistemas Multifunción Escalables.

Se entiende por multifuncionalidad en este contexto la capacidad de un sistema de realizar distintas funciones o tareas, o bien la capacidad de un determinado subsistema de realizar distintas funciones dependiendo del sistema del que forme parte. La escalabilidad permite el diseño de sistemas mediante la inclusión de un número mayor o menor de un mismo elemento hardware, con la correspondiente variación en las prestaciones, coste, peso, etc., de dicho sistema en función del número de bloques utilizados.

La escalabilidad y multifuncionalidad se implementaría en los sistemas de RF, como son los sistemas radar, de guerra electrónica y de comunicaciones, mediante el desarrollo de dichos sistemas a partir de módulos capaces de realizar distintas funciones de RF.

En este campo hay una actividad de I+T importante en marcha en países como EEUU, Reino Unido, Francia, Suecia, Holanda y España, inicialmente

orientada al ámbito naval y actualmente dirigida a cargas de pago para UAVs.

Así surgió el Programa Marco SMRF (*Scalable Multifunction RF Systems: Sistemas Escalables Multifunción de RF*) dentro del CapTech IAP02 de la Agencia Europea de Defensa (EDA) con el fin de aunar los esfuerzos europeos dentro de esta área tecnológica y capacitar a la industria europea en el desarrollo de este tipo de sistemas. El Ministerio de Defensa de España participa en este programa junto a Reino Unido, Francia, Suecia, Holanda, Alemania, la República Checa y se está además tramitando la adhesión de Italia. La industria española participante en dicho programa marco es Indra.

El objetivo final del programa SMRF es, por tanto, la definición de una arquitectura abierta y escalable para sistemas de radiofrecuencia, basada en la definición de módulos multifunción e interfaces, utilizando estándares consensuados, publicados, mantenidos y aceptados por una amplia comunidad de organizaciones industriales.

Dentro de este marco de colaboración, se ha desarrollado una hoja de ruta en el que se han identificado los distintos pasos y/o proyectos que deben llevarse a cabo para alcanzar dicho objetivo.

El primer paso consistió en la realización de un estudio de viabilidad del diseño de Sistemas SMRF denominado proyecto STRATA (*SMRF TRAdE Off STudies, All nations*), en el que participaron los Ministerios de Defensa del Reino Unido, Francia, Suecia, Italia, República Checa, Holanda y España y un consorcio industrial de 8 compañías. La industria española participante fue Indra. Este proyecto verificó la viabilidad del concepto SMRF, concluyendo

que, aplicando el concepto de escalabilidad en los sistemas y haciendo uso de bloques funcionales comunes, (denominados *Building Blocks: BBs*) se consigue una significativa reducción de costes (entre un 30 y un 40% de reducción de costes no recurrentes (NRE), aproximadamente un 10% en costes recurrentes (RE) por volumen de producción y en torno al 25% en coste total). Además, los gastos de desarrollo se compartirían entre las diferentes compañías y proyectos.

Una vez establecida la viabilidad de este concepto, se lanzó el proyecto SIMPLE (*SMRF IMPLementation: Implementation de sistemas SMRF*), cuya actividades han finalizado recientemente y en el que han participado los mismos países que en el proyecto STRATA y un consorcio industrial formado por Thales Nederland (NL), BAE Insite (UK), BAE ATC (UK), Selex S&AS (UK) Elettronica (IT), Selex SI (IT), SAAB (SE), TR6,(FR), TSA (FR), Eldis (CZ) e Indra (ES). El objetivo de este proyecto ha sido analizar la viabilidad de la implementación de la arquitectura SMRF previamente identificada en el STRATA, y definir, a un primer nivel, los interfaces y bloques funcionales que permitan diseñar distintos sistemas de RF con una misma arquitectura. Una vez definida la arquitectura SMRF, se ha realizado la simulación de diferentes interfaces y bloques funcionales para verificar la implementación de la arquitectura propuesta en este programa.

Centrándonos ya en el proyecto SIMPLE, sus actividades se han articulado en dos fases diferenciadas: por un lado análisis (tecnologías críticas, límites de las funcionalidades que un sistema SMRF puede soportar, e identificación de bloques funcionales) y por

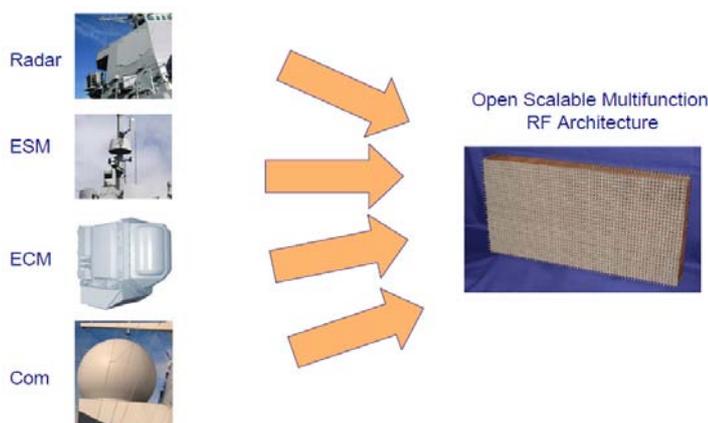


Fig. 1. Uno de los objetivos del concepto SMRF: Aunar Múltiples funciones dentro de un mismo sistema.

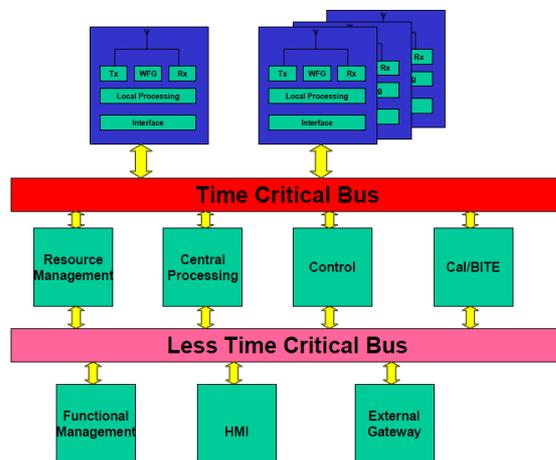


Fig. 2. Arquitectura propuesta para sistemas SMRF.

otro simulación (de los propios bloques seleccionados, interfaces y de arquitecturas completas) para demostrar el concepto SMRF en tres sistemas representativos:

- Radar de vigilancia terrestre: (Ground Based Volume Search Radar: GBVSR) en banda S con sistema IFF (Identification Friend or Foe: Identificador Amigo o Enemigo) incluido.
- Sistema Radar/ ESM (Electronic Support Measures)/ ECM (Electronic Counter Measures) Multifunción para MALE UAV (Medium Altitude Long Endurance Unmanned Aerial Vehicle: Vehículo no tripulado de Media Altitud y Alta Persistencia) con frecuencia de trabajo de 6 a 18 GHz.
- Sistema Radar/ ESM/ ECM Multifunción embarcado en una plataforma naval y trabajando desde 1 a 18 GHz.

ANÁLISIS

Como parte del proceso de la definición de la arquitectura SMRF, el proyecto SIMPLE ha realizado un análisis de la tecnología actualmente disponible y su tendencia futura (hasta el año 2020), tanto de las tecnologías necesarias para la implementación de los diferentes bloques funcionales como de las necesarias para implementar los interfaces entre ellos.

Mediante este análisis se han identificado las tecnologías críticas (definidas como aquellas cuyo estado futuro previsto no cumple con los requisitos más relevantes) para la implementación de sistemas SMRF.

Como conclusión de esta actividad en el SIMPLE, se recomienda realizar un esfuerzo de desarrollo en las siguientes áreas tecnológicas:

- Antenas: elementos de antena de apertura escalada (TSA: Tapered Slot Antenna) de banda ancha.
- Transmisores: tecnología de Nitruro de Galio (GaN)
- Receptores: nuevos desarrollos en conversión analógico-digital (ADC)
- Conformación de Haz: filtros digitales.

• Generación de onda: nuevos sintetizadores digitales directos DDS (Direct Digital Synthesis) con mayor Margen Dinámico Libre de espurios (SFDR: Spurious Free Dynamic Range).

• Módulos Transmisor/Receptor (TRMs: Transmit/Receive Modules): tecnología de Polímero Cristalino Líquido (LCP: Liquid Crystalline Polymer) para módulos en banda ancha.

Paralelamente al análisis de la tecnología, se ha llevado a cabo la definición tanto de los bloques funcionales (BBs), como de los interfaces necesarios para la implementación de los sistemas Multifunción Escalables conforme a la arquitectura identificada en el STRATA.

Esta arquitectura se basa en la definición de BBs unidos mediante tres tipos de enlaces:

- TIMLINK. Enlace síncrono para la distribución de señales de reloj/osciladores.
- DATALINK. Enlace asíncrono para la distribución de comandos, instrucciones y datos entre los subsistemas y los bloques funcionales.
- SUPLINK. Enlace de supervisión para encendido/apagado de bloques funcionales, BIT, instalación de software, log in, etc.

Una vez definidos dichos enlaces, se ha realizado también al análisis de viabilidad del control de los distintos bloques funcionales mediante una estructura de comandos común.

Uno de los elementos más críticos dentro de esta arquitectura es la antena, debido principalmente a la exigencia en los requisitos de ancho de banda, margen dinámico, capacidad de apuntamiento electrónico, etc. Por ese motivo, dentro del proyecto SIMPLE se ha prestado especial atención a este elemento.

Para el análisis de la antena se ha adoptado el concepto de *tile*, considerado un elemento fundamental para la escalabilidad de sistemas SMRF. Este elemento constituye el BB situado en el *front-end* del sistema y está formado por un número determinado de módu-

los transmisor-receptor (TRMs), conformado de haz de primer nivel, etapa de potencia y refrigeración y etapa de control.

Los TRMs del *tile* constituyen a su vez un sub-módulo también crítico para la realización de los sistemas SMRF. En el SIMPLE se han definido tres realizaciones hardware para los TRMs, aunque con interfaces y controles equivalentes:

- Tipo 1: con entrada analógica en transmisión, salida analógica en recepción, y conformado de haz a nivel de *tile*.
- Tipo 2: con entrada analógica en transmisión, salida digital en recepción, y conformado de haz digital a nivel de *tile*.
- Tipo 3: con entrada digital en transmisión, salida digital en recepción, generación de onda a nivel de *tile*.

Se concluyó, tras el análisis tecnológico, que los tipos 1 y 2 son realizables actualmente. El tipo 3 será realizable en un futuro a largo plazo más allá del año 2020.

Una antena estaría formada por un determinado número de *tiles* con TRMs de un tipo específico, en función de parámetros tales como frecuencia de trabajo, ancho de haz, potencia de transmisión, número de haces simultáneos, etc.

Respecto a las tecnologías empleadas en estos "tiles" para conformado del haz, se considera que las antenas de los sistemas SMRF utilizarán desfases a nivel de TRM y retardo en tiempo real (TTD: True Time Delay) a nivel de *tile*, introduciendo el uso mixto de técnicas analógicas y digitales.

Simulación

Las actividades de simulación en el SIMPLE se han centrado en simulaciones de RF y de los interfaces entre los distintos BBs, para finalmente terminar con una simulación de eventos en el planificador de tareas radar. De esta manera, se ha pretendido verificar la viabilidad de la implementación de sistemas SMRF.

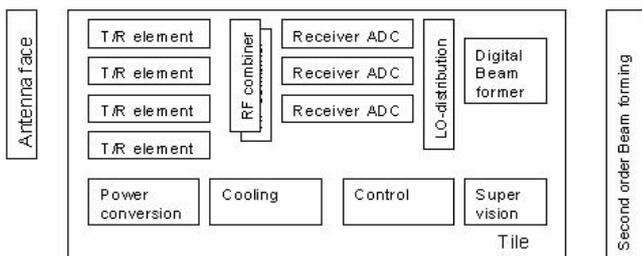


Fig. 3. Ejemplo de *tile*.

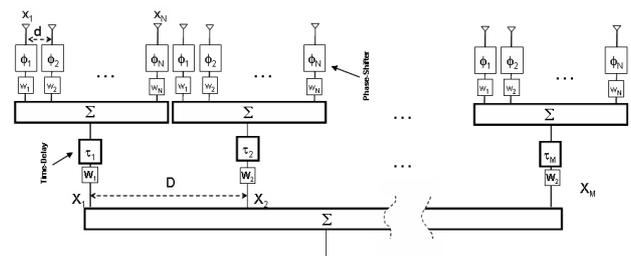


Fig. 4. Beamforming mixto: Desfasadores a nivel de modulo T/R (ϕ) y TTD a nivel de *tile* (τ).

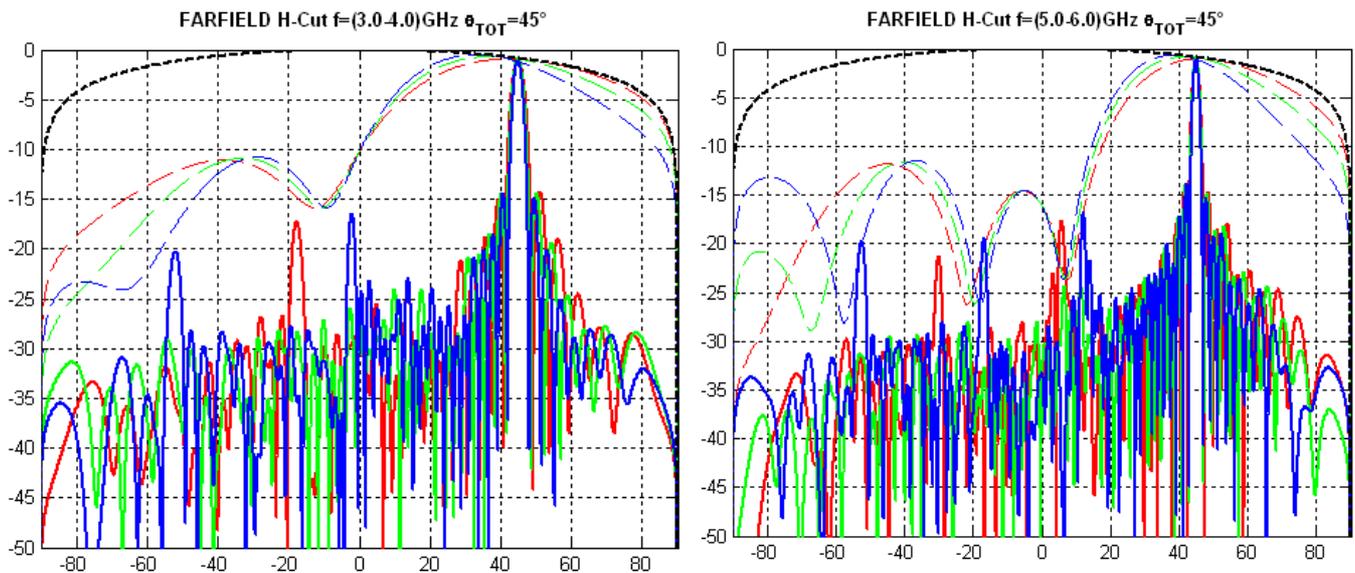


Fig. 5. Simulación en el dominio de la frecuencia. Diagramas de radiación usando *beamforming* mixto para un array 4x4 a 3.5 y 5.5 GHz respectivamente.

Por lo que respecta a la simulación de RF, se realizó a nivel de diagrama de radiación de antena tanto para banda ancha como para banda estrecha, en el dominio de la frecuencia y en el dominio temporal. Dichas simulaciones se han centrado en el análisis de:

- Degradación del diagrama de radiación debido a errores en el apuntamiento.
- Degradación en la conformación de haces (*beamforming*): debido al uso mixto de técnicas analógicas (desfasadores) y digitales (TTD) para la realización del *beamforming*, se producen lóbulos laterales en el diagrama de radiación. Se concluyó además, que estos lóbulos son dependientes del tamaño del *tile*.

Las principales conclusiones obtenidas mediante esta simulación son:

- Para los sistemas con *Phased Array* de banda estrecha (tecnología ya existente), el uso de bloques funcionales comunes en su arquitectura (implementación del concepto SMRF y realización de la antena a base de *tiles*) no supondría diferencias en las prestaciones y comportamiento con respecto al de los sistemas disponibles actualmente. Sin embargo, sí que se conseguiría una notable reducción en el coste del sistema.
- Para sistemas de banda ancha sería muy interesante la inclusión de TTD a nivel de modulo T/R. En este momento la tecnología de banda ancha no está lo suficientemente desarrollada

como para conseguir una reducción de costes en arrays de grandes dimensiones.

Para verificar la viabilidad de los interfaces, se han realizado las siguientes simulaciones:

- SUPLINK: Desarrollo de un software para verificar la escalabilidad de los sistemas SMRF, utilizando el protocolo SNMP bajo una red tipo ASTERIX.
- TIMLINK: Análisis de los errores de fase/retardo para señales de RF y de *jitter* (diferencia de tiempo entre señales) mediante la aplicación de diferentes fórmulas.
- DATALINK: Estudio de la latencia y flujo de datos aplicado a los sistemas patrón, mediante el uso de una hoja de cálculo para verificar las capacidades de procesado y el tamaño de memoria necesario en los bloques funcionales.

Finalmente, con el objetivo de verificar la escalabilidad y capacidad multifunción de los sistemas definidos mediante la arquitectura SMRF, se ha realizado una simulación dinámica (en Matlab y Simulink). Para ello, se han definido tres escenarios operativos y tres "fotos temporales" (*snapshots*) en cada uno de ellos, que permitirán verificar la capacidad multifunción de los tres sistemas RF elegidos en este proyecto como sistemas RF multifunción representativos. Mediante la simulación del modulo planificador de tareas en un sistema de RF, (el cual define las acciones a realizar y asigna a cada una de ellas un tiempo de ejecución) se ha

verificado que los sistemas definidos serían capaces de realizar las tareas y funciones requeridas en cada uno de los *snapshots* analizados.

La escalabilidad se demuestra en simulación añadiendo más o menos bloques funcionales al sistema.

Conclusiones y Recomendaciones

Se considera que el SIMPLE ha concluido satisfactoriamente, cumpliendo el objetivo de demostrar que el desarrollo eficiente de sistemas RF se puede alcanzar mediante el uso de una arquitectura basada en un conjunto limitado de versiones básicas de módulos funcionales y unos interfaces internos basados en TDS (TimeLink, DataLink y SupLink), denominada arquitectura SMRF.

El concepto SMRF está basado en el uso de una serie de BBs, que puedan ser reutilizados en distintos sistemas. Esto puede implicar un mayor coste de desarrollo inicial de dichos bloques, pero que será después compartido entre distintos sistemas. La escalabilidad implica además una reducción de costes, ya que permite aumentar el número de bloques idénticos utilizados en un mismo sistema.

El hecho de utilizar una arquitectura común como la definida en el proyecto SIMPLE en distintos sistemas de RF permitirá invertir menos tiempo en su desarrollo y disminuir los costes del ciclo de vida, sin sufrir por ello una degradación en las prestaciones de dichos sistemas. Una arquitectura común

facilita además el desarrollo conjunto entre varias industrias.

Si bien el proyecto STRATA demostró que la definición de distintos sistemas de RF basados en bloques funcionales es coste-eficiente, el SIMPLE ha ido un paso más lejos, definiendo más detalladamente la arquitectura adecuada para implementar este concepto, el análisis de tecnologías emergentes que permitan implementarlo, definición de sistemas y escenarios típicos y la simulación de elementos claves que validen la arquitectura y módulos definidos.

Así, mediante la simulación de la implementación de la arquitectura SMRF definida para tres sistemas representativos y la simulación de prestaciones esperadas, se considera validado dicha asunción, realizada en el STRATA.

Como principales conclusiones técnicas del proyecto SIMPLE se pueden destacar:

- Una vez investigada la posibilidad de diseñar sistemas multifunción en banda ancha para radar, guerra electrónica y comunicaciones, se considera que la solución preferida a nivel de *front-end* de RF, estaría basada en un sistema de múltiples antenas optimizadas para las distintas bandas. Así, el proyecto SIMPLE recomienda una división en tres bandas (1-2 GHz, 2-6 GHz y 6-18GHz) para dichos sistemas. No obstante, la arquitectura definida soporta tanto aperturas separadas como compartidas (para aquellos casos en los que las restricciones en tamaño y peso no permiten el uso de varias aperturas).
- Se han definido una serie de BBs

multifunción capaces de soportar distintas aplicaciones en sistemas radar, de guerra electrónica y de comunicaciones. La definición de estos BBs ha estado apoyada por el análisis de un gran número de aplicaciones, cubriendo la mayoría de los sensores de RF.

- Los sistemas de banda estrecha (50 MHz de banda instantánea), ya sean analógicos o digitales, pueden desarrollarse hoy en día utilizando el concepto SMRF. La tecnología disponible actualmente permitiría *front-ends* totalmente digitales en banda S.
- Los sistemas de banda ancha (hasta 1GHz de ancho de banda instantáneo) requieren un mayor desarrollo de la tecnología en lo que se refiere a conformado de haz, amplificación y eficiencia de potencia, y velocidad de datos en el procesado de señal entre otros.

Dados los resultados obtenidos, y con el objetivo de alcanzar el diseño de sistemas SMRF basados en la arquitectura definida, como conclusión del SIMPLE se considera altamente recomendable la implementación de proyectos futuros que resuelvan los puntos débiles identificados en el proyecto. Para ello, se sugieren dos líneas de acción diferentes:

- Desarrollo de sistemas de banda estrecha totalmente digitales a nivel de elemento (para banda ancha sería a largo plazo). Se sugiere un demostrador hardware de arquitectura para un sistema de banda estrecha.
- Desarrollo de bloques funcionales comunes analógicos y de banda ancha. Se sugiere un estudio de tecnología enfocado a tecnología de banda ancha

para elementos de antena, eficiencia en RF y *beamforming*.

Según la hoja de ruta elaborada en el Programa SMRF, se sugeriría continuar con los siguientes proyectos:

- Demostrador de arquitectura hardware de un sistema de banda estrecha que aborde temas como el control de tiempos, gestión de recursos, tasa de datos, refrigeración, etc.
- Estudios tecnológicos centrados en sistema de banda ancha, enfocados en tecnologías como elementos de antena, eficiencia de radiofrecuencia y conformado de haz de banda ancha, etc.

En la actualidad se está contemplando la posibilidad de crear un consorcio industrial para el desarrollo del concepto de sistemas SMRF. Además un grupo de trabajo, bajo este consorcio, vigilaría que los estándares SMRF se cumplan.

Dados los resultados de este proyecto, se considera importante para el desarrollo del concepto SMRF y la consecución del objetivo final de desarrollar, sistemas basados en la arquitectura propuesta y en línea con una serie de estándares abiertos desarrollados en este foro, que industrias y gobiernos sigan fomentando el trabajo dentro del Acuerdo Marco SMRF para definir un plan común de acciones y nuevas propuestas de trabajo.

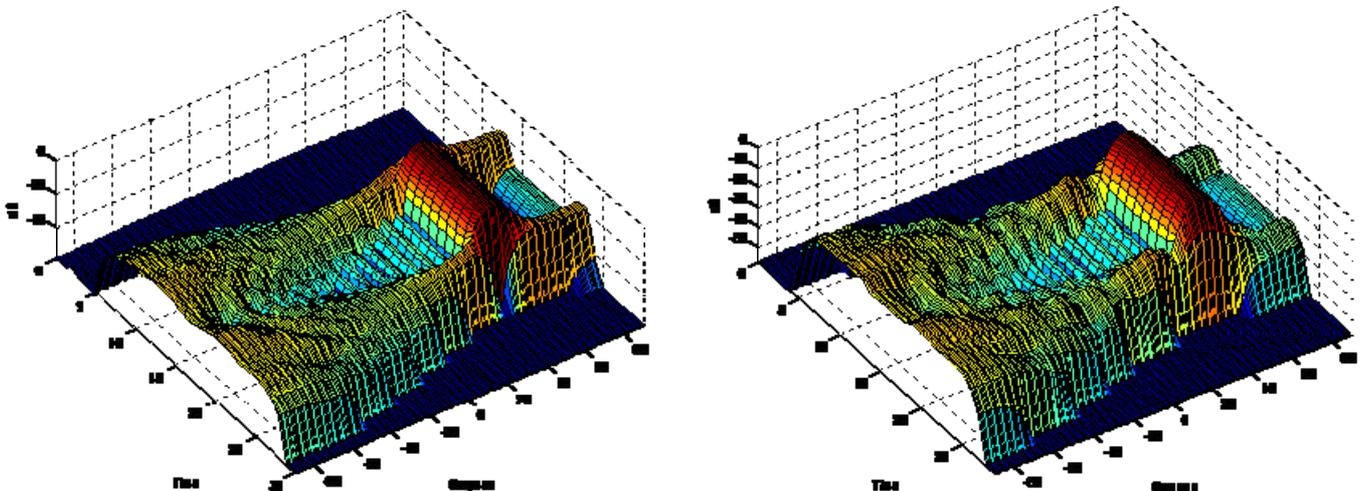


Fig. 6. Simulación en el dominio de tiempo. Diagrama tiempo-ángulo usando TTD a nivel de módulo T/R (izquierda) y desfases a nivel de módulo T/R y TTD a nivel de *tile* utilizando un array de 4x4 a 3.4 GHz.

En profundidad

HÉLICES CLT: TECNOLOGÍA BAM

CF Ing. José M^a Riola, SOPT-TECIN, Juan
Jesús Díaz, OT Sistemas Navales

Introducción

Con ocasión del acto de botadura del cuarto Buque de Acción Marítima (BAM) P-44 "Tornado" en los astilleros de Navantia en San Fernando (Cádiz) el pasado día 21 de marzo, se presentó uno de los avances tecnológicos que se ha incorporado en esta serie. Nos referimos concretamente a la utilización de hélices CLT (*Contracted and Loaded Tip Propeller*) cuyo objetivo es de reducir consumos, mejorar el nivel de ruidos y aumentar la velocidad y por ende la autonomía de estas embarcaciones.

Tres días antes del mismo, el Consejo de Ministros del día 18 de marzo, inició los trámites para la preparación de un nuevo programa de Buques de Acción Marítima, dando comienzo a los trabajos, actividades, estudios y análisis necesarios que deberán concluir en el plazo de cuatro meses, momento en el que el Ministerio de Defensa deberá elevar al Consejo de Ministros una nueva propuesta de Acuerdo por la que se autorice la contratación de dicho programa y se fijen las condiciones definitivas de precios, plazos y requisitos. Este programa prevé la construcción de cinco nuevos buques: tres patrulleros (BAM-P), un buque de salvamento y rescate (BAM-SR), y un buque de investigación oceanográfica (BAM-IO). Con ellos se pretende continuar con la baja de la actual flota de patrulleros, que se encuentra en sus últimos años de servicio activo, y su sustitución por buques de mayores prestaciones y capacidades.

Teoría y conceptos básicos

Las primeras aplicaciones de las hélices están datadas hace miles de años. Nos estamos refiriendo concretamente a los molinos de viento y agua, si bien en el año 1804 el inventor estadounidense John Stevens tras realizar diversos experimentos sobre la navegación de vapor, desarrolla el primer propulsor de hélice



Fig. 1. Acto de botadura del BAM "Tornado".

partiendo de una aplicación de la máquina de vapor. Otros autores citan como inventor de la hélice para barcos al checo Josef Ressel quien solicitó la patente austriaca el 28 de noviembre de 1826.

La evolución aparejada del desarrollo de la ingeniería naval comenzó su exitosa historia con la construcción del buque de vapor "Clermont" por Robert Fulton botado en 1807, cuyo propulsor era una rueda con paletas, movida por una máquina de vapor, estableciendo así el primer servicio regular a vapor entre Nueva York y Albany.

La hélice determinó un cambio radical en la propulsión de los buques. De manera simplificada podemos definir una hélice como un dispositivo formado por un conjunto de elementos denominados palas o álabes, montados de forma concéntrica alrededor de un eje, girando alrededor de éste en un mismo plano, cuya función es transmitir a través de las palas su propia energía cinética a un fluido.

Esta teoría se basa principalmente en la tercera ley de Newton "Principio de acción y reacción", que enuncia: "Si un cuerpo actúa sobre otro con una fuerza (acción), éste reacciona contra aquél con otra fuerza de igual valor y dirección, pero de sentido contrario

(reacción)". La hélice cuando rota produce una fuerza que provoca un empuje hacia atrás del agua, el cual provoca una fuerza en la misma dirección pero en distinto sentido que origina el movimiento del buque.

Para entender la acción hidrodinámica de la hélice es necesario conocer de forma minuciosa la geometría básica de la misma. Sin ánimo de ser exhaustivos se definen a continuación algunos conceptos básicos de estos dispositivos.

Se denomina avance geométrico o paso a la distancia que una hélice o una de sus hojas se desplaza hacia adelante por cada vuelta completa que realiza el eje del propulsor. Otra característica fundamental es el tamaño del núcleo necesario para fijar las palas y los mecanismos de control, que en el caso de hélices de palas orientables (CPP - *Controllable Pitch Propeller*) siempre será mayor que en el caso de las hélices de paso fijo (FPP - *Fixed Pitch Propeller*). Se define como diámetro a aquel que correspondería a la circunferencia que fuera tangente a los extremos de las palas. Otra característica fundamental en el diseño de una hélice es la relación paso-diámetro. También se deben tener en cuenta el lanzamiento axial de la pala y el lanzamiento circunferencial de la

en profundidad

hélice, que afectan directamente a los esfuerzos vibratorios inducidos por la presión del casco y que aportan ventajas hidrodinámicas, así como evitan fenómenos de cavitación.

Otra diferencia entre las CPP y las FPP es la relación área proyectada / área disco (A/A_0), definiéndose como área proyectada la que se obtiene de proyectar la hélice sobre un plano normal a su eje.

En otro orden podemos definir según el sentido de giro de las mismas, hélices dextrógiras (paso a la derecha), cuando en marcha avante giran a la derecha si miramos desde popa hacia proa, y levógiras (paso a la izquierda) si, en las mismas circunstancias, giran a la izquierda.

La selección del número de palas, es otro factor clave, normalmente su número varía entre 3 a 7, si nos centramos en el ámbito de las aplicaciones militares y en base a requisitos de ruido generado predominan del orden de 5 palas, de manera que se minimicen las frecuencias de resonancia perjudiciales

para la estructura y maquinaria, así como los efectos debidos a la cavitación.

La cavitación es un fenómeno físico de gran importancia en propulsión. Este hecho se comenzó a advertir cuando fueron instaladas las primeras turbinas de vapor para propulsión en los buques militares. Se ha demostrado que cuando las hélices trabajan a un alto número de revoluciones existen zonas de las palas (bordes de diámetro extremo donde es mayor la velocidad lineal) y de la cara de empuje de las palas donde se produce una gran disminución de la presión que en el caso de alcanzarse la presión o tensión de vapor provoca un cambio de fase de líquido a vapor, dicho en términos prácticos el agua hierve por descenso de la presión. Los principios de la física nos indican que la temperatura de ebullición del agua es función de la presión atmosférica (el agua hierve a 100°C a nivel del mar y lo hace a menor temperatura a mayor altura). De acuerdo a este principio cuando la hélice gira a gran velocidad y una vez alcanzada la tensión de vapor, el agua

llega a hervir generando burbujas de vapor. Estas burbujas continúan desplazándose hacia atrás hasta que se encuentran con una zona de mayor presión donde implosionan o colapsan (el vapor regresa al estado líquido de manera súbita) generando ondas de presión que inciden sobre las palas produciendo un arranque microscópico del metal de la superficie, hecho que induce notables daños de erosión al material constitutivo de la hélice. En la implosión se producen presiones puntuales de hasta 10^5 bares con zonas de impacto de $1/1000$ a $1/100.000$ mm^2 . El segundo mecanismo de daño se debe a que se generan microchorros de agua que llegan a alcanzar velocidades locales del agua de hasta 1.000 m/s. Es por ello que este fenómeno origina una pérdida adicional de rendimiento al reducir el empuje proporcionado por la hélice y aumentar la resistencia al avance. El fenómeno comenzó a ensayarse tras la invención por Ackeret en 1932 del túnel de cavitación, permitiendo su estudio y obtención de análisis muy completos.

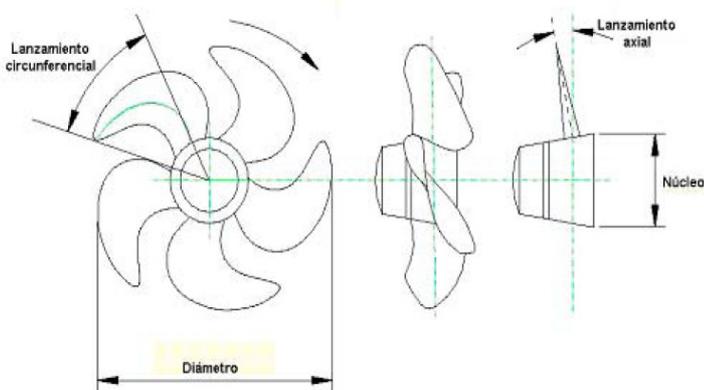


Fig. 2. Geometría de una hélice.



Fig. 3. Fenómeno de cavitación y ensayo en túnel de una hélice convencional.



Fig. 4. Ensayo en túnel de cavitación.



Fig. 5. Hélice CLT.

En los últimos años se han venido desarrollando diversos dispositivos así como nuevos diseños de hélices no convencionales encaminados a mejorar el rendimiento propulsor del buque. Podemos citar entre muchas las siguientes: de paso fijo, paso variable, hélice tobera, contra-rotativa, de eje vertical (acimutales), supercavitantes, emergentes (*surface propeller*), Voith Schneider,... Sin embargo una de las aportaciones más importantes ha sido realizada por la empresa española SISTEMAR, que ha desarrollado un tipo especial de hélice denominada CLT o hélice con extremos de pala cargados.

La selección de una hélice para una aplicación particular es el resultado de la consideración de diferentes factores con objeto de conseguir el máximo rendimiento y entre los que destacan: limitación de ruido, mantenimiento, costes de instalación,... Es por ello que cada proyecto lleva implícito un estudio cuidadoso en el que las condiciones operativas deben de ser tenidas muy en cuenta.

Historia

El concepto de hélice CLT surge en 1976 por el profesor D. Gonzalo Pérez Gómez y se ha venido evolucionado hasta nuestros días de forma continua. Introduce un aspecto diferenciador de las convencionales al contar con unas placas de cierre en los extremos de las palas de manera que permiten que exista una carga no nula en su borde.

Estas placas de cierre impiden que se generen torbellinos de extremo de pala, lo que supone que las fuerzas fluctuantes de presión son menores en las hélices CLT y en consecuencia también son menores los niveles de ruidos y vibraciones a bordo. La teoría ha demostrado que cuanto mayor es la diferencia de presiones en ambas caras mayor es el rendimiento de la hélice.

Estas hélices han sido instaladas en más de 280 buques, entre civiles (petroleros, quimiqueros, *bulkcarriers*, pesqueros, RO-RO, cruceros, etc.) y militares, oscilando la gama de potencia propulsora de los 36.000 BHP (*Brake Horsepower*) a 90 rpm hasta los 300 BHP a 2.400 rpm. A pesar de los resultados expuestos, una de las dificultades con las que se encuentra el armador / astillero a la hora de seleccionarlas e instalarlas ha sido

debido a la falta de conocimientos específicos iniciales de este tipo de hélice, ya que se precisa de un modelo diferente a la metodología clásica de extrapolación a escala completa en relación con hélices convencionales.

De las pruebas de mar realizadas hasta el momento en buques que previamente tenían instaladas hélices convencionales y que posteriormente montaron CLT se obtuvieron una serie de ventajas competitivas: mayor rendimiento propulsivo, reducción de los niveles de vibraciones excitadas sobre el casco, a igualdad de potencia propulsora mejor respuesta del buque a la acción del timón. Estos factores se traducen en mejores características de maniobrabilidad (círculos de evolución de menor radio y menor distancia de frenado), reducción de potencia propulsora (ahorro de combustible a igual velocidad), disminución de los efectos de cavitación (ya que existe menor depresión en la cara pasiva de las palas),...

Cabe recordar que la probabilidad de que se inicie el fenómeno de cavitación

se evalúa en base a la relación que existe entre la presión dinámica en el punto de estudio, la presión de vapor a la temperatura de estudio, la densidad y la velocidad aguas arriba. Es por tanto manifiesto que esta probabilidad depende de la distribución de presiones y del tipo de flujo desarrollado sobre la sección anular de la pala.

Los diseños iniciales de hélices CLT tenían a su favor la menor depresión existente aguas arriba, y en contra el desprendimiento de flujo producido en las secciones extremas de la hélice debido al excesivo ángulo de ataque. Además del riesgo de excitación de vibraciones existía también la posibilidad de que el flujo desprendido en las secciones extremas pudiese reincidir sobre las palas originando cavitación tipo nube, con la consiguiente erosión de las palas. Fue por ello necesario desarrollar ensayos de cavitación precisos que tuvieran en cuenta el efecto de escala que afecta a la resistencia viscosa de las palas de la hélice en el campo del modelo [6].



Fig. 6. Esquema y hélices CLT montadas en el BAM P44 "Tornado".



Fig. 7. Hélice CLT en el petrolero "Roy Maersk".

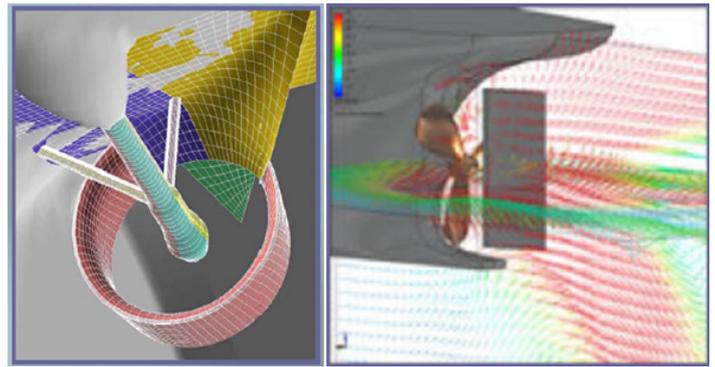


Fig. 8. Imágenes del proyecto SILENV.

La segunda generación de hélices CLT ha aportado mejoras con respecto a la inicial como son la reducción de la depresión en la cara de succión de la hélice, minimizando la extensión de cavitación tipo lámina y por tanto los niveles de las fluctuaciones de presión, y han aumentado la sobrepresión en la cara de presión de la hélice que tiene como consecuencia el aumento del rendimiento de propulsor aislado.

Programas de I+D, resultados

Con objeto de comprobar la fiabilidad de los resultados esperados se llevó a cabo un programa de I+D+i, patrocinada por la Gerencia del Sector Naval, que finalizó en 2005. En él participaron Izar (actualmente NAVANTIA), el CEHIPAR, y SISTEMAR. El objetivo era desarrollar un procedimiento de extrapolación a plena escala de los resultados de los ensayos de remolque, autopropulsión y propulsor aislado correspondientes a hélices CLT y asimismo desarrollar una metodología especial para efectuar ensayos de cavitación con modelos de las mismas. El programa finalizó con la validación de la tecnología desarrollada comparando los resultados experimentales con los de plena escala, tomando como datos los correspondientes al buque "Fortuny", construido por AESA (Astilleros Españoles S.A.), para Transmediterránea.

De los resultados de las pruebas comparativas tanto en el campo del modelo como a plena escala se concluyó que los procedimientos desarrollados para la extrapolación de los resultados experimentales con hélices CLT y de realización de ensayos de cavitación eran correctos.

El programa de mediciones a plena escala efectuado con palas convencionales de alto skew

diseñadas por Marin y con hélices CLT, puso de manifiesto la calidad superior de las últimas, traduciéndose en una reducción de la potencia propulsora a velocidad constante superior al 11 % y en la reducción drástica de los niveles de ruidos y vibraciones excitados.

Las conclusiones que se obtuvieron tras los numerosos ensayos de cavitación, realizados en los programas de I+D, evidenciaron que las secciones extremas de dichas hélices presentaban desprendimientos de flujo, que podían originar fenómenos de cavitación tipo nube. Este hecho obligó a un rediseño de las mismas, recurriéndose a que las secciones extremas de las palas tuviesen un lanzamiento negativo, con la finalidad de dificultar el retorno sobre la pala de la cavitación tipo lamina desprendida.

Gracias a estos estudios y desarrollos la Armada exploró la posibilidad instalar estas palas tanto en el Buque de Aprovisionamiento (BAC) "Cantabria" como en los BAM. Tal y como se describe en [3], este buque cuenta con dos unidades propulsoras que están situadas en dos cámaras de máquinas independientes, constanding cada unidad de un motor diesel, un motor eléctrico, un reductor y una línea de ejes que suministra la potencia propulsora a una hélice de paso controlable tipo CLT.

En 2006 se estableció un acuerdo con A.P. Moeller Maersk (una de las principales navieras del mundo) para definir diferentes dispositivos y soluciones capaces de reducir el consumo de combustible. Esta compañía ha instalado este tipo de hélices tras considerarlas como uno de los dispositivos más prometedores dentro de este campo. En octubre 2007 comenzaron los primeros ensayos en

el Canal de Ensayos Hidrodinámicos de Hamburgo (HSVA) finalizándolos en febrero de 2008. En base a ellos A.P. Moeller decidió continuar las investigaciones aplicándolas en un petrolero de 35.000 tpm (toneladas de peso muerto). En el llevó a cabo ensayos de remolque, aguas libres, autopropulsión, cavitación, medición de estelas y estudio del campo de presiones. De ellos se derivó como principal conclusión que con estos medios se obtenía un ahorro importante de combustible.

En 2009 se inicia el programa SILENV (*Ships oriented Innovative Solutions to Reduce Noise & Vibrations*) dentro del 7º Programa Marco, que tiene por objeto el estudio de las fuentes que provocan ruido y vibraciones dentro de los buques y en su entorno, los métodos para reducirlos con su análisis de costes, y finalmente proponer una categoría "green label" definiendo los requisitos asociados a los distintos tipos de barcos y soluciones para alcanzar estos requisitos. Estas hélices forman parte del estudio del mismo [1].

Otro proyecto de I+D que se está desarrollando actualmente en el ámbito del 7º Programa Marco es el "Triple Energy Saving by Use of CRP, CLT and PODded Propulsion - TRIPOD". Su principal objetivo es el desarrollo y validación de un nuevo concepto de propulsión para mejorar la eficiencia energética de los buques a través de la combinación de tres tecnologías avanzadas de propulsión existentes (propulsor acimutal POD, hélices CLT y hélices contrarrotativas). Los miembros que participan en él son ABB y VTT de Finlandia, MAERSK de Dinamarca, y la participación nacional la lleva a cabo el CEHIPAR, CINTRANAVAL-DEF CAR y SISTEMAR.



Fig. 9. Ensayo de cavitación y CLT instalada en el BAM.

En la fase de ejecución del proyecto se analizarán hasta siete configuraciones distintas de propulsión, se partirá de un buque con hélice convencional al que se le diseñará una CLT alternativa. La fase final implica una optimización de las formas de popa desde el punto de vista propulsivo diseñando una nueva unidad CRP-CLT-POD comparando sus resultados con las referencias anteriores. Pretende llevar a cabo la validación de los ahorros estimados de energía, ruidos y vibraciones, analizando la viabilidad técnica desde el punto de vista económico para implantar este novedoso concepto en nuevas construcciones y buques en servicio. Este proyecto además está orientado a satisfacer las demandas establecidas por la IMO (*International Maritime Organization*) con el fin último de conseguir una contaminación cero por parte de los buques bajo el concepto de “mejora continua” según recoge el Código Internacional de Gestión de la Seguridad ISM (*International Safety Management Code*), tanto dentro del ámbito internacional (revisión del anexo VI del Convenio MARPOL) como en la UE (Directiva 2005/33), que han implementado un calendario que condiciona las emisiones de NO_x, SO_x, PM y CO₂.

Fundamentos teóricos

A la hora de diseñar un buque uno de los factores que se tiene en cuenta es el denominado rendimiento propulsivo (η_P). Este coeficiente se define como la relación entre la potencia efectiva (EHP) que es necesaria para vencer la

resistencia al avance y la potencia desarrollada por la planta propulsora (BHP).

La base de partida para el proyecto de una hélice es la curva de potencia efectiva. Por tanto el principal objetivo del diseño del las formas del buque y de la hélice será incrementar tanto como sea posible el valor del (η_P) de manera que la potencia requerida para propulsar el buque a una determinada velocidad sea lo menor posible, siempre y cuando se satisfaga la especificación del proyecto. Este rendimiento puede calcularse en función de los rendimientos del casco (η_h), del propulsor aislado (η_0), rotativo relativo (η_R) y del mecánico (η_m).

Los primeros desarrollos teóricos y ensayos con modelos de este tipo de propulsores fueron publicados en 1976 bajo el concepto de hélices TVF (*Tip Vortex Free*) [5], este concepto dio lugar al desarrollo posterior de las CLT a partir de 1986.

En 1980 se generaliza la “Teoría de Líneas Sustentadoras” y se desarrollan en base a ella los primeros diseños. Esta teoría es revisada posteriormente publicándose en 1983 las correcciones y aplicaciones a dicha teoría [4] y [5]. Esta bibliografía define y recoge los valores de los rendimientos del propulsor aislado (η_0) tanto para la teoría clásica como para la nueva teoría de la impulsión (NTI).

Ambos rendimientos están influenciados por el coeficiente adimensional (ϵ) que define el reparto de presión. ϵ depende del tipo de hélice

y de sus características principales (diámetro, número de palas, relación área / disco, distribución radial de cargas, geometría de las secciones anulares...).

De acuerdo con la NTI es evidente que el rendimiento disminuye conforme ϵ aumenta y viceversa.

En el caso de hélices convencionales, la NTI no permite matizar la influencia de la sobrecarga de la hélice en el coeficiente ϵ , ya que se impone un valor fijo de dicho coeficiente. En los cálculos para los propulsores CLT según la NTI se utiliza un valor inicial de 0.16 para realizar predicciones y próximo a 0.09 para definir la geometría. Mientras que para hélices convencionales este valor está en el rango de 0.4.

El empuje suministrado por la hélice se obtiene por medio de la acción combinada de una reducción de la presión ($\epsilon \Delta p$) aguas arriba y de una sobrepresión ($(1 - \epsilon) \Delta p$) aguas abajo de la hélice. La NTI demuestra matemáticamente que la velocidad inducida al fluido por la acción de la hélice depende de ϵ . Además expone que la componente axial de la velocidad inducida aumenta a lo largo de la vena líquida desde el disco actuador que modeliza la acción de la hélice sobre el agua hasta el infinito aguas abajo. Este incremento de velocidad produce una reducción progresiva de la sección transversal de la vena líquida (ecuación de continuidad). Es por ello que las placas de cierre de la hélice CLT deben adaptarse a la contracción de la vena

en profundidad

líquida para reducir tanto como sea posible su resistencia viscosa.

Aplicaciones en Defensa

En octubre de 2009 se llevaron a cabo las pruebas de mar del BAC "Cantabria", este buque está equipado con una hélice de 5 palas con un diámetro de 5.7 m, relación área disco de 0.58 y núcleo CP de Rolls Royce. Las pruebas de mar han confirmado los cálculos de diseño y predicciones previas en canal.

En el caso de los BAM, la hélice seleccionada cuenta con 4 palas, tiene un diámetro de 3.45 m, relación área disco es de 0.52, y su fabricación la ha realizado WÄRTSILA IBERICA. Las pruebas de mar con la primera unidad de los BAM el P-41 "Meteoro" se llevaron a cabo en marzo de 2011.

Conclusiones

Las principales conclusiones que pueden extraerse tras más de 30 años de desarrollos son que esta tecnología es una realidad completamente desarro-

llada, conceden ventajas significativas sobre las hélices convencionales, cuando se aplican a buques de gran desplazamiento, como [2]:

- Se estima de un 5% a un 8% más eficiente en toda la gama de funcionamiento, lo que repercute en ahorro de combustible, menor nivel de emisiones, mayor velocidad y autonomía.
- Se reduce el riesgo por cavitación, lo que supone menor nivel de ruido y las vibraciones inducidas.
- Los incrementos en la eficiencia son mayores cuando se aplican estos diseños a buques con un coeficiente de bloque elevado (c_b) (petroleros, *bulkcarriers*,...) y bajas velocidades de tránsito.

Finalmente queremos resaltar con este artículo que el proceso de selección y diseño de estas hélices para nuestros buques de guerra ha supuesto un hito para la Armada.

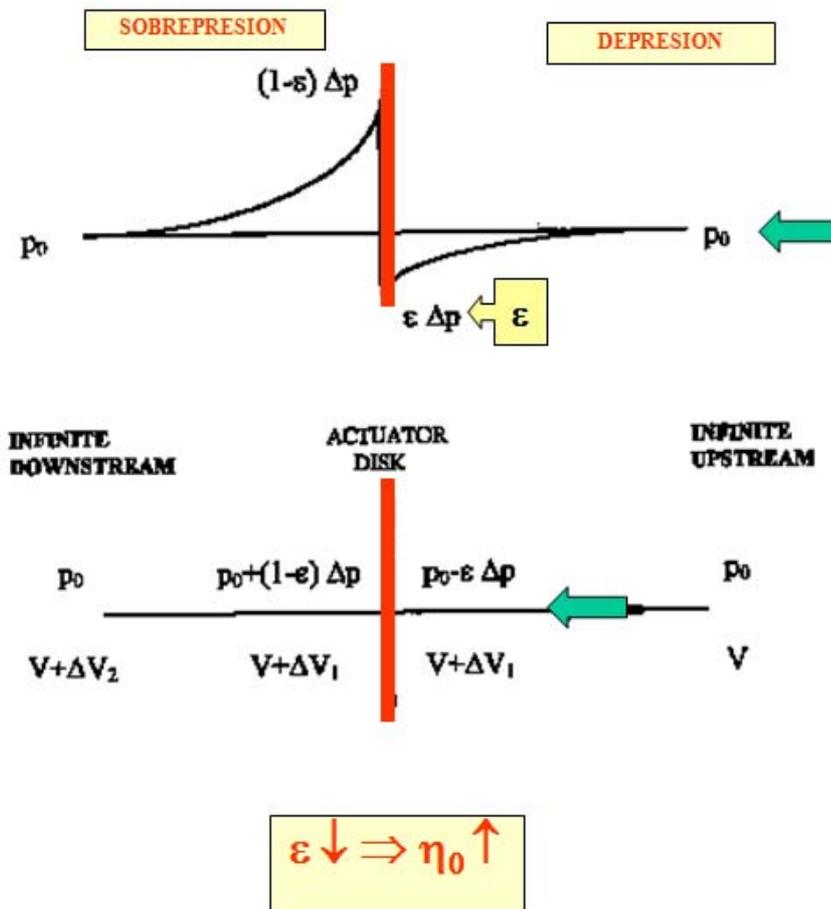


Fig. 10. Diagrama de presiones.

Referencias

- [1] Cerup.Simonsen, B., De Kat, J., Jakobsen, O., Pedersen, L., Petersen, J. y Posborg, T., (2010). An integrated approach towards cost-effective operation of ships with reduced GHG emissions. *Society of Naval Architects and Marine Engineers SNAME*. Rhode Island. Providence.
- [2] Gennaro, G., Adalid, J., y Folso, R., (2009). Contracted and loaded tip (CLT) propellers. Latest installations and experiences. *16th International Conference of Ship and Shipping Research*. Messina, Italia.
- [3] Manrique, J., González-Villegas, F., Chacón, J. y del Castillo, F., (2006). El Buque de Acción Marítima (BAM). Una solución innovadora y con proyección de futuro adaptada a las necesidades de la Armada. *Revista de Ingeniería Naval*. 841, 81-91.
- [4] Pérez-Gómez, G., (1983). Correcciones a la teoría clásica de la impulsión y habilitación de la misma para el diseño de propulsores. *Revista de Ingeniería Naval*. Enero.
- [5] Pérez-Gómez, G., Baquerizo-Briones, I. y González-Adalid, J. (1983). Aplicaciones de la nueva teoría de la impulsión al diseño de propulsores. *Revista de Ingeniería Naval*. Julio.
- [6] Pérez-Gómez, G., Pérez-Sobrino, M., González-Adalid, J., García-Gómez, A., Masip, J., Quereda, R., Minguito, E. y Beltrán, P., (2006). Un hito español en la propulsión naval. Rentabilidad de un amplio programa de I+D+i. *Revista de Ingeniería Naval*. 838, 79-114.

ⁱ La hélice con "skew" o lanzamiento circunferencial, es aquella que permite una entrada progresiva del flujo (partículas de agua) en la pala evitando perturbaciones que incitan vibraciones y ruidos. Se caracterizan por su alto rendimiento propulsivo, bajos niveles de ruidos y vibraciones.

Boletín de Observación Tecnológica en Defensa

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