Boletín DE OBSERVACIÓN TECNOLÓGICA EN DEFENSA

DIRECCIÓN GENERAL DE ARMAMENTO Y MATERIAL
ARMAMENTO Y MATERIAL

SUBDIRECCIÓN GENERAL DE PLANIFICACIÓN, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN
Boletín de Observación Tecnológica en Defensa n.º 55 • 3.er y 4.° trimestre de 2017

Drive-By-Wire para el teleguiado de vehículos y conducción preprogramada a través de waypoints

V Congreso Nacional de I+D en Defensa y Seguridad

PREDECIBLE: Sistema de Analítica Predictiva para Defensa en el Ciberespacio Basada en Escenarios Reproducibles

Edita:

GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE DEFENSA
SECRETARÍA GENERAL TÉCNICA
SUBDIRECCIÓN GENERAL DE PUBLICACIONES Y PATRIMONIO CULTURAL

NIPO en línea: 083-15-183-4
NIPO impresión bajo demanda: 083-15-182-9
ISSN edición electrónica: 2444-4839

Autor: Sistema de Observación y Prospectiva Tecnológica (SOPT), Subdirección General de Planificación, Tecnología e Innovación (SDG PLATIN) de la Dirección General de Armamento y Material (DGAM). C/ Arturo Soria 289, 28033 Madrid; teléfonos: 91 395 46 31 (Dirección), 91 395 46 01 (Redacción); observatecno@oc.mde.es.

Director: TCol. Juan Manuel González del Campo Martínez

Redacción: Héctor Criado de Pastors, Jaime de la Parra Díaz.

Consejo Editorial: Óscar Jiménez Mateo, 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): Óscar Rubio Gutiérrez; Observatorio de Electrónica (OT ELEC): Rosalía Vindel Román; Yolanda Benzi Rabazas; Observatorio de Energía y Propulsión (OT ENEP): Héctor Criado de Pastors; Observatorio de Defensa NBQ (OT NBQ): Angélica Acuña Benito; Observatorio de Materiales (OT MAT): Luis Miguel Requejo Morcillo; Observatorio de Óptica, Optrónica y Nanotecnología (OT OPTR): Pedro Carda Barrio; Observatorio de UAVs, Robótica y Sistemas Aéreos (OT UAVs): Ing. D. José Ramón Sala Trigueros, Guillermo Carrera López; Observatorio de Sistemas Espaciales (OT SESP): Maria Isabel Corzo Díaz; Observatorio de Sistemas Navales (OT SNAV): Cristina Mateos Fernández de Betoño, Jaime de la Parra Díaz; Observatorio de Sistemas Terrestres (OT STER): Cap. Carlos Calderón Carnero, Pablo Monasterio Albueme; Observatorio de Tecnologías de la Información, Comunicaciones y Simulación (OT TICS): Bernardo Martínez Reif, Isabel Iglesias Pallín.

Portada: Puntos y líneas de conexión. (Fuente: href=http://www.freepik.com; Designed by kjpargeter / Freepik).

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.tecnologiaeinnovacion.defensa.gob.es/es-es/Presentacion/Paginas/SOPT.aspx

SOPT
DGAM
Subdirección General de Planificación, Tecnología e Innovación

CONTENIDOS

Editorial

Actualidad

4 ¿Dónde hemos estado?

6 V Congreso Nacional de I+D en Defensa y Seguridad

8 Congreso de protección de edificios frente a explosiones

Tecnologías Emergentes

10 Drive-By-Wire para el teleguiado de vehículos convencionales y conducción preprogramada a través de waypoints

En Profundidad

13 Implantación de energías renovables para autoconsumo en bases y campamentos militares - Análisis de tres escenarios en territorio nacional

17 PREDECIBLE: Sistema de Analítica Predictiva para Defensa en el Ciberespacio Basada en Escenarios Reproducibles

23 SimEx: Una herramienta para la evaluación rápida de los efectos de explosiones

28 Proyecto ALPAM: Retos en almacenamiento energético y nuevas tecnologías de baterías

VISIÓN DE LAS FF.AA PARA EL AÑO 2040

Las futuras Fuerzas Armadas habrán de evolucionar hacia una mayor cooperación hombre-máquina, empleando sistemas autónomos que liberen al humano de ciertas tareas relacionadas con el aspecto físico del combatiente para permitirle centrarse, principalmente, en la toma de decisiones importantes y en la supervisión de la misión. Dichos sistemas autónomos no solo liberarán al humano de cargas físicas, sino también mentales, consiguiendo así una eficiente gestión de la información, reduciendo la fatiga mental del individuo. En este sentido, las capacidades de realidad aumentada y sensores avanzados le ayudarán a disponer de un gran abanico de información y amplia consciencia situacional, lo que facilitará la toma de decisiones. La información necesaria se le mostrará al individuo en el momento preciso, discerniendo entre los datos que realmente necesita conocer y aquellos que son prescindibles.

En línea con lo anterior, los sistemas autónomos, que no sólo cubrirán los dominios de tierra, mar y aire, sino también el de espacio, de manera independiente e incluso de manera simultánea (plataformas *cross-domain* o multi-dominio), serán masivamente empleados para la obtención de información del campo de operaciones, cobrando especial relevancia la fusión de la información de los distintos sensores. Cabe señalar el amplio espectro de aplicaciones al que se podrán destinar estos sistemas autónomos, desde aplicaciones específicas como C-IED/EOD, desminado o guerra NRBQ, hasta operaciones de adquisición de información en terreno enemigo, búsqueda y rescate, vigilancia y reconocimiento, actividades de apoyo logístico y de transporte de carga, así como otras tantas tareas de apoyo al combatiente.

En este sentido, la interoperabilidad de las diferentes plataformas supondrá una capacidad angular en la operación de las mismas teniendo como resultado una reducción de riesgos en las operaciones. Las tecnologías que regirán las capacidades de los futuros sistemas serán aquellas que aumenten su autonomía, reduzcan sus firmas, al mismo tiempo que sus costes de operación y, por supuesto, mejoren su interoperabilidad. Más en general, los sistemas autónomos tendrán la capacidad de realizar asociaciones entre sí en forma de enjambres o *swarms*, distribuyéndose tareas automáticamente entre ellos y trabajando de forma coordinada para la consecución de un objetivo común.

Al empleo masivo de plataformas autónomas se sumarán los exoesqueletos, que aumentarán las capacidades físicas y cognitivas del combatiente de forma substancial.

El armamento de las plataformas incorporará novedades significativas, como potentes armas láser y municiones de altas velocidades y alcances. El desarrollo de grandes campos electromagnéticos permitirá, a su vez, acelerar proyectiles a altas velocidades, incrementando considerablemente la energía cinética de los mismos y no siendo necesaria carga explosiva alguna para producir el daño. No se estaría muy desencaminado en afirmar que los sistemas de armas del combatiente estarán automatizados con todo tipo de tecnologías de asistencia de disparo, detección e identificación automática de objetivos o seguimiento autónomo de blancos.

En un entorno tan digitalizado e informatizado, la capacidad de llevar a efecto operaciones de guerra y contra-guerra electrónica, así como a través del dominio cibernético, se antoja vital. Se espera que el ámbito de guerra electrónica gane incluso más relevancia conforme crezca la informatización y digitalización de las plataformas, siendo imprescindible la habilidad de interferir electromagnéticamente sobre los sistemas enemigos a la vez que se protejan y defienden los propios.

Las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, en el año 2040, estarán dirigidas principalmente a la interconectividad integral de todos los dispositivos generadores de grandes volúmenes de información heterogénea, que habrá que fusionar a gran velocidad y con una alta tasa de utilidad para la toma de decisiones. Esta dependencia absoluta de las redes de comunicaciones exigirá que la seguridad de la información y de las comunicaciones sea un requisito obligatorio e ineludible y, por tanto, uno de los pilares del diseño de los sistemas de armas.

Ante esta utilización intensiva de subsistemas y dispositivos, se espera que el consumo de energía de las plataformas y del combatiente crezca exponencialmente, requiriéndose baterías y arquitecturas energéticas mucho más eficientes.

El empleo de nuevos materiales (materiales compuestos, materiales inteligentes, etc.) que mejoren las prestaciones de multitud de sistemas militares, tales como los sistemas de protección pasiva de combatientes y plataformas frente a amenazas de tipo balístico, la estructura de las propias plataformas para hacerlas más seguras e incrementar su movilidad y operatividad, sistemas del combatiente que mejoren su movilidad y confort y las prestaciones de otros equipos, constituirán un elemento clave en el diseño y desarrollo de las mismas.

El espacio será un entorno que cobrará cada vez más trascendencia, habiendo la posibilidad de que surjan sistemas de aeronaves espaciales autónomas y furtivas con capacidad de combate, las cuales podrán proteger los satélites propios y aliados, así como atacar los sistemas enemigos. Se considera que, en el futuro próximo, quien controle el espacio controlará también la tierra.

Finalmente podemos concluir que, en un horizonte temporal de 25 años, los ejércitos habrán evolucionado hacia una Fuerza con capacidad de acción más rápida y eficaz, en la que entrarán en juego múltiples factores derivados del rápido desarrollo tecnológico, principalmente resultantes del avance en el área de la computación y las comunicaciones. Del mismo modo, este progreso tecnológico se traducirá en plataformas de altísimas prestaciones y elevados costes, tanto de adquisición como de operación. Esto derivará en una reducción del número de plataformas y sistemas necesarios en las FF.AA, y en una reorientación de las tareas efectuadas por el personal militar hacia labores más relacionadas con el planeamiento, el control, la supervisión y la toma de decisiones. Los humanos, más que utilizar y manejar las máquinas, colaborarán y se asociarán con ellas para una optimización del trabajo y maximización de las posibilidades de consecución de la misión.

Actualidad

¿Dónde hemos estado?

Del 12 al 14 de julio

OPTOEL 17 - Reunión Nacional Bianual de Optoelectrónica

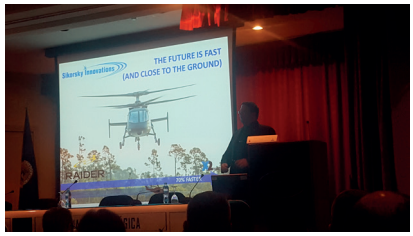
La Sociedad Española de Óptica (SEDOPTICA), el Comité de Optoelectrónica y la Universidad de Santiago de Compostela organizaron la X Reunión Nacional de Optoelectrónica (OPTOEL 2017). A nivel nacional, se trata del evento de mayor importancia en los ámbitos de la optoelectrónica y la fotónica. De manera bianual, la reunión nacional de Optoelectrónica permite la exposición de todo tipo de trabajos y resultados de investigación, y apoya la interacción entre investigadores y empresas.

19 de septiembre

Semana Naval de la Armada - Jornada Tecnológica "Ala rotatoria embarcada. Evolución y futuro"

La Armada Española organizó esta jornada para profundizar en las vías de investigación actuales y en los desarrollos tecnológicos de las próximas generaciones de medios aéreos de ala rotatoria que puedan ser empleados en el entorno naval.

La integración y operación de la tecnología existente, así como los posibles desarrollos y potencialidades futuras, constituyen retos y desafíos que, orientados de manera adecuada, permitirán potenciar las capacidades de la Fuerza Naval en particular y de las FF.AA. en general.



21 y 22 de septiembre

III Edición de Expodrónic

Las jornadas de Expodrónica 2017 tuvieron lugar en la Feria de Zaragoza y estuvieron dedicadas a los drones de uso civil, principalmente aéreos. Las empresas que allí se congregaron mostraron sus últimas novedades, habiendo también simposios y exhibiciones de pilotaje.

24 y 25 de octubre

IMPHOCUS 17 - Congreso de Tecnologías Fotónicas y de Imagen

El Congreso fue organizado por el Grupo Alava Ingenieros en Madrid, y tuvo como objetivo la exposición de los últimos avances y tecnologías del campo de la fotónica y la imagen. El evento contó con múltiples ponencias, entre ellas algunas relacionadas con aplicaciones de Defensa, con la exposición directa de productos y sistemas, así como de actividades para facilitar el networking entre los participantes.

... entre otros eventos

¿Dónde hemos estado?

24 y 25 de octubre

11 ENISE - INCIBE

El Encuentro Internacional de Seguridad de la Información organizado por el Instituto Nacional de Seguridad tuvo como objetivo atender los retos de ciberseguridad en un mundo conectado. En las conferencias y mesas redondas se debatió en torno al estado de la ciberseguridad en España, así como los retos a los que se enfrenta el sector, profundizándose en aspectos como IoT (*Internet of Things*) y *Blockchain*.

15 y 16 de noviembre

X Edición de la feria industrial MetalMadrid

Las jornadas MetalMadrid 2017 se celebraron en las instalaciones de IFEMA y aglutinaron a las empresas más importantes del sector de la robótica industrial, que expusieron sus productos e impartieron diversas conferencias.

Del 22 al 24 de noviembre

V Congreso Nacional de I+D en Defensa y Seguridad (DESEi+d 2017)

Durante el pasado mes de Noviembre tuvo lugar en la Academia de Infantería del Ejército de Tierra de Toledo el "V Congreso Nacional de I+D en Defensa y Seguridad". Esta edición, organizada por la SDGPLATIN de la DGAM perteneciente al MINISDEF, ISDEFE y la DIGEREM junto a los CUD, contó con la presencia de más de 500 asistentes, 240 ponentes civiles, militares, de la OPI, empresas y laboratorios, Centros Universitarios de la Defensa, universidades, así como Unidades de las FAS. Este congreso se ha convertido en un referente nacional en el que se acerca la innovación en el ámbito tecnológico al mundo de la defensa.

Del 29 de noviembre al 1 de diciembre

Congreso de Protección de edificios frente a explosiones

Con motivo del 75º aniversario del Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial "Esteban Terradas" (INTA), y en colaboración con el Centro LABINGE, ESPOL y el Campus "La Marañosa", se organizaron estas jornadas en las que se abordaron los aspectos más relevantes en lo relativo a protección pasiva de edificios frente a amenazas terroristas procedentes de explosiones y se expusieron el estado del arte en esta área tecnológica, los proyectos en curso, la normativa aplicable, las capacidades existentes y las tendencias identificadas.

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

... entre otros eventos

V Congreso Nacional de I+D en Defensa y Seguridad

Autores: Cristina Mateos Fernández de Betoño, Nodo Gestor, SDGPLATIN.

Palabras clave: seguridad, congreso, SDGPLATIN, DESEi+D, Premio Isdefe I+D+i Antonio Torres, Congreso Nacional de I+D en Defensa y Seguridad.

Áreas de Actuación Funcional relacionadas: AAF 1; AAF 2; AAF 3; AAF 4; AAF 5; AAF 6.

Los pasados días 22, 23 y 24 de noviembre se celebró la quinta edición del Congreso Nacional de I+D en Defensa y Seguridad, DESEi+d 2017 en la Academia de Infantería de Toledo. Este Congreso ha sido organizado por la Subdirección General de Planificación Tecnología e Innovación (SDGPLATIN), perteneciente a la Dirección de Armamento y Material (DGAM) del Ministerio de Defensa con el objetivo de, como en años anteriores, crear un espacio de intercambio de conocimientos y trabajos entre los agentes involucrados en el ámbito de la I+D+i de la defensa y seguridad de nuestro país. El Comité organizador del DESEi+d 2017 está presidido por el Subdirector General de Planificación, Tecnología e Innovación y compuesto por miembros integrantes de la Dirección General de Reclutamiento y Enseñanza Militar, los Centros Universitarios de Defensa e Isdefe.

A través de este Congreso se ha pretendido conformar un foro de referencia nacional, objetivo que poco a poco se va cumpliendo, como se refleja en el número y calidad de las comunicaciones presentadas al DESEi+d por parte de las Universidades, Centros Universitarios de la Defensa y la Guardia Civil, los Organismos Públicos de Investigación, las empresas, los laboratorios, las Fuerzas Armadas y los Cuerpos y Seguridad del Estado, los usuarios de los avances tecnológicos y un largo etcétera de organismos que conforman la Base Tecnológica e Industrial Nacional.

La DGAM muestra su compromiso de forma especial con este Congreso por actuar como herramienta para el desarrollo de la Política de I+D+i del Ministerio de Defensa, la cual marca

Fig. 1. Acto de inauguración DESEI+D 2017. (Fuente: Ministerio de Defensa).

las directrices de los diferentes actores del Ministerio responsables, en sus ámbitos competenciales, de su ejecución.

Entre las novedades de esta edición destacar la modificación de la clasificación de las áreas temáticas que han estructurado las comunicaciones del Congreso, con la finalidad de que estas áreas dentro del sector tecnológico se encuentren alineadas a las Metas Tecnológicas reflejadas en la Estrategia de Tecnología e Innovación para la Defensa (ETID), promulgada por el Secretario de Estado de Defensa en diciembre del 2015.

Éste ha sido el quinto año que se celebra este Congreso y debido al éxito obtenido edición tras edición, se han alcanzado los 250 artículos presentados y con una participación cercana a las 600 inscripciones, por lo que se ha tenido que ampliar el número de sesiones de ponencias. El primer día constó de diez aulas en paralelo para la presentación de artículos, mientras que el segundo día serían ocho las aulas que albergaron las ponencias. Todo esto fue posible gracias al lugar de celebración de esta edición, la Academia de Infantería de Toledo cuyas infraestructuras son realmente idóneas para la celebración de tal volumen de presentaciones y de asistentes.

Las comunicaciones presentadas abordaron distintas temáticas de gran importancia en la actualidad y no tan sólo en el ámbito de la defensa, sino de carácter dual. La dualidad aplicada a la tecnología cada día va adquiriendo más relevancia, contribuyendo así

Fig. 2. Conferencia en aula Congreso DESEI+D 2017. (Fuente: Ministerio de Defensa).

Fig. 3. Participación de la BTID en el DESEI+D 2017. (Fuente: Ministerio de Defensa).

al fortalecimiento de la base industrial y tecnológica de España, aunque algunas de las actividades que desarrolla la industria de defensa posean, en ocasiones, un carácter muy específico para el sector. Esta dualidad constituye un elemento clave para el desarrollo y crecimiento de la sociedad en su conjunto y un elemento fundamental para el impulso y desarrollo de tecnologías y capacidades industriales con fuerte componente de I+D.

En la figura 3 se puede comprobar la gran participación del tejido nacional español, muy cercana a la participación de Defensa. En tercer lugar se encuentra la participación de las universidades españolas, seguida de los Centros Tecnológicos y de las Fuerzas y Seguridad del Estado y el INTA con la misma participación.

Desde el Comité Organizador permanente del Congreso se desea transmitir la satisfacción ante la gran participación de esta edición, haya extendido de manera considerable al ámbito civil, lo que significa la buena labor de difusión y la magnífica aceptación a la misma, reforzando una vez más la dualidad anteriormente mencionada.

El día 22, el evento comenzó con la mesa inaugural constituida por: el VA D. Jesús Manrique Braojos, Subdirector General de Planificación, Tecnología e Innovación; el GD. D. Guillermo Manuel Fernández Saez, Director General de Integración de Funciones Logísticas del MALE; D. José Pablo Sabrido Fernández, Concejal Portavoz del Ayuntamiento de Toledo; Col. D. Fco. Javier Marcos Izquierdo, Director de la Academia de Infantería de Toledo y D. Jesús M. Alonso Martín, Director de Desarrollo de negocio de Isdefe.

La primera sesión plenaria del Congreso tuvo por temática el "Panorama futuro de la Acción Preparatoria". En la actualidad está en marcha la Acción Preparatoria sobre investigación en defensa, que ayudará a definir las líneas maestras de un programa específico europeo de investigación en defensa (EDRP - *European Defence Research Programme*) a partir de 2021 dentro del próximo marco financiero multianual de la UE. La importancia que esta iniciativa puede tener para todos aquellos que desarrollan tecnología de aplicación a defensa justifica la dedicación de este tiempo para analizarla y discutirla.

La segunda sesión plenaria, titulada "Oportunidades del nuevo Plan Estatal de I+D+i 2017-2020", se centró en las novedades que se están produciendo a nivel estatal en relación a la financiación de la I+D+i. En particular, la nueva edición del Plan Estatal de Investigación Científica y Técnica y de Innovación, que en breve verá la luz, así como los instrumentos de financiación de organismos como el CDTI o la recientemente creada Agencia Estatal de Investigación, pueden abrir unas vías muy interesantes para todas aquellas entidades empresariales e investigadoras con actividad en defensa y seguridad, lo que fue propuesta como temática para este Congreso.

En la tercera mesa plenaria celebrada el último día, se pusieron de manifiesto temas sobre la I+D+i autonómica y las oportunidades y sinergias que pueden ofrecer para el ámbito de defensa y seguridad.

Por último, el acto de clausura comenzó con la entrega de la segunda edición del premio Isdefe Antonio Torres al mejor artículo técnico del Congreso "Narices electrónicas para la detección de explosivos caseros", cuyo autor principal fue D. Raúl López perteneciente al Instituto Nacional Técnica Aeroespacial (INTA), presentado por el Gerente de Desarrollo de Isdefe, D. Álvaro Manresa Sánchez y entregado conjuntamente por el SEDEF y el Consejero Delegado de Isdefe.

La mesa de clausura estuvo presidida por el Secretario de Estado de D. Agustín Conde Bajén, siendo los demás integrantes de la misma el Subdirector General de Planificación, Tecnología e Innovación, VA. D. Jesús Manrique Braojos; el Director de Enseñanza, Instrucción, Adiestramiento y Evaluación, GD. D. Amador Fernando Enseñat y Berea, el Director de la Academia de Infantería de Toledo, Col. D. Fco. Javier Marcos Izquierdo y el Consejero Delegado de Isdefe, D. Francisco Quereda Rubio.

Fig. 4. Entrega del premio ISDEFE I+D+i "Antonio Torres" a D. Raúl López Sánchez. (Fuente: Ministerio de Defensa).

Congreso de protección de edificios frente a explosiones

Autor: Laboratorio de Ingenieros del Ejército «General Marvá».

Palabras clave: protección, explosiones, edificios, LABINGE, INTA.

Metas Tecnológicas relacionadas: MT 3.2.1.

Con motivo del 75 Aniversario del Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial «Esteban Terradas», entre el 29 de noviembre y el 1 de diciembre de 2017, se celebró el primer Congreso de Protección de Edificios frente a Explosiones. Tras la reciente integración de diferentes organismos en su renovada y reforzada estructura, este organismo público de investigación multiplicó sus capacidades, generando notables sinergias en materia de seguridad y defensa y abriéndose a nuevos campos científicos que dan apoyo integral a las demandas de la sociedad.

El Laboratorio de Ingenieros del Ejército «General Marvá» (Centro LABINGE), centro más antiguo de los integrados, ha liderado esta innovadora iniciativa en sus instalaciones de Madrid. Desde 1897, año de su fundación, este laboratorio ha tenido encomendados los cometidos técnicos relacionados con la edificación, las infraestructuras, los materiales de construcción y las obras militares en el ámbito del Ministerio de Defensa.

La motivación primordial de este Congreso surgió de la necesidad creciente de paliar la actual amenaza terrorista con explosivos existentes, así como la demanda tecnológica de herramientas que contrarresten y mitiguen sus efectos en las construcciones.

La organización de este Congreso perseguía poner en contacto las necesidades de los miembros de las Fuerzas Armadas, las Fuerzas y Cuerpos de Seguridad del Estado (FCSE), el tejido empresarial, las universidades y los organismos públicos de investigación; exponer conceptos orientados a la protección pasiva de edificios frente a amenazas terroristas procedentes de explosiones en diferentes escenarios y presentar las capacidades nacionales de todos los implicados para establecer una estrategia común que fomente la colaboración entre los diferentes actores, en especial en el Ministerio de Defensa, dado el rol estratégico del INTA en este área de conocimiento multidisciplinar.

Fig. 1. Ponencia durante una de las sesiones. (Fuente: propia).

Su consecución ha sido posible gracias al trabajo en equipo de las Subdirecciones Generales de Sistemas Aeronáuticos (a la que pertenece el Centro LABINGE) y la de Sistemas Terrestres del INTA, además de a la Escuela Politécnica Superior del Ejército de Tierra (ESPOL), centro de formación de referencia del Cuerpo de Ingenieros Politécnicos, que ha brindado su total apoyo en su preparación. Por otra parte ha sido fundamental el compromiso explícito de diferentes expertos que han colaborado desinteresadamente tanto del Ministerio de Defensa, Guardia Civil, Cuerpo Nacional de Policía, universidades y empresas.

En una primera aproximación, los contenidos[1] abordados realizaron un recorrido progresivo acerca de las diferentes amenazas a las que se en-

[1] http://www.inta.es/opencms/export/sites/default/INTA/es/comunicacion/noticias/Noticia_1509002985556/

Fig. 2. Ensayos efectuados durante el Congreso en las instalaciones del "Campus La Marañosa" del INTA. (Fuente: propia).

Fig. 3. Imagen de la apertura del Congreso. (Fuente: propia).

frentan las edificaciones en caso de una explosión, describiendo los fenómenos ingenieriles asociados, los métodos de evaluación de riesgo y vulnerabilidad, y presentando diferentes criterios de aplicación en el diseño perimetral e interior de edificios, con el fin de contrarrestar sus efectos.

Como contrapunto a la visión más académica, se presentaron las diferentes capacidades tecnológicas de análisis como organismo certificador y centro de ensayos del INTA; permitiendo visitar in situ sus instalaciones y visualizando ensayos reales en el Campus de La Marañosa de San Martín de la Vega (Madrid) durante la segunda jornada. Asimismo, se mostraron los diferentes proyectos de investigación nacionales e internacionales en los que se encuentra involucrado el INTA junto con otros organismos, así como las líneas maestras a nivel estratégico en las que participa.

Por otra parte, diferentes expertos de las FCSE proporcionaron un enfoque eminentemente práctico en la presentación de diversos escenarios a nivel forense, donde se habían producido ataques terroristas a diferentes infraestructuras, facilitando la comprensión de la amenaza a la que estamos sujetos. Se resaltó la ausencia de foros técnicos de asesoramiento sobre la materia y la precariedad de la normativa vigente para abordar el reto de diseño de infraestructuras capaces de minorar la actual amenaza, proponiendo diferentes líneas de trabajo para el futuro.

A nivel institucional, en la apertura y clausura de las diferentes jornadas del Congreso se contó con la inestimable presencia de los Subdirectores Generales del INTA, así como del Director de la ESPOL.

La demanda de participación en este evento ha desbordado todas las expectativas iniciales de la organización, superando ampliamente el aforo previsto y llegando en alguna de las jornadas a más de 180 asistentes. Significar que es especialmente reseñable el gran número de organismos representados por sus asistentes, el elevado nivel técnico de los mismos y los puestos que desempeñan. Se ha constatado la enorme heterogeneidad de su procedencia entre los diferentes ministerios, universidades y empresas participantes, hecho que ha ocasionado un elevado impacto en su difusión y ha tejido una comunidad de interés crucial para futuras ediciones que está generando colaboraciones entre sus intervinientes, posicionando al INTA a través del Centro LABINGE (labinge@inta.es), como organismo líder de referencia a nivel nacional en este área de conocimiento y recibiendo numerosas solicitudes para continuar con iniciativas como la realizada.

Fig. 4. Foto de grupo realizada durante el Congreso. (Fuente: propia).

Tecnologías Emergentes

Drive-By-Wire para el teleguiado de vehículos convencionales y conducción preprogramada a través de waypoints

Autores: Felipe Jiménez, José Eugenio Naranjo, INSIA de la Universidad Politécnica de Madrid; José Luis Rivera, Manuel Anguita, Departamento de Plataformas y Vehículos Terrestres de la Subdirección de Sistemas Terrestres, INTA La Marañosa.

Palabras clave: Conducción autónoma, conducción tele-operada, seguimiento trayectoria, detección de obstáculos.

Metas Tecnológicas relacionadas: MT 3.1.2; MT 3.4.3; MT 3.4.5; MT 3.4.7.

Dentro de la Estrategia de la Defensa Nacional Española de Tecnología y la Innovación (ETID) se promueve, entre otras líneas, el desarrollo de capacidades avanzadas en plataformas terrestres no tripuladas (UGV). Las operaciones relacionadas con UGV están orientadas al desarrollo o la utilización de plataformas robóticas para aplicaciones de defensa y de seguridad para el apoyo a misiones de vigilancia sobre el terreno y otras relacionadas con la vigilancia área y de perímetros, el apoyo para el combate urbano, búsqueda y rescate o apoyo en cuestiones de logística. También se incluye la automatización de los vehículos militares existentes para el seguimiento de la ruta, la participación en los convoyes, etc.

En este ámbito, la conducción automatizada es un campo que ha tenido numerosos avances en los últimos años en ámbito civil, estando la mayor parte de éstos encaminados a entornos estructurados y para usos civiles sobre carretera, aunque también existen algunas innovaciones en la circulación todoterreno. Sin embargo, la aplicación para fines militares, así como su potencial, es evidente, tanto con la solución de desarrollo de robots para la desactivación de explosivos, como los nuevos vehículos con capacidades autónomas que están apareciendo sobre plataformas de diferentes tamaños y diversas misiones.

Quizás, los tipos de plataformas no tripuladas más conocidos son las aéreas (UAV - *Unmanned Aerial Vehicles*), que permiten la operación de estos vehículos en modo de tele-operación o con una autonomía limitada. Sin embargo, existen experiencias previas en el uso de plataformas terrestres UGV, ya que esta tecnología y sus aplicaciones han despertado el interés en el sector militar con el fin de utilizar vehículos con diverso nivel de autonomía para llevar a cabo misiones terrestres en escenarios operativos. De esta manera, en 2004, 2005 y 2007 se llevó a cabo la competición DARPA *Grand Challenge* en Estados Unidos, cuyo objetivo era poner a prueba la tecnología de los vehículos autónomos en escenarios militares, tanto en situaciones *off-road* como urbanas, con el fin de analizar la adaptación de esta tecnología a las necesidades del Ejército de EE.UU. La experiencia de los participantes en estas competiciones serviría para dar soporte al desarrollo de la próxima generación de vehículos terrestres no tripulados.

Considerando plataformas propias de aplicaciones militares, se pueden citar las plataformas ligeras TALON, *Dragon Runner* o COBRA, las medianas SARGE, GLADIATOR y TAIFUN, transportables por otros vehículos y que, una vez en la zona de interés, pueden desarrollar su misión, o las plataformas pesadas como URAN-14, ARTS, SMSS y FCS UGV.

Persiguiendo esos objetivos de automatización y en línea con la ETID, se lanzó en 2015 el proyecto REMOTE-DRIVE ("*Drive-By-Wire* para el teleguiado de vehículos convencionales en misión de prospección anticipada del terreno y conducción preprogramada a través de *waypoints*"), cofinanciado por el Ministerio de Defensa a través del programa COINCIDENTE con número de expediente: 1003215002900 (2015/SP03390102/00000035), que implica el desarrollo de una solución de automatización para un vehículo militar que pueda ofrecer capacidades de movimiento autónomo o tele-operado para:

- Tele-operación: el vehículo debe comportarse como un UAV (avión no tripulado), con la posibilidad de gestionar los actuadores del vehículo desde una estación remota de control que va a recibir la información de percepción suficiente sobre el entorno de circulación con el fin de que el operador humano pueda navegar hasta llevar a cabo la misión encomendada.
- Conducción autónoma: el vehículo debe tener la capacidad de navegación mediante la definición de puntos de referencia para las misiones de vigilancia perimetral. En situaciones excepcionales, el vehículo debe ser capaz de detectar obstáculos o elementos inesperados en su camino y tomar las decisiones adecuadas para evitar un accidente de forma autónoma, deteniéndose o evitando el obstáculo.

Fig. 1. Logotipo del INTA. (Fuente: INTA)

Se considera deseable que, para realizar estas funciones, no se requiera desplazar vehículos específicos, sino emplear vehículos que se encuentren operando sobre el terreno en alguna unidad desplegada con antelación. Por ello, más allá de disponer de un

Fig. 2. Logotipo del INSIA. (Fuente: INSIA)

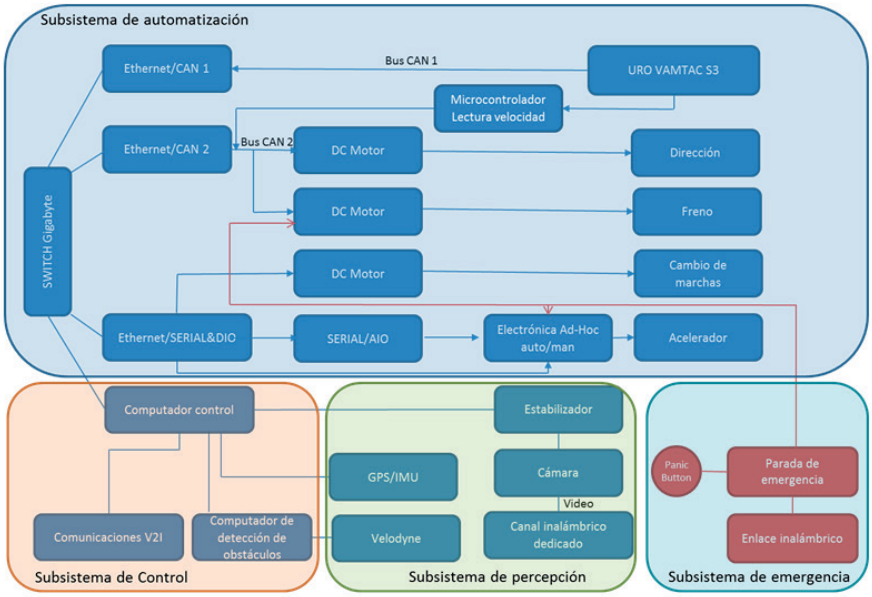


Fig. 3. Arquitectura del sistema en el vehículo. (Fuente: propia).

vehículo autónomo, se persigue el tener una solución que permita convertir en autónomo un vehículo de dotación convencional en un tiempo corto de tiempo y que, además, esta solución no impida el uso convencional del vehículo cuando así se requiera. Así, los objetivos tecnológicos del proyecto se resumen en los siguientes:

- Desarrollar un kit fácilmente instalable en un vehículo táctico militar que le dote de capacidades de conducción teleguiada y pre-programada.
- Desarrollar el puesto de operación del vehículo dotado con dicho kit.
- Probar su funcionamiento en entornos urbanos y todoterrenos.

El sistema consta de dos partes diferenciadas. Por un lado, el equipamiento incluido en el vehículo, que no implica modificaciones permanentes sobre el mismo, ni impide la conducción manual y, por otro, el puesto de tele-operación con los mandos de control de velocidad y dirección, así como el sistema de visualización.

Para desarrollar el UGV ha sido seleccionado un vehículo militar existente como plataforma para la automatización. En concreto, el vehículo seleccionado es un URO VAMTAC, dada su amplia presencia en el Ejército español, aunque la solución de automatización podría ser adaptable a otros vehículos con ligeras modificaciones. Los elementos que forman parte de la automatización se han organizado usando una arquitectura modular y distribuida. En concreto, se distinguen los siguientes subsistemas (figura 3):

- Subsistema de automatización, encargado de gestionar los actuadores sobre los mandos del vehículo como son los pedales de acelerador y freno, palanca de cambios y dirección.
- Subsistema de percepción, que comprende la cámara que proporciona las imágenes al puesto del operador, estabilizador de la misma, sensor LIDAR para la detección automática del entorno, y receptor GPS con sensor inercial integrado para la mejora del posicionamiento.
- Subsistema de control, el cual gestiona las órdenes recibidas desde el puesto de telecontrol, operando sobre el subsistema de automatización, así como las señales del subsistema de percepción, discriminando, por ejemplo, de forma automática, los obstáculos en la ruta.
- Subsistema de emergencia, capaz de detener el vehículo puenteando todos los demás sistemas, aún en caso de fallo de los mismos de forma redundante, tanto desde fuera como desde dentro del vehículo.

La figura 4 recoge la localización de los sistemas en el vehículo. En concreto, los elementos que gestionan los actuadores (dirección, frenos, caja de cambios, y el acelerador) están interconectados mediante una red de banda ancha. Los tres componentes que utilizan motores de corriente continua están interconectados en un bus CAN secundario, dedicado a esta tarea. El acelerador utiliza varias tarjetas de entrada/salida digital y analógica para la activación automático/manual y el cambio de la señal analógica del pedal del acelerador para ser enviada al controlador del motor. Por último, esta red también está conectada al bus CAN del URO VAMTAC con el fin de leer la información interna de navegación y de estado. El ordenador de bajo nivel recibe los datos de los subsistemas conectados y envía las órdenes pertinentes a los actuadores para realizar la conducción autónoma.

Todo el equipamiento electrónico se ha instalado en una maleta de control embarcada, que comprende la electrónica de la parada de emergencia, la placa electrónica del control de bajo nivel, placas de fusibles y tarjetas de entrada/salida de señales.

El sistema de percepción incluye un sensor LIDAR VLP-16 de Velodyne de 16 capas a partir de cuyas señales se han desarrollado algoritmos específicos para la detección de obstáculos, con especial atención a situaciones concretas del entorno todoterreno como zanjas, montículos, límites del camino transitable, etc., aspectos que obvian los algoritmos de aplicaciones civiles para carretera. Por otra parte, se ha demostrado esencial la inclusión de un estabilizador en la cámara para evitar transmitir a la imagen las vibraciones del vehículo al circular por terrenos no pavimentados.

El equipo de bajo nivel está conectado al computador de alto nivel en el que se ejecutan los niveles tácticos y estratégicos de la arquitectura de navegación. Éste recibe la información de los sensores de navegación (GPS + IMU) y realiza la navegación entre un punto de referencia y el siguiente, a una frecuencia de 50 Hz. También recibe la información del sensor láser 3D y la indicación de un posible obstáculo en la ruta, así como los límites de la misma. Este equipo de alto nivel permite el cambio de conducción autónoma a tele-operación, donde recibe los comandos de navegación desde el centro de mando a distancia. En este caso, estas órdenes son transmitidas directamente al ordenador de bajo nivel, enviando instrucciones de movimiento de la cámara si fuese necesario para una mejor percepción del entorno.

Por último, el mástil de comunicaciones incluye las antenas de los canales de video, datos de operación, parada de emergencia y receptor GPS.

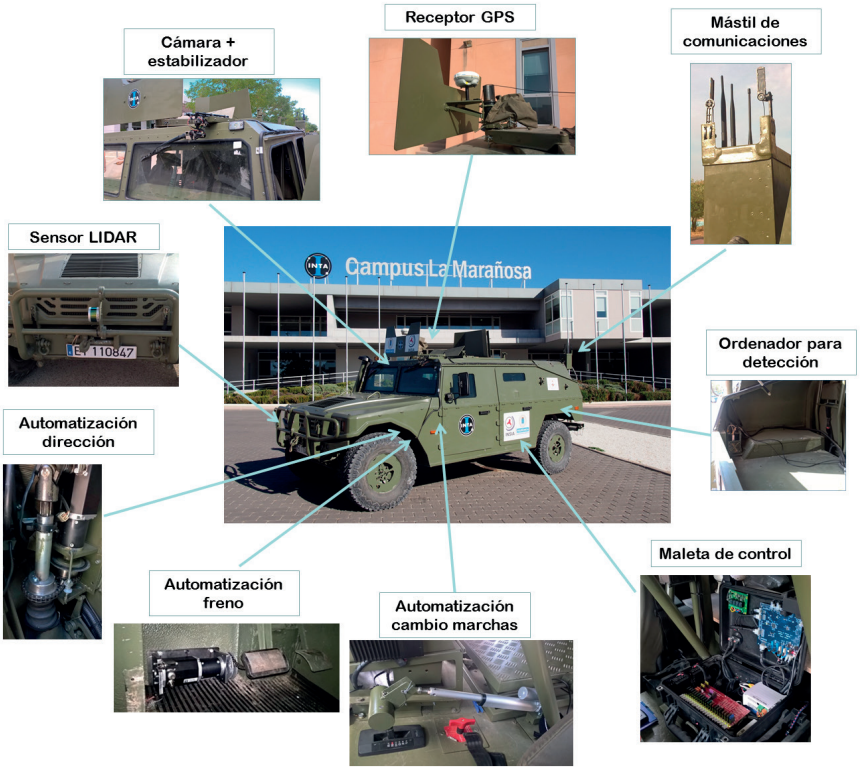


Fig. 4. Disposición de elementos en el vehículo. (Fuente: propia).

Por otra parte, el puesto de tele-operación (figura 5) recibe las señales de operación del vehículo, así como las imágenes de la cámara montada en el mismo que sirve al teleoperador para conducirlo. Las imágenes son transmitidas desde la cámara embarcada en el vehículo mediante un canal de video dedicado, mientras que las órdenes de telecontrol, así como las de funcionamiento del vehículo, se transmiten por un canal específico.

El pasado mes de julio, se realizaron las pruebas en las instalaciones del Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial "Esteban Terradas". En concreto, esta fase de pruebas se dividió en dos partes:

- **Circulación en zona urbana**. Teleguiado y guiado en modo autónomo por calles interiores del recinto:
  - Sin / con obstáculos.
  - Con el puesto de tele-operación en diferentes configuraciones operativas: en propio vehículo, en vehículo seguidor (convoy) o en un puesto fijo.
- **Circulación en zona todoterreno** ante obstáculos normalizados como zanjas, resaltes y escalones (sentido ascendente / descendente) de diferentes tamaños, así como zonas no transitables en modo autónomo como el foso contra-carro y el puente.

Adicionalmente, el pasado noviembre se llevó a cabo una demostración convocada por DGAM en las mismas instalaciones. En ella, se mostró la capacidad del vehículo, entre otras misiones, para moverse en ambos modos, teleguiado y guiado por *waypoints*, en caminos todoterreno con pendientes del 52% en subida y hasta el 65% en bajada, operado por personal de INTA-ITM de forma remota. Así, se comprobó la operatividad bajo los dos escenarios prescritos en las especificaciones iniciales del proyecto.

Por un lado, el seguimiento de rutas en modo autónomo, cargando dicha ruta desde el puesto remoto. Durante esta marcha, el vehículo supervisa el entorno mediante el sensor LIDAR, deteniéndose el vehículo y avisando al puesto del teleoperador si un obstáculo insalvable es detectado. En tal caso, el teleoperador, retoma el control. En el caso de conducción tele-operada, el conductor opera el vehículo de forma totalmente remota evaluando el entorno mediante las imágenes transmitidas por el canal de video. De nuevo, la detección automática de obstáculos está activada como medida redundante de seguridad.

Con estas pruebas se demostró la operatividad del sistema prototipo desarrollado, poniéndose de manifiesto su utilidad para la supervisión de perímetros y como cabeza de convoyes o vehículo avanzado de prospección de terrenos complicados o peligrosos sin poner en riesgo a las tropas.

Además, frente a otras soluciones de prospección de terreno como los UAV, este sistema puede ofrecer una visión más detallada de la zona por la que se tendría que circular, evaluando riesgos y zonas transitables con mayor fiabilidad, además de plantearse como un posible apoyo a los propios UAV y que trabajasen de forma cooperativa.

Por último, las pruebas realizadas han dejado abiertos diversos campos de trabajo futuros para el perfeccionamiento del sistema como la consideración de comunicaciones militares específicas, mejora de la ergonomía del puesto del operador o el incremento de la capacidad sensorial del vehículo, entre otros.

Fig. 5. Puesto del teleoperador. (Fuente propia).

En Profundidad

Implantación de energías renovables para autoconsumo en bases y campamentos militares - Análisis de tres escenarios en territorio nacional

Autor: Alférez de Fragata José Arán Carrión.

Palabras clave: Energía fotovoltaica, renovables, instalaciones autoconsumo.

Metas Tecnológicas relacionadas: MT 3.1.5, MT 3.1.6, M.T.3.2.3.

Introducción

Resulta de dominio público el interés que la investigación en el campo de las energías renovables despierta en estos momentos en el ámbito civil a nivel europeo, entre otras razones, por motivo del cumplimiento de los objetivos del programa marco denominado Horizonte 2020, conformado por tres pilares esenciales, retos sociales, liderazgo industrial y reforzamiento de la excelencia en su base científica.

Dentro del pilar retos sociales, se incluyen las prioridades políticas en investigación relacionadas con el sentir de la sociedad, así como la investigación sobre energía segura, limpia y eficiente o lo que es lo mismo, energías renovables.

Este programa de H2020 está dotado con un presupuesto para el periodo total y para los tres pilares mencionados que ascenderá a 76.880 M€, lo que da una idea de la importancia del mismo.

Por otra parte, a nivel militar el interés por la investigación en las energías renovables no es menor que en el ámbito civil. En la Estrategia de Tecnología e Innovación (ETID-2015) [1], dentro del área de plataformas, se incluye una meta tecnológica que se relaciona directamente con las energías renovables en bases y campamentos militares, de cara a disminuir la dependencia energética y mejorar su seguridad energética.

En el ámbito militar, la necesidad de implantar energías renovables en bases y campamentos militares se justificaría, entre otros, por los siguientes motivos:

- Dar calidad y fiabilidad a los suministros eléctricos ante catástrofes o ataques intencionados a las infraestructuras.
- Seguridad ante ataques cibernéticos [2].
- Incrementar el potencial de generación eléctrica y la eficiencia de su sistema energético [3].
- Reducción del Coste Integral de la Energía FBCE (*Fully Burdened Cost of Energy*) y principalmente del uso de combustibles fósiles y su logística [4].
- Reducción de emisiones CO_2 en establecimientos militares.

Por tanto, es evidente que existen sobradas razones que aconsejan la implantación de energías renovables en instalaciones militares, por las ventajas estratégicas, logísticas, energéticas y medioambientales que conllevaría su uso.

En este orden consideraremos como tecnología a tener en cuenta la de tipo fotovoltaico, sin excluir en ningún caso el resto de tecnologías renovables, simplemente por motivos de espacio en el presente artículo.

En cuanto a la fiabilidad de las redes ante catástrofes, o ataques intencionados a los centros de generación o redes de distribución que alimentan a las instalaciones militares, la posibilidad de sustituir el suministro de la distribuidora local por un fuente de energía propia de la instalación militar o poder disponer de un suministro redundante con tecnología fotovoltaica, posibilitaría la no dependencia de infraestructuras externas para el suministro de energía.

De igual modo, la estructura mallada del sistema de transporte y distribución de energía eléctrica, propicia el aumento de que esta malla sea susceptible de ataques cibernéticos y por tanto sean afectadas las instalaciones militares que de esta red se alimentan como es el caso de las bases en España.

Estos ciberataques o la protección contra ellos, tienen un alto costo eco-

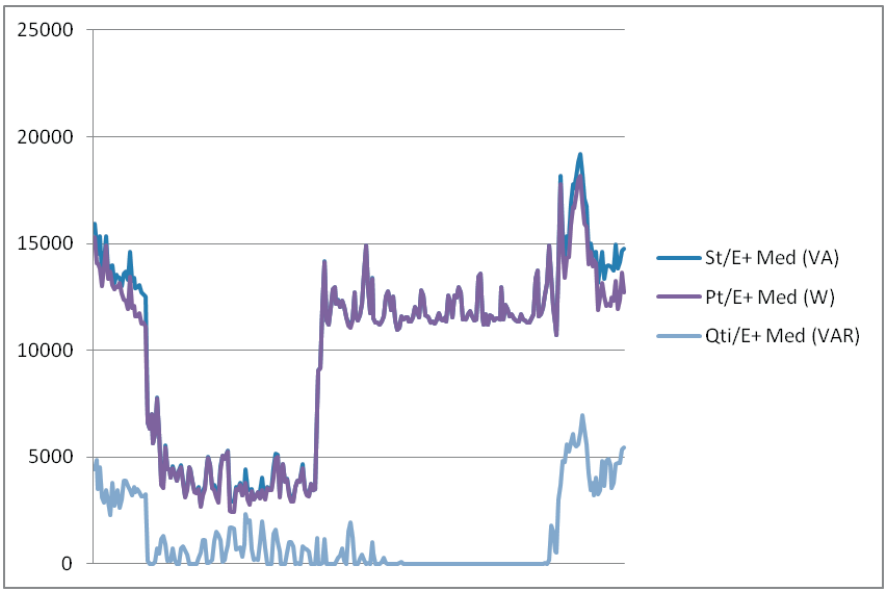


Fig. 1. Curva de demanda de potencia. (Fuente: propia).

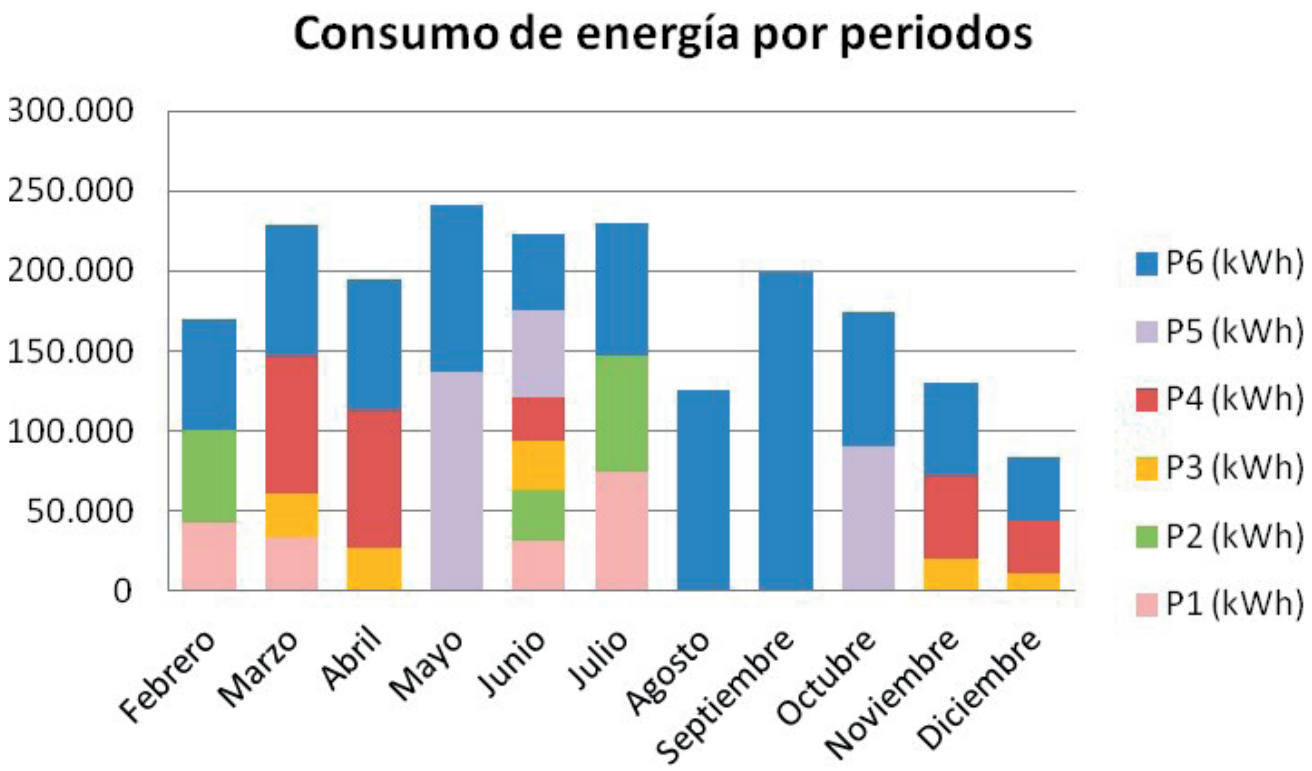


Fig. 2. Curva de demanda de energía Arsenal de la Carraca. (Fuente: propia).

nómico; el Pentágono gastó 100 M$ en el año 2009 en reparación de daños ocasionados por ataques cibernéticos [5]. Es previsible que estos costos se vayan incrementando de forma exponencial conforme la tecnología informática de redes aumente y sea más compleja la protección de los datos.

Entre las principales características de la tecnología fotovoltaica está la posibilidad de conexión modular enseriada, lo que permite obtener la potencia necesaria en cada caso aumentando el número de módulos.

Otra de sus principales características es su diseño para funcionamiento en intemperie, por lo que se adapta perfectamente a instalaciones tanto de base de forma fija, como en campamentos para instalaciones desmontables y provisionales.

La previsión de producción de electricidad una vez conocidas los coordenadas en que se ubicará la instalación fotovoltaica, confiere una gran fiabilidad a las instalaciones fotovoltaicas ya que se dispone de un extenso conocimiento sobre los valores de irradiación directa, difusa y global en cada coordenada y a lo largo del periodo diurno [6], así como de otros parámetros atmosféricos, como la temperatura media diurna, que influyen en gran medida en el rendimiento energético de una central. Por tanto es inmediato disponer de previsiones de producción para un año tipo una vez elegida una tecnología fotovoltaica y la configuración y ubicación del campo, lo que nos da una información muy apreciada a la hora de planificar la logística energética de un campamento.

Si bien resulta un inconveniente el hecho de que se requiera de grandes espacios para la ubicación de los captadores solares fotovoltaicos, en el caso de instalaciones militares en tierra y también en campamentos de misiones con baja hostilidad, es relativamente sencillo disponer del espacio necesario, ya que las instalaciones militares se caracterizan en la mayoría de los casos por la disponibilidad de grandes superficies de suelo o de cubiertas de edificios, de tipo administrativas o industriales.

En la actualidad, la generación de electricidad en los campamentos militares se basa en gran medida en el uso de generadores diesel, lo que conlleva, entre otros grandes inconvenientes, los siguientes:

- Alto Coste Integral de la Energía FBCE (*Fully Burdened Cost of Energy*).
- Generación de emisiones GEIS CO_2.
- Dependencia de proveedores externos de combustible en zonas hostiles.
- Muy bajos rendimientos energéticos de los grupos al sobredimensionarse habitualmente un 20% sobre la potencia total instalada en el campamento, lo que ocasiona que el grupo funcione generalmente muy por debajo del 60-80 % de su potencia nominal.

En el caso del Departamento de Defensa de EE.UU (US DoD) tiene como objetivo generar el 50% de su energía con recursos alternativos como la energía nuclear y los biocombustibles en el 2020 (EIA, 2014). El Presidente Bush (2006) y el Presidente Obama (2009) declararon que

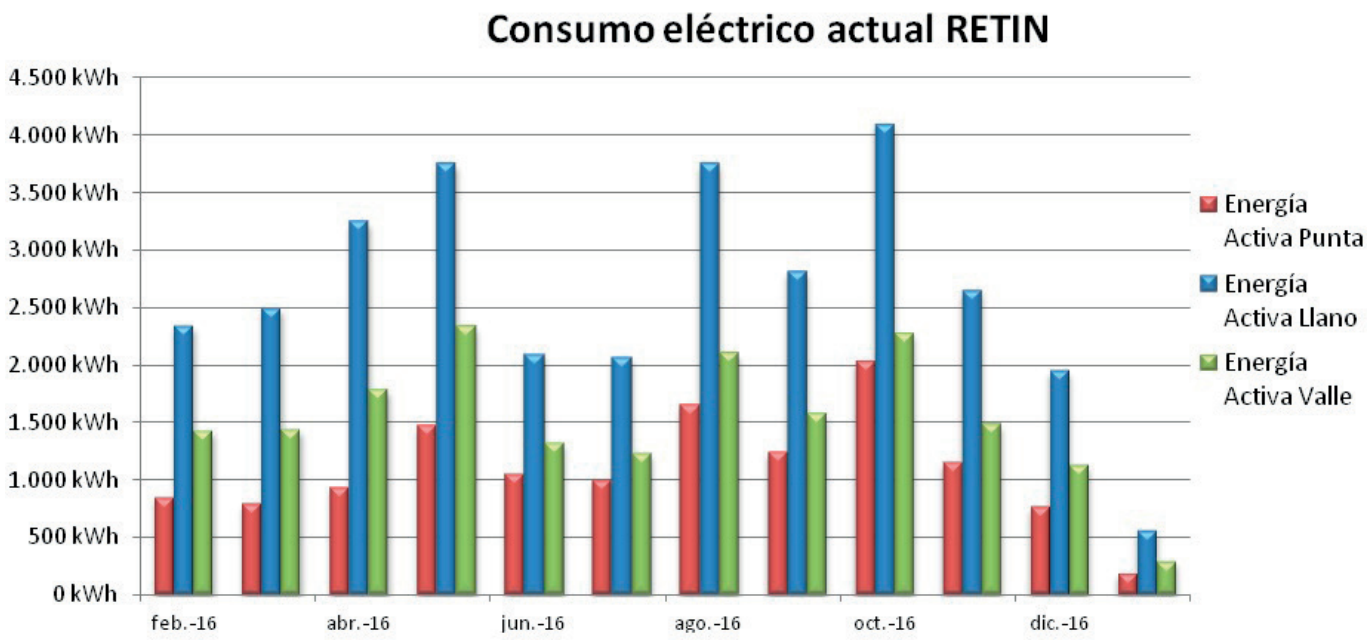


Fig. 3. Curva de demanda de energía Sierra del Retín. (Fuente: propia).

el US DoD tiene un interés especial en el consumo de etanol y biodiesel. Por su parte, también el Presidente Obama explicó cómo el DoD y la industria de la aviación civil trabajaron juntos para acelerar el crecimiento de biocombustibles sustitutos de diesel. En 2014, el DoD adjudicó la construcción de biorefinerías para producir biocombustible para los militares por valor de 120 millones de dólares [7].

Hay varios factores que animan a la aplicación de sistemas fotovoltaicos en instalaciones militares en España en estos momentos. Por una parte, el hecho indiscutible de que la curva de aprendizaje de esta tecnología está en una fase de desarrollo en que existe claramente paridad en el *pool* con otras tecnologías convencionales, debido en gran medida, a la reducción en el precio de los paneles fotovoltaicos en estos últimos años, que han pasando de los 4,6 €/Wp en 2007 a los 0,5 €/Wp en 2017.

Esto ha quedado más que patente en la última subasta de 3700 MW de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables del Ministerio de Energía en el pasado mes de julio de 2017, en que para tecnología fotovoltaica ITR-0104, el porcentaje de reducción del valor estándar de la inversión inicial de la instalación tipo de referencia resultante de la subasta ha sido del 69,88%.

A continuación se exponen los resultados obtenidos en un estudio de posible implantación de sistemas fotovoltaicos aplicados a tres escenarios que servirán de referencia de las posibles aplicaciones en instalaciones militares.

En el primero de los casos se han estudiado los consumos eléctricos en edificios de la Carraca en San Fernando, Cádiz. Estas instalaciones pueden ser representativas de bases militares en tierra por tener una arqueología en la distribución de energía electica muy estandarizada y que se puede extrapolar al reto de bases militares en tierra del ejército español.

En el segundo de los casos, se han estudiado los consumos eléctricos de las instalaciones de la Sierra del Retín en Barbate, Cádiz, mientras que en el tercero de ellos se ha estudiado los consumos eléctricos en la isla de Alborán como ejemplo de un campamento militar en el que la generación eléctrica se basa en grupos diesel con la problemática que conlleva la logística del combustible o la fiabilidad en la generación.

Instalación Edificio de La Carraca (San Fernando - Cádiz)

Se trata de instalaciones destinadas a talleres de reparación y mantenimiento de instalaciones navales, así como de edificios de administración, con curvas de consumo eléctrico que se ajustan al horario de trabajo, no habiendo consumos significativos fuera de ese horario, tal como se puede apreciar en la figura 1. En dicha figura se refleja la curva de demanda de potencia de uno de los centros de transformación del Arsenal de la Carraca para 24 horas de registro. La tarifa contratada es de 6,1 A con una potencia de 514,09 kW para los periodos P1 a P5 ambos inclusive y de 792 kW para P6.

Para este caso, se propone la instalación en las cubiertas más cercanas a la subestación eléctrica de una instalación fotovoltaica conectada a red de potencia de 440 kWp, cumpliendo normativa actual (concretamente RD 900/2015).

Con esta instalación conseguiríamos absorber los consumos de red correspondientes a los periodos P1 a P5 y, en el caso de los meses de agosto a septiembre los consumos de P6, ya que la curva de generación se solapa con la curva de consumo de forma bastante amplia.

Instalación Sierra del Retín (Barbate - Cádiz)

En el caso de la instalación de Retín, las características de la contratación es de una tarifa 3,0 A con una potencia contratada de 41,45 kW en P1, P2 y P3, y que como se puede ver en la figura 3, reparte el consumo en las horas llanas, valle y punta de forma homogénea con consumos constantes que solo aumentan por el número de horas de cada periodo.

Para el caso de instalaciones de Retín y teniendo en cuenta los consumos actuales se propone una instalación fotovoltaica en cubierta de 30 kWn y 35 kWp para colocar sobre naves adyacentes al edificio administrativo.

Instalación Isla de Alborán

En el caso de las instalaciones correspondientes a isla de Alborán, se dispone de tres generadores de 60 kVA y un generador de 30 kVA auxiliar.

Para garantizar que el desgaste sea similar, se programa el funcionamiento de estos generadores alternando en periodos similares de una semana los de potencia 60 kVA y manteniendo el de 30 kVA para casos de emergencia.

Los consumos eléctricos serían los correspondientes a un generador de 60 kVA funcionando en continuo durante las 24 horas del día y durante los 365 días/año en un régimen de carga del 50 %.

Se propone una instalación fotovoltaica de 50 kWn y 55 kWp para colocar sobre la cubierta de edificio pabellón dormitorio en posición horizontal para evitar su exposición a los fuertes vientos que son habituales en esas coordenadas.

Dada la necesidad de garantizar suministro de energía eléctrica constante para las necesidades del destacamento, se plantea la posibilidad de que los grupos diesel actuales queden conectados para arrancar solo en caso de emergencia, ya que con la instalación FV propuesta tiene capacidad para generar las demandas de energía eléctrica actuales.

Desde el punto de vista económico financiero, las tres instalaciones son viables tal como se refleja en la figura 4.

Es de resaltar los excelentes valores financieros obtenidos para el caso de Alborán, dado la carestía del combustible y por tanto la alta repercusión en el precio del kWh generado, aún sin tener en cuenta los costos adicionales por logística del transporte del combustible desde la península u otros costes asociados [4].

Este caso de la isla de Alborán, como se ha comentado con anterioridad, sería asimilable a campamentos militares desplazados en zonas de baja o nula hostilidad, por lo que queda más que demostrada la utilidad del uso de energías renovables desde el punto de vista económico. Sería interesante analizar las ventajas de otro tipo asociadas al uso de energías renovables en bases y campamentos militares e incluso la monitorización de instalaciones piloto, para analizar su comportamiento en diferencies escenarios de condiciones climatológicas y de uso para obtener un modelo de diseño.

Con este tipo de instalaciones, cuyo combustible está disponible en mayor o menor medida en cualquier coordenada en que se vaya a desplazar un campamento militar, resulta de sumo interés su uso por motivos de dependencia energética, razones de índole económica y por seguridad energética, ya que el ratio de costes de implantación es en la actualidad sumamente competitiva y la tecnología de que se dispone permite instalaciones de alto rendimiento y eficiencia energética.

	A CARRACA	S. RETIN	ALBORAN
Inversión	528.000,00 €	35.000,00 €	82.687,50 €
Ahorros a 25 años	5.660.103,00 €	293.877,00 €	1.965.950,00 €
VAN	2.514.171,00 €	140.127,00 €	1.005,384,00 €
TIR	29 %	25 %	57 %

Fig. 4. Cuadro resumen económico financiero en instalaciones estudiadas. (Fuente: propia).

Referencias

[1] Estrategia de Tecnología e Innovación para la Defensa (ETID - 2015). www.tecnologiaeinnovacion.defensa.gob.es.

[2] Emily W. Prehodaa, Chelsea Schellya, Joshua M. Pearce, U.S. strategic solar photovoltaic-powered microgrid deployment for enhanced national security Renewable and Sustainable Energy Reviews 78 (2017) 167-175

[3] Hector Criado de Pastrors, Tecnologías de Generación de Energía, Documento de trabajo 05/2016 Soluciones tecnológicas a problemas logísticos en operaciones. Ieee.es

[4] NATO. RTO.ET.BE "Power and energy in operations" (2008-2009) NATO- RTO-SAS 083 "Power and energy in operations" (2010-2013)

[5] Wall Street Journal; Gorman, S, editor. Electricity grid in U.S. penetrated by spies [Internet]. Wall Street Journal; 2009 [cited on 2015 Oct 02]. Available from: (http://www.wsj.com/articles/SB123914805204099085).

[6] J. Arán Carrión, A. Espín Estrella, F. Aznar Dols,M. Zamorano Toro, M. Rodríguez, A. Ramos Ridao; Environmental decision-support systems for evaluating the carrying capacity of land areas Optimal site selection for grid-connected photovoltaic power plants: Renewable and Sustainable Energy Reviews 12 (2008) 2358–2380

[7] Lane J., 2014. Navys NAVAIR completes supersonic ATJ flight with gevos fuel, Biofuel.Digest, December 29.

[8] Lane J., 2014. US navy, DOE, USDA award $210M for 3 bio refineries and mil-spec fuels, Biofuel. Digest, September 19.

[9] Lane J., 2014. Inside the US Navys new cost-competitive military biofuels program,Biofuel. Digest,September 21.

[10] Lane J., 2015.Whats new, different and hot in military and aviation biofuels, Biofuel.Digest, February 19.

PREDECIBLE: Sistema de Analítica Predictiva para Defensa en el Ciberespacio Basada en Escenarios Reproducibles

Autores: Miguel Ángel Sicilia Urbán, Bernardo Alarcos Alcázar, Luis de la Cruz Piris, Jorge Vallet Fernández, Miguel David Monzón Fernández-Bermejo, Daniel Domínguez Álvarez, Germán López Civera, Universidad de Alcalá de Henares; Luis Shaw Manero, Área de Gestión de Programas, SDGPLATIN; Cte. Ing. Carlos Herrero Santos, Mando Conjunto de Ciberdefensa (MCCD).

Palabras clave: Ciberdefensa, Ciberseguridad, *Machine Learning, Big Data, Data Science*.

Metas Tecnológicas relacionadas: MT 6.5.1; MT 6.5.2.

Introducción

El reconocimiento del ciberespacio como un dominio específico de conflicto entre actores de diferente tipo (desde naciones a activistas individuales) plantea un nuevo escenario ante los retos de detección e identificación de amenazas y ataques.

El ciberespacio constituye un dominio esencial para el desempeño de servicios esenciales y críticos, así como para la función de Mando y Control (C2), tanto a nivel general, como desde el punto de vista de la ciberdefensa.

Para garantizar la protección de los sistemas de información y telecomunicaciones (TIC) que controlan los servicios esenciales y críticos, así como los encargados de sustentar el Mando y Control militar es preciso que los sistemas C2 enfocados a ciberdefensa sean capaces de detectar la materialización de una amenaza o ataque, e incluso mejor, que sean capaces de anticiparse, evaluando el riesgo y estimando su credibilidad, severidad y relevancia.

Los distintos orígenes posibles de los ataques, sus objetivos específicos, el volumen de los datos a recopilar y analizar, así como la necesidad del establecimiento de sensores en puntos estratégicos de las redes de interés para mantener la capacidad de monitorización casi en tiempo real, son algunos de los aspectos principales a considerar, por lo que es evidente que las dificultades para lograr una protección eficaz son muchas.

El proyecto PREDECIBLE, desarrollado, bajo la dirección técnica del Mando Conjunto de Ciberdefensa, por la Universidad de Alcalá de Henares, está co-financiado en el marco del programa de I+D COINCIDENTE por la Dirección General de Armamento y Material de la Secretaría de Estado de Defensa y está gestionado por la Subdirección General de Planificación, Tecnología e Innovación.

PREDECIBLE es un acrónimo que responde a "Sistema de Analítica Predictiva para Defensa en el Ciberespacio Basada en Escenarios Reproducibles" y es como se denomina la arquitectura desarrollada para un sistema analítico escalable orientado a la identificación de amenazas en el entorno de ciberdefensa, así como el de un sistema de generación de escenarios de pruebas que permite, a través de una infraestructura virtualizada, el despliegue automático de entornos virtualizados sobre los que realizar ejercicios o entrenamientos en ciberdefensa.

La arquitectura desarrollada que se propone está implementada en un demostrador tecnológico que está constituido por tres módulos o entornos: entorno de análisis (EAN), entorno de detección y toma de datos (EDTD) y generador de escenarios y simulación (EGES), que cubren las etapas de detección y análisis, de entrenamiento y de simulación, respectivamente.

El módulo de análisis integra en un repositorio común los datos que recoge de diversas fuentes de datos, mientras que el módulo de detección y toma de datos consiste en varios sensores que recogen tanto datos en tiempo real como información de bases de datos externas (relativas a malware, vulnerabilidades o patrones de ataque) con los cuales se construyen modelos predictivos que permiten emitir eventos o alertas de comportamientos sospechosos en los activos de las redes a proteger, que son publicados.

El módulo de generación de escenarios y simulación es el encargado del despliegue de entornos virtuales para el entrenamiento y simulación, recogiendo datos de ejecución de los mismos para alimentar el módulo de análisis.

El demostrador tecnológico constituye una implementación de una arquitectura de referencia de Big Data específica para ciberdefensa, que podría constituir en el futuro un componente de soporte de un sistema de mando y control específico de ciberdefensa.

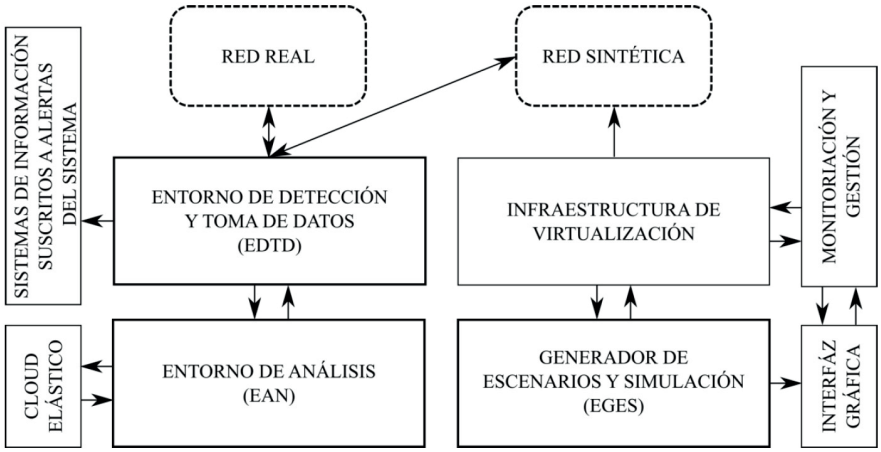


Fig. 1. Arquitectura general del sistema PREDECIBLE. (Fuente: Universidad de Alcalá de Henares / DGAM).

Descripción de la Arquitectura de PREDECIBLE

La arquitectura funcional del proyecto PREDECIBLE se estructura en diferentes entornos, cada cual con una misión específica para que en conjunto se cubran las funciones de soporte a la detección, análisis, entrenamiento y simulación.

El entorno de análisis es el componente central de la arquitectura. Es un entorno analítico preparado para funcionar sobre infraestructuras en la nube

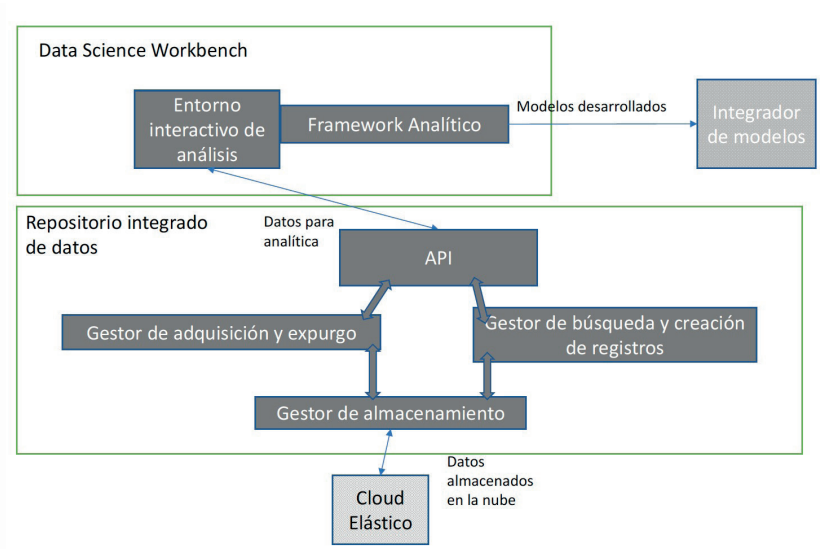


Fig. 2. Arquitectura del EAN.
(Fuente: Universidad de Alcalá de Henares / DGAM).

o si se desea, sobre *clusters* elásticos privados de manera transparente.

El entorno de detección y toma de datos incorpora los sensores en la *Web* que sirven a la detección y se basa en versiones optimizadas de los modelos que han sido validados en el entorno de análisis.

El entorno de generación de escenarios y simulación es la capa *software* encargada del despliegue de escenarios para el entrenamiento y la simulación. Para ello, utiliza tecnología de virtualización para el despliegue en cualquier tipo de red a modo de entorno de entrenamiento y recoge los datos de ejecución de los escenarios para alimentar al entorno de análisis.

Los entornos de entrenamiento son externos a la solución, y constituyen la infraestructura de equipos y redes sobre las que se desplegarán y pondrán en ejercicio los escenarios para el entrenamiento y simulación.

El funcionamiento de la arquitectura es la siguiente:

- Primero, se generan los escenarios deseados con el componente del generador de escenarios, indicando las máquinas y configuraciones que se deseen.
- Estos escenarios son monitorizados obteniendo de éstos ciertos datos sobre *logs* o trazas de red.
- Este tipo de fuentes internas, unidas a otras fuentes externas, son recogidas por los recolectores, diseñados para soportar grandes cargas de extracción sin pérdida de datos.
- La información de los recolectores es agregada, y analizada para observar si cumple algunos patrones de ataque recogidos.
- Adicionalmente, el científico de datos puede solicitar datos agregados para su análisis, almacenándolos en un repositorio integrado de datos.
- En el proceso de análisis se desarrollan modelos de predicción sobre los datos recogidos, y se exportan para su futura implementación.

A continuación se describen cada uno de estos bloques o entornos funcionales en sus elementos técnicos concretos.

Entorno de Análisis

A la hora de analizar los datos, se busca obtener cierto tipo de patrones, predicciones o detección de anomalías dentro de éstos, en función del modelo escogido.

Los datos a recoger deben de estar disponibles para uso, y ser solicitados por el científico de datos para trabajar con ellos. Los modelos se desarrollarán y evaluarán buscando la mayor puntuación cuando se lleve a cabo la validación de los modelos, y los escogidos serán enviados para su implementación, que ya dependen de la tecnología en la que se van a implementar.

El entorno de análisis tiene una doble función: el almacenamiento y el análisis de datos.

Además es el encargado de realizar el procesado de la información de amenazas en modo fuera de línea sobre cualquier tipo de infraestructura, ya sea propia, como en la implementación actual del proyecto (que emplea un entorno *cloud* elástico sobre una infraestructura de virtualización de sistemas TIC ubicada en el INTA), ya sea en infraestructuras proporcionadas por proveedores infraestructura como servicio (por ejemplo *Microsoft Azure* o *Amazon*).

Dado el elevado volumen de datos a procesar, se ha seleccionado un esquema de paralelización de datos basado en arquitectura *Lambda* con *Apache Spark*.

Los tres componentes que conforman el entorno de análisis son los siguientes:

- ***Data Science Workbench***: entorno interactivo para el analista incluido dentro del *framework* Anaconda, una distribución *open source* de los leguajes Python y R para la programación de algoritmos de procesado de datos a gran escala, analítica predictiva y cálculos científicos.

  Ese entorno interactivo corresponde con la tecnología *Jupyter notebook*, un entorno de aplicación *web* igualmente *open source* que permite crear y compartir documentos que contienen código ejecutable, ecuaciones, visualizaciones y textos explicativos, con aplicaciones en saneado y transformación de datos, simulación numérica, modelado estadístico y *machine learning*.
- ***Framework* Analítico**: el conjunto de las librerías de analítica para poder llevar a cabo manipulaciones y modelaje de datos, todas en lenguaje *Python* 2.7, como *Dask*, *Blaze* o *Pandas*. Es el encargado de enviar los modelos desarrollados en el entorno de análisis a un integrador de modelos que se encargará de implementar reglas de seguridad en las diferentes capas del resto del sistema.
- **Repositorio integrado de datos**: implementado en *Python* 2.7, gestiona una implementación a alto nivel de registros para poder manejar los datos contenidos en él.

La comunicación con el resto de componentes se lleva a cabo mediante una API de *Flask*. Es el componente que recoge todos los datos listos para la analítica, que posteriormente

serán recogidos por el *Data Science Workbench* para entrenar los modelos predictivos.

El entorno de análisis es el encargado del diseño e implementación de los modelos predictivos que posteriormente serán implementados como reglas de seguridad para interceptar posibles ataques externos.

Este módulo, dividido en los componentes señalados, funciona de la siguiente manera:

- El módulo *Data Science WorkBench* une las diferentes técnicas analíticas disponibles con los datos recogidos en el repositorio integrado de datos.
- Al *Data Science WorkBench*, encargado de revisar y diseñar nuevos modelos, se le facilitan todas las librerías necesarias utilizando un entorno interactivo de análisis que facilita el trabajo de programación, haciéndolo más eficiente. Todas las librerías y modelos disponibles se encuentran dentro del *framework* analítico.

El Repositorio integrado de datos es el componente que recoge todos los datos listos para la analítica, que posteriormente son recogidos por el *Data Science Workbench* para entrenar los modelos predictivos.

El repositorio integrado de datos está compuesto por una serie de gestores que se encargan de diferentes tareas:

- **Gestor de almacenamiento**: extrae los datos desde su ruta física (*File System*, *Cloud*, etc.) o bien los deposita.
- **Gestor de adquisición y expurgo**: define las políticas de adquisición, pudiendo filtrar los tipos de datos a extraer, o bien las políticas de expurgo, que configurarán la caducidad de los datos presentes en el repositorio.
- **Gestor de búsqueda y creación de registros**: Con el objetivo de independizarse de los diferentes sistemas de almacenamientos utilizados, se ha creado una capa de registros de mayor abstracción, sobre los cuales se podrán realizar búsquedas sobre parámetros o fechas de adquisición de los datos.

Los modelos desarrollados en el entorno de análisis serán enviados a un integrador de modelos que se encargará de implementar reglas de seguridad en las diferentes capas del resto del sistema.

Un punto esencial en el entorno de análisis son los métodos escogidos para la creación de los modelos. El más innovador que se incorpora es el propuesto en [1] por *Veeramachaneni et al*, conocido como AI[2].

En este algoritmo se combinan los resultados de la aplicación de modelos supervisados y no supervisados, validándolos posteriormente por un experto y comenzando una nueva iteración, siguiendo el siguiente proceso:

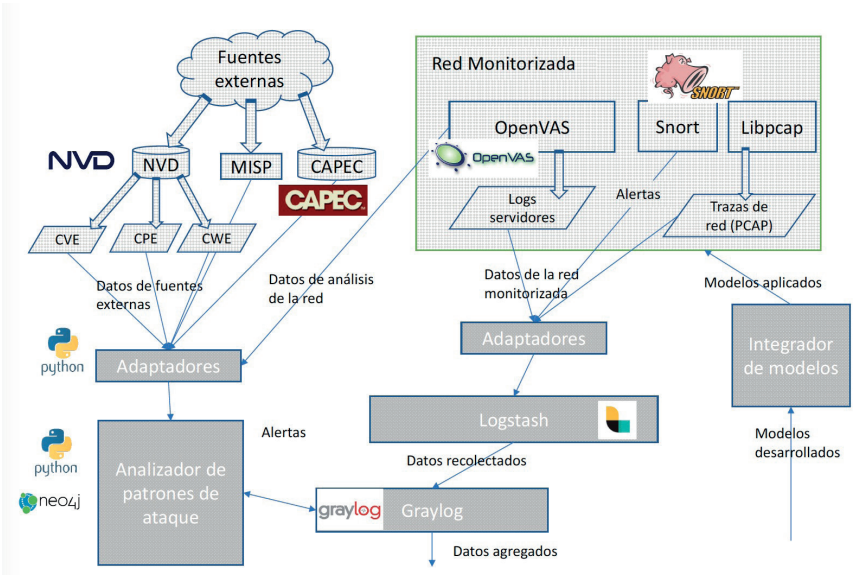


Fig. 3. Arquitectura de integración de tecnologías del EDTD. (Fuente: Universidad de Alcalá de Henares / DGAM).

- Los datos de entrada se aplican sobre unas técnicas de aprendizaje supervisado de tipo "*Random Forest*" (que incluyen datos históricos ya etiquetados) y no supervisado, del tipo "detección de *outliers*", obteniendo modelos diferentes.
- Los modelos devuelven como resultado una lista de datos ordenados según la amenaza que puedan suponer, en función del algoritmo escogido.
- Se ordena la lista y se seleccionan los registros, que se envían a un analista experto que es quien valida la información. Esa información validada sirve como datos históricos en la próxima iteración.
- Los algoritmos no supervisados se orientan a la detección de datos atípicos (*outliers*), obtenidos tras la aplicación de distancias, medidas de densidad y otras técnicas estadísticas, ordenando a continuación la información según el nivel de comportamiento anómalo.

Entorno de Detección y Toma de Datos

Debido a que se quiere aplicar una fase de análisis y modelaje sobre la red monitorizada, incluyendo otras fuentes externas, es necesario un entorno que transporte la información entre los dos extremos, añadiendo también valor adicional.

Por lo tanto el entorno tiene las funciones de extracción, transporte y detección de alertas, además de la subscripción de éstas. La información será agregada hasta que sea solicitada por el analista de datos.

El entorno de detección y toma de datos es el encargado de la recolección de datos de diversas fuentes y su agregación. Posteriormente, los datos son leídos por el entorno de análisis para su procesamiento.

Los datos se originan en las fuentes externas e internas. Las fuentes de datos externas son bases de datos de conocimiento usadas por un Analizador de Patrones de Ataque, mientras que las fuentes internas son sistemas de seguridad tradicionales de monitorización, tales como analizadores de vulnerabilidades o detectores de intrusiones.

- **El componente de detección** consiste en una serie de sensores sobre datos en tiempo real que

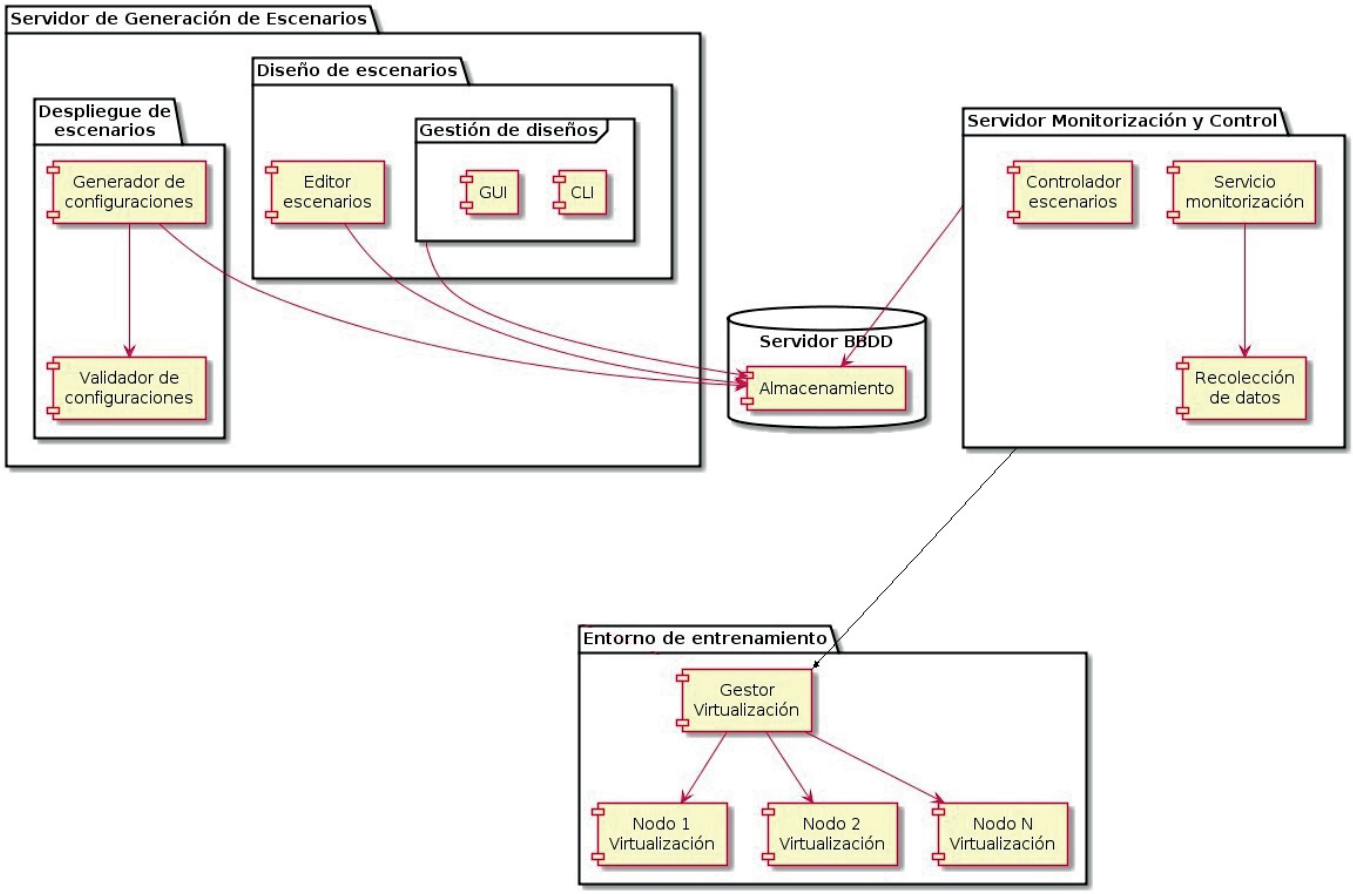


Fig. 4. Arquitectura del generador de escenarios. (Fuente: Universidad de Alcalá de Henares / DGAM).

distribuyen datos de manera asíncrona a una segunda capa de procesadores de datos.

La función de los sensores es la recogida de datos de cualquier fuente y su ingestión en un sistema de colas para su almacenamiento por un mecanismo de agregación e indexación, lo que permite escalar en *cluster* los sensores y añadirlos de forma dinámica al sistema.

- **El mecanismo de agregación e indexación** se programa para almacenar los datos y ofrecer acceso a ellos desde los componentes del Repositorio Integrado de Datos y el Analizador de Patrones de Ataque.
- **El Analizador de Patrones de Ataque** usa un modelo topológico de la red monitorizada, calculado con ayuda de un analizador de vulnerabilidades en modo "*host discovery*", inspirado en el trabajo de *S. Jajodia et al*. en [2] junto con el algoritmo expuesto por *M. A. Sicilia et al.* en [3]. Este módulo permite relacionar alertas recibidas por los sistemas de detección a través de su progresión en el tiempo.
- **Las alertas** recibidas provienen tanto de los sistemas tradicionales instalados en la red como de los modelos entrenados en el componente de Analítica de Datos.

La segunda capa de procesadores de datos cuenta con un conjunto de modelos que analizan los eventos en tiempo real. Estos modelos son implementaciones de modelos predictivos o algoritmos de asociación que se han obtenido en el contexto de análisis.

- **El integrador de modelos** es el componente fundamental de esta capa, ya que es el encargado de relacionar los diferentes modelos para decidir sobre la emisión de eventos.

  Además el integrador de modelos tiene la responsabilidad de decidir sobre los eventos relevantes que se enviarán al entorno de análisis para su procesamiento fuera de línea o como historia de eventos, así como de instalar en la red monitorizada los modelos entrenados por el Entorno de Análisis.

La emisión de eventos se realiza de manera desacoplada con los receptores, de acuerdo a un patrón de publicación - suscripción.

Generador de Escenarios

El Generador de Escenarios tiene el objetivo de facilitar al usuario final el diseño y gestión de escenarios para la realización de ciberejercicios, abstrayéndoles de las tecnologías e infraestructuras de virtualización que se utilicen en la plataforma de despliegue.

El generador de escenarios incluye un sistema de usuarios y está divida en dos partes, la encargada de configurar y gestionar la aplicación y el generador de escenarios propiamente dicho.

Por su parte, el proceso de generación de escenario está divido en tres fases: definición del escenario, estudio de viabilidad y especificación completa y traducción y ejecución.

- **Definición del escenario**: durante esta fase, el usuario del sistema define a alto nivel las características técnicas que forman el escenario mediante un esquema XSD que contiene los elementos obligatorios y su formato de datos concreto, a partir del cual se puede definir un archivo XML con la especificación completa del escenario.

  Se ha implementado una interfaz gráfica que permita al usuario del sistema realizar esta especificación de forma visual.

  Una vez completa esta fase, el sistema cuenta con una definición formal del escenario que se pretende desplegar formado por los equipos que la componen, la red o redes a las que están conectados, sus características, los servicios desplegados y su ubicación.

- **Estudio de viabilidad y especificación completa**: durante esta fase, una vez el sistema cuenta con la especificación del escenario deseado, es necesario comprobar la viabilidad de la misma tanto a nivel lógico (que los elementos definidos sean compatibles entre sí) cómo a nivel de despliegue (que los recursos de la infraestructura de virtualización del sistema puedan alojar todas las especificaciones realizadas).

  En esta segunda fase se analiza la especificación realizada por el usuario, se completa la definición generando una entrada para cada elemento del sistema (p. ej. si se ha definido un rango de direccionamiento IP para un equipo, se le asigna un valor en concreto) y se insertan los elementos necesarios para su correcto despliegue y monitorización, tales como sondas de configuración.

- **Traducción y ejecución**: esta última fase del proceso de generación de escenarios consiste en la creación de las peticiones que se deben realizar a la plataforma de virtualización que alojará el escenario.

Esta parte del generador realiza a su vez las peticiones de forma iterativa, siguiendo un árbol de dependencias, para obtener los datos de la plataforma necesarios para completar alguna de las peticiones.

De forma complementaria, el generador de escenarios cuenta con una base de datos que almacena tanto los elementos que se realizan en la definición del escenario, como las acciones que se van realizando, a modo de registro de actividad.

El componente software se ha implementado utilizando *Python* y el *framework* de desarrollo *web Django*.

Las configuraciones dentro del propio escenario se realizan a través de sondas que cuentan con la herramienta *Ansible*.

Para adaptarlas a la infraestructura disponible en el *cluster* empleado, se han desarrollado las librerías de traducción para funcionar con el sistema de virtualización formado por *CloudStack* y *XenServer*.

La interfaz gráfica está formada por las plantillas, hojas de estilos y funciones *JavaScript*, que forman el *Front End* de la aplicación, que será accesible utilizando cualquier navegador *web* moderno a través de una dirección IP o nombre de dominio.

Conclusiones

La innovación base del proyecto está constituida por el diseño de una plataforma de analítica sobre *Big Data* en el campo específico de la Ciberdefensa.

El papel de esta arquitectura y diseño es el de resolver los aspectos de integración de datos, complejidad y volumen de procesamiento en una arquitectura genérica y extensible.

El problema de la detección de ciberamenazas no puede resolverse solamente con procesamiento paralelo de grandes volúmenes de datos *offline*.

Necesita de mecanismos de detección que funcionen casi en tiempo real y que sean capaces de contrastar múltiples modelos y co-relacionarlos con datos que provienen de fuentes distribuidas.

Las arquitecturas de *streaming* como la de Apache Spark adoptada son el soporte adecuado para este componente del sistema.

Una innovación fundamental en este proyecto consiste en la integración de múltiples detectores en tiempo real que sean escalables en cuanto a su número y su combinación para la identificación de amenazas distribuidas y con múltiples objetivos, que son específicas del ámbito de la ciberdefensa.

Ello permite la adición al sistema de detección de un número prácticamente ilimitado de detectores y su combinación en tiempo casi real para soportar procesos de vigilancia y consciencia situacional.

Por otra parte, el sistema de generación de escenarios de prueba permite tanto la verificación de hipótesis mediante la realización de ejercicios, como la agregación de los datos

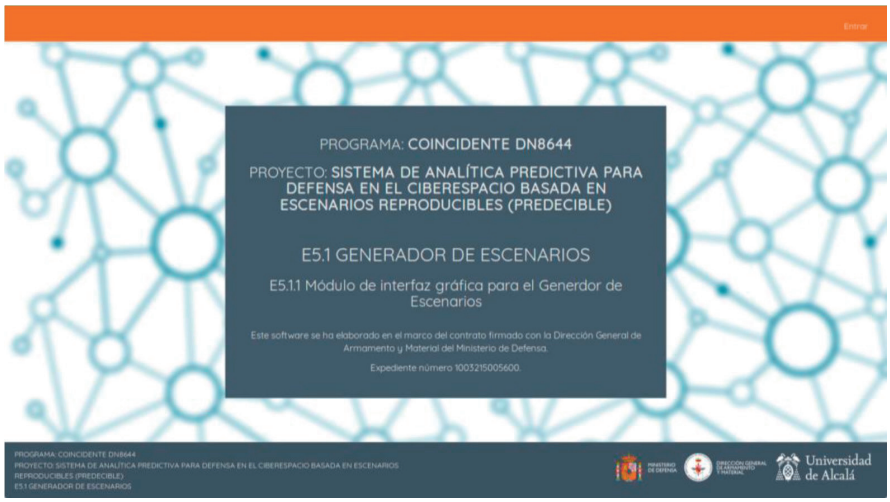


Fig. 5. Portal Web de acceso al generador de escenarios (Fuente: Universidad de Alcalá de Henares / DGAM).

generados en dichos ejercicios y su contraste con los datos tomados en vivo.

Lo anterior abre la posibilidad en el futuro de habilitar otra innovación clave: la simulación de nuevos escenarios generados de forma automática a partir de la combinación de los ya existentes con la información procedente de fuentes reales.

Dicha simulación permitirá una mejor verificación de hipótesis ofreciendo un grado de analítica más avanzado al sistema de soporte.

Principales innovaciones del EDTD

A través del uso de sistemas de recolección de datos en tiempo real, también conocidos como *Big Data*, se puede obtener información de prácticamente cualquier entorno monitorizado de forma escalable. Todos los sistemas permiten tanto escalabilidad horizontal como vertical, lo que permite su despliegue en gran cantidad de infraestructuras diferentes.

El sistema de monitorización de alertas basado en patrones provenientes de la base de datos CAPEC permite correlacionar las alertas agregadas por los sistemas de *Big Data* a lo largo del tiempo. Esto permite predecir próximas probables víctimas de ciberataques y detectar ataques con marcos de tiempo muy elevados que pasarían desapercibidos por otros sistemas.

Por último, el módulo del implementador de modelos permite la instalación de los modelos entrenados por analistas de datos en el componente del EAN en sistemas de detección instalados en la red monitorizada. Está diseñado para ser independiente tanto de los modelos almacenados como de las tecnologías finales a través de un sistema de *plugins* que permite al usuario extender el sistema a las tecnologías necesarias.

Principales innovaciones del EAN

Dentro del entorno de análisis (EAN), uno de los puntos a destacar es la implementación de un sistema de aprendizaje automático con revisión por parte de personal experto, basándose en el algoritmo AI².

Esemodelopermitemodelarconaprendizaje supervisado y no supervisado, de tal forma se extraen los beneficios de ambos métodos, y posteriormente se valida la información por un experto para confirmar las predicciones obtenidas. Además, esos resultados validados servirán como datos históricos para futuras iteraciones.

Otro de los puntos fuertes del EAN es el diseño de su *DataLake*, el Repositorio Integrado de Datos, el cual permite almacenar información que será gestionada utilizando una serie de objetos llamados Registros.

Dichos registros sirven como capa de metadatos sobre los datos en crudo almacenados, pudiendo realizar búsquedas o diferentes acciones sobre éstos, añadirlos o eliminarlos (de manera manual o con políticas de expurgo). Gracias a estos el científico de datos se desentiende de los datos, trabajando únicamente con los registros.

Por último, también se ofrecen unas librerías llamadas *WrapperModelos*, que permiten la ejecución de diferentes modelos de *DataScience* de forma muy sencilla, facilitando y ahorrando código del científico de datos que lo vaya a utilizar.

Principales innovaciones del Generador de Escenarios

El estado del arte sobre conjuntos de datos que recojan ciberataques reales es bastante reducido. Esto hace que surja la necesidad de generar esta información a partir de escenarios sintéticos que en la actualidad se realizan en su mayor parte de forma manual.

El Generador de Escenarios desarrollado en el proyecto PREDECIBLE facilita esta tarea proporcionando una interfaz gráfica que abstrae al diseñador del escenario de la tecnología de virtualización que hay por debajo, facilitando su trabajo.

Aunque este sistema ha sido probado y validado en la infraestructura disponible en el área de TICS del ITM, formada por *hipervisores XenServer* y el gestor *CloudStack*, existen varios aspectos desarrollados que puedes ser extrapolables a cualquier plataforma de virtualización.

Por un lado, se ha diseñado la arquitectura de la red de gestión, transparente para el propio escenario, que a través del despliegue de sondas a las que el generador tiene acceso, permite configurar y acceder al resto de equipos desplegados.

Por otro lado, el uso de tecnologías cómo *Ansible*, generaliza la forma de crear servicios para los equipos desplegados, haciéndolos un poco más independientes de los sistemas operativos de los anfitriones.

Por último, el contar con la posibilidad de importar y exportar las especificaciones de los escenarios diseñados y levantar o destruir un escenario completo en pocos pasos, facilita enormemente la gestión de los recursos disponibles en las infraestructuras de virtualización y la repetitividad de los escenarios diseñados.

Agradecimientos

El proyecto descrito en este artículo ha sido elaborado en el marco del contrato firmado con la Dirección General de Armamento y Material del Ministerio de Defensa. Expediente número 1003215005600. Programa COINCIDENTE.

Agradecimiento especial al Mando Conjunto de Ciberdefensa por su apoyo y participación en el proyecto.

Referencias

[1] *Kalyan Veeramachaneni* (CSAIL, MIT *Cambridge*, MA), Ignacio Arnaldo (*PatternEx*, San Jose, CA), Alfredo Cuesta-Infante, *Vamsi Korrapati*, *Costas Bassias*, Ke Li (*PatternEx*, San Jose, CA), «*AI²: Training a big data machine to defend*», 2016.

[2] *S. Jajodia, S. Noel, P. Kalapa, M. Albanese and J. Williams*, "*Cauldron mission-centric cyber situational awareness with defense in depth*," 2011 - MILCOM 2011 *Military Communications Conference*, *Baltimore*, MD, 2011, pp. 1339-1344.

[3] M.-A. Sicilia, J. Bermejo-Higuera, E. García-Barriocanal, S. Sánchez-Alonso, D. Domínguez-Álvarez, y M. Monzón-Fernández, «*Querying Streams of Alerts for Knowledge-Based Detection of Long-Lived Network Intrusions*», en *Flexible Query Answering Systems*, 2017, pp. 186-197.

[4] Estrategia de Tecnología e Innovación para la Defensa (ETID - 2015). www.tecnologiaeinnovacion.defensa.gob.es.

SimEx: Una herramienta para la evaluación rápida de los efectos de explosiones

Autores: Marcos Vera Coello, Universidad Carlos III de Madrid; Juan Sánchez Monreal, Universidad Carlos III de Madrid.

Palabras clave: Explosiones, Explosivos, IED, Onda Expansiva, Respuesta SDOF, Fragmentos, Daño sobre personas, UFC 3-340-02.

Metas Tecnológicas relacionadas: MT 1.1.1; MT 3.1.2; MT 3.3.1; MT 3.3.5; MT 4.1.1; MT 5.1.2.

Introducción

A diferencia de la liberación relativamente lenta de energía que ocurre en los procesos de combustión o deflagración, la deposición casi instantánea originada por la detonación de un alto explosivo produce un incremento muy rápido de la presión, acompañado por desprendimiento de calor, luz y gases. Los gases producto de la explosión, a altísimas presiones y temperaturas, se expanden bruscamente, desplazando el aire circundante y cualquier otro objeto que puedan encontrar en su camino. Esto da lugar a los dos efectos físicos más característicos de una explosión: la onda aérea, u onda expansiva, y la proyección de fragmentos u objetos próximos a la carga. Si el explosivo se sitúa a ras de suelo aparecen además ondas sísmicas, originándose un cráter superficial resultado de la eyección del material situado bajo la carga. Cuantificar estos efectos y evaluar cómo afectan al entorno donde ocurre la explosión, donde pueden existir elementos estructurales, objetos o personas, es una tarea de gran complejidad que requiere un conocimiento profundo de la físico-química de las explosiones.

Debido a la ola de ataques terroristas sufridos en los últimos años, la estimación de los efectos producidos por las explosiones se ha convertido en un problema crítico para el diseño, protección y rehabilitación de edificios e infraestructuras tanto civiles como militares. Sin embargo, esta no es una tarea fácil, ya que involucra dinámica de fluidos altamente no lineal, respuesta estructural dinámica e interacción fluido-estructura. Estos fenómenos pueden abordarse con ciertas garantías utilizando herramientas computacionales multifísicas, como LS-Dyna o Abaqus, basadas en el método de los elementos finitos explícito. En las simulaciones se suelen modelar todos los componentes críticos del problema, incluyendo el explosivo, la onda aérea, la interacción fluido-estructura, y la respuesta estructural. Sin embargo, el enorme esfuerzo computacional requerido para lograr dichos análisis, que incluye no solo el tiempo de cálculo propiamente dicho, sino también complejas etapas de pre y post-procesado, sigue siendo un problema crítico. Por ejemplo, simular el efecto de

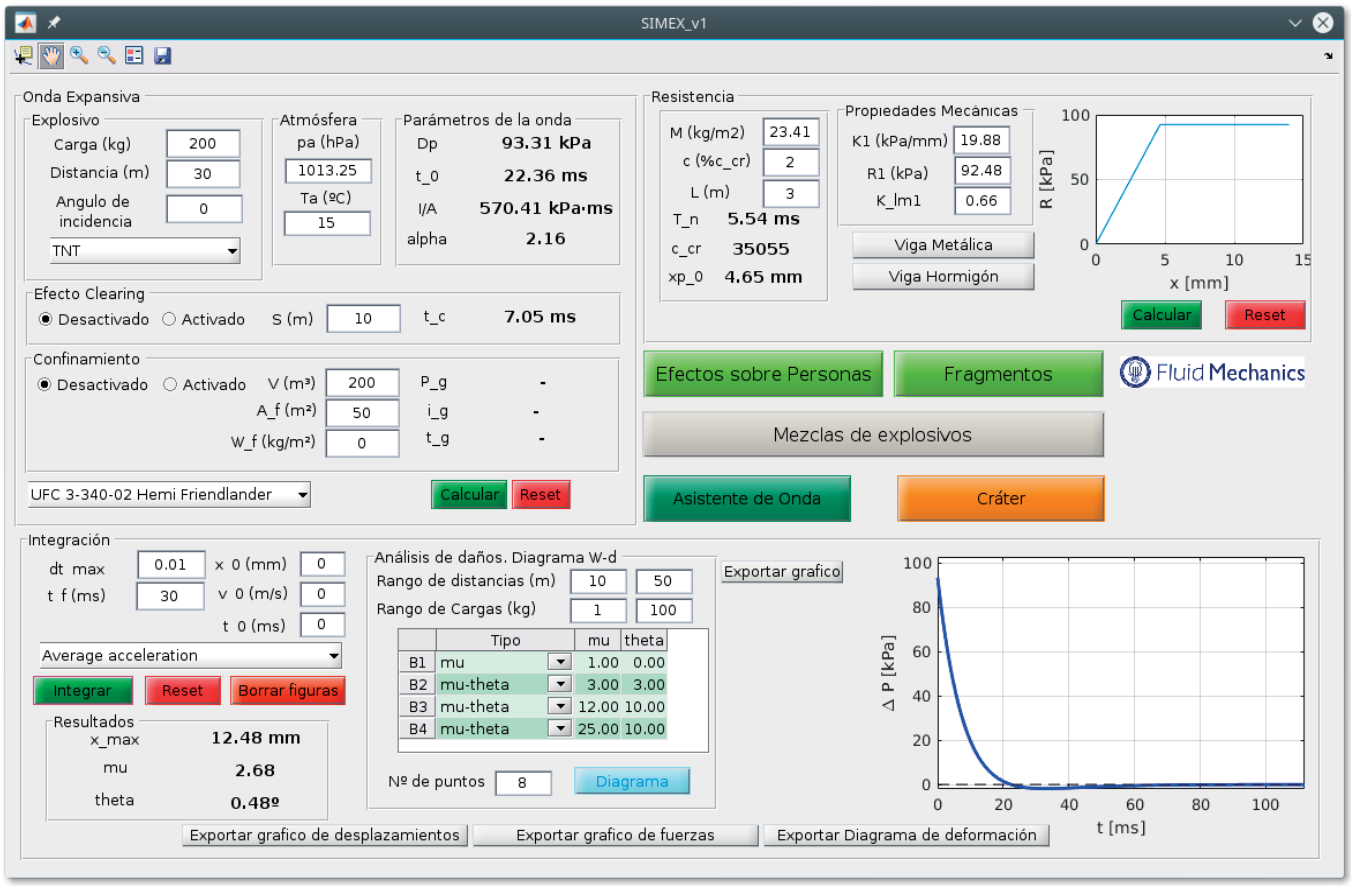


Fig. 1. Interfaz principal de SimEx, donde se aprecian los paneles de "Onda Expansiva", "Resistencia" e "Integración" para el cálculo de la respuesta estructural mediante modelos SDOF. También se observan los botones de acceso a los demás asistentes de cálculo. (Fuente: propia)

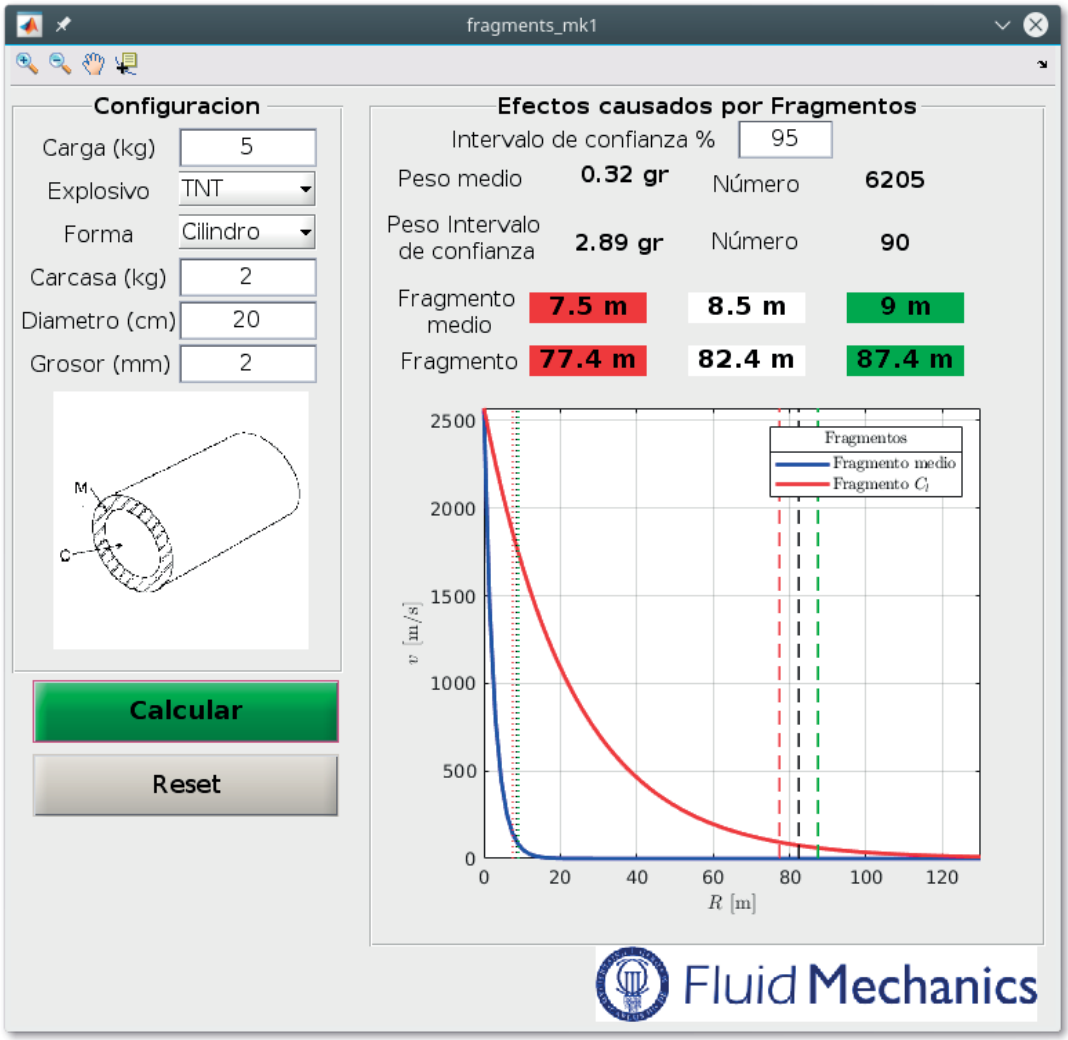


Fig. 2. Interfaz del módulo de cálculo de fragmentos primarios. (Fuente: propia)

la carga explosiva en un puente a escala completa puede requerir más de 10 millones de elementos finitos. Este es el motivo por el que la mayoría de los análisis aún hacen uso de modelos simplificados para la carga explosiva y la respuesta estructural.

Por ejemplo, la norma americana UFC 3-340-02, sucesora de la ARMY TM 5-1300, establece los requisitos que impone el Departamento de Defensa de los EE.UU en las tareas de planificación, diseño, construcción, mantenimiento, restauración y modernización de todas aquellas instalaciones que deban ser protegidas frente a explosiones. Ante la ausencia de normativa similar a nivel nacional, este documento es ampliamente utilizado por los ingenieros y contratistas de nuestras FF.AA, pues proporciona una inestimable guía para el cálculo de los efectos de los explosivos y las cargas dinámicas asociadas, con procedimientos paso a paso para el análisis y diseño de edificios resistentes a explosiones.

Para facilitar la aplicación de los procedimientos establecidos en la norma, así como en otras referencias clásicas del análisis de explosivos, existen plataformas de cálculo que incorporan la ingente cantidad de datos disponibles en forma de tablas y gráficos en la literatura. El Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos, por ejemplo, ha desarrollado y proporciona soporte a una serie de paquetes de software relacionados con el diseño de edificios resistentes a explosiones (https://pdc.usace.army.mil/software/). Sin embargo, dado el carácter crítico de esta tecnología, el acceso a estos paquetes está limitado a las agencias del gobierno de los EEUU y sus contratistas, dentro de los cuales su uso sólo es autorizado a ciudadanos estadounidenses.

Debido a la difusión limitada de estos paquetes de cálculo, hace cuatro años los autores se plantearon como objetivo el desarrollo de una herramienta alternativa partiendo desde cero. Concebida inicialmente con fines docentes, su intención era disponer de una plataforma virtual para utilizarla en las prácticas de la asignatura Dinámica de Explosiones del Grado en Ingeniería de la Seguridad, impartida en el Centro Universitario de la Guardia Civil (CUGC) de Aranjuez. El resultado es la plataforma SimEx, basada en Matlab, cuyo propósito inicial se limitaba a evaluar el efecto de explosiones sobre elementos estructurales simples, como vigas, columnas

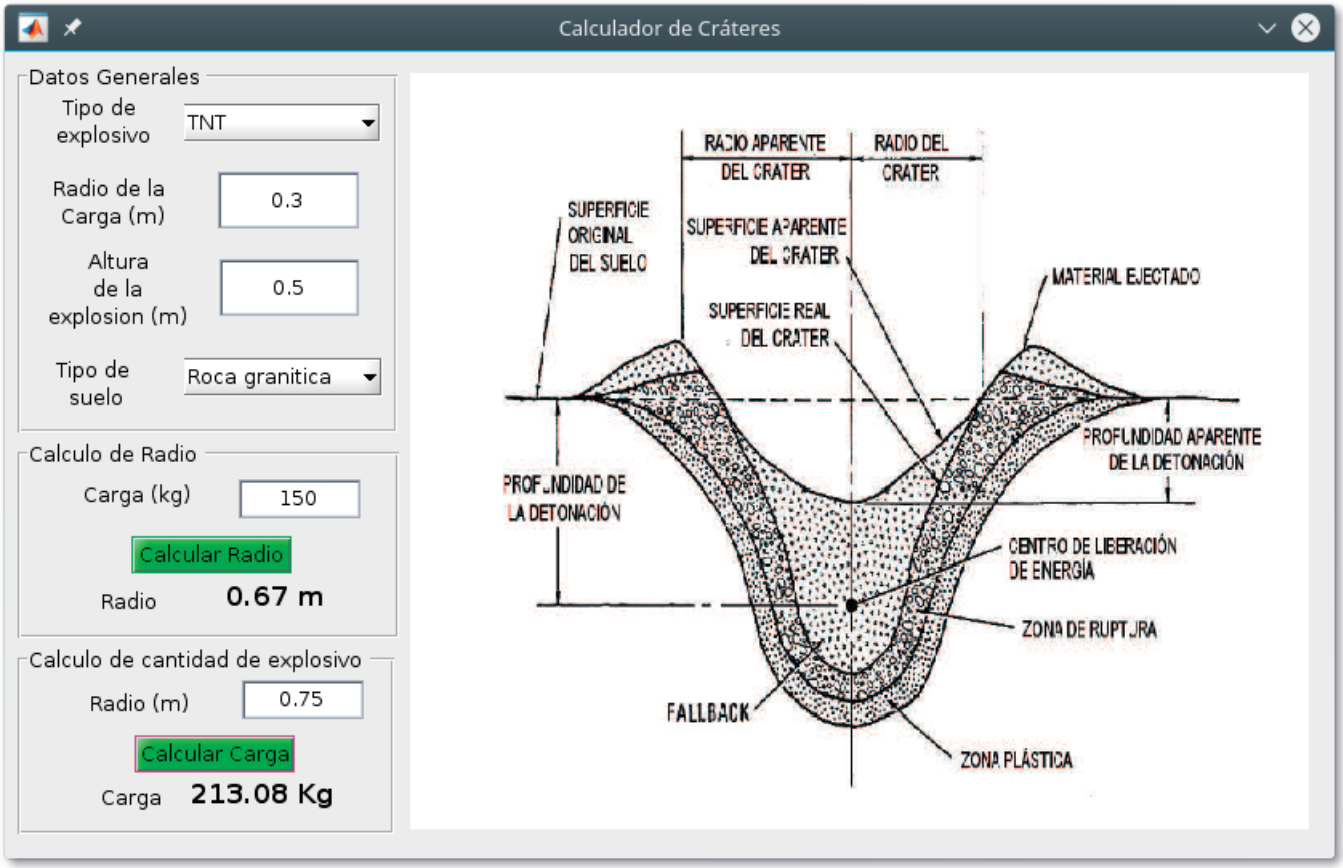


Fig. 3. Asistente para el cálculo de cráteres. (Fuente: propia)

o zparedes, mediante modelos de un grado de libertad (SDOF, *Single Degree of Freedom*) tal y como especifica la norma UFC 3-340-02. La herramienta comenzó a utilizarse satisfactoriamente tanto en las sesiones prácticas de la asignatura Dinámica de Explosiones (DE), como en el desarrollo de diversos Trabajos Fin de Grado (TFG) sobre explosiones. Este doble uso ha permitido desarrollar la aplicación más allá de los objetivos inicialmente previstos, poniendo a prueba por un lado las capacidades implementadas por parte de cadetes con perfil de usuario final (DE), así como explorando nuevas funcionalidades y utilidades por parte de usuarios más avanzados (TFG). Usando esta experiencia, la aplicación ha ido evolucionando a nivel visual y funcional respecto a las versiones iniciales, y en su versión actual incluye los asistentes de cálculo que se describen a continuación.

Capacidades de SimEx

Modelos de un grado de libertad

SimEx permite estudiar de un modo sencillo la respuesta a cargas explosivas de una variedad de elementos estructurales que pueden modelizarse como sistemas SDOF. Todo ello bajo un entorno gráfico fácil e intuitivo para el usuario. La figura 1 muestra la interfaz principal de SimEx, dividida en tres asistentes de cálculo que se corresponden con los tres elementos básicos de los modelos SDOF: un módulo para el cálculo de las propiedades de la onda expansiva (término forzante), un módulo para el cálculo de las propiedades mecánicas equivalentes (término resistente), y un módulo para la integración numérica del problema, que incluye el post-procesado de los resultados y su representación gráfica en forma de diagramas de daño.

Como término forzante se utiliza la señal de presión de la onda expansiva multiplicada por el área efectiva del elemento estructural que sufre la carga dinámica. Para obtener las características de la onda expansiva (sobrepresión máxima, duración, impulso por unidad de área, etc.) de una manera rápida se utilizan las correlaciones clásicas [7, 9] en función de la distancia escalada, lo que permite su uso para distancia y cantidad de explosivo arbitrarias. Como explosivo de referencia se emplea comúnmente el TNT, aunque los resultados se pueden extrapolar a otros explosivos usando tablas de equivalencia [6]. Para calcular la carga dinámica que ejerce la onda expansiva se debe tener en cuenta el ángulo de incidencia de la señal de presión, siendo normalmente el de incidencia normal el caso más desfavorable. La norma UFC-3-340-02 contiene datos de magnitudes escaladas para explosiones esféricas y hemisféricas. Además provee de métodos para calcular las propiedades de la onda expansiva con diferente ángulo de incidencia. La forma temporal de la onda expansiva se aproxima con la ecuación de Friedlander [2, 9] que captura también la fase de sobrepresión negativa. Alternativamente, para la interacción con sistemas SDOF también se puede usar la forma de pulso triangular equivalente sin cometer un error significativo [3]. El asistente de cálculo de la onda expansiva permite activar de forma optativa el efecto de *clearing*

y de explosión confinada, lo que aumenta las capacidades de cálculo a situaciones más realistas.

El módulo de resistencia estructural permite introducir las propiedades mecánicas del sistema SDOF equivalente. También se introduce la longitud característica del sistema, que se utiliza para determinar el ángulo de rotación máxima en los contornos. Como resultados se muestran los valores del periodo natural, el amortiguamiento crítico y la deflexión a la que empieza a aparecer deformación plástica en el sistema. Se incluye el acceso a asistentes de cálculo de las propiedades equivalentes para varios tipos de sistemas. Actualmente se incluyen vigas metálicas y vigas de hormigón armado, aunque próximamente se prevé incorporar un asistente para el cálculo de ventanas.

Una vez seleccionadas todas las características del sistema SDOF equivalente, se debe integrar la ecuación diferencial ordinaria resultante. En el módulo de integración se han implementado los dos métodos numéricos recomendados por la norma UFC-3-340-02, que se pueden seleccionar con un menú desplegable. También se incluyen cuadros de texto para fijar las condiciones iniciales (desplazamiento y velocidad inicial) así como el tiempo final de integración. Dado que los dos métodos son de paso fijo, se debe indicar un paso temporal suficientemente corto para asegurar la correcta convergencia de la integración.

Tras realizar la integración aparecen tres gráficos de resultados en una ventana emergente y un cuadro resumen. El gráfico de la izquierda muestra el desplazamiento instantáneo (azul) y el desplazamiento o deformación permanente (rojo). El gráfico central muestra la variación temporal de la señal de presión junto con la fuerza de resistencia del sistema SDOF. A la derecha se muestra un gráfico resistencia-desplazamiento en el que se puede observar más claramente si aparecen desplazamientos permanentes o no. Por último, el cuadro de resultados muestra el máximo desplazamiento obtenido y dos evaluadores de daño: μ es la relación entre el desplazamiento máximo y el desplazamiento a partir del cual comienzan los daños permanentes, y θ representa el ángulo de rotación máxima en los apoyos cuyo su cálculo depende del tipo de estructura seleccionada. A partir de estos dos evaluadores cuantitativos se puede calificar cualitativamente el daño en la estructura bajo estudio [11]. Evaluando diferentes pares de carga explosiva y distancia para un mismo elemento estructural se pueden representar diagramas de daño en el plano carga-distancia. SimEx dispone de una función para ello, situada en la parte central del módulo integrador. Se puede seleccionar el rango de cargas y distancias, el número de casos y los tipos de daño con los evaluadores μ y θ.

Otros asistentes de cálculo

La interfaz principal de SimEx también da acceso a asistentes de cálculo adicionales a los del cálculo de sistemas SDOF. Estos incluyen un módulo para el cálculo de propiedades de mezclas explosivas, un módulo para la estimación de la velocidad y la distribución de masas de fragmentos primarios, un calculador de cráteres, y un asistente para la estimación de daños sobre personas.

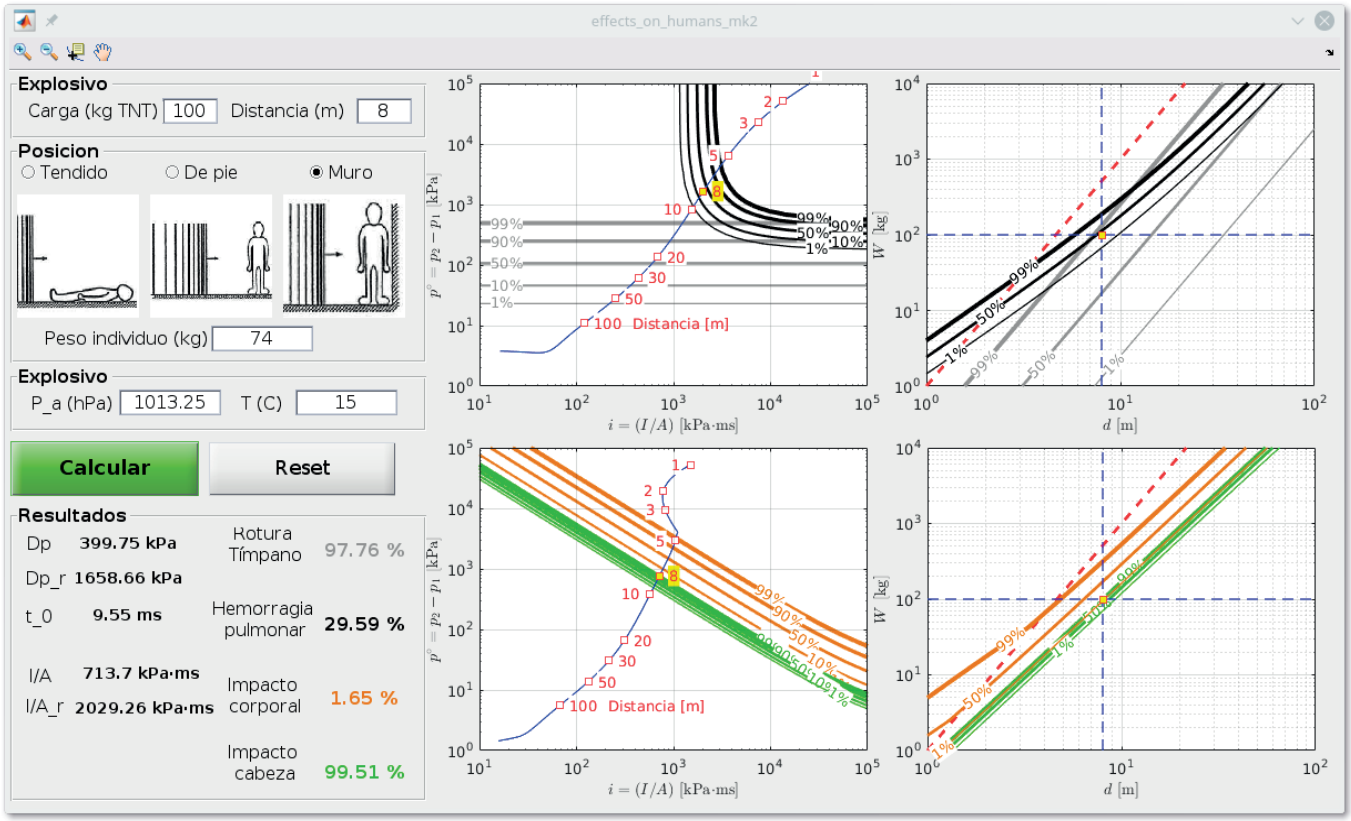


Fig. 4. Interfaz del módulo de daños sobre personas. (Fuente: propia)

En relación al cálculo de mezclas explosivas, SimEx dispone de una extensa base de datos de propiedades de explosivos puros de tipo CHNO basada en las tablas clásicas de Kinney & Graham [9] y en los datos de explosivos de última generación proporcionados por Akhavan [11]. A partir de las propiedades de los explosivos puros, el asistente permite estimar también las propiedades de mezclas explosivas formadas por dos o más componentes. Entre las propiedades disponibles se encuentran la fórmula química aparente, el peso molecular, la densidad máxima, el calor de explosión, la constante de Gurney, el volumen de gases generado, la presión y velocidad de detonación, y la fuerza explosiva (o índice de potencia). Para el cálculo de la reacción de descomposición en productos nominales, que proporciona el calor liberado y el volumen de gases generado, se puede optar por distintas hipótesis de cálculo (KJ, KW, KW modificada, SR, o equilibrio químico, esta última aún pendiente de implementar) [11]; para estimar la presión y velocidad de detonación se utilizan las expresiones aproximadas de Kamlet & Jacobs [8]; y finalmente la fuerza explosiva se calcula mediante la aproximación de Berthelot [9]. Estos datos se emplean posteriormente para el cálculo del equivalente TNT de la carga explosiva considerada.

SimEx dispone también de un asistente para el cálculo de la velocidad y la distribución de tamaños de los fragmentos primarios, cuya interfaz se muestra en la figura 2. Para estimar la distribución de tamaño de los fragmentos se utiliza la teoría estadística de Mott [10] para cargas cilíndricas, tal y como recoge la norma UFC-3-340-03. Este modelo determina el número medio de fragmentos y su peso medio. También permite calcular el tamaño del fragmento más grande correspondiente a un intervalo de confianza dado. Para estimar la velocidad inicial de los fragmentos se utiliza el análisis de Gurney [5]. Este método establece que la velocidad inicial de todos los fragmentos es la misma; pero dada la diferencia de tamaños, tanto su energía como su deceleración son diferentes. El modelo implementado incluye un modelo de deceleración de los fragmentos primarios en función de su tamaño. Los resultados de estos modelos se usan también para estimar la probabilidad de muerte debida a lesiones secundarias.

También existe un asistente el cálculo directo e inverso de cráteres, cuya interfaz se muestra en la figura 3, donde se ha implementado el modelo matemático de Cooper [4]. Con este modelo se puede calcular el cráter generado por la detonación de una cierta cantidad de explosivo a una cierta altura sobre el suelo; también se puede calcular la cantidad de explosivo necesaria para producir un cráter de cierto tamaño. Se puede seleccionar la cantidad y el tipo de explosivo. También es posible escoger el tipo de suelo.

En el asistente de SimEx para daños sobre personas se han implementado las funciones *probit* propuestas en el Green Book del TNO [12]. Para cada tipo de lesión o causa de muerte (lesión pulmonar, rotura de tímpano, etc.) se define una función *probit* que depende de las magnitudes que caracterizan la explosión (sobrepresión maxima, impulso, etc.). Para lesiones primarias principalmente se evalúa la letalidad por lesión pulmonar. Para lesiones secundarias se utiliza la letalidad por impacto de fragmento primario o secundario, que depende de la velocidad y masa del fragmento. Para lesiones terciarias se usa la letalidad por desplazamiento del cuerpo y posterior impacto, ya sea de cabeza o de cuerpo entero. La apariencia de la interfaz se muestra en la figura 4. En la parte derecha se seleccionan todos los parámetros que necesarios: carga, tipo y geometría del explosivo y posición del cuerpo. El resto de la ventana presenta los resultados tanto numérica como gráficamente, usando tanto diagramas sobrepresión-impulso como carga-distancia.

Conclusiones

SimEx es una herramienta computacional que permite evaluar de un modo rápido y cómodo los efectos de las explosiones sobre elementos estructurales y personas de acuerdo con las especificaciones de la norma UFC-3-340-02. También proporciona asistentes para el cálculo de mezclas explosivas, cráteres y proyección de fragmentos. La herramienta se utiliza actualmente para labores docentes y de investigación en el Centro Universitario de la Guardia Civil de Aranjuez, pero podría ser de utilidad en otros ámbitos dentro de las Fuerzas y Cuerpos de Seguridad del Estado ligados a la lucha contra-terrorista y al diseño de estructuras seguras frente a explosiones.

Referencias

[1] Akhavan, J. The Chemistry of Explosives, 3rd Ed. Cambridge, UK, Royal Society of Chemistry, 2011.

[2] Baker, W. E. Explosions in air. University of Texas Press, 1973.

[3] Biggs, J. M. Introduction to Structural Dynamics. McGraw-Hill, USA, 1964.

[4] Cooper, P. W. Explosives Engineering. Wiley-VCH, USA 1996.

[5] Gurney R.W. The Initial Velocities of Fragments from Bombs, Shell, Grenades.Aberdeen MD, USA, Ballistic Research Laboratories, 1943.

[6] International Ammunition Technical Gudeline (IATG) 01.08 Formulae for ammunition management. UN Office for Disarmament Affairs 2013.

[7] Kingery, C. N.; Bulmash, G. Airblast Parameters from TNT Spherical Air Burst and Hemispherical Surface Burst. U.S. Technical Report ARBRL-TR-02555, Ballistics Research Laboratory, Aberdeen Proving Ground, Maryland, USA. April 1984.

[8] Kamlet, M.J.; Jacobs, S.J. Chemistry of detonations. I. A simple method for calculating detonation properties of CHNO explosives. Journal of Chemical Physics 1968, 48, 23-55.

[9] Kinney, G.F.; Graham, K.J. Explosive Shocks in Air, 2nd Ed. Springer-Verlag, New York, USA, 1985.

[10] Mott, N.F. Fragmentation of Shell Cases, Proceedings of The Royal Society, London, 1947, A189, 300-308.

[11] Protective Design Center Technical Report PDC-TR, 06-08, Single degree of freedom structural response limits for antiterrorism design. U.S. Army Corps of Engineers, 2008.

[12] TNO Green Book Methods for the determination of possible damage to people and objects resulting from releases of hazardous materials (CPR 16E). The Hage, NL, CIP-data of the Royal Library, 1992.

[13] Unified Facilities Criteria (UFC) 3-340-02, Structures to resist the effects of accidental explosions. Washington D.C., USA, U.S. Department of Defense, 2008.

Proyecto ALPAM: Retos en almacenamiento energético y nuevas tecnologías de baterías

Autores: Ana L. Cudero, Paloma Rodríguez, Joaquín Chacón; Albufera Energy Storage S.L.

Palabras clave: baterías, aluminio, almacenamiento energético.

Metas Tecnológicas relacionadas: MT 3.1.5.

Introducción

Las necesidades energéticas son cada día más importantes en nuestros quehaceres cotidianos, en gran medida dada la gran cantidad de dispositivos portátiles que invaden nuestra actividad diaria y su creciente importancia en nuestras vidas. Tanto desde el punto de vista de las comunicaciones, del confort o del entretenimiento, entre otros, la electricidad se ha convertido en nuestra compañera de viaje a pequeña escala para nuestras relaciones sociales y nuestro desempeño laboral.

Esta electricidad viene muchas veces de la mano de las baterías electroquímicas puesto que, al tener que prescindir conexión directa a la red eléctrica, se precisa de una fuente de alimentación donde la electricidad se encuentre almacenada para su utilización a demanda. El mejor sistema de almacenamiento energético portátil conocido actualmente son las denominadas pilas, acumuladores o baterías que son dispositivos que almacenan electricidad mediante la transformación electroquímica de una serie de materiales, llamados activos, en los electrodos positivo y negativo de las mismas.

Existen diversas tecnologías de pilas y baterías entre las que se destacan las tradicionales recargables basadas en el plomo o el níquel como materiales activos o las más modernas de litio-ión. También se utilizan en gran medida las denominadas pilas primarias o no recargables en múltiples aplicaciones donde la obligatoriedad de llevar un cargador para las recargables se vuelve un inconveniente relevante dada la aplicación o la localización del servicio.

Esto ocurre en gran medida en las aplicaciones militares donde toman una especial relevancia factores como la portabilidad (manejabilidad y poco peso) y la autonomía y garantía de suministro en condiciones de localización remotas o en entornos poco amigables. Traducido a las características del producto, esto se define bajo las siguientes prestaciones básicas de la tecnología:

- Capacidad: medida en amperios-hora (Ah) es la cantidad de electricidad que almacena la batería, o lo que es lo mismo, el número de horas que es capaz de proporcionar una corriente determinada (A).
- Voltaje: medido en voltios (V), es una de las características principales de la batería, intrínsecamente relacionado con su naturaleza electroquímica y que, por lo tanto, viene fijado por la combinación de elementos en ánodo y cátodo.
- Energía específica: normalmente medida en Wh/kg, nos da una indicación de la cantidad de energía que almacena una batería por unidad de peso o, dicho de otra forma, la autonomía de funcionamiento de un dispositivo, conocido su consumo eléctrico, para un peso de batería determinado.
- Fiabilidad: cualidad de un dispositivo para no fallar totalmente en determinadas condiciones de funcionamiento o, dicho de otra forma en el caso de las baterías, característica de una batería para ser capaz de ofrecer, en cualquier circunstancia, un mínimo aceptable de energía y potencia para una aplicación determinada.

Si a esto añadimos la conveniencia de disponer de productos compatibles con el medio ambiente, empleando en su fabricación materiales biodegradables y no contaminantes, cerraremos el círculo de utilización "limpia" de un producto.

Las tecnologías tradicionales de baterías tienen múltiples ventajas, pero también acarrean grandes inconvenientes. Las baterías secundarias de níquel-cadmio, contienen mentales altamente tóxicos y perjudiciales para el medio ambiente. Algo similar ocurre con las baterías de plomo-ácido, que además incluye un electrolito (el ácido sulfúrico) altamente corrosivo, y las baterías de litio, ampliamente implantadas en nuestros dispositivos cotidianos portátiles, pueden llegar a sufrir grandes problemas de seguridad

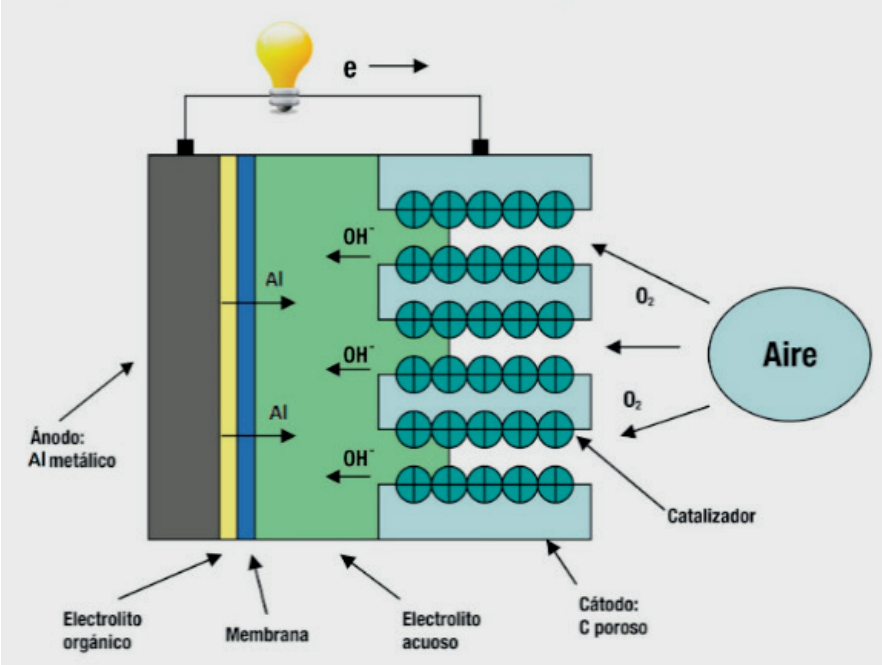


Fig. 1. Esquema de funcionamiento de una celda de Aluminio-aire.
(Fuente: Diseño interno de Albufera Energy Storage basado en fuentes informáticas abiertas).

por explosión e incendio, como recientemente se ha puesto de manifiesto con las baterías de uno de los últimos lanzamientos de la compañía coreana Samsung que tuvo que ser rápidamente retirado del mercado [1] y le supuso a la compañía unas pérdidas millonarias en el último trimestre de 2016 [2].

Es evidente, por tanto, que es necesario presentar alternativas a estas tecnologías tradicionales de baterías, preferentemente haciendo uso de materiales más baratos, más respetuosos con el medio ambiente y que no presenten, en lo posible, problemas de seguridad. Dentro de la panoplia de tecnologías que se están postulando como alternativa destacamos las baterías de metal-aire. La característica principal de este tipo de baterías, es que uno de los reactivos es el oxígeno, procedente del aire, y que reacciona sólo cuando la batería está en uso, por lo que se les ha llegado a denominar "baterías que respiran". En esta familia se incluyen baterías ya en el mercado como las de zinc-aire (ampliamente implantada en el sector de los audífonos), mientras que otras alternativas se encuentran aún en fase de investigación y desarrollo, como son las de litio-aire y más recientemente las de aluminio-aire.

Otro de los factores a tener en cuenta, cómo no, es la disponibilidad de las materias primas. El incremento exponencial en el uso de las baterías para su uso en dispositivos portátiles así como el aumento en la cuota de mercado de los vehículos eléctricos, está haciendo aumentar la presión en los productores de materias primas, especialmente en las minas de Litio. Las mayores reservas mundiales de este metal se encuentran en el denominado "triángulo del litio", que es la zona geográfica ubicada en el límite entre Argentina, Bolivia y Chile, y donde se concentra hasta un 85% de dichas reservas. El aluminio, por el contrario, se encuentra repartido por toda la corteza terrestre siendo una industria ampliamente implantada en muchos sectores (desde latas de bebida a piezas mecanizadas) y su explotación está, por tanto, menos expuesta a factores geopolíticos.

Conocedores y conscientes de los retos tecnológicos anteriormente

Fig. 2. Samsung Galaxy Note 7 quemado. (Fuente: REDDIT / CRUSHADER).

descritos, y con la pretensión de ser parte de su solución, en 2013 nació Albufera Energy Storage. Albufera Energy Storage es una empresa de base tecnológica que se creó con el objetivo del desarrollo de nuevas tecnologías de almacenamiento energético basadas en el aluminio

En esta misma línea en 2015, Albufera Energy Storage presentó, en el marco del programa COINCIDENTE, el proyecto ALPAM con el objetivo de diseñar, desarrollar, producir y validar un dispositivo portátil de almacenamiento de electricidad primario basado en la tecnología electroquímica de aluminio-aire.

Fundamentos generales de baterías

Toda batería consta de tres elementos constituyentes, ánodo, cátodo y electrolito. La elección de los materiales que conforman estos elementos va a determinar las propiedades de la batería resultante, en términos de capacidad y voltaje, o lo que es lo mismo, sus características finales de las que va a depender su aplicación. El ánodo es el material que se oxida y consume en las baterías primarias; el cátodo es el material en el que se produce la reacción complementaria de reducción y el electrolito es el medio que permite la reacción dado que facilita el transporte de cargas entre los electrodos.

En concreto, en el caso de las baterías de aluminio-aire desarrolladas en el marco del proyecto ALPAM, tendríamos:

- Ánodo: en una batería de aluminio-aire, el ánodo está hecho de Aluminio, que es el segundo elemento más abundante en la corteza terrestre, barato e inocuo. Es además un material con plena implantación en la industria y altamente reciclable.
- Cátodo: En una batería de metal aire, el elemento que reacciona en el cátodo es el oxígeno del aire, se consume en la reacción pero no forma parte de la batería puesto que entra a través de una membrana cuando la batería está en funcionamiento, por tanto no aporta peso extra al dispositivo.
- Electrolito: en el proyecto ALPAM el objetivo ha sido utilizar un electrolito barato y disponible para el soldado y por ello se ha escogido un medio salino neutro o lo que es lo mismo, agua de mar.

En la figura 1 se presenta un esquema de funcionamiento de una celda de metal-aire.

La combinación de los tres elementos constituyentes nos da una batería, fiable, barata y respetuosa con el medio ambiente, dado el bajo impacto medioambiental de cada uno de ellos y su combinación.

Aluminio-aire: retos y soluciones

Las baterías de Aluminio–aire se han venido desarrollando en los últimos años y ha sido incluso empleadas en algunos dispositivos demostrativos, incluido un coche eléctrico por parte de la empresa israelí Phynergy [3] aunque sin una comercialización masiva debido a algunos retos técnicos aún pendientes de solucionar.

Estos retos técnicos conciernen en gran medida a los materiales antes mencionados. El aluminio presenta, como hemos comentado, múltiples ventajas socio-económicas y de disponibilidad, es barato y abundante y no repercute negativamente en el medioambiente pero, en contrapartida, presenta algunas características que han venido impidiendo su uso como ánodo en baterías. Uno de estos inconvenientes es que se forma una capa de productos de reacción, que recubre la superficie del ánodo a medida que la batería se descarga, limitando el progreso de la reacción de oxidación, lo que en última instancia genera la muerte prematura de la

batería. Otro de los problemas que presenta son las reacciones secundarias de auto-corrosión en medios alcalinos, que disminuyen el voltaje efectivo de la celda y su capacidad.

Estos retos se han afrontado en el proyecto ALPAM por medio de una serie de aproximaciones a nivel de ánodo, cátodo y electrolito a fin de obtener una celda (y por extensión, una batería) plenamente funcional.

Para eliminar en lo posible el problema de bloqueo de la superficie con productos de la reacción se recurrió a dos aproximaciones diferentes, por un lado, el ánodo se pintó con una pintura carbonácea que impedía la adherencia de los productos resultantes de la oxidación del aluminio, facilitando el progreso de la reacción en el tiempo. Adicionalmente, se añadió al electrolito un aditivo que captura los productos de reacción, multiplicando hasta por tres los valores de capacidad de la batería.

El reto de la auto-corrosión se ha minimizado utilizando medios neutros, en lugar de alcalinos. En medio neutro salino (como es el agua de mar) la auto-corrosión del Aluminio no se da de forma espontánea, pero la contrapartida es una disminución significativa del voltaje de la celda, lo que limita sus aplicaciones. A fin de incrementar el voltaje y minimizar los problemas colaterales, es necesario utilizar aleaciones especificas con elementos dopantes, tales como pueden ser el magnesio, galio, indio o estaño en cantidades específicas. Adicionalmente, el uso de catalizadores desarrollados por Albufera para optimizar la reacción de reducción de oxígeno en el lado del cátodo, permitió disminuir el sobrepotencial asociado a esta reacción, lo que se traduce en un aumento del voltaje global de la celda.

Desarrollo del proyecto

A lo largo de los 24 meses de vida del proyecto, se fueron ensayando distintos materiales, tanto aleaciones de aluminio para el ánodo, como catalizadores para el cátodo (que favorecen la reacción de reducción del oxígeno en el cátodo) y distintos electrolitos (alcalinos y neutros en diferentes concentraciones), hasta seleccionar la combinación óptima de los mismos. El uso combinado de estas aleaciones fabricadas y seleccionadas “a medida” junto con los catalizadores catódicos han permitido obtener voltajes de celda de en torno a 1,5 V (igual al de las pilas AA que todos utilizamos), con una batería hecha de aluminio y que funciona con agua de mar.

Una vez elegidos los materiales y caracterizados a pequeña escala, se construyeron celdas unitarias con voltaje de 1,6 V y capacidad de 10 Ah, lo que supone una potencia de 16 Wh, una imagen de las celdas unitarias se muestra en la figura 3.

La fase final del proyecto consistió en el escalado. Partiendo de estas celdas unitarias, se construyó un prototipo de batería mediante el uso de una impresora 3D, que permitía el ajuste y modificación *ad hoc* de los prototipos en muy corto tiempo. En el prototipo final se colocaron 10 celdas unitarias conectadas en serie, a fin de cumplir con los requerimientos de voltaje especificados. Cabe señalar que, siguiendo criterios de sostenibilidad, la construcción de la carcasa se ha llevado a cabo utilizando materiales biodegradables.

El resultado final del proyecto es el prototipo que se presenta en la figura 4. Se trata de una batería de aluminio-aire de 10 Ah y 12 V que funciona con agua de mar. La batería está concebida para su transporte y almacenaje en vacío, y ser llenada en el lugar del despliegue del soldado con agua de mar, salina o salobre. Este hecho tiene la ventaja de minimizar el impacto del peso del electrolito (hasta un 60% del peso total de la batería) y elimina problemas de auto-descarga por auto-corrosión cuando no está en funcionamiento.

Las características, en cuanto a energía específica y volumétrica del prototipo se detallan a continuación:

- Energía (Wh) = 120 Wh
- Energía específica: 76 Wh/kg
- Densidad energética: 64,2 Wh/l

Teniendo en cuenta que una batería de Pb-ácido tiene una energía específica de 33-42Wh/kg y volumétrica de 60 Wh/l podemos decir que se ha logrado fabricar una batería con similares características a la de plomo en términos de densidad energética pero con el triple de energía específica. Por otro lado, al contrario que las baterías de plomo-ácido, no utiliza electrolitos corrosivos (como es el caso del ácido sulfúrico) o inflamables (como las de Li) sino que funciona con un medio neutro y natural como el agua de mar. Otro aspecto ventajoso adicional, es que se puede transportar en vacío y ser llenada de manera segura e inocua en el punto de destino, por lo que la penalización en el transporte en términos de peso de estos dispositivos es mínima.

Ciertamente, las tecnologías antes mencionadas son de baterías secundarias,

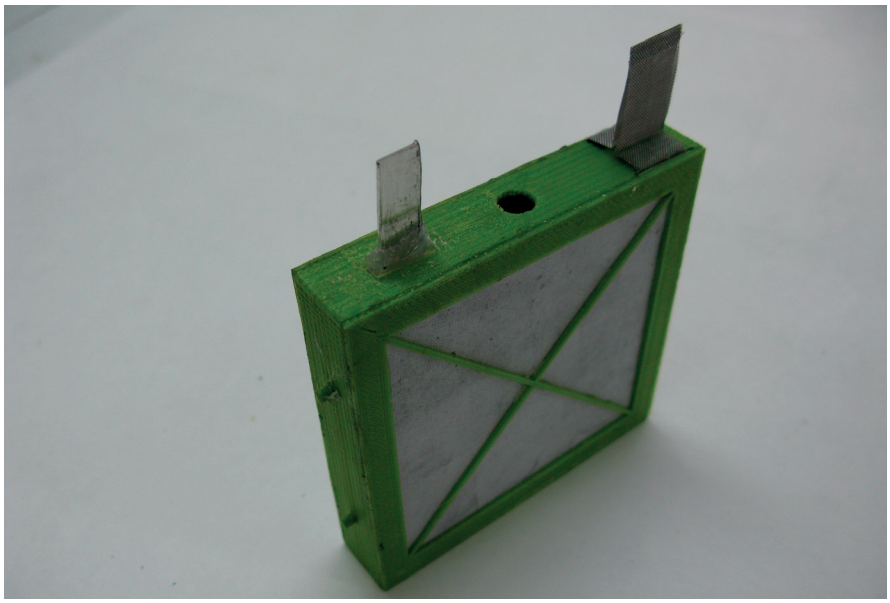


Fig. 3. Fotografía de la celda unidad del prototipo ALPAM. (Fuente: propia).

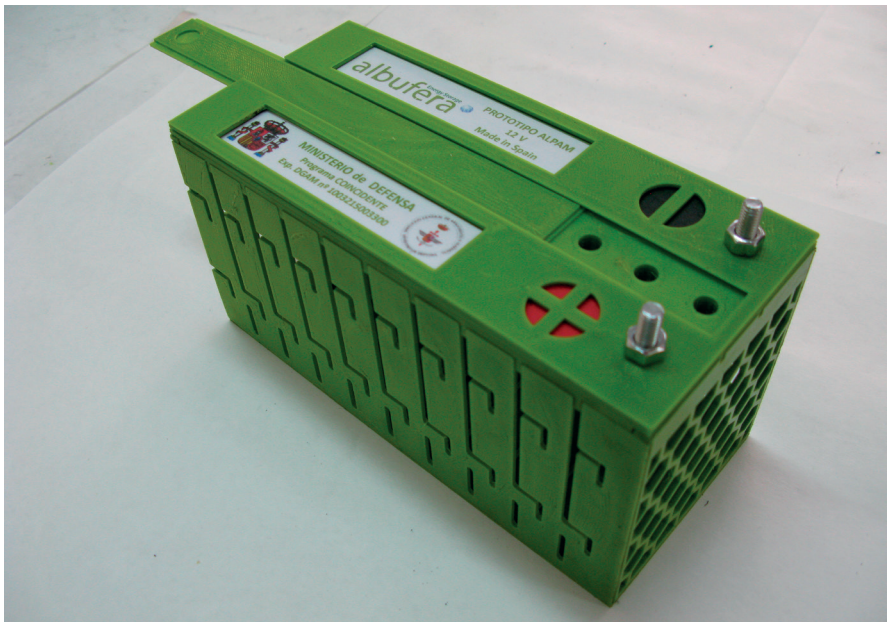


Fig. 4. Fotografía del prototipo de 12 V y 10Ah c por Albufera Energy Storage S.L. en el marco del proyecto ALPAM. (Fuente: propia).

mientras que en baterías primarias como las alcalinas la energía específica ronda los 85-100Wh/kg y los 250Wh/l. En este sentido, es cierto que nuestra tecnología no mejora dichos valores, si bien hay que tener en cuenta que estamos a escala de prototipo de laboratorio de fabricación enteramente manual, no comercial, por lo que hay margen de mejora una vez optimizado el proceso.

Por otro lado hay que decir que los elementos que componen la batería (aluminio, materiales carbonosos, agua de mar) son baratos, fácilmente accesibles y reciclables, por lo que los aspectos medioambientales y económicos suponen una ventaja añadida. Se calcula que esta batería puede llegar a tener un coste de en torno a 100€/kWh, siendo el del Pb actualmente de unos 350, el del $LiSO_2$ (primario) superior a 600 o de las baterías alcalinas por encima de los 1000 €/Wh.

Finalmente un aspecto no menos importante a tener en cuenta, como ya se ha mencionado, es que la batería ALPAM no sufre procesos de auto-descarga, que sí presentan el resto de tecnologías analizadas y que puede llegar a suponer grandes pérdidas por almacenaje.

Futuros desarrollos

En resumen, la batería ALPAM presenta unas características muy interesantes en términos de energía específica y densidad energética, no obstante, hay margen de mejora de la tecnología y, en particular, del escalado de la misma a fin de obtener dispositivos funcionales más sencillos de montar y que cumplan con los requerimientos del soldado del futuro, acometiendo las limitaciones y dificultades que surgen al pasar de una escala de laboratorio a la construcción de unidades comerciales y que se traducirán directamente en mejores prestaciones en cuanto a energía específica y densidad energética.

Algunos de los aspectos susceptibles de mejora de cara a futuros proyectos identificados son los siguientes.

- Materiales de fabricación: sería conveniente recurrir a polímeros tipo polipropileno, que se pueden mecanizar o bien fabricar a partir de moldes. Este tipo de materiales son más convenientes para la fabricación rápida de un gran número de piezas. Hay que tener en cuenta además que estos métodos de fabricación disminuyen las variaciones que se pueden dar en la impresión 3D, cuyos acabados pueden llegar a ser poco reproducibles lo que conlleva algunos problemas de montaje y ralentiza el proceso.

- Sellado: Una de las mayores dificultades que se ha tenido que afrontar en la etapa de escalado de la tecnología, ha sido el sellado de las celdas. El hecho de tratar de mejorar las propiedades de la celda unidad mediante el agrandamiento de los cátodos supuso tener que superar los retos asociados al correcto pegado de los mismos a la carcasa. En escala de montaje de prototipo de laboratorio, este tipo de inconvenientes implican largos tiempos de montaje hasta conseguir que la celda no tenga fugas de electrolito. Por lo que, a la hora de escalar el proceso, sería necesario un re-diseño de las celdas que evitara estos problemas.

- Conexionado: Otro de los aspectos a mejorar y optimizar es el conexionado de las celdas. Aunque en el prototipo presentado la conexión de las celdas es bastante buena y la resistencia introducida es baja (no se observan grandes descensos del voltaje por celda dentro del sistema) esto no quiere decir que no sean mejorables, siendo éste uno de los aspectos críticos en casi todas las tecnologías de baterías del mercado.

Conclusiones

El proyecto ALPAM de colaboración entre Albufera Energy Storage y el Ministerio de Defensa de España en el marco del programa COINCIDENTE concluyó con la presentación de un prototipo de batería de 10 Ah y 12V basado en tecnología Al-aire. El proyecto ALPAM puede ser considerado como un éxito en tanto en cuanto se han afrontado los retos intrínsecos a la tecnología proponiendo y desarrollando soluciones de mejora que han resultado en una batería que cumple con las especificaciones requeridas en términos de voltaje y capacidad a partir de materiales baratos, accesibles e inocuos.

Referencias

[1] https://www.wsj.com/articles/samsung-to-permanently-discontinue-galaxy-note-7-smartphone-1476177331

[2] http://money.cnn.com/2016/10/14/technology/samsung-galaxy-note-7-profit-loss/index.html

[3] http://www.phinergy.com/

Boletín de Observación Tecnológica en Defensa

Disponible en

http://www.tecnologiaeinnovacion.defensa.gob.es/es-es/Contenido/Paginas/Publicaciones.aspx?cat=BOLETINES TECNOLÓGICOS
https://publicaciones.defensa.gob.es/revista.html