

Boletín

DE OBSERVACIÓN TECNOLÓGICA EN DEFENSA



SUBDIRECCIÓN GENERAL DE PLANIFICACIÓN, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN
Boletín de Observación Tecnológica en Defensa n.º 76 • 1.º trimestre de 2023

APOS-UE: Advanced Position and Orientation System for Urban Environments

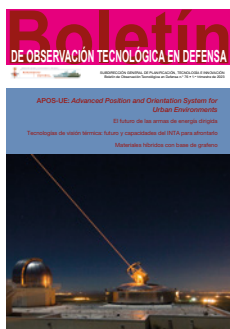
El futuro de las armas de energía dirigida

Tecnologías de visión térmica: futuro y capacidades del INTA para afrontarlo

Materiales híbridos con base de grafeno



MINISTERIO DE DEFENSA



Edita:



Paseo de la Castellana 109, 28046 Madrid

NIPO 083-15-183-4 (edición en línea)

NIPO 083-15-182-9 (impresión bajo demanda)

ISSN 2444-4839 (edición en línea)

ISSN 2444-4847 (impresión bajo demanda)

Depósito legal M 8179-2009

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). Paseo de la Castellana, 109, 28046 Madrid; teléfonos: 91 395 52 14 (Dirección), 91 395 52 80 (Redacción); observatecno@oc.mde.es.

Director: Óscar Jiménez Mateo.

Consejo Editorial: José Agrelo Llaverol, Cte. Carlos Calderón. Stte. José María Martínez Benítez. María Isabel Pérez-Cerdá Herrero.

Asistencia técnica de apoyo a la redacción: Nodo Gestor: David García Dolla, Rosalía Vindel Román; Observatorio de Armamento (OT ARM): Óscar Rubio Gutiérrez; Observatorio de Electrónica (OT ELEC): Yolanda Benzi Rabazas; Observatorio de Energía y Propulsión (OT ENEP): Carlos Garrido Sánchez (OT MAT): Luis Miguel Requejo Morcillo; Observatorio de Defensa Nuclear, Biológica, Química y Radiológica (OT NBQR): Nuria Aboitiz Cantalapiedra; Observatorio de Óptica, Optrónica y Nanotecnología (OT OPTR): Pedro Carda Barrio; Observatorio de Plataformas Navales (OT PNAV): Cristina Mateos Fernández de Betoño, Jaime de la Parra Díaz; Observatorio de Plataformas Terrestres (OT PTER): Pablo Monasterio Albuérne; Observatorio Plataformas Aéreas (OT. PAER) Victoria Maceda; Observatorio de Satélites y Espacio (OT SATE): Ana Belén Lopezosa Ríos; Observatorio de Tecnologías de la Información, Comunicaciones y Simulación (OT TICS): Bernardo Martínez Reif, Isabel Iglesias Pallín.

Portada: <https://www.flickr.com/photos/airmanmagazine/36755022751>

The Sodium Guidestar at the Air Force Research Laboratory's Starfire Optical Range

Fuente: Airman Magazine 160225-D-UB488-001 Flickr.

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. Ningún material publicado en esta revista podrá ser reproducido, copiado o publicado sin el consentimiento por escrito de los autores, legítimos propietarios de los contenidos.

Colaboraciones, suscripciones y dudas:

observatecno@oc.mde.es

Sistema de Observación y Prospectiva Tecnológica (SOPT) (defensa.gob.es)

Catálogo de Publicaciones de Defensa:

<https://publicaciones.defensa.gob.es>



DGAM
Subdirección General de Planificación,
Tecnología e Innovación

CONTENIDOS

Editorial

Actualidad

- 4 ¿Dónde hemos estado?
- 6 El futuro de las armas de energía dirigida

Tecnologías Emergentes

- 8 Tecnologías de visión térmica: futuro y capacidades del INTA para afrontarlo
- 12 Materiales híbridos con base de grafeno

En Profundidad

- 16 APOS-UE: *Advanced Position and Orientation System for Urban Environments*

New Space

El Pentágono, sede del departamento de Defensa estadounidense, hizo saltar todas las alarmas el pasado mes de febrero cuando detectaron una serie de «objetos volantes» sobrevolando su espacio aéreo. Esos artefactos finalmente fueron derribados, confirmándose que eran globos, supuestamente espías, de origen chino. Sin embargo, este país ha explicado en un comunicado que eran de naturaleza civil y su uso meramente científico. En cualquiera de los dos casos, estos hechos han vuelto a avivar la tensión entre ambos países, y a nivel internacional.

Los «globos espía» son globos aerostáticos que pueden estar equipados con cámaras, radares y otros sensores que permitan recopilar información, que puede emplearse tanto para uso civil como militar. Ofrecen ventajas frente a los satélites, como un coste más económico, una altura de vuelo entre los 24.000 y los 37.000 metros —superior a la de los aviones comerciales— o la facilidad de recuperación, entre otras. Por otro lado, los datos recogidos pueden complementar la información que recogen los satélites.

Hay más actores dentro del ámbito aeroespacial; se puede hablar de los sistemas HAPS (*High Altitud Pseudo-Satellites*), capaces de operar de manera autónoma desde la estratosfera, entre 13 y 20 km de altitud. Algunas de las principales ventajas técnicas que aportan los HAPS son: las mejores condiciones de propagación para la conectividad, menor latencia, mejor resolución del sensor, y la capacidad para permanecer de forma continua y persistente en un área durante un período prolongado.

Desde hace unos años comenzó la reducción de costes en el sector aeroespacial, lo que ha supuesto una gran oportunidad de participación a nuevas compañías y organizaciones frente al monopolio de las grandes agencias y corporaciones que operaban en el sector hasta el momento. Este concepto de democratización del espacio es conocido como *New Space*. Gracias a los desarrollos informáticos y al tamaño reducido de los componentes se ha conseguido diseñar pequeños satélites de bajo coste en los que se reduce su peso y se simplifica su estructura (mini, micro, nano, picosatélites). Asimismo, ahorran espacio y energía,

convirtiéndose en una alternativa real para futuras misiones espaciales. Las principales diferencias con los satélites convencionales son su menor tamaño, el precio más económico y tiempos de desarrollo y lanzamiento más cortos.

Pero la cadena de valor del *New Space* incluye, además, el desarrollo de nuevas tecnologías relacionadas con el sector, el desarrollo de nuevas aplicaciones para la explotación de datos o el desarrollo de lanzadores de pequeños satélites, cuyo conocimiento reside principalmente en pymes, empresas *start-up* y *spin-off*.

En este sentido, cabe destacar la apuesta de la industria nacional para posicionarse dentro del concepto *New Space*, ya que han surgido nuevas compañías que han desarrollado pequeños satélites con su exitosa puesta en órbita, tanto para la observación de la Tierra, la detección y monitorización de incendios forestales como para la generación de información geoespacial.

Si bien existen soluciones basadas en pequeños satélites, pseudosatélites o globos estratosféricos, entre otros, estas no llegan a satisfacer las exigentes necesidades del Ministerio de Defensa. De todas formas, sí existe una clara tendencia en el panorama internacional de la observación de la Tierra a complementar los satélites tradicionales con estos nuevos desarrollos. Por ejemplo, se está pensando en el uso de constelaciones de satélites pequeños con diferentes sensores y modos de resolución, según la misión que se equipe a bordo, para mejorar el tiempo de revisita.

Conviene destacar que el Ministerio de Defensa ha apoyado varias propuestas de la industria nacional en el marco del programa europeo de defensa EDIDP relacionadas con el *New Space*, como la propuesta de desarrollo de un microsatélite de vigilancia marítima con una óptica de resolución submétrica aplicando algoritmos de resolución rápida mediante procesado a bordo.

Como conclusión, cabe subrayar que el nuevo concepto del *New Space* va a permitir que empresas emergentes puedan desarrollar capacidades con altas prestaciones con reducción de tiempo y coste, mediante tecnologías disruptivas.

Actualidad

¿Dónde hemos estado?

14 de febrero de 2023

● I Jornada Iniciativas de Colaboración Estratégica – CSIC

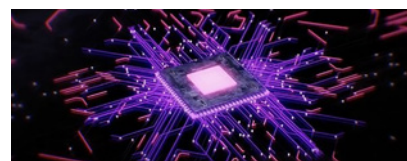
El pasado mes de febrero, el CSIC celebró una jornada en su sede central de la calle Serrano de Madrid en la que se presentaron las plataformas temáticas interdisciplinares (PTI) y sus conexiones, informando de sus objetivos y de las actividades que se llevan a cabo en cada una de ellas. Posteriormente, tuvieron lugar tres interesantes coloquios en torno a la colaboración, clave para resolver retos complejos, el entorno de colaboración público-privada, la colaboración con las administraciones y organismos públicos de investigación y la colaboración con el tercer sector, respectivamente.



15 de febrero de 2023

● *Unlocking the Potential of Quantum Technologies: A Collaboration between Industry and Research*

Secpho, junto con Hamamatsu, VLC Photonics, Fujitsu, Quside, Alter Technology, TecNALIA, IMB-CNM (CSIC), UC3M e ICFO, realizó un congreso cuántico virtual donde se presentaron los últimos avances en comunicación, computación, simulación, sensores y metrología cuántica. Este evento sirvió de punto de encuentro para la comunidad relacionada con estas tecnologías que representan un gran potencial de aplicación en muchas áreas, incluyendo computación, telecomunicaciones, navegación por satélite, teléfonos inteligentes o diagnósticos médicos. Una representación de la SDG PLATIN asistió al evento, al tratarse de tecnologías emergentes de interés para la defensa.



15-16 de febrero de 2023

● II Congreso Logística Inteligente para la Defensa

El Centro de Supervisión y Análisis de Datos de la Armada (CESADAR) y el Instituto Andaluz Interuniversitario en Ciencia de Datos e Inteligencia Computacional (Instituto DaSCI) de la Universidad de Granada (UGR) organizaron el II Congreso de Logística Inteligente para la Defensa en Granada.

El objetivo de estas jornadas era mostrar las capacidades tecnológicas por parte de la base tecnológica e industrial nacional de defensa aplicable a logística inteligente. La gestión de grandes volúmenes de datos, la automatización de procesos, el procesamiento de los datos con técnicas de inteligencia artificial (IA), el mantenimiento predictivo, etc. son algunos de los conceptos tratados durante el congreso por representantes de las FAS y algunas de las empresas con experiencia en los sectores de la logística y de la defensa.



¿Dónde hemos estado?

27 de febrero de 2023

● **Celebración del 5.º aniversario del satélite Paz**

Personal de la SDG PLATIN asistió al acto de celebración del 5.º aniversario del lanzamiento del satélite Paz de tecnología radar de apertura sintética (SAR) del Programa nacional de observación de la Tierra por satélite (PNOTS), que fue puesto en órbita el 22 de febrero del año 2018 a bordo de un Falcon 9 de la compañía SpaceX desde Vandenberg (California). Tras la bienvenida del presidente del Consejo de Administración de Hisdesat, el acto fue inaugurado por el JEMAD; posteriormente, el CEO de la compañía, el DIGAM, el director general del INTA y el director del CIFAS participaron en una mesa redonda y, por último, la clausura corrió a cargo de la SEDEF. Entre las diferentes actividades del acto, se mostró un vídeo de la primera etapa de su lanzamiento e imágenes captadas por el satélite durante estos últimos años.



6 de marzo de 2023

● **Reunión y visita a las nuevas instalaciones de AIRBUS DS SAU en Getafe**

A raíz del cambio de instalaciones de Airbus en Barajas a unas nuevas instalaciones en Getafe, la SDG PLATIN fue invitada a una reunión para tratar temas de AIRBUS Espacio España en el programa de EDF actual y futuro y una breve presentación histórica de su trayectoria y de sus capacidades tecnológicas. Después de la reunión se realizó una visita a las nuevas instalaciones (anfiteatro, salas de reuniones y salas limpias). Lo más destacado fue la sala limpia de última generación 4.0, que comenzó a montarse en septiembre de 2020 para la línea pulsada de fabricación y montaje para estructuras de lanzadores (22.000 m²), donde se encontraban diseñando varias partes del cohete Ariane 6.



23 de marzo de 2023

● **Jornada de Guerra Electrónica (EW-Electronic Warfare) - Taller «17» Fuerza 2035**

El MALE y la DGAM organizaron, con la colaboración del centro para el Desarrollo Tecnológico e Industrial (CDTI), el taller con empresas: «17» Fuerza 2035. Guerra Electrónica, en el acuartelamiento Zarco del Valle, El Pardo (Madrid), en modo presencial. El objetivo del taller fue divulgar la tecnología para determinar, explotar, reducir o impedir el uso hostil de todos los espectros de energía por parte del adversario y, a la vez, conservar la utilización de dicho espectro en beneficio propio.



El futuro de las armas de energía dirigida

Autor: D. Óscar Rubio Gutiérrez,
OT ARM, SDG PLATIN

Palabras clave: DEW (*Directed Energy Weapons*), armas láser, HPM (*High Power Microwave*).

Líneas I+D+i ETID relacionadas: 1.3.1, 1.3.2.

Introducción

En la actualidad, los esfuerzos para el desarrollo de armas de energía están en pleno apogeo y han sido objeto de una importante evolución en los últimos años, principalmente, porque la

no militares que hacen uso de energía dirigida como puede ser el empleo de láseres para aplicaciones industriales. Pero el empleo de la energía dirigida como arma tampoco es un concepto nuevo y el primer antecedente documentado de energía dirigida, con fines bélicos es el uso de espejos para redirigir la energía del sol hacia las velas de buques romanos que atacaban Siracusa en el 212 A.C. La innovación de los últimos años reside principalmente en la capacidad de transmisión y concentración de alta potencia, lo que permite aplicar una gran cantidad de energía en un espacio muy pequeño con lo que los efectos se multiplican.

Estos avances tecnológicos no solo tienen aplicación en el sector de

física por sobrecalentamiento de los materiales, los sistemas basados en energía de RF afectan principalmente a los componentes electrónicos; en concreto, los semiconductores son los más vulnerables (microchips, transistores, amplificadores de estado sólido, etc.). La utilización cada vez más extendida de estos dispositivos y el constante incremento de la complejidad de los circuitos ha ocasionado que los sistemas electrónicos actuales sean muy susceptibles al ataque con energía dirigida de RF. No obstante, aún son desconocidas todas sus posibilidades y probablemente en el futuro surjan nuevas aplicaciones a partir de efectos aún no identificados. La tecnología de haces de partículas se muestra bastante



Figura 1. Concepto de sistema de defensa antimisil de energía dirigida basada en satélites. (Fuente: *Directed Energy Futures 2060*. Office of the U.S. Air Force's Chief Scientist)

tecnología en este campo ha alcanzado un alto nivel de madurez y un rendimiento significativo. Sus ventajas son indiscutibles, ya que permiten tiempos de respuesta muy cortos, escalabilidad de efectos, no letalidad inclusive, y costes de operación muy reducidos en comparación con un arma de tecnología convencional que emplea materiales energéticos.

El empleo de la energía dirigida no es en absoluto un concepto nuevo. Por ejemplo, un designador láser o un radar son unos sistemas de energía dirigida de baja potencia; a su vez, también hay multitud de aplicaciones

defensa, sino también en otros ámbitos. Sirva de ejemplo el transporte de potencia a través de haces de energía dirigida entre diferentes localizaciones, lo que permitirá, entre otros, el suministro de energía a zonas inaccesibles.

Las tecnologías de energía dirigida pueden estar basadas en láser, en ondas electromagnéticas de radiofrecuencia (RF) (1) y en haces de partículas, que son la proyección de partículas aceleradas cargadas eléctricamente o no.

Mientras que los sistemas basados en láser tienen capacidad de destrucción

prometedora, aunque ha sido escasamente investigada hasta la fecha. Con esta tecnología se pueden conseguir efectos similares a las ondas de microondas de alta potencia, pero con mucha más capacidad de destrucción, además de otros efectos añadidos, como la degradación del material por radiación.

Uno de los escenarios de aplicación de más relevancia y prometedor es el de defensa antiáerea. Ya se han desarrollado muchos sistemas para neutralizar amenazas aéreas, tanto sistemas de láseres tácticos para neutralizar amenazas como drones

(C-RPAS) y pequeñas embarcaciones, como cohetes y proyectiles de artillería o mortero (C-RAM). Ejemplos de ello es el sistema norteamericano C-RPAS *Leonidas*, que consiste en una matriz de emisores de ondas de alta potencia basados en nitruro de galio (GaN) en la banda de microondas, o el nuevo sistema *Iron Beam* que Israel espera desplegar próximamente y que emplea energía láser de decenas de kW para derribar proyectiles, cohetes y misiles en complemento al ya conocido sistema basado en misiles interceptores *Iron Dome*.

En este mismo ámbito, el impulso tecnológico se orienta a evolucionar estas tecnologías para desarrollar sistemas de defensa aérea antimisil, capaces verdaderamente de generar un escudo antimisiles, tanto frente a misiles balísticos como a las amenazas emergentes de vehículos hipersónicos. Esta aproximación requiere desarrollar nuevos conceptos que probablemente incorporarán infraestructuras de armas de energía dirigida, embarcadas en plataformas espaciales que podrán aportar la capacidad de neutralización de estas amenazas en su fase ascendente, complementaria a los sistemas de alerta temprana y, por supuesto, a los sistemas actuales basados en misiles interceptores.

Las áreas tecnológicas clave para el desarrollo de estos sistemas son: la fuente de energía principal, la conversión a energía dirigida, la antena para la emisión de la energía, el sistema de apuntamiento, de adquisición y seguimiento de objetivos y, en el caso del láser, la minimización del impacto de las perturbaciones atmosféricas.

En este contexto, en las próximas décadas, los avances en la miniaturización

serán vitales para estas nuevas aplicaciones y se espera que los sistemas de energía dirigida puedan alcanzar potencias del orden del gigawatio. Los sistemas de energía láser llegarán a una precisión de nanoradián y contarán con tecnología óptica mejorada que permita compensar las distorsiones atmosféricas.

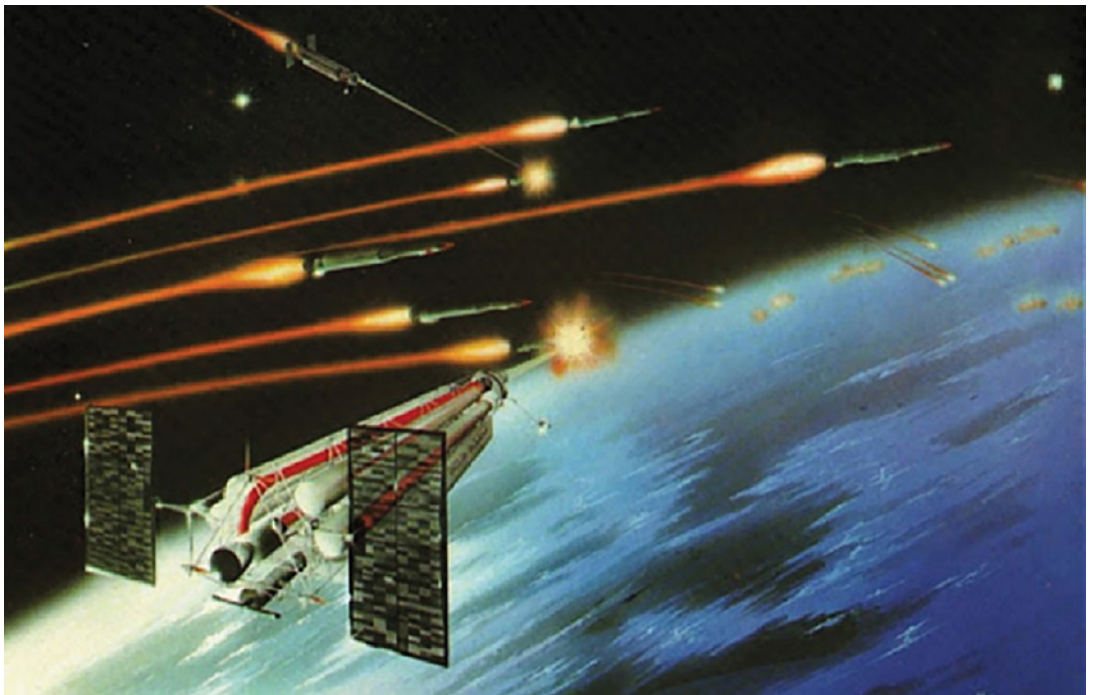


Figura 2. Concepto de sistema de armas de haces de partículas orbital. (Fuente: Los Alamos National Laboratory via Aerospace Projects Review)

Por su parte, las tecnologías clave para el desarrollo de los sistemas de energía dirigida de RF son las relacionadas con los dispositivos electrónicos para la generación de señales de radiofrecuencia de alta potencia (osciladores, amplificadores, moduladores, etc.). Estos dispositivos se pueden agrupar en dos familias tecnológicas:

- Tubos/válvulas de vacío: Los dispositivos basados en esta tecnología son los que pueden generar mayores niveles de potencia de RF. Los futuros sistemas de energía dirigida de RF podrían estar basados en la evolución de los dispositivos de vacío actuales (Klystron, Reltrons, magnetrones, TWT, etc.) o en nuevos dispositivos como el *Virtual Cathode Oscillator* (VIRCATOR) o

Magnetically Insulated Line Oscillator (MILO).

- Estado sólido (semiconductores): El material semiconductor con mayor potencial futuro para aplicaciones de alta potencia de RF es el nitruro de galio (GaN), con el que se espera fabricar dispositivos que

suministren hasta cien veces más potencia que los dispositivos de arseniuro de galio (GaAs).

Otras tecnologías que jugarán un papel determinante son las relacionadas con la generación de los altos niveles de voltaje necesarios para el funcionamiento de estos dispositivos (por ejemplo, generadores Marx), así como las relacionadas con la generación y emisión de pulsos de RF de elevado ancho de banda o UWB (por ejemplo, antenas).

(1) Debido a que las principales aplicaciones de los sistemas basados en energía de radiofrecuencia se producirán previsiblemente en el rango de frecuencias de microondas, estos sistemas también son conocidos con el nombre de *High Power Microwaves* (HPM).

Tecnologías Emergentes

Tecnologías de visión térmica: futuro y capacidades del INTA para afrontarlo

Autor: Juan Palacios Santos, Ingeniero Aeronáutico en el Departamento de Optoelectrónica y Misilística del Instituto Nacional de Tecnología Aeroespacial

Palabras clave: optoelectrónica, sistemas de visión IR, cámaras térmicas, IR, MWIR, LWIR, UNE-EN ISO/IEC 17025.

Líneas I+D+i ETID relacionadas: 3.2.1, 3.3.5, 5.1.3, 6.2.3, 7.2.1.

Introducción

Se denominan tecnologías de visión térmica aquellas que, con la finalidad de formar imágenes, detectan la radiación infrarroja (IR) emitida por los cuerpos en relación con su temperatura. Estas tecnologías permiten visualizar objetos en condiciones de baja visibilidad y de oscuridad, constituyendo, por tanto, un pilar básico del combate nocturno. Por el nivel de desarrollo que han alcanzado estas tecnologías y por su utilidad, se encuentran presentes en los sistemas de mejora de la conciencia situacional de vehículos terrestres, en los sistemas de vigilancia o en los sistemas de guiado de misiles, entre muchos otros.

Este artículo, describe brevemente, en primer lugar, los esfuerzos en I+D+i que está haciendo la industria en la

actualidad para construir el futuro de la visión IR y, en segundo lugar, da a conocer cómo ha mejorado el Departamento de Optoelectrónica y Misilística del INTA sus capacidades para la realización de actividades de aseguramiento de la calidad de las próximas adquisiciones de sistemas de visión IR de última generación, por parte de las Fuerzas Armadas (FAS).

Futuro de las tecnologías de visión térmica

Reducción del SwaP

Hoy en día, donde más recursos está invirtiendo la industria de sistemas de visión térmica es en la reducción del tamaño, peso y potencia consumida (SWaP, por sus siglas en inglés) de sus productos. Esto, que es benefi-

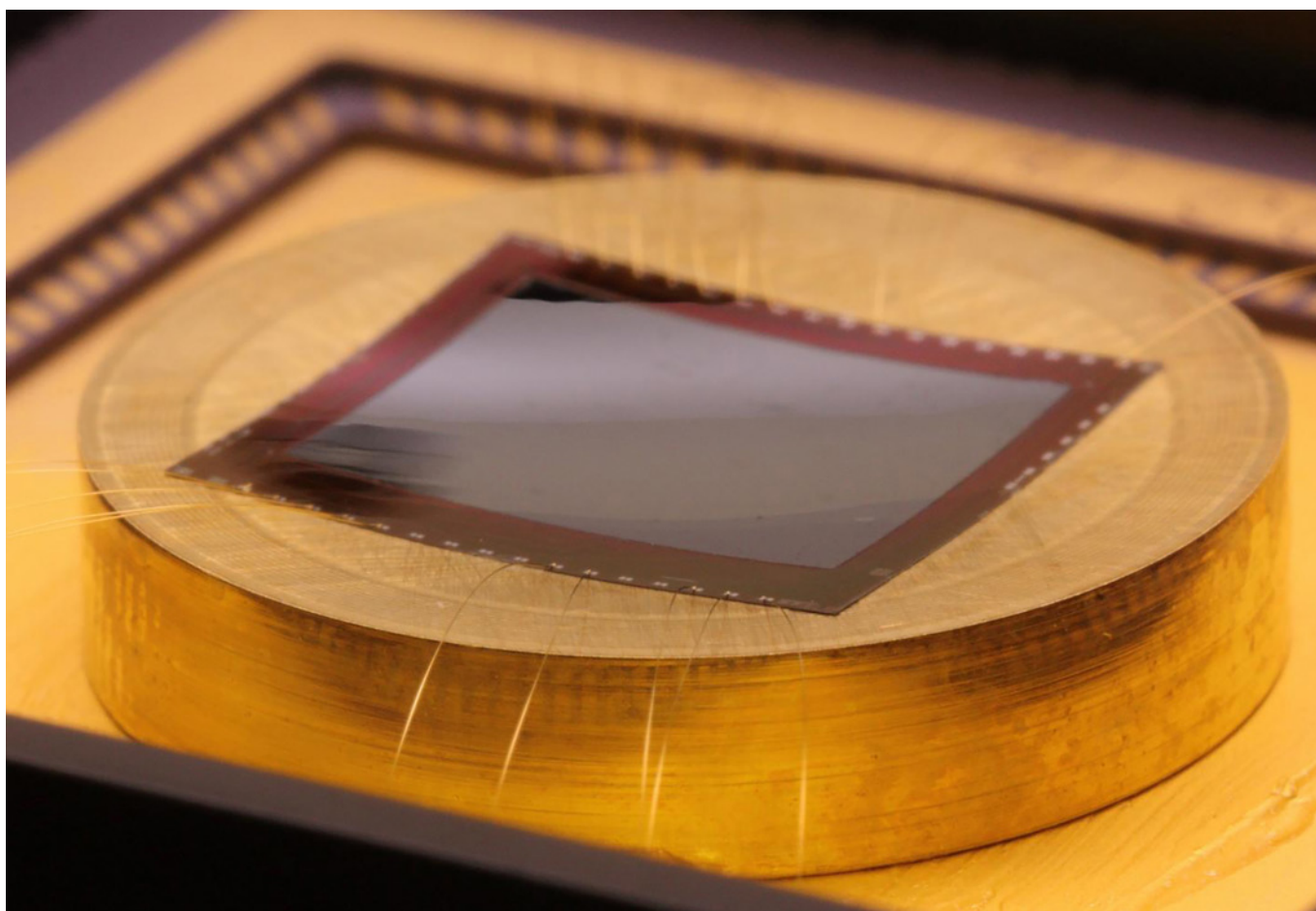


Figura 1. Sensor curvo. (Fuente: HRL Laboratories)

cioso de manera transversal a cualquier sistema de visión térmica, lo es especialmente para los sistemas electroópticos montados en vehículos aéreos no tripulados (*Unmanned Aerial Vehicles*, UAVs) o en municiones merodeadoras, en los cuales hay importantes restricciones de tamaño, peso y consumo. La reducción del SWaP también dará lugar a importantes mejoras en los sistemas de visión nocturna portátiles, utilizados por el combatiente como, por ejemplo: binóculos, monóculos y visores térmicos; haciéndolos más cómodos y ligeros para los desplazamientos y dotándolos de una mayor autonomía.

Una de las técnicas más efectivas para disminuir el SWaP, y que se viene

del coste de cualquier sistema de visión térmica de media y larga distancia.

También en la línea de reducir el SWaP se encuentra el intenso desarrollo de los sensores de temperatura de operación alta o sensores HOT (acrónimo de *High Operation Temperature*). Estos sensores, a diferencia de los sensores refrigerados comunes que tienen temperaturas de operación de 77°K o inferiores, requieren temperaturas mucho mayores con el consecuente ahorro energético que ello conlleva. Además, esta tecnología permitirá que se reduzca el tamaño y el peso de los dispositivos refrigeradores y aumente su vida media [2]. Un ejemplo de sensor HOT

se está investigando también en la fabricación de sensores con curvatura [3], como el que se puede observar en la figura 1, y flexibles.

Incrementar el rango dinámico y aumentar la velocidad de adquisición de imágenes

Por otro lado, los fabricantes de sistemas de visión IR también están invirtiendo en el desarrollo de cámaras y sensores con un rango dinámico y una velocidad de toma de imágenes cada vez mayor. Esto permitirá, por una parte, tener imágenes con mayor detalle en escenas en las que hay diferencias de temperatura muy grandes y, por otra parte, capturar fenómenos más rápidos. Desde el punto

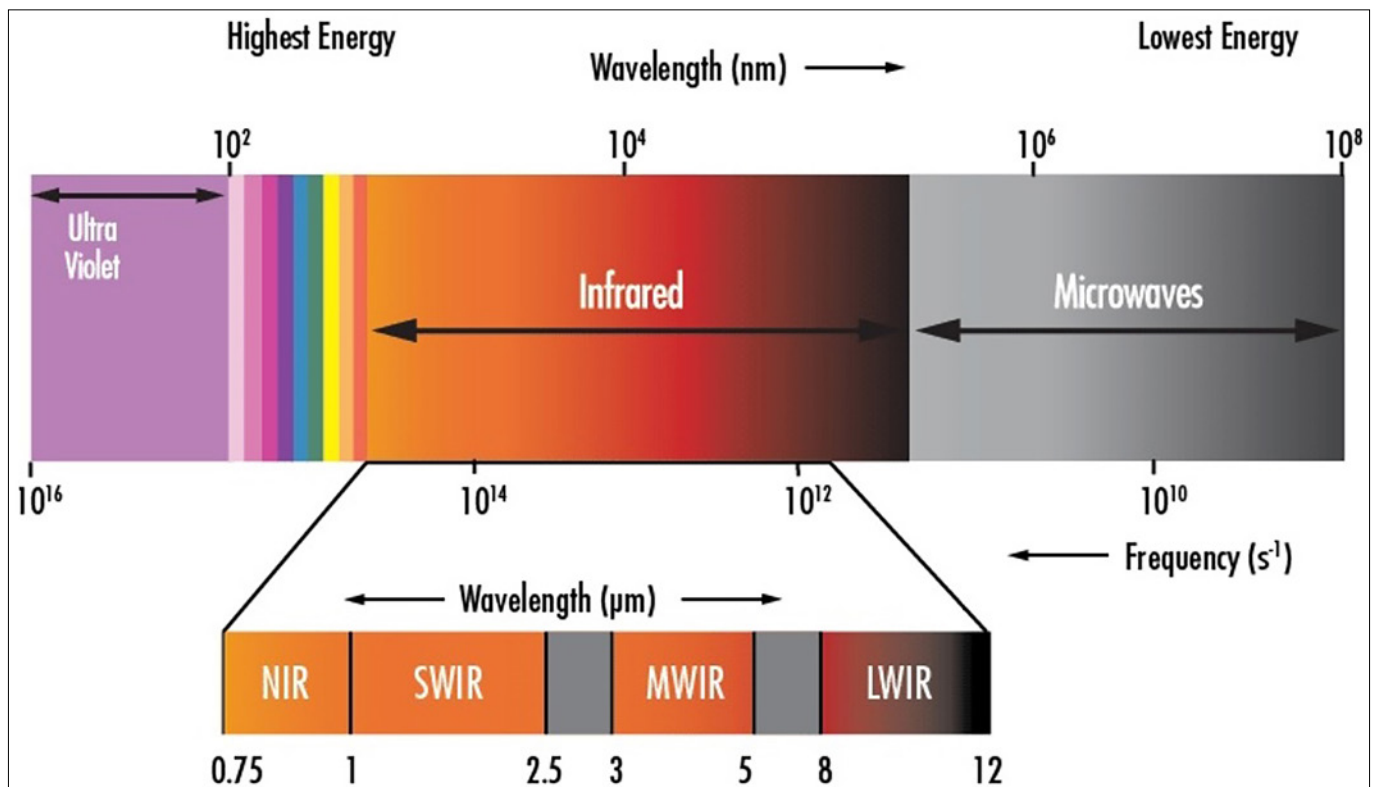


Figura 2. Espectro infrarrojo. (Fuente: Edmund Optics)

implementando desde el nacimiento de las tecnologías de imagen térmica, es la de disminuir el tamaño de los píxeles [1]. La reducción del tamaño de los píxeles, además de mejorar la resolución espacial de estos sistemas, permite que se pueda reducir el tamaño y consumo de los dispositivos de refrigeración de los sensores, así como el tamaño de la óptica que, por estar fabricada en germanio, representa una parte muy importante

para visión en el infrarrojo de onda media (MWIR) es el fabricado en nBn que, a temperaturas de operación de entre 130 y 155°K, tiene unas prestaciones similares a las de un sensor de antimonio de indio (InSb) operando a 80 °K.

Con la finalidad de reducir el número de lentes de la óptica necesarias para corregir las aberraciones y, por tanto, el precio y coste de los dispositivos,

de vista de la defensa, la mejora de estas dos características sería muy interesante, por ejemplo, para alertadores de misiles basados en IR.

Sensores multispectrales

La radiación IR para los sistemas de interés de defensa, en función de su longitud de onda, y como se puede observar en la figura 2, se clasifica en [4]:

Tecnologías emergentes

- Infrarrojo cercano (*Near Infrared, NIR*);
- Infrarrojo de onda corta (*Short wave Infrared, SWIR*);
- Infrarrojo de onda media (*Medium wave Infrared, MWIR*);
- Infrarrojo de onda larga (*Long wave Infrared, LWIR*).

Cada banda del IR tiene sus ventajas y sus desventajas [5]; los dispositivos que ven en las bandas NIR y SWIR producen imágenes con un nivel de detalle similar al que se aprecia en el rango visible y son baratos, sin

las imágenes generadas no tienen un nivel de detalle alto. Un único sensor capaz de detectar radiación en distintas longitudes de onda simultáneamente y que, por tanto, explote los beneficios de la visión en cada banda o extraiga información espectral, también parece que será una realidad en los sistemas electroópticos del futuro.

Una potencial aplicación de esta tecnología de sensores es la detección de minas. Y es que pueden detectar los cambios en la emisividad del suelo que, por el efecto *reststrahlen*,

Incorporación de la inteligencia artificial

Con el aumento de la potencia de cálculo se espera que los sistemas de visión térmica del futuro incorporen algoritmos basados en inteligencia artificial (IA) que mejoren la efectividad, fiabilidad y precisión de estos equipos haciendo de ellos, por tanto, herramientas más útiles para la defensa.

Los sistemas de visión térmica se encuentran limitados por factores como el ruido, la baja resolución y

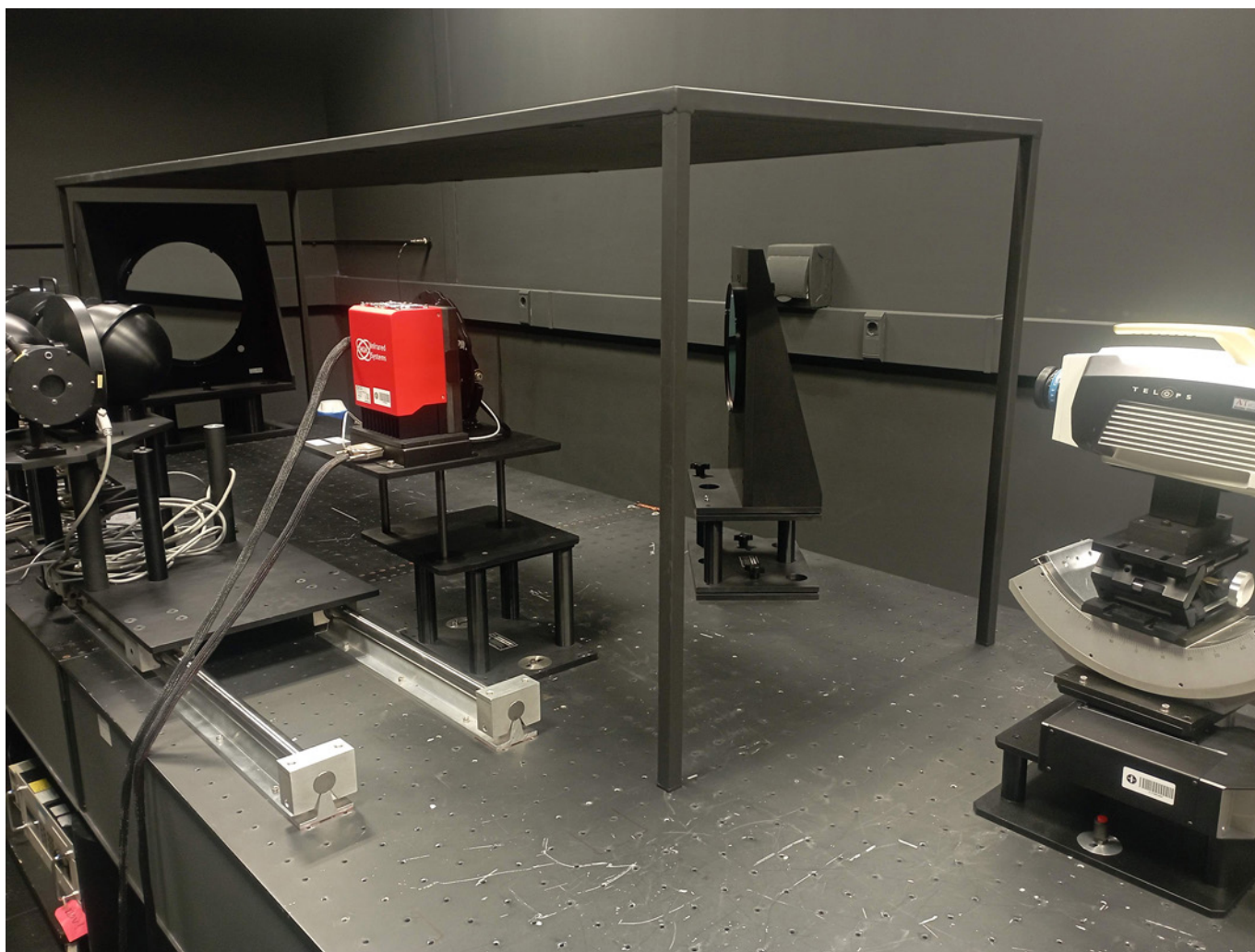


Figura 3. Banco ISITE actualizado. (Fuente: elaboración propia)

embargo, no ven la radiación emitida por el cuerpo, sino el reflejo de una fuente exógena (sol, luna, estrellas, fuente de luz externa, etc.); los sistemas de visión MWIR y LWIR, si bien detectan la radiación emitida directamente por el cuerpo y, por tanto, pueden ver objetos en completa oscuridad, son dispositivos caros y

se produce a consecuencia del enterramiento de una mina [6]. En el ámbito militar, el desarrollo de estos sensores también podría contribuir a la mejora de las tecnologías actuales de identificación de objetivos, de alertadores de misil, o de reducción del desorden de fondo (*clutter*), entre otras funciones.

la interferencia con otras fuentes de radiación. Una de las formas en las que se espera que la IA impacte en la próxima generación de cámaras térmicas es mediante la mejora de la calidad de imagen. Y es que la aplicación de algoritmos de IA ayudará a generar imágenes con menor ruido y mayor resolución.

La incorporación de la IA a estos dispositivos permitirá que no solo sean capaces de captar la realidad que los rodea, sino también de interpretarla. Esto será útil en tareas de vigilancia, ya que estos algoritmos permitirán la detección e identificación automática de objetos, facilitando así una respuesta rápida y efectiva a potenciales amenazas. Combinada con la fusión de datos provenientes de otros sensores, la IA proporcionará además una imagen más completa y precisa del campo de batalla, mejorando de esta manera la toma de decisiones y la conciencia situacional.

Otro de los campos en los que la IA está encontrando una amplia aplicación es en el ámbito del mantenimiento predictivo. La aplicación de algoritmos de IA a los datos provenientes de diversos sensores, incluidos en estos dispositivos, permitirá implementar estrategias para conocer cuando es probable que falle el dispositivo o que necesite algún tipo de mantenimiento. Así, se tendrán dispositivos más fiables con periodos de inactividad por fallos o mantenimiento con un menor impacto en las operaciones.

Capacidades del INTA para afrontar el futuro en visión térmica

Considerando lo expuesto hasta ahora, se espera que en el futuro los sistemas de visión IR aumenten su relevancia como tecnología para defensa y para la industria en general. Como respuesta a este reto, y para realizar ensayos para las FAS o cualquier organismo público o empresa del sector privado que lo solicite, se ha llevado a cabo la renovación del banco de ensayos de sistemas de visión en IR (I-SITE), perteneciente al Departamento de Optoelectrónica y Misilística de la Subdirección de Sistemas Terrestres del INTA. Con dicha renovación se ha dotado al banco con las últimas tecnologías para poder realizar ensayos en sistemas de visión IR muy diversos: con focales pequeñas propias de sistemas de visión de corta/media distancia, pero también, gracias a su espejo colimador de gran

focal, con focales muy grandes habituales en sistemas de vigilancia; de gran tamaño y peso, y también más compactos; y, además, también se pueden realizar ensayos de sistemas con interfaces mecánicas y con conexiones muy diversas. Concretamente, en el nuevo I-SITE, se pueden realizar medidas de mínima diferencia de temperatura resoluble (MRTD), sensibilidad (NETD, NEP y NEI), campo de visión (FOV), función de transferencia de modulación (MTF), focal y distorsión del sistema, ruido en 3D, etc., así como, implementar correcciones de no uniformidad y de *bad pixels*.

Como garantía de integridad y calidad en la realización de ensayos en los sistemas de visión IR, recientemente se ha comenzado el proceso de acreditación del banco I-SITE, según la norma UNE-EN ISO/IEC 17025:2017, de requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración. El alcance de dicha acreditación, cuyo proceso de obtención se espera haber concluido satisfactoriamente para finales del año 2023, incluirá el ensayo de MRTD de acuerdo con la norma STANAG 4349, el de NETD, los de focal y FOV, así como, el de MTF, y el de ruido 3D.

Conclusiones

Los sistemas de visión térmica tienen un impacto muy alto en la operatividad del combatiente por representar el sentido de la vista en múltiples circunstancias. Ello hace que sea fundamental que las Fuerzas Armadas (FAS) se doten de las tecnologías de visión IR más modernas. En el repaso que se hace en este artículo a lo que representará el futuro de la tecnología IR en los próximos años, se comprueba que nos encontramos ante una tecnología ya madura que aparentemente no va a experimentar cambios disruptivos a nivel de *hardware* en los próximos años. En este aspecto, los sistemas de visión IR del futuro serán más compactos, ligeros y con mejores prestaciones en términos de velocidad de adquisición y rango dinámico que los actuales. Es

a nivel de *software*, con el aumento de la capacidad de procesamiento de los sistemas y la incorporación de los avances en procesamiento de imagen, inteligencia artificial y fusión sensorial a las tecnologías de visión IR, donde hay mayor potencial innovador. Se espera que en el futuro los sistemas de visión IR estén dotados de nuevas funcionalidades que mejoren la calidad de sus imágenes, interpreten la realidad que captan y aumenten su fiabilidad.

Todo lo mencionado anteriormente, acompañado de la progresiva disminución de precios, hará que su relevancia en el campo de batalla aumente gradualmente. Por ello, y con la finalidad de atender a las necesidades en materia de adquisiciones y calidad de nuestras Fuerzas Armadas, desde el departamento de optoelectrónica y misilística del INTA se ha llevado a cabo recientemente la renovación del banco I-SITE de ensayos de sistemas de visión IR, y, además, este se encuentra inmerso en el proceso de acreditación de algunas medidas, según la norma UNE-EN ISO/IEC 17025:2017.

Bibliografía

- [1] Bhan, R. K., y Dhar, V. (2019). *Recent infrared detector technologies, applications, trends, and development of HgCdTe based cooled infrared focal plane arrays and their characterization*. *Opto-Electronics Review*, 27 (2), pp.174-193.
- [2] Lee, H. J., et al. (2021). *Surface leakage current reduction of InAsSb nBn MWIR HOT detector via hydrogen peroxide treatment*. *Infrared Physics & Technology*, 112, 103597.
- [3] *Solid state curved focal plane arrays*. *Google patents*. Disponible en: <https://patents.google.com/patent/US7786421>
- [4] Gaussorgues, G., y Chomet, S. (1993). *Infrared thermography* (Vol. 5). *Springer Science & Business Media*.
- [5] Chrzanowski, K. (2010). *Testing thermal imagers*. Warsaw, Poland, *Military University of Technology*.
- [6] Makki, I. (2017). *Hyperspectral imaging for landmine detection* (Doctoral dissertation, POLITECNICO DI TORINO).

Materiales híbridos con base de grafeno

Autores: D. Amador Muntó y equipo Gnanomat.

Palabras clave: nanomateriales, grafeno, fabricación, RAM.

Líneas I+D+i ETID relacionadas: 3.2.1, 3.2.3, 3.3.1, 10.2.1.

Introducción

Desde la Unión Europea, tanto desde los organismos militares como de los civiles, se insiste en la necesidad de desarrollar nuevos materiales avanzados para el desarrollo de productos con mejores prestaciones, lo que implica mejoras en los procesos de obtención para que sean más

Lo que se denomina materiales avanzados son parte importante de la solución a los retos tecnológicos, industriales y sociales que van surgiendo, con los que se busca un mejor rendimiento en su uso, menores necesidades de recursos y energía en su fabricación y la sostenibilidad durante todo el ciclo de vida de los productos originados a partir de ellos.

Nanomateriales híbridos

El físico R.P Feynman fue el primero en utilizar la expresión «nanotecnología» en su conferencia «Hay mucho espacio al fondo» en 1960 M (1). La definición comúnmente aceptada de «nanomaterial» es un material con al menos dos de sus dimensiones en el rango de 1 a 100 nanómetros (abreviado nm), siendo un nanómetro, una

dimensión máxima de unos 0,3 nm. De manera que unas 3 moléculas de agua alineadas según su mayor dimensión «midan» aproximadamente 1 nanómetro.

Es fácil imaginar —aun no sabiendo gran cosa del asunto—, que los nanomateriales habrán de jugar un papel importante en aquellos ámbitos donde la miniaturización sea un aspecto crítico del progreso tecnológico. La microelectrónica y la optoelectrónica son ejemplos donde la miniaturización jugó un papel determinante en la década de los 70 y 80 del siglo pasado, pero en actualidad, campos como el de la sensorística y el del almacenamiento de energía eléctrica sin lugar a duda son otros dos, entre otros, donde estos desarrollos están mostrando todo su potencial.

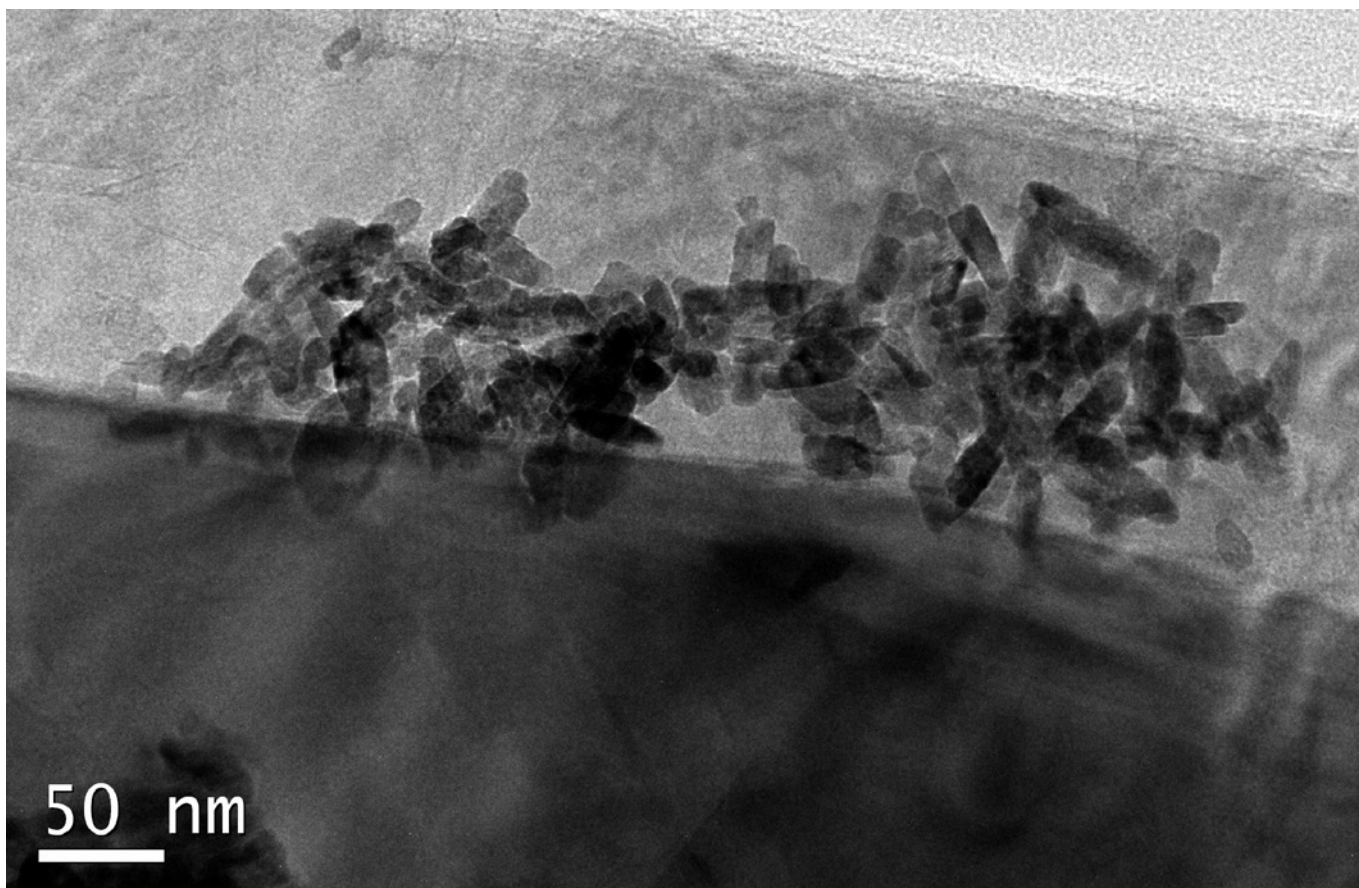


Figura 1. Imagen obtenida a través microscopía electrónica de transmisión (TEM) de un nanocomposite grafeno/nanopartículas de óxido metálico. (Fuente: Gnanomat)

rentables y sostenibles, y para buscar alternativas que permitan la sustitución de recursos actuales con dificultades de disponibilidad o que se consideren estratégicos.

milésima parte de una micra, que es a su vez una milésima parte de un metro.

Una molécula de agua tiene un tamaño medio aproximado en su

Recientes avances en esta rama de la tecnología de materiales que se ha denominado nanomateriales —que deriva directamente de la nanotecnología—, y en particular, en las tecnologías

del grafeno, han abierto nuevas posibilidades en ámbitos de interés para la defensa como son: los materiales estructurales, los revestimientos y el almacenamiento de energía eléctrica (2). Aunque los materiales de base carbonosa y grafeno aportan un notable abanico de propiedades, riqueza química y funcional a los materiales convencionales, por sí solos ofrecen esas capacidades interesantes y deseables desde un punto de vista funcional, como son las propiedades magnéticas, la actividad biocida o la catalítica.

Las nanopartículas en general, debido a su pequeño tamaño, presentan propiedades fisicoquímicas totalmente diferentes a las partículas de mayores dimensiones, entre ellas una mayor relación área superficial/masa de material. Así, por ejemplo, las

Dependiendo de la aplicación, tener más sitios activos significa tener una mayor actividad catalítica, mayor interacción con microorganismos, mejoras en sus propiedades magnéticas o mayor respuesta electroquímica, lo que les permite desempeñar mejor y de manera más eficiente sus funciones (3). Además, la deposición de las nanopartículas sobre la superficie de grafeno ayuda a evitar el reapilamiento de este, haciendo más accesible el área superficial, y preservando sus características y propiedades.

Combinando el grafeno o cualquier otro material de base carbono (óxido de grafeno, carbonos activados, nanofibras de carbono, etc.) y las nanopartículas de óxidos de metales de transición obtenemos unos materiales que se pueden denominar «híbridos»

supercondensadores, así como en su uso como materiales absorbentes de radar (RAM), reduciendo el nivel de energía electromagnética dispersada por su superficie. Por otro lado, el material grafénico actúa como soporte de las nanopartículas, permitiendo una mayor estabilización y dispersión de estas, y evitando la tendencia de las propias nanopartículas a la aglomeración.

Fabricación de los materiales híbridos

La empresa española Gnanomat S.L. (4) ha desarrollado una plataforma tecnológica para el diseño, fabricación y ensayo de nanomateriales híbridos, que combinan materiales de grafeno y carbono con nanopartículas

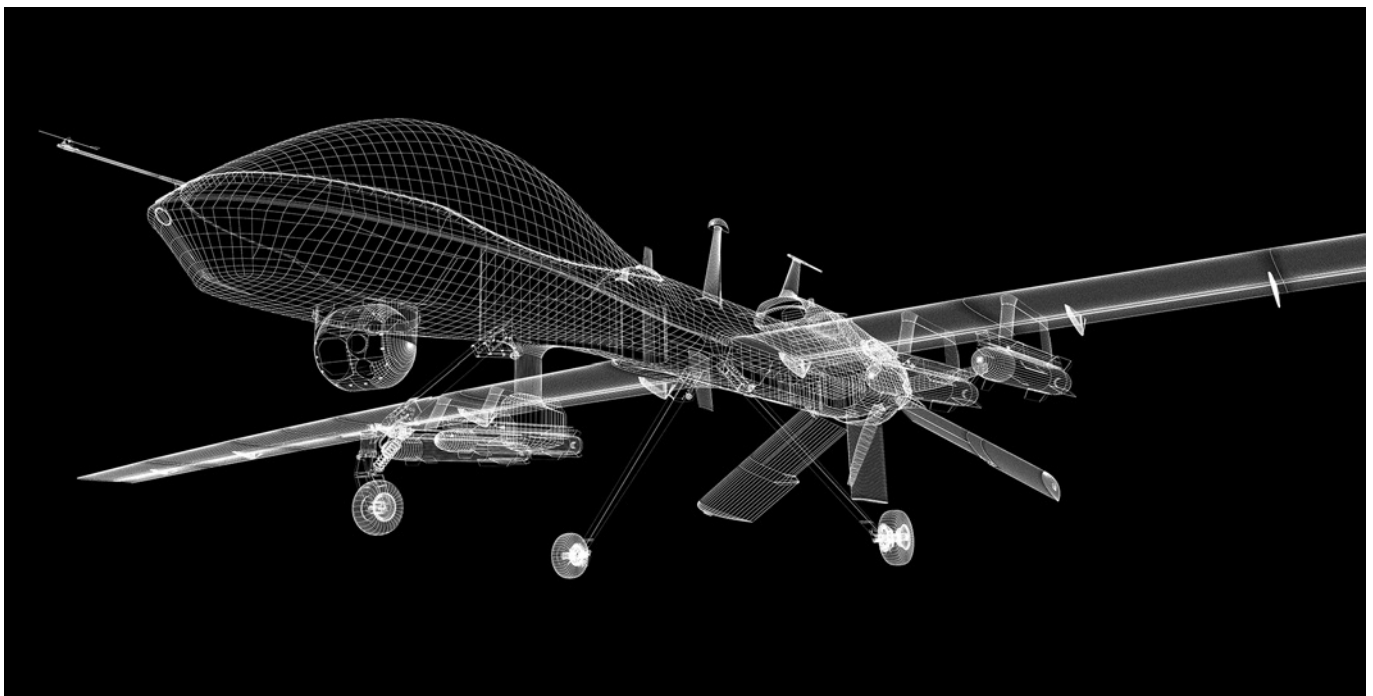


Figura 2. Dron. Los materiales híbridos con base de grafeno pueden ser aplicados en distintos sistemas de defensa. (Fuente: Gnanomat)

nanopartículas de óxidos metálicos de transición, depositados en materiales de base carbonosa y grafeno, forman y ofrecen una familia amplia de materiales con una elevada área específica. Una mayor área superficial significa tener más sitios activos en superficie, lo que se traduce en una mayor reactividad química con otras sustancias químicas o reactivos, afectando esto al comportamiento óptico, eléctrico y magnético de los materiales.

o nanocomposites. Las nanopartículas de los óxidos están ancladas en la superficie del grafeno y lo «decoran». El grafeno añade conductividad eléctrica a los óxidos, que suelen ser malos conductores. La inyección de electrones del grafeno en los óxidos aumenta la conductividad del material híbrido, observándose beneficios debidos a esta sinergia entre materiales en diversas aplicaciones, como, por ejemplo, en los electrodos de baterías y

de metales y óxidos metálicos de transición mediante procedimientos a escala preindustrial. Con este enfoque es posible conferir nuevas o mejoradas propiedades al grafeno y bases carbonosas, lo que permite mejores oportunidades para abordar aplicaciones duales de interés e impacto estratégico, como los sistemas de almacenamiento de energía eléctrica y la reducción de firma electromagnética.

Tecnologías emergentes

Los métodos actuales de producción de materiales híbridos con base de grafeno requieren transformaciones químicas en múltiples reactores, lo que hace que su producción industrial sea complicada y costosa. Tratando de buscar soluciones a estos retos, el proceso (bajo patente) (5) presenta un método más sostenible y relativamente sencillo para la producción de materiales híbridos, en un procedimiento de síntesis de un solo reactor, que se presta a una producción preindustrial de menor coste. Se trata, por tanto, de un método para tener en cuenta para la producción industrial de nanomateriales híbridos, ya que ofrece un nuevo enfoque para su explotación real en aplicaciones industriales.

La tecnología de fabricación es muy versátil y ofrece diferentes proporciones y combinaciones de material carbonoso/grafeno y nanopartículas, nanopartículas derivadas de diferentes materias primas (típicamente sales/complejos metálicos), integración de dos o más tipos de nanopartículas en el mismo material híbrido y la posibilidad de tener estructura cristalina o amorfa de nanopartículas, entre otras.

Actualmente, como ya se ha comentado, se cuenta con la capacidad de producción preindustrial. La producción a escala piloto se ha desarrollado a través de dos proyectos de Horizonte 2020: GRAPHEEN (*Green and straightforward process for the synthesis of Graphene-based nanomaterials*) e INN-PRESSME (*open INNOvation ecosystem for sustainable Plant-based nano-enabled biomaterials deployment for packaging, transport and consumer goods*). Este último está catalogado como OITB (*Open Innovation Test Bed*), proporcionando acceso común a instalaciones físicas, capacidades y servicios necesarios para el desarrollo, ensayo y escalado de la nanotecnología y los materiales avanzados en entornos industriales.

Aplicaciones

Mediante el empleo de esta tecnología de fabricación, es posible el desarrollo de soluciones tecnológicas integrales, en estrecha colaboración con los usuarios finales de las distintas aplicaciones. Se ha elaborado

una lista preliminar de materiales disponibles para fines académicos y a pequeña escala, con diferentes formulaciones, según su aplicación. Algunas de estas aplicaciones ya se están explorando con usuarios finales e integradores, que aportan información notoria de adecuación al mercado para su explotación, tanto en el ámbito civil como militar. Los nanomateriales pueden proveer a los Ejércitos de materiales más resistentes y ligeros, vendajes para curar heridas y detener hemorragias, materiales con propiedades antibacterianas y antivirales, y sensores de gases y biológicos. Además de emplearse en desarrollos punteros como los elementos de protección pasiva, el ahorro de combustible, la fabricación de plataformas aéreas, terrestres y navales más ligeras y resistentes o la reducción de la firma radar de las mismas.

La industria de defensa, como sector estratégico en España (6), aporta y empuja el desarrollo de nuevas capacidades tecnológicas e industriales. Existe una creciente demanda tecnológica, impulsada por proyectos e

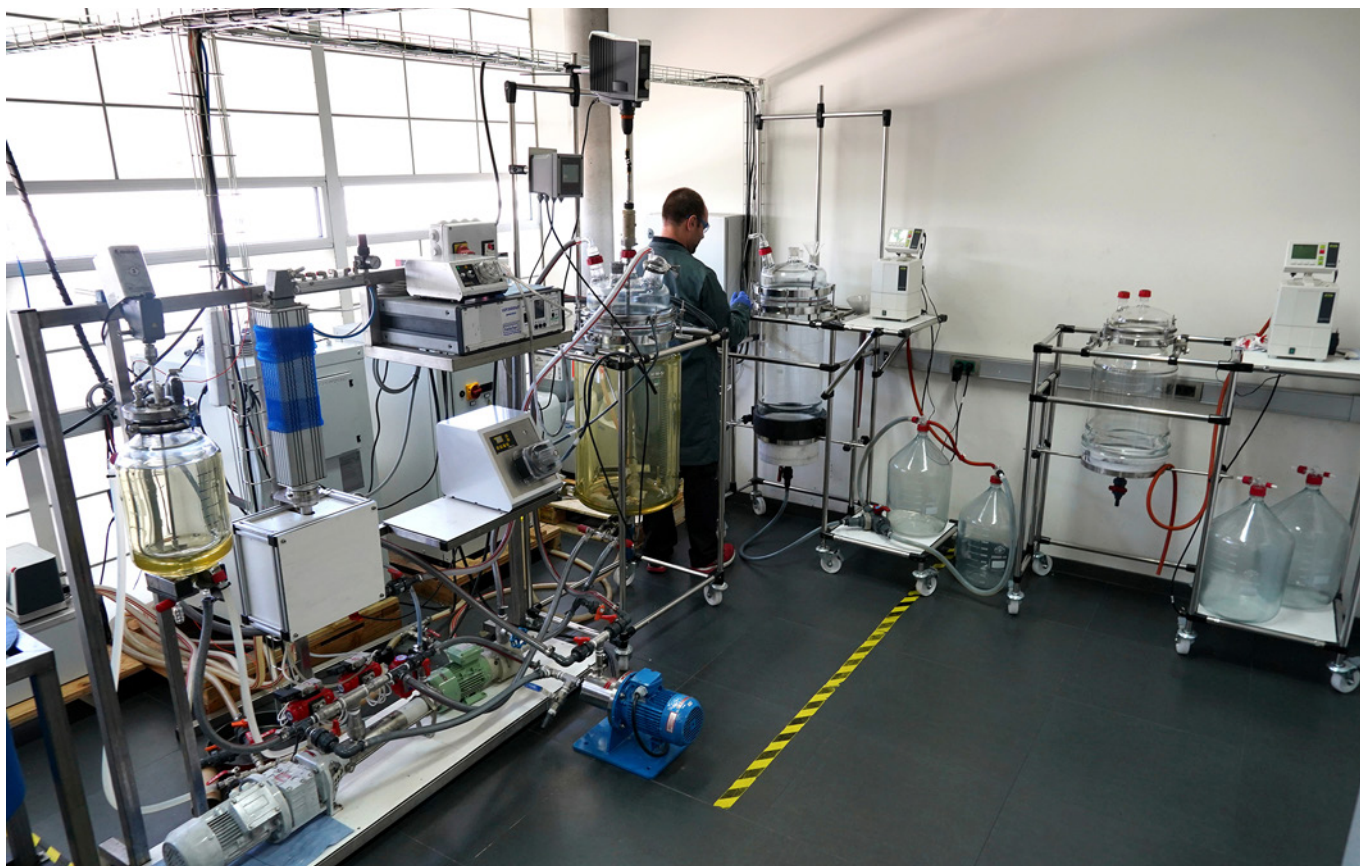


Figura 3. Planta Piloto de Gnanomat. (Fuente: Gnanomat)

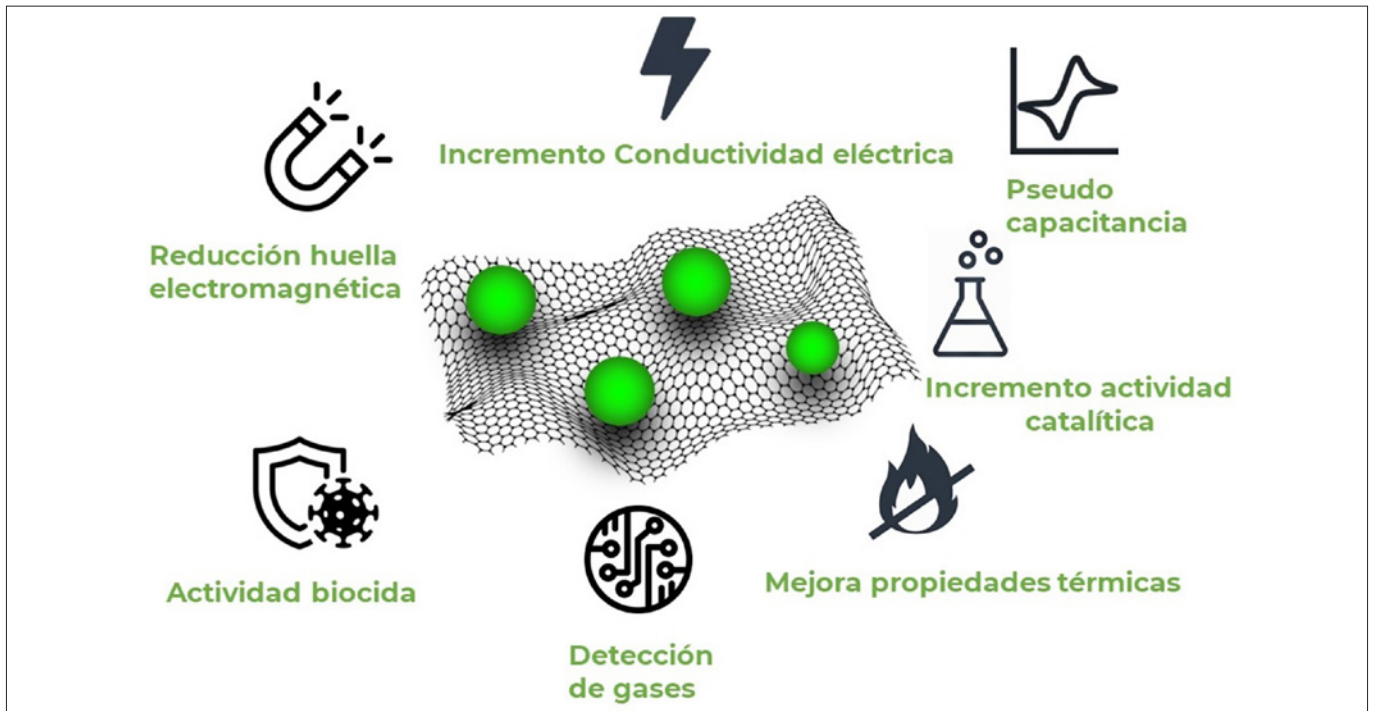


Figura 4. Propiedades materiales híbridos de Gnanomat. (Fuente: Gnanomat)

iniciativas de carácter nacional como internacional. Un ejemplo es el FCAS (Futuro Sistema Aéreo de Combate), con relación a nuevos materiales para tecnologías de absorción de microondas y blindaje contra interferencias electromagnéticas.

Estudios llevados a cabo por Gnanomat en una colaboración con investigadores del Instituto de Magnetismo Aplicado de la Universidad Complutense de Madrid (IMA-UCM) confirmaron propiedades de absorción electromagnética en banda X de los nanomateriales híbridos basados en grafeno. El resultado de estas pruebas sugirió que las formulaciones que contienen materiales híbridos magnéticos, podrían ser una opción plausible para el diseño de tecnologías y productos que reduzcan la huella electromagnética.

También existe un gran interés en el desarrollo de nuevos sistemas de almacenamiento de energía eléctrica, en concreto para altos pulsos de potencia. La investigación y desarrollo de nanomateriales híbridos y su integración como material de electrodo, así como el diseño y configuración de sus celdas, podría ser también la llave para conseguir sintetizar nanomateriales específicos, capaces de ser empleados en el desarrollo de un supercondensador

híbrido para aplicaciones militares, tales como, armas antidrones o antimisiles basadas en tecnología láser o cañones electromagnéticos.

Conclusiones

Los materiales híbridos con base de grafeno son, por tanto, soluciones que pueden resultar interesantes desde el punto de vista de sus aplicaciones en defensa: reducción de la firma electromagnética, obtención de sistemas de generación de energía eléctrica más eficientes para altos pulsos de potencia, mejora de las propiedades mecánicas de los materiales para la obtención de estructuras más ligeras y resistentes, etc. Son algunos de los ejemplos basados en estudios que ya han sido realizados. Además, ya se ha comprobado que su fabricación a escala preindustrial es viable, suponiendo una alternativa a otros materiales que se han empleado tradicionalmente y que en la actualidad están considerados como estratégicos o críticos. Los materiales híbridos con base de grafeno se han de tener en cuenta, por tanto, para su aplicación en los futuros sistemas de defensa.

A corto y medio plazo, se esperan avances en la investigación y desarrollo de los nanomateriales híbridos,

como parte necesaria de las soluciones tecnológicas. En estrecha colaboración con los integradores y usuarios finales, el objetivo es optimizar las presentaciones a la vez que progresar en la reducción de costes y continuar ensayando con demostradores en cada una de las aplicaciones, lo que se identifica como clave para transitar hacia su futura industrialización.

Bibliografía

- [1] Feynman, R. P. (1960). *There is plenty of room at the bottom*. En: *Annual Meeting of the American Physical Society. Engineering and Science*.
- [2] A. C. Ferrari et al. (2015). *Science and Technology Roadmap for Graphene, Related Two-Dimensional Crystals, and Hybrid Systems*. *Nanoscale*, 7, 214.
- [3] Wu, Z.-S et al. (2012). *Graphene/Metal Oxide Composite Electrode Materials for Energy Storage*. *Nano Energy*, 1, 107.
- [4] Gnanomat. Disponible en: <https://www.gnanomat.com/>.
- [5] Martínez, M. S. et al. (2019). *Method of Obtainment of Nanomaterials Composed of Carbonaceous Material and Metal Oxides, WO2019206989A1* (31 October).
- [6] *La industria de defensa en España. Informe – 2020*. (2020). Madrid, Ministerio de Defensa. Disponible en https://www.defensa.gob.es/Galerias/dgamdocs/Informe_Industria_Defensa_2020.pdf

En Profundidad

APOS-UE: Advanced Position and Orientation System for Urban Environments

**Autores: D. Jesús Pareja Muñoz,
D. Daniel Martínez Bastida, Sener
Aeroespacial.**

Palabras clave: localización, GNSS
denegado, fusión de datos, SLAM, UAV,
INS.

Líneas I+D+i ETID relacionadas: 2.3.1,
2.5.1, 9.1.6, 9.1.7, 9.2.2.

Introducción

El proyecto APOS-UE es un proyecto europeo de categoría B de la EDA en

(UxVs), estén dotados de capacidades de posicionamiento y orientación de alta precisión en entornos urbanos, en interior y en exterior, donde la señal GNSS puede estar disponible, degradada o denegada.

Para navegar con precisión en estas condiciones, el sistema APOS-UE cuenta con diversas tecnologías basadas en diferentes tipos de sensores y técnicas:

- Tecnología SLAM: localización y mapeado simultáneo;
- Tecnología INS/Mag: navegación magneto-inercial;
- Tecnología 2D/3D Matching;
- Tecnología Micro-UAV.

Cada una de estas tecnologías aporta una solución de navegación parcial o

completa se muestra al operador a través de un dispositivo portátil HMI (Interfaz Hombre-Máquina).

El demostrador desarrollado ha sido validado tanto en simulación como en pruebas reales de campo, realizadas en las instalaciones del centro de entrenamiento en zonas urbanas CENZUB, en Francia.

Tecnología SLAM

La tecnología SLAM, o localización y mapeado simultáneo (por sus siglas en inglés), utiliza un sistema visual constituido por diversos sensores ópticos para proporcionar la posición y orientación del soldado en el interior de edificios. Así mismo, también proporciona el camino recorrido, así como el mapa del entorno del soldado.



Figura 1. Esquema funcional del sistema APOS-UE. (Fuente: elaboración propia)

el que colaboran empresas de los tres países miembros participantes: España, Francia e Italia. El objetivo principal es desarrollar un demostrador para un futuro sistema de navegación en el que tanto el operador como las máquinas y robots autónomos

completa, proporcionando posición y/u orientación. Estas cuatro soluciones de navegación son fusionadas a través de un algoritmo de sincronización y fusión de datos que aporta una solución de navegación única. Finalmente, la solución de navegación

Para ello, el sistema cuenta con una cámara con sensor de profundidad que proporciona imágenes RGB en las que cada píxel llevaba asociado un dato de distancia (imágenes RGB-D), así como una unidad inercial (IMU) que permite conocer los incrementos

de posición y orientación en la trayectoria recorrida con una alta tasa de refresco.

Además, esta solución dispone de un receptor GNSS para que, en caso de estar disponible la señal GNSS, se pueda sincronizar la solución de localización, obteniendo una corrección georreferenciada que servirá como origen de coordenadas del sistema.

Desde el punto de vista operativo, esta tecnología funciona en escenarios *indoor*, permitiendo la localización y generar con una elevada precisión mapas de edificios, *a priori* desconocidos. A pesar de no disponer previamente de un mapa, esta tecnología es capaz de reducir y corregir el error de localización acumulado cuando se revisita un punto ya visitado, gracias a la construcción del mapa en tiempo real.

sensores de tecnología MEMS, tanto inerciales como magnéticos (magnetómetros, giróscopos y acelerómetros), con una tasa de refresco elevada para medir el estado y el movimiento del soldado. Mediante la aplicación de diversos modelos del tipo de movimiento (caminar, correr, etc.) se puede estimar la localización y la trayectoria seguida.

Si, además, se dispone de antemano de los mapas del entorno (tanto *outdoor* como *indoor*) se puede incrementar la precisión y el rendimiento de esta solución, puesto que se pueden eliminar algunas de las trayectorias candidatas, según el movimiento actual del soldado que colisionen con los obstáculos del mapa.

Desde el punto de vista operativo, esta tecnología puede funcionar tanto en escenarios *outdoor* como

La tecnología *2D/3D Matching* emplea sensores de vídeo estereoscópicos para proporcionar la localización y orientación absoluta del soldado mediante la asociación y la comparación frente a un mapa 3D previamente predefinido y obtenido.

El sistema dispone de dos modos de funcionamiento: el modo de creación de mapa y el modo de navegación. Durante el modo de creación de mapa, el sistema utiliza los sensores para extraer características del entorno, así como la señal obtenida del receptor GNSS, para crear un modelo de mapa 3D georreferenciado para ser utilizado posteriormente. Si en esta fase no se dispusiera de la señal GNSS (como en el interior de edificios), el mapa 3D generado no se encontraría georreferenciado, produciendo una solución relativa.

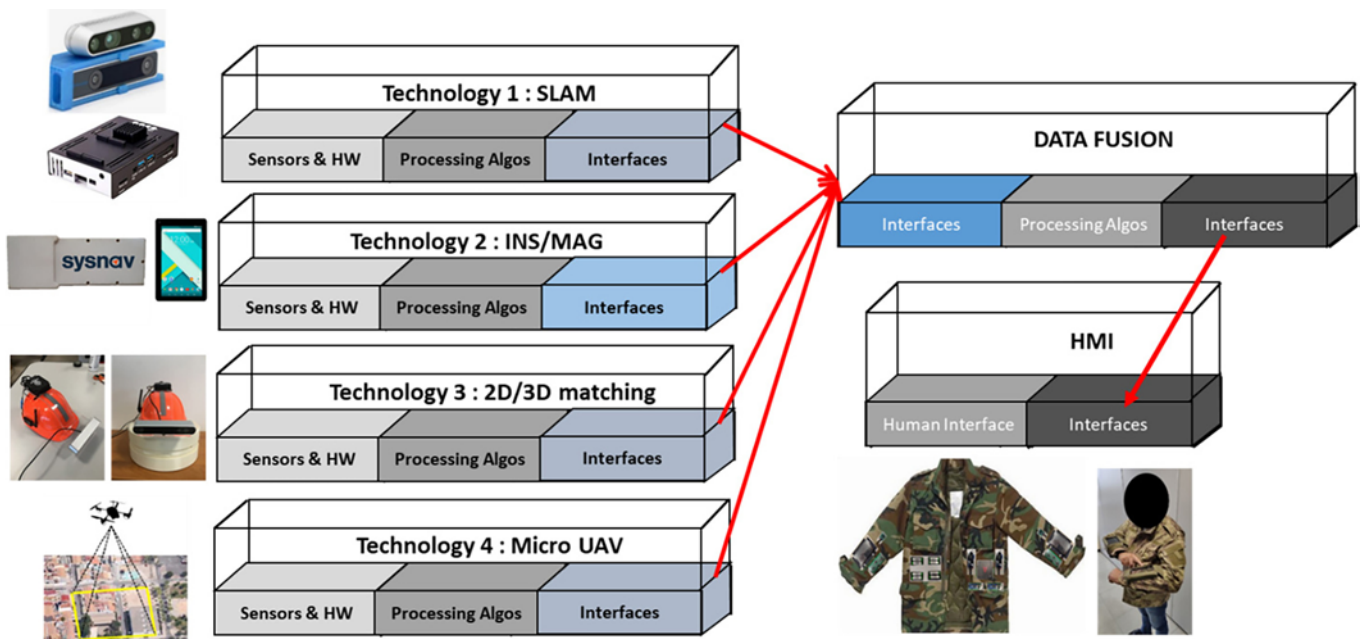


Figura 2. Sistema APOS-UE completo. (Fuente: elaboración propia)

Finalmente, esta tecnología ha sido integrada en una mochila-chaleco que permite incluir, tanto los sensores ópticos como la unidad de procesamiento necesaria, para computar los algoritmos, produciendo la salida de la solución de navegación en tiempo real.

Tecnología INS/Mag

Esta tecnología hace uso de una combinación de diversos pequeños

indoor, pudiendo admitir, en caso de estar disponible, la señal de GNSS para corregir y referenciar la solución generada en el caso *outdoor*.

Esta tecnología ha sido integrada en un dispositivo portable que se enrolla en el tobillo del soldado y que se comunica de manera inalámbrica con un dispositivo móvil, el cual controla los distintos modos de funcionamiento y obtiene la solución calculada por el dispositivo portable.

Durante el modo de navegación, el dispositivo extrae las características del entorno a través del sensor de vídeo instalado, permitiendo comparar estas características con las obtenidas en el mapa 3D generado previamente, pudiendo computar una posición y orientación del soldado.

Desde el punto de vista operativo, esta tecnología puede funcionar tanto en escenarios *outdoor* como *indoor*,

En profundidad

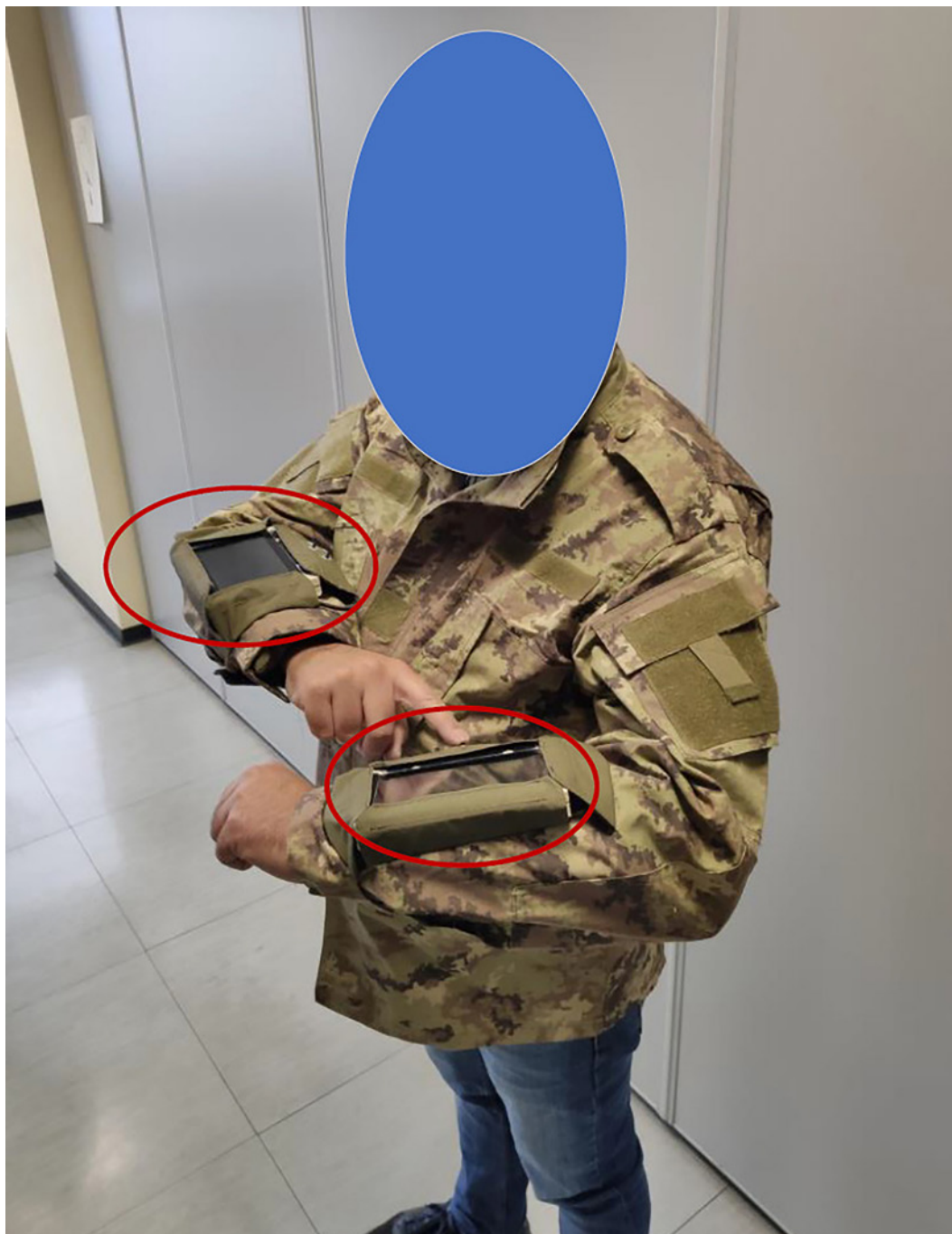


Figura 3. Ejemplo de pantalla mostrada al operador, en la imagen se puede apreciar los mapas precargados (tanto mapa satélite como mapeado de edificios indoor), así como la trayectoria seguida, como salida del bloque de fusión de datos. (Fuente: elaboración propia)

siempre y cuando se disponga del mapa 3D predefinido del entorno.

Esta tecnología ha sido integrada en un casco, ubicándose, por tanto, los sensores en la cabeza del soldado, tanto el receptor GNSS como la cámara estereoscópica. Este casco deberá conectarse a una unidad de procesamiento externa al propio casco y que puede ser transportada

en cualquier tipo de mochila o chaleco que lleve el soldado.

Tecnología Micro-UAV

Esta tecnología produce una solución de navegación mediante el despliegue de una pequeña plataforma aérea Micro-UAV que monta una cámara, mediante la que se puede emitir una imagen aérea en tiempo real de la

posición del soldado. Esta emisión de imagen es recibida por la unidad de procesamiento, que se encarga, mediante técnicas de *matcheado* de imágenes y algoritmos de *tracking*, de estimar la posición actual del soldado en el plano.

Desde el punto de vista operativo, la tecnología Micro-UAV está prevista para funcionar únicamente en escenarios *outdoor*, debido a la dificultad y al peligro de volar el sistema Micro-UAV en el interior de edificios a una altura suficiente.

Debido a la propia naturaleza de esta tecnología, los sensores han sido integrados en la plataforma Micro-UAV que será desplegado a voluntad por el operador. La unidad de procesamiento, encargada de comunicarse con el Micro-UAV y de computar la solución de posición, puede ser transportada en cualquier tipo de mochila o chaleco que lleve el soldado.

Fusión de datos

Este bloque es el encargado de realizar la fusión de todas las tecnologías, produciendo una única solución de navegación, en posición y orientación, en todos los escenarios, tanto *indoor* como *outdoor*. De esta manera, este bloque genera la salida que alimenta a la interfaz del soldado y, por tanto, es la información que se mostrará finalmente.

Mediante el uso de diversos modelos de estimación y el empleo de un avanzado filtro híbrido de fusión de datos, que combina el uso de filtros de Kalman con filtros de partículas, el sistema es capaz de obtener una precisión superior y gestionar las no linealidades de manera eficaz.

El principal reto de este bloque es gestionar las elevadas no linealidades que se producen ante el cambio de escenario (*indoor* a *outdoor*), debido a la conexión/desconexión de las diversas tecnologías, o ante determinados eventos bruscos externos (pérdida de señal GNSS, despliegue de tecnología Micro-UAV, etc.).

Así mismo, el bloque de fusión de datos proporciona el valor de confianza de la solución, la cual se alimentará a la interfaz HMI para ser mostrada al operador. De esta manera, el operador es consciente de la precisión del sistema de localización ante los determinados factores externos (existencia de mapa precargado, tiempo sin correcciones externas y disponibilidad de señal GNSS, entre otros).

Interfaz HMI

El último bloque funcional del sistema APOS-UE es la interfaz HMI, que se encarga de realizar la comunicación de control y comando entre el soldado operario y el resto del sistema. Además, la interfaz muestra, a través

de diversas pantallas, información sobre la localización del soldado, así como diversas métricas e indicadores de interés sobre las distintas tecnologías.

Además de mostrar la solución de localización definitiva del sistema, existe otro tipo de información que puede ser de gran utilidad para el operario, y que también se muestra a través de las pantallas de la interfaz. Así, la visión por imagen proporcionada por el Micro-UAV, el modelo 3D del mapa previamente cargado al inicio de la misión o la reconstrucción del mapa 3D del entorno, realizado por la tecnología SLAM, se muestran como información adicional a través de diversas pantallas, que puede ser de gran utilidad para el operario.

Esta tecnología ha sido integrada, a través de dos pantallas y una unidad de procesamiento de pequeñas dimensiones, en una pieza de vestimenta para el tronco superior que el soldado deberá llevar equipado. Las pantallas, a través de las que se mostrará toda la información, se encuentran situadas en las mangas,

así como diversos botones para el mando y control de la interfaz.

Conclusiones

Como resultado de los esfuerzos aunados durante la realización del proyecto APOS-UE, se ha conseguido impulsar las diversas tecnologías involucradas hasta un nivel de madurez tecnológica TRL 5, debido a la validación de las tecnologías en un entorno táctico en instalaciones militares. Durante dicha ratificación pudo también ser validada la transición entre escenarios *outdoor* e *indoor*, lo que permite validar el funcionamiento, con independencia de la disponibilidad de la señal GNSS.

Como futuras líneas y objetivos estratégicos se propone la inclusión de sensores ópticos de diferentes espectros (IR, EO/IR) para poder abordar distintas condiciones de luz, el desarrollo de una tecnología de navegación basada en soluciones LiDAR para lograr una alta precisión en escenarios *indoor* y, por supuesto, la inclusión de todas las tecnologías, junto a la fusión de datos y la interfaz HMI, en un único sistema en tiempo real.

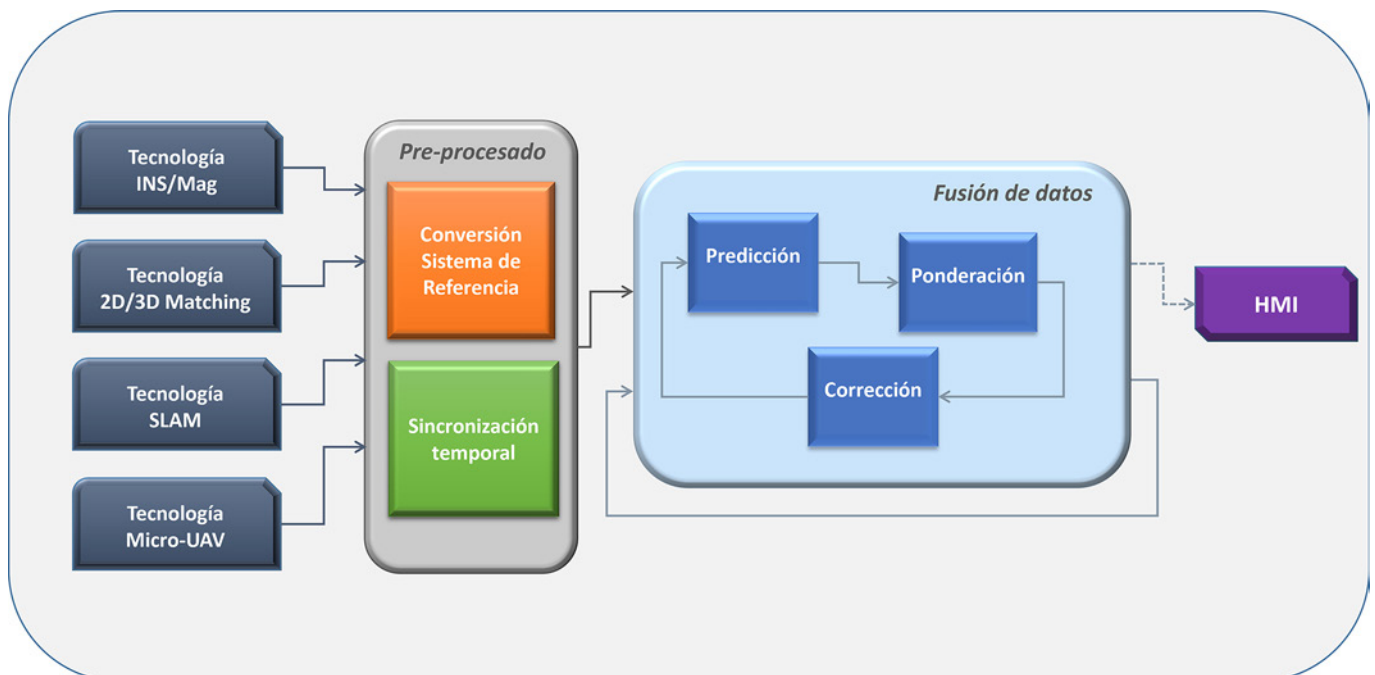


Figura 4. Integración en pieza de vestimenta. (Fuente: elaboración propia)

Boletín de Observación Tecnológica en Defensa

Disponible en

[http://www.tecnologiaeinnovacion.defensa.gob.es/es-es/Contenido/Paginas/Publicaciones.aspx?cat=BOLETINES TECNOLÓGICOS](http://www.tecnologiaeinnovacion.defensa.gob.es/es-es/Contenido/Paginas/Publicaciones.aspx?cat=BOLETINES%20TECNOLÓGICOS)

<https://publicaciones.defensa.gob.es/>



 **SOPT**
SISTEMA DE OBSERVACIÓN Y
PROSPECTIVA TECNOLÓGICA

