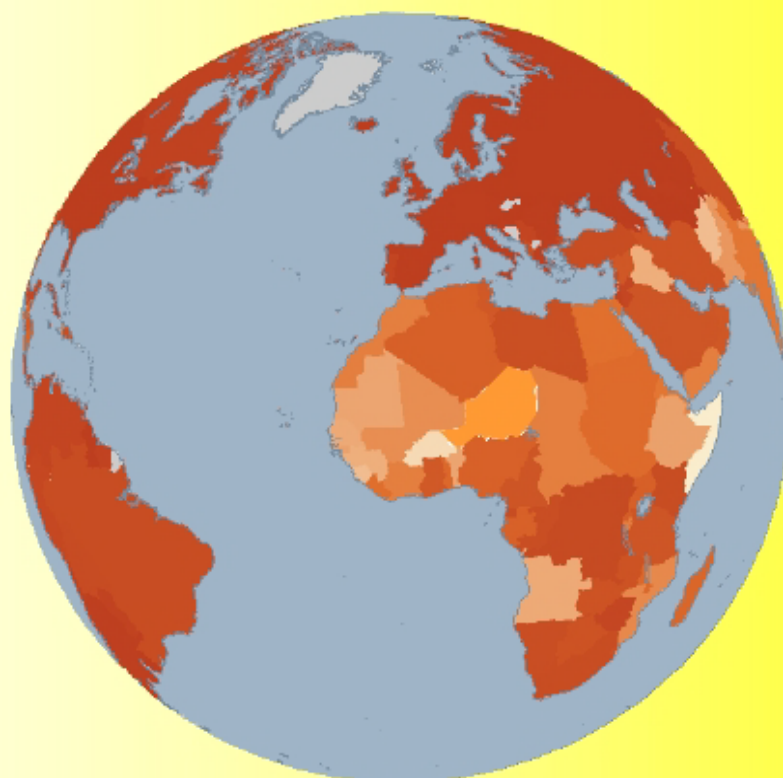




DOCUMENTOS

DE SEGURIDAD Y DEFENSA



LA SEGURIDAD FRENTE
A ARTEFACTOS EXPLOSIVOS



CENTRO SUPERIOR DE ESTUDIOS DE LA DEFENSA NACIONAL

***LA SEGURIDAD FRENTE
A ARTEFACTOS EXPLOSIVOS***

Septiembre de 2009



MINISTERIO DE DEFENSA

ÍNDICE

PREFACIO.....	4
<i>Por José Ángel Sanchidrián Blanco</i>	
INTRODUCCIÓN.....	6
ANÁLISIS DE LA AMENAZA.....	18
ANÁLISIS DE TECNOLOGÍAS Y MEDIOS DE DETECCIÓN.....	49
CAPACIDADES CIENTÍFICAS E INDUSTRIALES EXISTENTES EN ESPAÑA.....	72
ANEXO: TECNOLOGÍAS DE DETECCIÓN DE EXPLOSIVOS Y OB- JETOS EXPLOSIVOS. (Fichas resúmenes).....	101
COMPOSICIÓN DEL GRUPO DE TRABAJO.....	188

PREFACIO

El presente trabajo es el resultado del estudio llevado a cabo por el grupo de expertos en detección de explosivos formado bajo la Comisión de Nuevas Tecnologías del Centro Superior de Estudios de la Defensa Nacional, (CESEDEN). Los trabajos del grupo se desarrollaron entre finales del año 2007 y mediados de 2009.

El documento sigue una línea que hemos creído lógica y clara para el lector: el análisis de la amenaza —en sus dos facetas de seguridad interior y de Fuerzas Armadas en misiones internacionales, con especial atención al marco de la Organización del Tratado del Atlántico Norte—, la descripción técnica de los Artefactos Explosivos Improvisados IEDs (Improvised Explosive Device) en sus casi ilimitadas variantes, las tecnologías y principios físicos que se aplican para la detección de los diferentes componentes de los IEDs, y finalmente el estudio de las capacidades que nuestro país ofrece en cada uno de los campos tecnológicos involucrados en la detección. El capítulo de tecnologías aplicables a la detección es particularmente exhaustivo, y se completa con un amplio anexo en el que se recogen en forma de fichas las características principales de un gran número de métodos o tecnologías de aplicación en la detección.

Dentro del análisis de las capacidades nacionales, que el lector podrá juzgar como importantes, se ha incluido una relación de los esfuerzos que en materia de seguridad contra artefactos explosivos se han llevado a cabo desde diferentes organismos e instituciones de ámbito tanto español como internacional (de éstas, se incluyen aquellas en las que han participado actores españoles). A este respecto, se ha llevado a cabo una reflexión sobre posibles vías de mejora e integración de esfuerzos.

El estudio tiene un marcado carácter técnico y se concentra en la detección, aspecto que creemos queda tratado con suficiente amplitud. El estudio no incluye otras facetas importantes en la seguridad contra artefactos explosivos, como aquellos relacionados con la predicción y la prevención, y la detección o control de precursores, muy ligados a la seguridad y a los servicios de inteligencia.

Creo mi deber como presidente del grupo de trabajo dejar constancia de la ardua tarea llevada a cabo por los miembros del mismo. Las empresas e instituciones a las que pertenecen (Ministerios de Defensa e Interior, Universidad Politécnica de Madrid, EADS, INDRA, MAXAM y RAMEM) han contribuido generosamente cediendo parte del tiempo de aquéllos, por lo que es de justicia hacer esta mención de agradecimiento. Finalmente, nuestro reconocimiento al CESEDEN por la iniciativa y por proveer el entorno necesario para llevarla a cabo.

JOSÉ ÁNGEL SANCHIDRIÁN BLANCO

Universidad Politécnica de Madrid

INTRODUCCIÓN

La seguridad constituye hoy un reto global de primera magnitud cuya importancia se ha incrementado merced a los acontecimientos internacionales y a los cambios sociales que se manifiestan en un contexto mundial.

A fin de poder protegernos de amenazas como el uso de explosivos con fines terroristas, es necesario que invirtamos en conocimiento y tecnología. En el ámbito civil, esta necesidad se recoge tanto en el Plan Nacional de I+D+i 2008-2011 como en el VII Programa Marco de la Unión Europea: en ambos documentos se establecen actuaciones e inversiones en el área de la seguridad y la defensa, poniendo especial énfasis en la lucha contra el terrorismo. Asimismo en el ámbito militar, como se verá, son innumerables los foros donde dicha necesidad se manifiesta con gran intensidad.

Desarrollar tecnologías, o en un sentido más amplio y completo, favorecer e impulsar la Investigación, Desarrollo e Innovación (I+D+i), se revela como una herramienta imprescindible en el área de la seguridad. Sin embargo, hemos de tener siempre presente que la tecnología, por sí misma, no puede garantizar la seguridad aunque, al mismo tiempo, la protección de los ciudadanos sin el apoyo tecnológico es imposible: la tecnología proporciona información acerca de las amenazas, ayuda a crear la cobertura más conveniente contra ellas y, si es apropiada, facilita su neutralización.

Uno de los desafíos más importantes de la lucha contra el terrorismo es la lucha contra el empleo de explosivos o, con más precisión, de artefactos explosivos, con fines terroristas, englobando en estos fines tanto amenazas a la seguridad interior como a la seguridad de las tropas de nuestras Fuerzas Armadas desplegadas en misiones internacionales.

En este estudio, hemos recogido bajo el término “artefactos explosivos” el empleo de explosivos con fines terroristas, excluyendo del término todo tipo de uso lícito, provechoso y, por lo demás, habitual, de los explosivos.

La amenaza derivada de los artefactos explosivos comprende una cadena de actividades distribuidas en el tiempo, como financiación, acopio de material, transporte, ensamblaje, planificación, colocación, detonación y “explotación” propagandística de la acción.

Contrarrestar o anular la efectividad de cada una de estas actividades forma parte de las múltiples tareas para luchar contra los artefactos explosivos. De un modo general,

estas tareas se pueden clasificar en: predicción, prevención, detección, protección o mitigación, neutralización, y finalmente, análisis forense del incidente.

Debido a que estas tareas abordan la amenaza en orden cronológico, los beneficios derivados del éxito en cada una de ellas serán mayores cuanto más temprana sea la tarea. Este hecho nos llevaría a enfocar el estudio empezando por las tareas de predicción y prevención; sin embargo, es necesario tener presente la orientación tecnológica de los objetivos de la Comisión Permanente de Nuevas Tecnologías y que el peso específico y las posibilidades de desarrollos que incidan en la componente tecnológica en las tareas de predicción y prevención, o bien es bajo, o bien está íntimamente ligado con la seguridad y los servicios de inteligencia. También es necesario tener en cuenta como una amenaza potencial a los precursores de las materias explosivas. Tanto éstos como cualquier consideración relativa a inteligencia, bien que importantes para la seguridad, no son objeto del presente estudio, cuyo ámbito se limita a detección de artefactos explosivos.

Dentro de este ámbito, este estudio presenta un escaparate de las tecnologías más relevantes para la lucha contra artefactos explosivos. Este escaparate tecnológico se complementa con un análisis de las capacidades, posibilidades y oportunidades del sector industrial y académico para contribuir con soluciones y conocimientos a esta lucha.

Se expone, a continuación, una introducción a la amenaza en el contexto de la seguridad interior, de las Fuerzas Armadas, de la Alianza OTAN y de sus aspectos industriales.

La amenaza de los artefactos explosivos en el contexto de la seguridad interior

El Diccionario de la Real Academia Española define terrorismo en su primera acepción como “la dominación por el terror”. La segunda acepción reza: “sucesión de actos de violencia ejecutados para infundir terror”. Pero es probablemente la tercera la que recoge un significado más preciso: “*actuación criminal de bandas organizadas, que, reiteradamente y por lo común de modo indiscriminado, pretende crear alarma social con fines políticos*”. Y recoge cuatro acepciones para la palabra “terrorista”, a saber: “persona partidaria del terrorismo”, “que practica actos de terrorismo”, “perteneciente o relativo al terrorismo”, “dícese del gobierno, partido, etc. que practica el terrorismo”.

El terrorismo es por tanto el uso calculado de violencia, o la amenaza de la misma, contra la sociedad, normalmente con el propósito de obtener algún fin político, étnico o religioso.

Dentro de los instrumentos, o actos terroristas, utilizados para implementar dicho mecanismo se incluyen diversas formas de violencia física contra las personas, como el secuestro, la tortura o la ejecución; diversas formas de violencia moral, como la amenaza de las anteriores o la presión social; diversas formas de violencia contra los bienes privados y públicos, como la destrucción de los mismos con materiales explosivos o incendiarios. Finalmente, uno de los instrumentos más utilizados por los grupos terroristas es el atentado con explosivos u otros agentes contra blancos policiales, militares o civiles para provocar muertes, indiscriminadas o no.

Deben recalcarse los siguientes puntos de la naturaleza del grupo terrorista: actúa con premeditación y ventaja; su objetivo final no es la víctima u objeto afectado, sino la consecución del objetivo que persigue; puede estar presente tanto en sistemas políticos dictatoriales como en sistemas garantes de las libertades individuales; adopta en lo táctico un esquema basado en la guerrilla urbana que le permite “tirar la piedra y esconder la mano”; y en lo político puede asumir una imagen pública asociada con uno o varios partidos.

El terrorismo no es un fenómeno local de un país, sino que puede surgir en cada nación del mundo, y ello es así porque los argumentos que invocan las organizaciones terroristas pueden ser tanto de origen étnico como social, de índole política como religiosa, o de cualesquiera otras que les permitan argüir unos motivos a su modo de pensar “asumibles” y que les sirvan para ocultar bajo ellos sus verdaderos fines.

Y otro tanto sucede con los lugares elegidos para perpetrar sus atentados, pues un grupo radicado en un determinado país puede efectuar un atentado en su propio lugar de origen, pero también puede hacerlo en otra nación, y en ella puede hacerlo contra intereses de su propio Estado o de un país tercero, y si utiliza activistas de un cuarto país para llevar a cabo el atentado, la cuestión se puede complicar aún más a la hora de adjudicar una acción a un grupo terrorista determinado en función tan sólo del lugar elegido para el atentado. Actualmente asistimos a revelaciones de conexiones entre organizaciones terroristas de Europa y de América Latina que se encargan mutuamente la realización de ataques en colaboración.

En definitiva, el panorama se ha complicado enormemente con respecto a lo que ocurría hace algunas décadas, hasta el punto de que cualquier lugar puede sufrir atentados a manos de casi cualquier grupo terrorista, bien en sus propios intereses, bien en los de otro país, (embajadas, consulados, empresas), en sus nacionales o en transeúntes (turistas, funcionarios), con lo que debería confeccionarse una amplia base

de datos en la que se incluirían toda la red de edificios e intereses estatales y locales, tanto materiales como personales e incluso sociales y religiosos. Y todo ello sin mencionar, por supuesto, los atentados cometidos por individuos aislados con una u otra motivación, o los provenientes de la delincuencia común u organizada.

Cabe mencionar una constante que se ha generalizado en las acciones de algunos grupos terroristas: el aumento de violencia en todas ellas, el desprecio por la vida de los ciudadanos, y los atentados cada vez más indiscriminados y buscando causar un mayor número de víctimas; ejemplo de ello es la utilización de elementos nucleares, radiológicos, biológicos y químicos, que hasta no hace mucho tiempo era una hipótesis que aparecía como muy lejana.

La utilización de explosivos por parte de las organizaciones terroristas para la consecución de sus fines comporta varias ventajas para dichas organizaciones. Unas son de orden psicológico, como la sensación de indefensión que crean entre la ciudadanía al sentir ésta que no tiene defensa alguna ante una amenaza que puede surgir en cualquier lugar y en cualquier momento de su actividad social o profesional, y de la que no pueden huir, ni hacerle frente, por no tener información de su ubicación, ni conocimientos para neutralizarla. Otras son de orden económico, con un impacto negativo en el país atacado, como su desestabilización económica, pérdida de imagen de estabilidad, incremento de costes de seguridad, etc.

Aparte de ello, las víctimas de las explosiones presentan una imagen aterradora, con heridas horribles, y de las que el pronóstico suele ser trágico, y la recuperación, si la hay, no está exenta de secuelas de por vida. Todo ello presenta un cuadro de amedrentamiento, de alarma social, que deviene en una psicosis general con múltiples cuadros de depresión, inclusive entre las filas de los profesionales de la seguridad.

Y si en el aspecto psicológico hemos mencionado, sin extendernos, algunas de las ventajas que el uso de los explosivos tiene para los terroristas, no lo son menores en el aspecto operativo, pues con una mínima estructura pueden llevarse a cabo tal número de atentados, en lugares diversos y a horas distintas, que a los ojos de un profano darían una sensación de potencia y número de activistas muy superior al que en realidad está actuando.

No son menores las ventajas a la hora de la seguridad en sus acciones para los terroristas, pues no necesitan estar presentes en el momento de la explosión, según el tipo de artefacto que escojan, como veremos en «Análisis de la amenaza», p. 00, ni siquiera para la adquisición de los datos necesarios para la acción (que puede ser

realizada por miembros de la organización no fichados), y por lo tanto se zafarán de la reacción de las Fuerzas y Cuerpos de Seguridad del Estado (FCSE) y conservarán el anonimato y la propia integridad.

Por último mencionaremos el aspecto logístico, pues con los conocimientos de electrónica y química suficientes, y surtiéndose de elementos que con cierta habilidad en su adquisición no despertarán las sospechas de la Policía, se pueden confeccionar artefactos explosivos, en las horas anteriores a un atentado, incluso en la misma localidad, y a un precio muy bajo, lo que significa poder actuar con una mínima estructura de apoyo, sin despertar apenas sospechas, y con dos o tres miembros del comando tan solo.

La amenaza de los artefactos explosivos improvisados en el contexto de las Fuerzas Armadas

Utilizamos por primera vez aquí el término *artefacto explosivo improvisado*, proveniente del ámbito de las Fuerzas Armadas, pero plenamente aplicable a cualquier otro artefacto explosivo de uso terrorista. Utilizaremos la abreviatura IED, iniciales de su denominación inglesa, *Improvised Explosive Device*, por ser ésta ampliamente utilizada en estos tiempos y en este contexto. El término improvisado no debe inducir a considerar un IED como un sistema poco elaborado, poco eficaz, carente de tecnología o sin planificación previa. Las acciones terroristas basadas en la utilización de artefactos explosivos improvisados han supuesto la base de la amenaza a la que nuestras Fuerzas Armadas han tenido que hacer frente de manera cada vez más acusada, desde hace más de un lustro, en sus operaciones y misiones. Además, la amenaza IED está provocando o acelerando diversas transformaciones en aspectos operativos y en el equipamiento de numerosas fuerzas armadas, así como en la propia Organización del Tratado del Atlántico Norte (OTAN).

La contribución española a las misiones de paz es muy significativa. Desde el año 1989, nuestras Fuerzas Armadas han participado en 52 operaciones con cerca de 72.000 efectivos de los tres Ejércitos. En estos momentos hay desplegadas unidades españolas y observadores en diversas misiones de Naciones Unidas y la Unión Europea, con un total de efectivos próximo a los 3.000. Para la consecución de los diferentes objetivos de cada una de estas misiones, a menudo se ha de hacer frente a una amenaza que comparte rasgos comunes: la adopción de tácticas asimétricas por los oponentes, en especial aquellas basadas en artefactos explosivos improvisados.

Esta amenaza es, por supuesto, común a otros países con misiones desplegadas en los mismos teatros que nuestras Fuerzas Armadas. Así, países como Reino Unido,

Holanda, Francia, Estados Unidos, Australia, Canadá y Alemania han sufrido también bajas como consecuencia de ataques con IEDs. Muchos de estos países, así como organismos internacionales como la OTAN y la Agencia Europea de Defensa (EDA), han iniciado programas e incluso han creado organismos y centros para hacer frente a la amenaza derivada de los artefactos explosivos improvisados. Algunos ejemplos con objetivos similares son el Force Protection Joint Investment Programme de la EDA o el MOD (*Counter Terrorism Science & Technology Centre*) en el Reino Unido.

Esta amenaza asimétrica, de la cual los IEDs es su expresión más representativa y eficaz, presenta unas características diferentes al tipo de amenaza existente durante la segunda mitad del siglo XX: evoluciona y cambia con enorme rapidez; es descentralizada y ubicua; es asimétrica en el tiempo, en los costes, etc.; no tiene inconvenientes en provocar daños desproporcionados; desaparece el concepto de campo de batalla y aparece en cualquier entorno, incluso con civiles; y hace uso de la tecnología fácilmente disponible de forma innovadora al ser combinada con procedimientos rudimentarios. Esta combinación de factores ha hecho que el ataque con IEDs, cada vez más sofisticados y letales, por parte de terroristas, insurgentes y criminales a gobiernos, población civil, infraestructuras y fuerzas aliadas, esté en aumento con el objetivo de producir efectos tales como:

- Infligir bajas entre las tropas y la población civil, así como minar la moral de la tropa.
- Poner en peligro el éxito de las operaciones de estabilización y apoyo.
- Debilitar gobiernos, apoyados por las operaciones de estabilización y apoyo (por ejemplo Afganistán).
- Influnciar a la opinión pública y política. No es obligatoria la derrota militar de una fuerza convencional superior para obtener la victoria y logros políticos.
- Aterrorizar a la población.
- Fracturar alianzas.
- Los IEDs han sido elegidos como arma para lograr estos objetivos, por las siguientes razones:
- Son baratos de producir, fáciles de usar y se pueden adaptar a las contramedidas. Los IEDs se pueden fabricar a partir de componentes comerciales COTS (*Commercial Off The Shelf*), muchos de ellos de fácil acceso y, empleando avances tecnológicos, aumentar su complejidad y adaptabilidad.

- Tienen baja probabilidad de ser detectados. Se pueden fabricar de múltiples formas, con diferentes contenedores, modos de envío, conceptos de operación, etc. como se detallará en «Análisis de la amenaza», p. 00.
- En escenarios de estabilización, hay una gran disponibilidad de materiales para fabricarlos, incluyendo explosivos. Pueden usarse explosivos comerciales, militares o caseros, artillería militar o cualquier otro material que pueda explotar, como tanques de combustible.
- Los IEDs y sus Tácticas, Técnicas y Procedimientos (TTPs) se experimentan cada día, permitiendo una rápida evolución y adaptación de los mismos a las soluciones usadas por las Fuerzas Armadas para contrarrestarlos.
- Estas TTPs, y su evolución, se extienden y comparten rápidamente a través de Internet y otros medios de comunicación, utilizándolos incluso para la difusión de vídeos de adiestramiento y propaganda interna.
- El empleo táctico con efecto estratégico, el impacto mediático de sus efectos y el relativo bajo riesgo asociado a su uso, hacen de los IEDs un arma muy efectiva.
- Se estima que en los próximos años, insurgentes de zonas como Afganistán continuarán desarrollando y aumentando el uso de IEDs, obteniendo explosivos de fuentes autóctonas, usando los medios de comunicación e importando ideas desde otros escenarios, como Irak, para inspirarse en el diseño. Los terroristas continuarán empleando el uso de la tecnología COTS, y a medida que la sofisticación de esta tecnología vaya en aumento, también lo harán los IEDs. Por este motivo, cuanto más maduros sean los grupos terroristas, serán capaces de emplear tecnologías emergentes y de incorporar elementos más sofisticados al diseño de IEDs. El ciclo de desarrollo de los IEDs es rápido, y una vez que la efectividad de un tipo determinado de IED ha sido probada, se empleará hasta que se haya implementado la contramedida o se hayan agotado los componentes. No obstante, cuando se encuentra la contramedida apropiada contra un IED, o el artefacto falla por algún motivo, los terroristas encontrarán otra forma de empleo y/o de iniciación, llegando a una situación cíclica difícil de cortar.

La amenaza de los artefactos explosivos improvisados en el contexto de la OTAN

En el Concepto Estratégico de la Alianza, de abril de 1999, ya se identificaba el terrorismo como uno de los factores de riesgo que afectan a la seguridad de la OTAN.

Después de los ataques en Estados Unidos del 11 de septiembre de 2001, las autoridades militares de la OTAN desarrollaron el Concepto Militar de la Alianza sobre Defensa contra el Terrorismo, con la supervisión política del Consejo del Atlántico Norte. El concepto fue aprobado por todos los líderes aliados en la Cumbre de Praga del 21 de noviembre de 2002. Entre otros puntos, este Concepto concluye que:

- La OTAN y sus países miembros se enfrentan a una amenaza real de terrorismo.
- Existen cuatro tipos de operaciones militares de la OTAN en defensa contra el terrorismo: medidas defensivas/pasivas de contraterrorismo, gestión de las consecuencias, medidas ofensivas/activas de contraterrorismo y cooperación militar.
- La OTAN necesita estar preparada para realizar operaciones militares con el fin de combatir a grupos terroristas y sus capacidades, cómo y dónde se requiera, según decisión del Consejo del Atlántico Norte.
- El Comité Militar de la OTAN define un IED como:
“Un artefacto ubicado o fabricado de forma improvisada, incorporando agentes destructivos, nocivos letales, químicos incendiarios o pirotécnicos y diseñado para destruir o incapacitar, acosar o distraer. Puede incorporar material militar, pero normalmente se idea a partir de componentes no militares”. (AAP-6 edición 2005).

Dentro de la Alianza, existen dos organismos con un papel destacado en la lucha contra artefactos explosivos improvisados: El Mando Aliado de Transformación (ACT) de la OTAN y la Conferencia de Directores Nacionales de Armamento (CNAD).

El ACT

La amenaza asimétrica, y la de los IEDs en particular, están desafiando numerosos planteamientos operativos y de sistemas de armas de los países aliados, siendo por lo tanto un área de interés para desarrollar y evaluar procesos de transformación de la fuerza. Así, el ACT de la OTAN, ha estado trabajando desde 2004 en el desarrollo del concepto y experimentación para la lucha contra IEDs. El objetivo del concepto Counter-IED, C-IED (*Contra-IED*) es aportar una estrategia completa (que aborde todos los aspectos de esta lucha) e integrada (interrelacionando estos aspectos) para la derrota de los IEDs. Esta estrategia debe conducir al desarrollo de la capacidad C-IED de la OTAN.

El Concepto C-IED se centrará principalmente en los niveles tácticos y operacionales teniendo en cuenta que los IEDs se emplean a nivel táctico con la intención de causar impactos a nivel estratégico.

Los objetivos son:

- Proporcionar a la OTAN una estrategia completa e integral para la derrota de IEDs que incluya derrota de sistemas, derrota de dispositivos y capacidades de entrenamiento y adiestramiento.
- Identificar e implementar TTPs y estándares C-IED para derrotar IEDs y mantener la libertad de acción.
- Entrenar al operativo para entender, predecir y combatir IEDs antes y durante las operaciones.
- Identificar y desplegar tecnologías avanzadas y emergentes para detectar y neutralizar IEDs e incrementar la protección de la fuerza.

LA CNAD

En la Cumbre de Estambul del 28-29 de junio de 2004, los líderes de la OTAN aprobaron un conjunto de medidas con el fin de consolidar la contribución de la Alianza en la lucha contra el terrorismo. Este conjunto de medidas se ubica dentro de las actividades de la CNAD, y comprendiendo todas ellas el Programa de Trabajo de Defensa Contra el Terrorismo POW-DAT (*Programme of Work–Defence Against Terrorism*). Dentro de este programa se engloban diez iniciativas en diferentes ámbitos de la lucha contra terrorista. De entre todas ellas, la lucha contra IEDs merece especial atención porque:

- España, por medio de la Dirección General de Armamento y Material del Ministerio de Defensa, lidera internacionalmente esta iniciativa.
- Es la iniciativa del POW-DAT que, debido a su importancia operativa y estratégica, más atención recibe.
- Varias industrias españolas han recibido fondos de este programa de trabajo para aumentar y demostrar sus capacidades tecnológicas en esta área.
- En concreto, esta iniciativa POW-DAT de la CNAD tiene los siguientes objetivos:
- Mejorar la comprensión acerca de la construcción, empleo y efectos de los IEDs.
- Desarrollar equipos, doctrina y técnicas para la detección de artefactos explosivos o de señales de dispositivos detonadores, de los talleres donde se fabrican o de los individuos que los fabrican.
- Desarrollar sistemas para destruir o anular IEDs por pre-detonación o perturbación.

- Desarrollar procedimientos, estándares y doctrina para la detección y derrota de IEDs (TTPs).

Una de las conclusiones más destacables derivadas del POW-DAT está relacionada con el papel que desempeña la tecnología como apoyo para encontrar soluciones para combatir las amenazas de los IEDs. Así, en estos años de trabajo, se ha constatado que la contribución de los aspectos tecnológicos no es la única ni la más importante para la lucha contra los IEDs. En otras palabras, esta amenaza no se soluciona con sistemas tecnológicos, por muy avanzados que sean. De hecho, la estrategia para la lucha contra los IEDs debe incluir de manera conjunta y complementaria los aspectos operacionales, de adiestramiento, de tecnología y de inteligencia.

Ciñéndonos al ámbito de este documento –las tecnologías y la lucha contra los artefactos explosivos improvisados–, las naciones y la industria están desarrollando numerosas y variadas soluciones técnicas para esta lucha tanto en el entorno de defensa como en el de seguridad. En algunos casos, estos esfuerzos han resultado en destacadas soluciones y sistemas tecnológicos. Sin embargo, aunque muchos de estos sistemas y soluciones están basados en tecnologías de última generación, no ofrecen la madurez o las prestaciones necesarias para contrarrestar la amenaza IED en todas sus variantes y escenarios posibles. A modo de ejemplo, la detección a distancia de IEDs sigue siendo uno de los grandes desafíos tecnológicos.

Por otro lado, la inmadurez de algunas de estas tecnologías, unida a la necesidad inmediata de soluciones, ha motivado el incremento de experimentación con tecnologías y sistemas de otras áreas y entornos civiles. Estas tecnologías y sistemas están siendo adaptados mediante esta experimentación en herramientas o incluso en soluciones para desafíos particulares de la lucha contra IEDs.

Por lo tanto, y de manera similar a tantas otras áreas de capacidad en seguridad y defensa, el nivel de satisfacción de las necesidades en estas áreas está íntimamente relacionado con la base industrial. Por ello resulta enriquecedor realizar un breve repaso a esta base y su relación con las capacidades, aspecto que se desarrollará para el ámbito nacional en «Capacidades científicas industriales existente en España», p.00.

Aspectos industriales relativos a la amenaza de los artefactos explosivos improvisados

Uno de los efectos del proceso de transformación y de reestructuración de las Fuerzas Armadas que numerosos países han llevado a cabo, ha sido la transformación de la base industrial de muchos de estos países. Así, por un lado, se ha incrementado la presencia

de industrias y actores académicos no tradicionales en el mundo de la defensa, y por otro lado, se ha reducido (bien por fusiones o bien por desapariciones) el número de grandes firmas de la industria de defensa.

En los últimos siete años, el incremento de necesidades y presupuestos a nivel global para seguridad interior y la emergencia de la amenaza asimétrica en las operaciones de paz y de estabilización, ha provocado que la industria haya respondido en esta dirección. Esta respuesta ha supuesto un desafío para las grandes corporaciones de defensa (ya que los sistemas y soluciones necesarios difieren de los grandes sistemas de armas) y una oportunidad para las pequeñas y medianas industrias (incluyendo aquí a numerosos actores académicos), que gracias a su flexibilidad y velocidad de respuesta han podido ofrecer sus capacidades tecnológicas (generalmente con un alto grado de innovación) para satisfacer las nuevas necesidades.

De manera general, la investigación, los desarrollos y las adquisiciones de soluciones y sistemas para hacer frente a la amenaza asimétrica, y a los artefactos explosivos improvisados en particular, deben tener en cuenta las especiales características de esta amenaza, y por lo tanto:

- Deben tener un ciclo de desarrollo y/o adquisición corto, alejado de la media actual de un programa de desarrollo y/o adquisición (en el ámbito de la defensa).
- Por lo general, el coste de estos sistemas no debe ser alto, debido a que los objetivos principales de la amenaza asimétrica son muy numerosos tanto en el entorno de seguridad como de defensa.
- En muchos casos, no se precisarán nuevas tecnologías o profundas investigaciones, sino la utilización de tecnologías existentes de forma innovadora. Conviene resaltar que la innovación tecnológica, entendida como el resultado tangible y real de la tecnología, o de otra forma la introducción de logros de la ciencia y la tecnología, es la más importante fuente de cambio en el mundo civil y por lo tanto deberá serlo en las actividades de I+D de defensa.
- Deben ser soluciones de diversos equipos o sistemas integrados, debido a que no existe un solo sistema o equipo capaz de contrarrestarla sino un conjunto de sistemas.
- Es imprescindible una interacción continua con los responsables operativos (FCSE y Fuerzas Armadas) con experiencia real. En el caso de los desarrollos en el ámbito de Defensa, la tendencia es a que esta interacción para el desarrollo de soluciones

tecnológicas se base en la experimentación conjunta (técnicos, operativos, y responsables de conceptos y doctrina), de acuerdo al concepto CD&E⁽¹⁾.

La industria española de defensa puede encontrar un interesante nicho de mercado en los sistemas para combatir la amenaza asimétrica. La creatividad y la integración de sistemas necesaria para su desarrollo y producción son puntos fuertes de nuestra industria. Pero además, la dualidad de las tecnologías con las utilizadas en el ámbito de la seguridad, que constituye en sí mismo un mercado prometedor y de proyección mundial, está reconocida y demandada desde el borrador de Programa Nacional de Seguridad del Plan Nacional de I+D+i:

“A caballo entre la investigación civil y la militar, los programas de seguridad deben aprovecharse de la dualidad tecnológica y del creciente solape existente entre las funciones de seguridad que afectan a la defensa y a los ámbitos civiles, todo ello con el fin de tender un puente sobre el vacío existente entre los varios sectores de investigación disponibles.”

Además, los ciclos cortos, la innovación y la utilización de tecnologías no exclusivas de defensa, hacen apropiado, al igual que está ocurriendo en otros países, el simultanear y aprovechar los desarrollos de la industria tradicional de defensa con otros llevados a cabo por industrias de otros sectores, incluso pequeña y mediana industria, que acrediten su capacidad de innovación.

¹ CD&E: Concept Development and Experimentation. Desarrollo de Conceptos y Experimentación en un proceso iterativo por el que se reproducen, en un entorno de coste reducido, situaciones reales operativas con el fin de identificar, desarrollar y validar conceptos operativos innovadores que permitan alcanzar las capacidades demandadas por las FAS. Se establece como una metodología fundamental para la validación de los conceptos operativos que se identifiquen dentro del proceso de transformación de las FAS.

ANÁLISIS DE LA AMENAZA

El Artefacto Explosivo Improvisado (IED) es un conjunto de elementos dispuestos de tal forma que, reuniendo determinadas condiciones, puede producir una explosión.

El IED es un arma muy efectiva, usada en los conflictos asimétricos de la guerra del terrorismo contra ejércitos regulares y población. El IED se diseña para matar, herir, destruir o causar perjuicios y cuyos inicios se remontan varios siglos atrás.

Comparados con el armamento militar, los IEDs son bastante más diversos por la gran variedad de elementos básicos que pueden emplear como sistemas de disparo, mecanismos de cebado, explosivo, confinamiento, etc. El diseño del dispositivo explosivo se ve condicionado por la disponibilidad que el terrorista tiene a la tecnología de los diferentes componentes, el conocimiento, la imaginación y la capacidad de producción en la zona en la que se prepara o monta el IED.

Debido a que los IEDs, desde el punto de vista de su construcción y operación, son muy diversos y los fabricantes son muy adaptativos a las tácticas, técnicas y procedimientos que se emplean para contrarrestar los IEDs, la protección contra IEDs ha de ser igualmente adaptativa frente a los cambios de la amenaza.

Todos los asuntos y aspectos concernientes al IED que se describen en este Capítulo se basan en fuentes de información abiertas y datos estadísticos.

Componentes básicos de los IEDs

Desde un punto de vista técnico, los IEDs se componen de tres elementos imprescindibles:

- Dispositivo de armado y disparo.
- Explosivo (o material energético).

- Contenedor.

Pueden, asimismo, disponer de componentes adicionales para:

- Proporcionar seguridad al terrorista.
- Facilitar su ocultación y transporte.
- Engañar o sorprender a la víctima.
- Dificultar la labor de desactivación.
- Potenciar el efecto.

En la figura 1 se muestra el esquema de componentes de un IED, en el que se ha agrupado a los potenciadores de efecto junto con el confinamiento o contenedor. Dependiendo del diseño del IED, puede que no todos los componentes estén presentes.

Las tecnologías detrás de estos componentes básicos de los IEDs son huellas o entradas clave para las distintas técnicas de prevención, detección y neutralización de los IEDs.

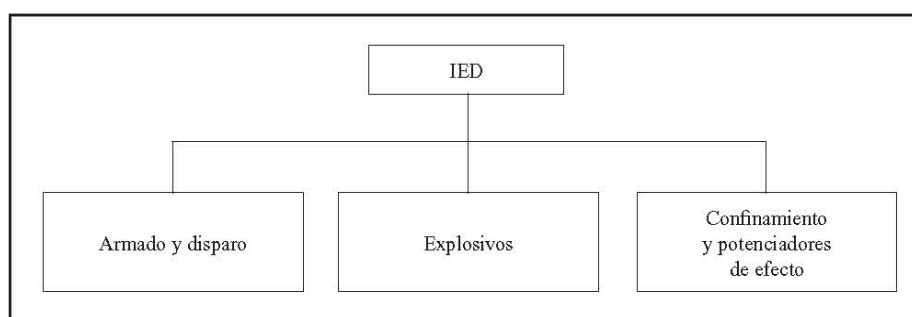


Figura 1.— *Elementos de un IED.*

Definiciones

DISPOSITIVO DE ARMADO Y DISPARO

En las cabezas de guerra convencionales es habitual emplear Mecanismos de Seguridad y Armado (SAD, en su terminología inglesa) para separar el elemento de disparo (disparador o espoleta) del detonador que inicia la carga principal, sin embargo, en los IEDs se observa que esta separación física no existe.

Así, en la tecnología de IEDs, el mecanismo de armado es el que interrumpe la conexión entre el disparador y el explosivo primario (detonador) –función de seguridad–. Quitando la interrupción, el IED está armado –función armado–. Mediante una señal externa (remota) o interna (sensor, temporizador) el disparador inicia el explosivo primario del detonador.

Por lo general, si el acceso al explosivo es fácil, el dispositivo de armado y disparo no es necesario que sea muy sofisticado: una cierta tasa de fallos determinada puede ser aceptada. Si por el contrario, el acceso al material explosivo es difícil, el circuito de disparo se diseña con alta fiabilidad. Por otro lado, los IEDs suelen tener dispositivos de seguridad y armado para evitar detonaciones fortuitas mientras se transporta hasta su lugar de emplazamiento.

EXPLOSIVO

Un explosivo es una sustancia que, cuando es iniciada, es capaz de liberar su energía química en un tiempo muy breve (a velocidades lineales de reacción de miles de metros por segundo) desarrollando por tanto una potencia enorme.

CONTENEDOR

El contenedor es lo que envuelve al IED (principalmente a su carga explosiva) pudiendo ser parte estructural de él, con el objetivo de confinarlo, enmascararlo o transportarlo y, en su caso, incrementar los efectos de letalidad, especialmente si se combina, además, con fragmentos o metralla. En ocasiones sirve incluso como transporte de los terroristas (como es el caso del coche-bomba).

POTENCIADORES DE EFECTO

Aunque no es un componente imprescindible en un IED, su empleo es frecuente y de gran peligrosidad. Los potenciadores de efecto sirven para aumentar o concentrar, a veces enormemente, la letalidad de un IED; además de la metralla mencionada anteriormente, un IED puede incorporar agentes Químicos o Biológicos, material Nuclear o Radiológico (en sus siglas en inglés: CBRN), lo que se conoce como bombas sucias, que provocan daños adicionales. Es más, puede que la explosión del IED no sea el principal propósito de los terroristas para dañar, sino el medio para expandir la letalidad.

En los siguientes apartados pasamos a ver, con más detalle, cada uno de estos componentes.

DISPOSITIVO DE ARMADO Y DISPARO

El mecanismo de armado y disparo puede dividirse en cuatro categorías: electrónico, mecánico, químico, y biológico.

Se han usado combinaciones de diferentes tecnologías, bien usadas en serie (una para el armado, otra para activar la detonación) o bien en paralelo, como mecanismo de disparo.

DISPARO ELECTRÓNICO

Un mecanismo de disparo electrónico emplea componentes electrónicos para generar una señal que inicia la carga primaria –el detonador–.

REMOTO

Las estadísticas nos dicen que el uso de activadores remotos en IEDs ha crecido muy rápidamente en los últimos años, especialmente los dispositivos de control remoto por Radiofrecuencia (RF).

1. *Radiofrecuencia*

En este grupo englobamos tanto radiofrecuencia (radios, *walkie-talkies*, teléfonos móviles, timbres inalámbricos, buscadores, etc.) como controladores de dispositivos de Radio-Control (RC). La frecuencia típica está comprendida en un rango desde 20 MHz hasta 3 GHz. La distancia de operación cubre desde unas decenas de metros hasta unos pocos kilómetros.

En la cuadro 1 se dan algunos detalles de los parámetros relativos a cada tipo de dispositivo remoto por RF.

Cuadro 1.— *Características de dispositivos de disparo remoto por radiofrecuencia.*

Tipo	Frecuencia (MHz)	Potencia de transporte (W)	Técnica de modulación	Aplicación esperada	Comunicación	Código	Distancia operativa (metros)
Controlado por RC	27-40	0,5	2AM, PPM	Urbana y rural	Simplex		Hasta 300
Buscador unidireccional	27			Urbana y rural	Simplex	Binario	600
Buscador bidireccional	150-450-929			Urbana	Duplex		
Radiotelefonos	27-500	0,5-5	AM, PRM	Urbana y rural	Simplex	DMTF	100-6000
Telemandos de RF		0,5		Urbana		Binario	200
Timbres de puerta		0,5		Urbana		Binario	100

2. Cable eléctrico

Se emplea un cable para iniciar el IED de forma remota desde una distancia de seguridad. Para operar con un cable son necesarios un interruptor, una batería y un detonador. Es muy similar a los medios de pega eléctrica usados con fines civiles.

La distancia de operación puede ir desde unos 10 metros hasta unos pocos cientos de metros.

SENSOR

Hay Circuitos o Tarjetas Electrónicas (PCB) con sensores listos para ser usados como productos comerciales componentes COTS (*Commercial off the Shelf*) mencionados en «La amenaza de los artefactos explosivos improvisados en el contexto de las Fuerzas Armadas», p.00, que se emplean directamente para disparar el IED. Dependiendo del tipo de sensor y de la tecnología, el radio de operación varía entre unos pocos metros y un centenar. Unas dimensiones típicas de una tarjeta PCB pueden ser de 5 x 3 centímetros.

1. Infrarrojos

Los sensores de infrarrojos se utilizan típicamente en entornos urbanos. Dependiendo del dispositivo que se utilice, la distancia de operación puede llegar hasta 20 metros. Estos dispositivos operan tanto con voltajes típicos de Corriente Continua (DC) procedente de pilas, como con voltajes típicos de Corriente Alterna (AC).

2. Fotoeléctricos

De barrera: se basan en interrumpir una barrera de luz (visible o no). Hay dos montajes de operación: emisor y detector de luz separados o emisor y detector de luz juntos en un lado, y en el otro extremo una especie de espejo reflector (generalmente fabricado con pequeños trozos de prisma, como los que pueden observarse en las entradas de los garajes o ascensores para controlar el cierre de puertas). Generalmente se usan diodos emisores de IR. Los sensores IR se usan típicamente en entornos urbanos, y como se ha mencionado en el apartado anterior los voltajes pueden ser variables.

Resistencias Dependientes de la Luz (LDR), basados en la intensidad de luz que reciban, pueden activar un artefacto (su uso se ha descrito en acciones de terrorismo interno).

Generalmente, en ambas categorías, se arman de forma remota por los terroristas.

3. Radar

Hay disponibles sensores Radar, los cuales tienen la capacidad de medir la distancia y velocidad del objetivo potencial. Estos dispositivos pueden operar con diferentes tensiones de alimentación procedente de la corriente de una batería (DC). La distancia de operación es de unos 5 a 15 metros.

4. Ultrasonidos, etc.

Basados en detectores de presencia y en sensores que, hoy en día, son empleados en la industria del automóvil de forma masiva.

OTROS

Un método clásico de activar el IED es por medio de un temporizador, bastante usado en tiempos recientes. Los relojes mecánicos han sido desplazados por temporizadores eléctricos/electrónicos que son más exactos y pueden programarse con varios días (o semanas) de antelación. Lo expuesto anteriormente puede resumirse de forma gráfica como se muestra en la figura 2.

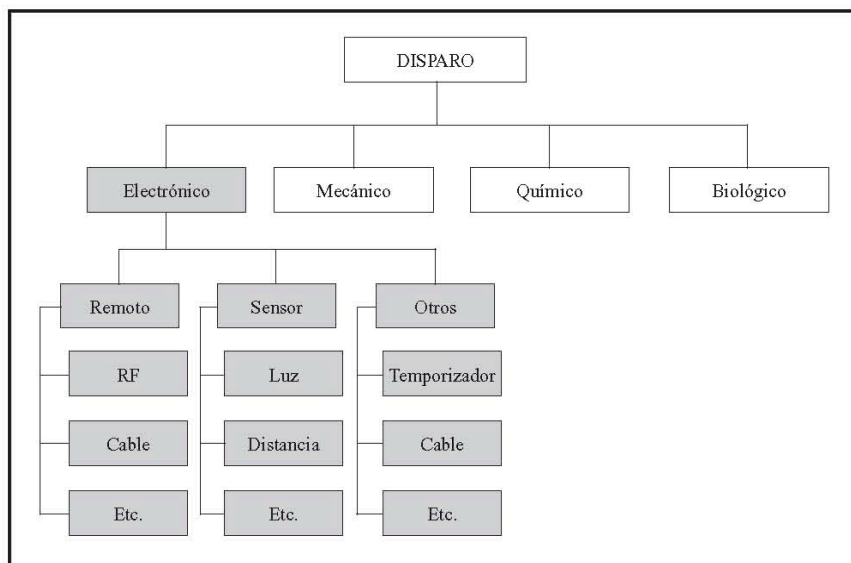


Figura 2.— Sistemas de armado y disparo electrónicos.

DISPARO MECÁNICO

El mecanismo de disparo mecánico emplea elementos mecánicos para iniciar el detonador directamente o para cerrar el circuito eléctrico que activará el disparador eléctrico/electrónico del detonador (carga primaria).

REMOTO (CABLE)

El disparo remoto se realiza mediante cable o similar. La distancia típica de operación se limita en torno a 20 metros. La función del cable es liberar la energía mecánica almacenada en un sistema de resorte/muelle de forma que se active el detonador mecánicamente mediante presión.

SENSOR

Los sensores mecánicos típicamente están basados en alguna de las siguientes magnitudes: presión, temperatura, o fuerzas ejercidas por un resorte, interruptor, etc. Estos mecanismos de disparo son poco frecuentes.

OTROS

Junto a los relojes electrónicos aún se usan relojes mecánicos para iniciar el disparo. Una vez consumido el tiempo la energía contenida en un resorte/muelle se libera y una masa (percutor) es lanzada contra el detonador mecánico. Lo expuesto anteriormente se resume de forma gráfica en la figura 3.

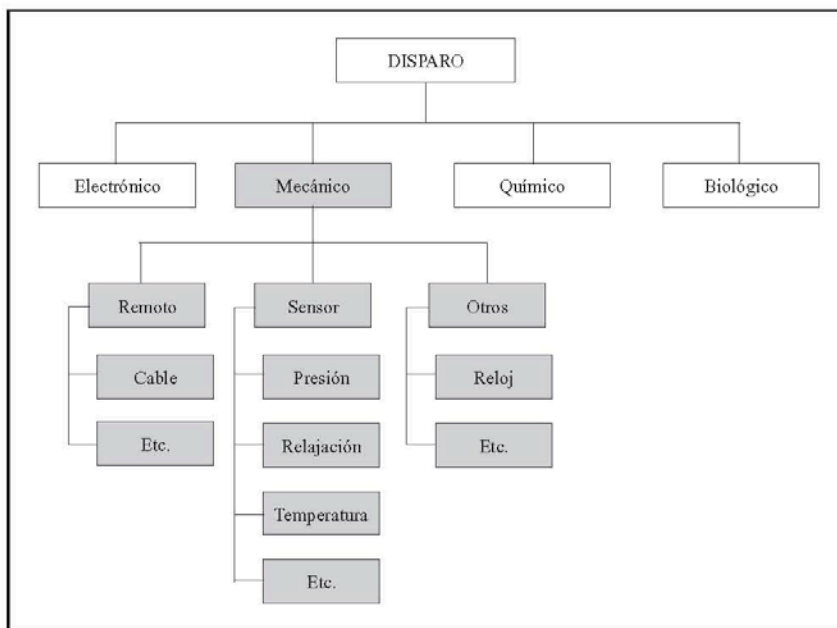


Figura 3.— Sistemas de armado y disparo mecánicos.

DISPARO QUÍMICO

REACCIÓN

Cuando una sustancia que es químicamente reactiva con la carga del IED entra en contacto con el material energético, se produce una reacción exotérmica que es capaz de iniciar la detonación. Lo expuesto anteriormente se resume de forma gráfica en la figura 4.

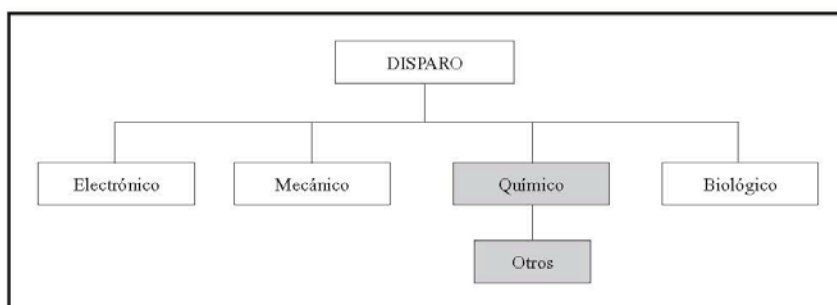


Figura 4.— Sistemas de armado y disparo químicos.

DISPARO BIOLÓGICO

Hay métodos de disparo raros o exóticos que emplean animales o plantas pero que su incidencia es muy baja, principalmente en escenarios militares. Sólo los mencionamos de pasada. Lo expuesto anteriormente se resume de forma gráfica en la figura.5.

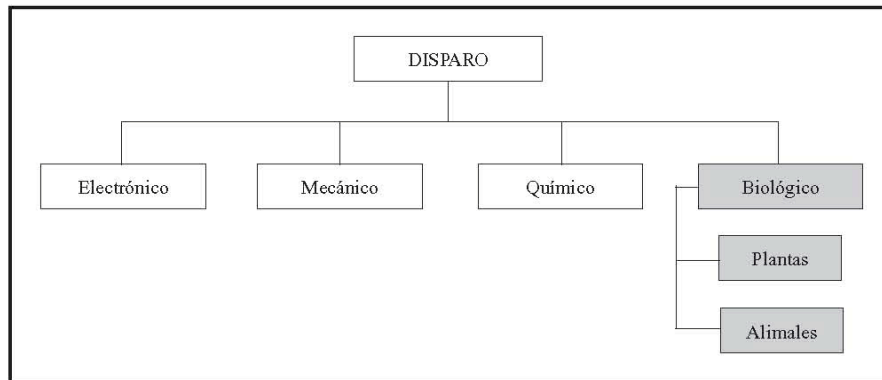


Figura 5.— *Sistemas de armado y disparo biológicos.*

Explosivos

El material explosivo es uno de los componentes principales de la amenaza de acuerdo al esquema mostrado en la figura 1, p. 00.

Un explosivo es un material (químico o nuclear) que puede ser iniciado para que lleve a cabo una rapidísima descomposición exotérmica autopropagada que resulta en la formación de una materia más estable, en su mayor parte gaseosa, a alta presión y temperatura.

La efectividad del explosivo se mide por la cantidad de energía liberada, que se suele referir como su “potencia” explosiva.

En este estudio nos centraremos solamente en explosivos químicos; como se ha mencionado anteriormente, un explosivo químico es un compuesto, o mezcla de compuestos, que convenientemente iniciados (sometidos al efecto del calor, impacto, fricción, choque, etc.) sufren una descomposición exotérmica muy rápida y autopropagada. La descomposición genera gases a alta temperatura y presión.

Los explosivos se clasifican, figura 6, atendiendo a la susceptibilidad de ignición (o sensibilidad de iniciación, facilidad para que se inicie la reacción de descomposición) como primarios y secundarios, de forma que los primarios son los explosivos iniciadores que se usan para iniciar los explosivos secundarios (por tanto, empleados en cantidad

mucho menor que el resto); y los secundarios, formulados para que detonen solo en condiciones determinadas, son menos sensibles y, por tanto, constituyen la carga principal. Éstos, a su vez, se desglosan atendiendo a su aplicación como: militares, civiles y de fabricación casera.

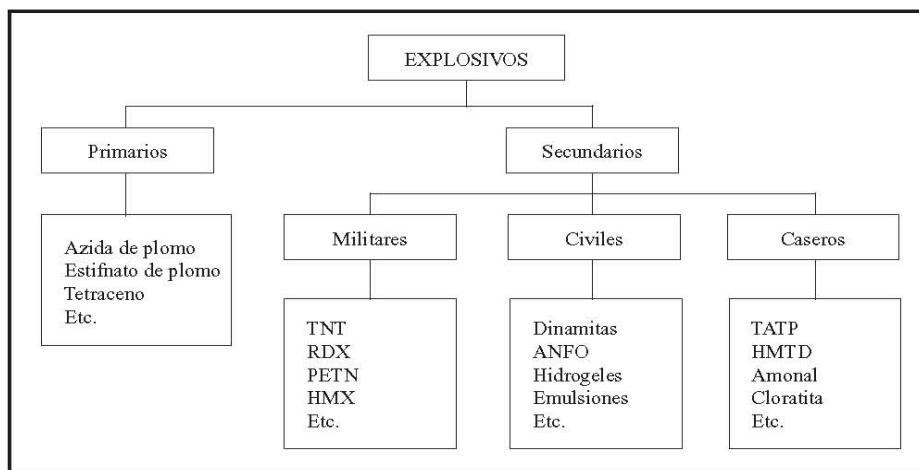


Figura 6.— Explosivos.

PRIMARIOS

Son explosivos muy susceptibles de iniciarse, es decir, muy sensibles; casi siempre detonan ante cualquier pequeño estímulo o fuente de ignición (chispa, llama, impacto, fricción u otra fuente de energía de cierta magnitud). Se usan en los detonadores para iniciar el resto de explosivos de las otras categorías. En el cuadro 2 se relacionan las sustancias más representativas de este grupo.

Cuadro 2.— Explosivos primarios.

Nombre	Otras denominaciones
Fulminato de mercurio	Azida de plomo y Lead azide Estifnato de plomo y Lead styphnate DINOL y DDNP Lead picrate
Nitruro de plomo	
Trinitroresorcinato de plomo	
Diazodinitrofenol	
Tetraceno	
Picrato de plomo	

MILITARES

Explosivos militares son aquellos usados principalmente en armas (generalmente constituyen la carga principal de la munición o la cabeza de guerra). Se fabrican con estándares y normas propias de la industria militar y su comercialización se realiza a

través de circuitos diferentes que los explosivos de uso civil. En el cuadro 3 se relacionan algunos explosivos de uso principalmente militar.

Cuadro 3.— *Explosivos secundarios de uso militar.*

Nombre	Otras denominaciones
<i>Sustancias</i>	
Trinitrotolueno	Trilita y TNT
Pentaeritritol tetranitrato	Pentrita y PETN
Tetranitrometilamina	Tetralita y Tetryl
Triamino trinitro benceno	TATB
Ciclo-trimetilen-trinitramina	Hexógeno y RDX
Ciclo-tetrametilen-tetranitramina	Octógeno y HMX
Hexanitro-hexaaza-isowurtzitano	HNIW y CL20
<i>Mezclas</i>	
Octol	
Pentolita	
Tritonal	
Composición A	Hexolita y Hexotol
Composición B	El más conocido es C4
Composición C	
Semtex	
HBX	Entre otras y Torpex
PBX y LX	Explosivos de ligante plástico

CIVILES

Explosivos civiles son aquellos diseñados, producidos y usados para aplicaciones comerciales o industriales, diferentes de las aplicaciones militares, principalmente en voladura de roca. Se comercializan siguiendo reglamentos y canales de distribución diferentes de los explosivos militares. Los explosivos de uso civil se suelen agrupar en las siguientes familias, atendiendo a su composición:

- Dinamitas.
- ANFOs (mezclas nitrato amónico/combustible).
- Hidrogeles.
- Emulsiones.
- Mezclas emulsión/ANFO.

DE FABRICACIÓN CASERA

Se denominan así a los explosivos fabricados por los propios terroristas; son explosivos que no requieren ni procesos ni instalaciones sofisticados para ser fabricados, ni primeras materias de difícil acopio o adquisición –muchas de ellas se pueden comprar libremente en el mercado– ni grandes conocimientos técnicos.

Normalmente basta la mezcla de dos o tres sustancias o primeras materias para obtener el explosivo, bien mediante una simple mezcla física o mediante una sencilla

reacción química. A las primeras materias para la fabricación de estos explosivos se las denomina precursores. Entre ellas pueden citarse: acetona, nitrato amónico, nitrometano, cloratos, percloratos, etc.

Ejemplos de explosivos caseros son:

- Triperóxido de Triacetona (TATP).
- Hexametilén Triperóxido Diamina (HMTD).
- Amonal.
- Cloratita.
- Amonitol.
- Etc.

Contenedores y potenciadores del efecto

En este estudio nos limitaremos a confinamientos metálicos y amplificadores de efecto químicos (concretamente gas y combustibles/gasolinas). Otros amplificadores de efecto como agresivo químico, biológico o letalidad radiológica no se contemplarán.

CONFINAMIENTO MECÁNICO

En varios IED se han utilizado confinamientos mecánicos para aumentar el efecto de la letalidad del explosivo. En un principio los confinamientos mecánicos pueden producir una fragmentación natural o preconformada.

La fragmentación natural se produce por la rotura de un confinamiento robusto o estructural en metralla de partículas de diferente tamaño y rangos de letalidad.

Los fragmentos preconformados consisten en materiales de alta densidad colocados directamente alrededor del explosivo o como una segunda capa alrededor del confinamiento primario. Su efecto es similar al de la metralla.

METÁLICO

Se han empleado confinamientos metálicos de diferentes formas y materiales, tales como: botellas de acero, bombonas de gas, tubos, coches, camiones, carcasas de munición de artillería, ollas de cocción a presión, bidones de combustible, etc. Son ejemplos de contenedores que generarán fragmentos naturales. Clavos, bolas de acero (rodamientos), tornillos y tuercas, etc. Son ejemplos frecuentes de metralla preconformada.

HORMIGÓN

Se utilizan cementos y hormigones para el confinamiento de IEDs. Típicamente el bloque de hormigón contiene los explosivos y el mecanismo que lo acciona. Este tipo de confinamiento de IED se ha encontrado en ataques a tropas de ejércitos regulares en Irak y en Chechenia, así como en acciones terroristas en España. La ventaja de este confinamiento, desde el punto del terrorista, es que funciona también como excelente camuflaje. Lo expuesto anteriormente se resume de forma gráfica en la figura 7.

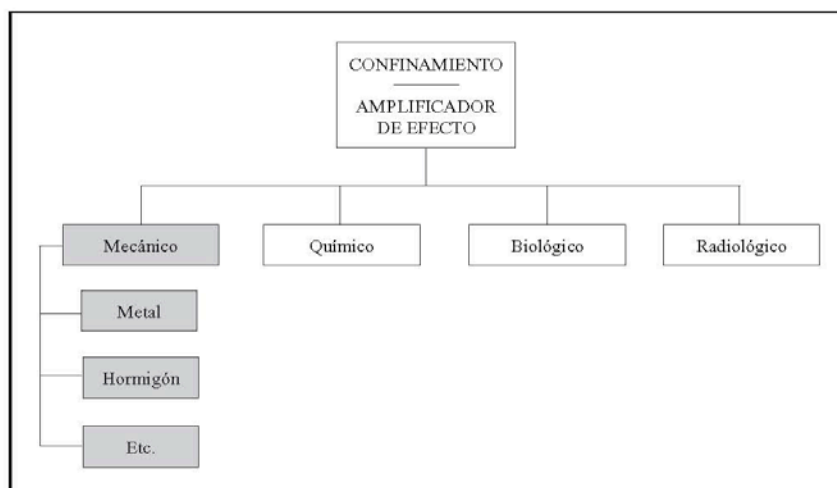


Figura 7.— Contenedores y amplificadores de efecto mecánicos.

AMPLIFICADORES QUÍMICOS

Los amplificadores químicos (gases y combustibles) se emplean para producir la detonación del propio gas y crear un efecto incendiario adicional.

GAS INCENDIARIO

Se ha empleado frecuentemente como gas el butano (o similar); este tipo de amplificador se han encontrado en dispositivos IED para destruir casas en el conflicto yugoslavo.

GASOLINA

La gasolina se usa como parte de un IED en lo que se conoce comúnmente como Cóctel Molotov. Lo expuesto anteriormente se resume de forma gráfica en la figura 8.

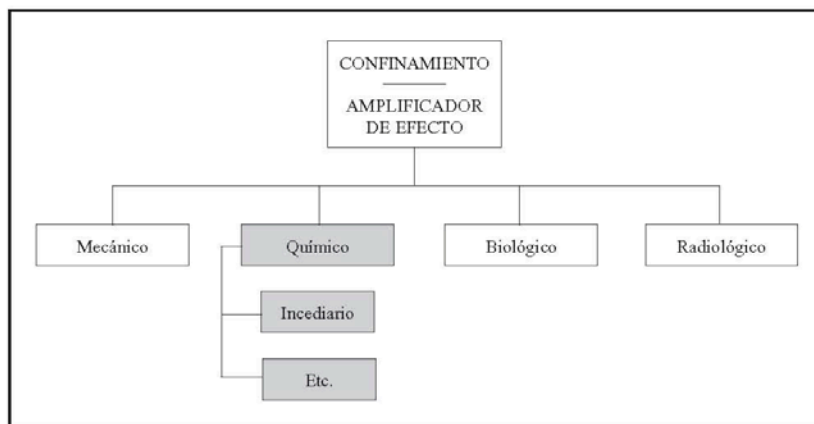


Figura 8.— Contenedores y amplificadores de efecto químicos.

Daños

Los daños causados por los IEDs se deben a dos efectos:

- Onda expansiva.
- Fragmentación.

El efecto dominante depende del entorno y del tipo de confinamiento. Por ejemplo, en un escenario rural (o espacio abierto) la fragmentación es, en principio, el efecto más importante ya que la presión de la detonación decrece rápidamente con la distancia. Por el contrario, en un escenario urbano la reflexión en las paredes y en las casas incrementa de forma significativa el efecto de la onda expansiva.

EFFECTOS DE LA ONDA EXPANSIVA

La onda expansiva es la onda de choque provocada en el aire por la detonación del explosivo. En entornos abiertos el pico de presión decrece rápidamente con la distancia, sin embargo el efecto destructivo se amplifica cuando hay reflexiones de las ondas en los muros (principalmente entornos urbanos) reforzándose el efecto de la onda expansiva si se realiza la explosión en espacios cerrados.

EFFECTOS DE LA FRAGMENTACIÓN

Los fragmentos se pueden dividir en primarios y secundarios:

- Fragmentos primarios son aquellos impulsados la carga del explosivo; pueden ser naturales (originados por la rotura de las carcasas o estructuras que confinan el explosivo, como botellas de acero, tubos, etc., que se convierten en metralla de diferentes tamaños y letalidad) o preconformados que en la mayoría de los casos está hecha de materiales densos, como acero (tuercas, tornillos, clavos, etc.).
- Los fragmentos secundarios se originan si la metralla primaria (con una elevada energía cinética) perfora otras capas de materiales (p.e. láminas de metal, vidrios de escaparates, losas de hormigón, muros de construcción, etc.). Los fragmentos secundarios se generan en la parte posterior del material constituyente de esa capa y se desplazan en una especie de proyección cónica como un embudo. Estos fragmentos secundarios constituyen una de las mayores amenazas letales para las personas.

RADIO DE ACCIÓN

El radio de acción depende principalmente de la cantidad de explosivo que se emplee como carga principal del IED, del contenedor (ya que genera la peligrosa metralla) y del entorno adyacente en el que se haya colocado el IED.

En espacios abiertos (como son las zonas rurales) la letalidad está principalmente marcada por la metralla a través de la distancia desde el emplazamiento del IED más que por los efectos de la onda expansiva.







En espacios menos despejados (como son los escenarios urbanos) el componente principal es el efecto de la onda expansiva ya que se puede ver ampliado el efecto por reflexiones en muros de las construcciones adyacentes (por ejemplo fachada de un edificio que cierre al final de una calle), pero también los muros (o el edificio completamente) pueden colapsar y derrumbarse con la consecuente letalidad para las personas que se encuentren en ese instante en el interior de la construcción. Otro de los riesgos letales de mayor envergadura es la nube de proyecciones de fragmentos de vidrios debidos a la rotura de ventanas que son proyectados hacia el interior de la habitación o que caen hacia el exterior desde las fachadas.

Por otro lado, los muros, en un escenario urbano, representan una protección contra la metralla que limita el rango de acción de los fragmentos proyectados, e incluso la onda expansiva se ve limitada detrás de los muros siempre que permanezcan intactos.

El radio de acción de una bomba debe considerarse en relación con el establecimiento de distancias de seguridad, siempre contemplando sus valores más desfavorables para establecer una zona de seguridad suficiente. Generalmente, la zona de daños se calcula con supuestos simplificados. Es muy común distinguir los tamaños de la bomba en intervalos de peso. Veamos el caso siguiente como ejemplo:

Uno de los IEDs más frecuente hoy en día es el colocado en un vehículo VBIED, (*Vehicle-Borne*) IED, como veremos más adelante en la clasificación de estas amenazas. En el cuadro 4 pueden verse las distancias de seguridad para varios tamaños y tipos de vehículo (con el peso máximo de explosivo estimado en la peor situación). La columna “Zona mortal de la onda expansiva” se relaciona con la hemorragia pulmonar como criterio de mortalidad, mientras que la columna “Distancia mínima de evacuación” se relaciona con la zona de seguridad contra los fragmentos (efectos de metralla). Los valores de las distancias de efectos mortales y de evacuación han sido determinadas considerando a las personas desprotegidas. Si las personas se encuentran en vehículos protegidos, como los de transporte de personal blindado, las distancias se reducen por un factor que dependerá de la clase de protección del vehículo.

Cuadro 4.— Distancias de daño para artefactos explosivos en vehículos. Adaptada de *BATF Explosive Standards, Bureau of Alcohol, Tobacco and Firearms, Washington, D.C.*

Vehículos	Tipo de vehículos	Máxima capacidad de explosivos (kilogramos)	Zona mortal de la onda expansiva (metros)	Distancia mínima de evacuación (metros)	Peligro por caída de vidrios (metros)
	Sedan medio	230 (en maletero)	30	460	380
	Sedan grande	460 (en maletero)	38	530	530
	Camioneta de pasajeros o de mercancías	1.800	61	840	840
	Camión pequeño (caja de 4,3 metros)	4.500	91	1.100	1.100
	Camión cisterna	14.000	137	2.000	2.000
	Semitrailer	27.000	183	2.100	2.100

Clasificación de la amenaza: tipos de IEDs

Hacer una clasificación de IEDs es una tarea difícil, ya que cualquier combinación de componentes hace que un IED sea un dispositivo casi único. Los criterios para clasificar los IEDs pueden basarse de modo convencional en el tipo de mecanismo de disparo, el método de disposición y el método de colocación. Sin embargo, hemos optado por utilizar la nomenclatura más generalizada de los tipos de IEDs encontrados que, más que seguir una clasificación basada en un solo detalle característico de un IED (por ejemplo, sistema de ignición, tipo de carga, cantidad de explosivo, etc.) se basa en una mezcla de todos ellos, de modo que el lector podrá notar cierto solape entre los diversos tipos.

CLASIFICACIÓN POR EL SISTEMA DE IGNICIÓN

IED TEMPORIZADO (TIED: TIMED IED)

Los dispositivos IED temporizados se diseñan para funcionar o detonar después de transcurrido un tiempo. De modo general, los dispositivos de tiempo son colocados por los terroristas inmediatamente adyacentes a los blancos fijos seleccionados. El dispositivo es entonces “armado” y la cuenta atrás del tiempo de seguridad comienza. Este retraso permite que el terrorista desaparezca del escenario de la explosión. Basta, por ejemplo, simplemente un fusible que se queme (encendido por un fósforo) e insertado en una bomba de tubo para que tener un dispositivo temporizado.

Ya que es más adecuado para blancos fijos, el TIED se ha utilizado contra hombres de negocios o en ataques personales. Los TIEDs se pueden esconder bien ya que son de formas y tamaños muy variados, (por ejemplo desde el tamaño de una mochila al tamaño de un coche).

Obsérvese que los temporizadores también son utilizados como sistemas redundantes/reserva para otros tipos de sistemas de ignición. En la figura 9 puede observarse un ejemplo de este tipo.

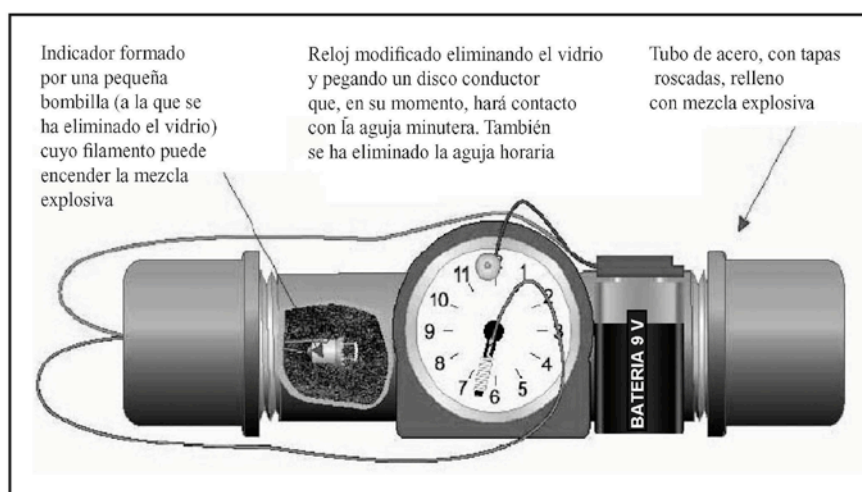


Figura 9.— IED temporizado. (Adaptado de AC/259-D(2004)0037 NIAG-D(04)09, volumen III, OTAN).

IED accionado por la víctima VOIED (*Victim-Operated IED/Booby Trap*)

Los IEDs de trampa explosiva funcionan cuando la víctima objetivo realiza una acción involuntaria que haga detonar el dispositivo. Generalmente la acción involuntaria actúa de forma que cierra un interruptor en un simple circuito eléctrico, pero, a veces, se utilizan sensores o sistemas mucho más sofisticados. Se pueden activar mediante una gran variedad de acciones, por ejemplo de tipo:

- Tirón (como en una trampa de alambre que causa un traspie).
- Liberación de un actuador.
- Presión o alivio de presión.
- Movimiento.
- Inclinación.
- Elevación.
- Vibración/temblor.

Se tiene conocimiento de sofisticados IEDs accionados por la víctima que incorporan sensores pasivos de infrarrojo, otros sensores de alarma y componentes sensibles a la luz. En la figura 10 puede observarse un ejemplo de este tipo.

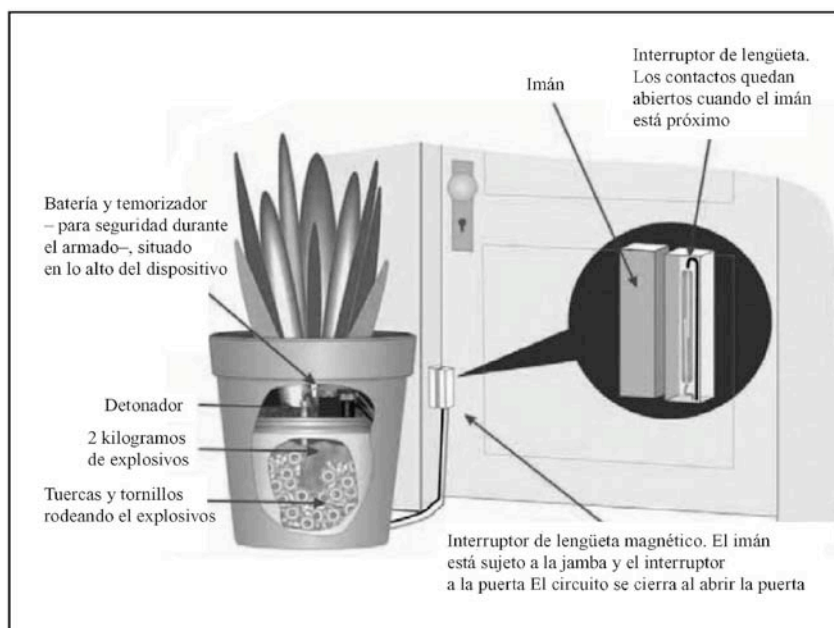


Figura 10.— IED accionado por la víctima. (Adaptado de AC/259-D(2004)0037 NIAG-D(04)09, volumen III, OTAN).

IED ACCIONADO DE FORMA REMOTA GCIED (GENERIC COMMAND INITIATED IED)

1. Remoto por cable CWIED (Command Wired IED)

Los terroristas atacan a menudo blancos móviles (a pie o en un vehículo) que pasan por un punto determinado. Identifican otro punto desde donde pueden observar el punto de paso, de forma que la tarea sea iniciar el IED desde una distancia de seguridad en el momento más oportuno para hacer blanco. La manera más simple de hacer esto es colocando un dispositivo IED en el punto del blanco y un interruptor en el punto de observación conectado por un cable. Teóricamente, la fuente de energía puede estar en cualquier extremo pero, generalmente, el terrorista elige tener la batería en su extremo. Los cables de conexión tienen típicamente entre 50-200 metros de largo, pero en ocasiones están fuera de este amplio rango. La clave es que un sistema de actuación como éste permita que el terrorista inicie el dispositivo cuando un blanco haga presencia, mientras que retiene el control de iniciar el dispositivo hasta que él lo decida. Así, el terrorista estará a una distancia de seguridad de la explosión y también será capaz de escapar después del ataque.

Además de usar simplemente un cable de cierta longitud, algunos terroristas han aplicado verdadero ingenio al problema de ligar el punto de disparo a la carga principal en el punto de encuentro del blanco: los métodos usados incluyen el uso de vallas metálicas, cables de teléfono e incluso trozos de línea ferroviaria. Las líneas de cable también se han clavado en las paredes, se han enterrado durante la construcción de la carretera/caminos e incluso se han accionado con una ballesta a través de un desagüe.

Estos métodos indican una de las debilidades clave en el uso del accionamiento remoto con cable: la necesidad de poner y de ocultar un cable cerca de la ruta que utilizará el blanco.

El problema anterior es compensado sobradamente por las dos ventajas dominantes de estos dispositivos: su simplicidad, conduciendo a un de alto nivel de la fiabilidad, y el hecho de que no hay contramedidas simples disponibles.

2. Control remoto RCIED (Remote Controlled IED)

Un RCIED se define como cualquier dispositivo explosivo improvisado que es accionado de forma remota por el terrorista o criminal (en el momento que él lo decida) y que utiliza una cierta forma de transmisor/receptor por radiofrecuencia, siendo el equipo receptor parte del mecanismo de iniciación. En el RCIEDs el terrorista se sitúa con el

transmisor, generalmente en la línea de mira, pero a una cierta distancia de la carga explosiva principal, que está conectada con el receptor. Éste recibe una señal del transmisor y se cierra un interruptor que inicia la carga explosiva. Siempre hay una fuente de energía asociada al detonador en el extremo del receptor. Los RCIEDs proporcionan al terrorista las siguientes ventajas (con respecto a otros tipos de dispositivos):

- Permiten que el dispositivo sea accionado en el momento exacto que el terrorista decida, dándole así el control completo sobre el blanco que será atacado.
- Existe un gran espectro de radiofrecuencias para que el terrorista elija. Esto aumenta sus opciones de ataque y también obliga a las fuerzas de seguridad a aumentar las acciones de contramedidas para contrarrestar la amenaza.
- Los RCIEDs son rápidos de desplegar en el teatro de operaciones permitiendo que el terrorista adapte las opciones del ataque a circunstancias cambiantes.
- A diferencia del caso anterior (usar cable remoto que, por tanto, fijará al terrorista en el punto de activación), un RCIED permite que el terrorista sea un punto móvil, más que estático, lo cual es extremadamente importante como consideración táctica.
- El terrorista puede estar alejado de la escena del ataque (que depende del tipo de equipo usado), aumentando sus posibilidades de escape y reduciendo la probabilidad de captura.
- La tecnología moderna ofrece al terrorista una amplia y global gama. La tecnología necesaria para construir RCIEDs está fácilmente disponible y el conocimiento es, asimismo, fácilmente obtenible.
- No hay acoplamiento físico entre el mecanismo de control de accionamiento, usado por el terrorista, y el dispositivo propiamente dicho. Esto hace que la ocultación sea más fácil y su detección previa menos probable.
- Un solo sistema de control remoto puede controlar más de un IED. Esto permite que múltiples blancos sean atacados y facilita escenarios "evolutivos" y dispositivos secundarios.
- A la luz de las ventajas destacadas arriba, los terroristas o criminales que usan bombas encuentran adecuados los RCIEDs para uso en las siguientes circunstancias:
 - Emboscada: pueden ser realizadas con RCIEDs colocados al borde de la carretera para sorprender blancos móviles tales como convoyes militares y de policía, patrullas

militares a pie o móviles. En ocasiones se han utilizado RCIEDs (iniciados por telefonía móvil, similar al de la ilustración) para activar artefactos a distancia, siempre contra objetivos estáticos, incluso contra las Fuerzas de Seguridad del Estado. Pueden, asimismo, ser utilizadas para atacar a las primeras unidades en actuar (Técnicos en Desactivación de Explosivos (TEDAX) y personal de los otros servicios de emergencia (bomberos/sanitarios...)).

- Asesinato: pueden ser utilizados RCIEDs para asesinar a políticos prominentes, militares, líderes religiosos, etc. cuando la ruta del blanco sea conocida y no sea posible aproximarse lo bastante cerca como para realizar un ataque suicida.
- Trampas explosivas camufladas: pueden ser utilizados RCIEDs como el mecanismo de armado y disparo de un VOIEDs cuando sea importante armar el dispositivo en el momento exacto y después permitir que un mecanismo secundario de disparo active el detonador (por ejemplo, interrupción de un rayo infrarrojo activo).
- Las limitaciones y desventajas de los RCIEDs que se exponen a continuación, influirán en que el terrorista decida utilizar este tipo de mecanismo de control o no. De acuerdo con ello, los efectivos de las Fuerzas Armadas o de los Fuerzas y Cuerpos de Seguridad del Estado (FCSE), y especialmente los técnicos TEDAX, pueden obtener “indicadores” en cuanto a la probabilidad de que un RCIED sea utilizado en una situación operacional dada:
- Algunos sistemas pueden ser complejos, dependiendo del escenario, y puede requerir una preparación técnica superior a los conocimientos medios de electrónica como para permitir su construcción.
- El RCIED es susceptible de sufrir contramedidas electrónicas y por lo tanto se puede neutralizar sin que el terrorista entienda necesariamente por qué el dispositivo ha fallado.
- Pueden ser influenciados por la climatología. El ambiente electromagnético puede tener un impacto significativo en el alcance efectivo y reducir su eficacia y fiabilidad.
- Están sujetos a interferencias por el uso de la misma frecuencia por terceros, ajenos al acto terrorista, con lo cual, si en el momento del montaje por parte del terrorista existiera alguna otra persona utilizando un aparato en la misma frecuencia que el terrorista (por ejemplo dispositivo de apertura de garajes), esto activaría el artefacto con la posible muerte/daño del terrorista. Por ello, el terrorista busca frecuencias poco utilizadas, lo que también puede favorecer la detección previa o inhibición.

- Dependiendo del tipo de sistema de radiofrecuencia usado, se puede necesitar una visión directa entre el equipo que transmite y el equipo de recepción.
- Dependiendo del tipo de equipo de radiofrecuencia utilizado, la distancia entre el transmisor y el equipo de recepción puede ser pequeña, aumentando el riesgo de lesión o de la captura del activista/terrorista.
- En algunos casos, puede haber un retraso inherente en la operación de los sistemas de RCIED. Esto hará difícil cualquier ataque contra blancos rápidos. Este retraso se puede neutralizar mediante el uso de obstáculos que retarden la velocidad del movimiento del blanco o aumentando el tamaño o la extensión de la carga principal para aumentar la zona de la mortalidad del IED. Este es el caso del “encadenamiento de margarita” de IEDs juntos, para aumentar su efecto sobre un área más amplia, como táctica empleada frecuentemente en escenarios de operación extranjeros contra tropas militares. En la figura 11 puede observarse un ejemplo de este tipo.

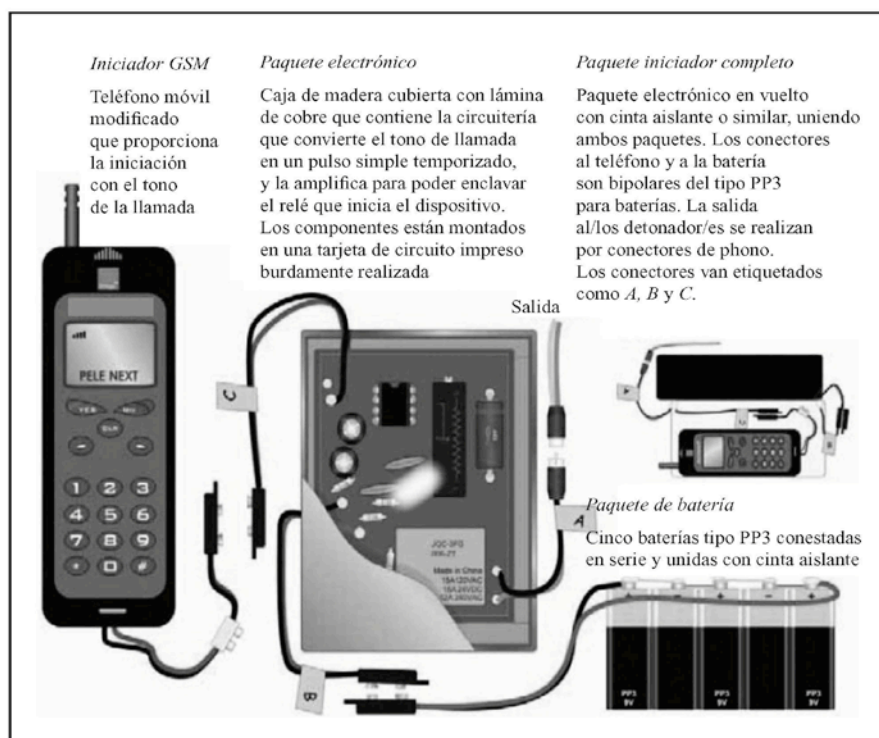


Figura 11.— IED accionado por control remoto mediante teléfono móvil. (Adaptado de AC/ 259-D (2004)0037 NIAG-D(04)09, volumen III OTAN).

CLASIFICACIÓN POR EL MODO DE PRESENTACIÓN DEL IED

PERSONA SUICIDA - IEDs

Los suicidas cargados con explosivos son una amenaza en aumento y constituyen un porcentaje alto de los ataques terroristas radicales islámicos (tales como Al Qaeda); son considerados por los terroristas como una estrategia política muy eficaz contra las sociedades democráticas y que sus efectos pueden influir en la política mundial.

El suicida con explosivos es probablemente la amenaza que plantea el problema más desafiante porque:

- Generalmente el blanco es un punto densamente poblado.
- Los equipos de reacción son asimismo un blanco adecuado para los terroristas.
- La política a aplicar en este asunto es emotiva y cargada de difíciles opciones para los gobiernos, las autoridades locales y los mandos de las Fuerzas Armadas/FCSE.
- La alta concentración de personas en el “blanco” en sí mismo es una dificultad añadida para manejar la situación por parte de los equipos de reacción.
- La naturaleza del patrón observado en los múltiples ataques de terroristas suicidas plantea aún más desafíos. Otros tipos de terroristas evalúan negativamente el que puedan resultar muertos o dañados bien al iniciar sus dispositivos en las inmediaciones o como víctimas del ataque, pero los terroristas suicidas consideran que el ataque suicida es una herramienta de mayor impacto social y político, que puede contribuir más eficazmente a cambiar políticas gubernamentales.
- Un elemento inherente de los ataques suicidas es el disfraz (que oculta el equipo).

Los ataques terroristas suicidas tienen las características siguientes:

- El sistema de ignición es generalmente un interruptor simple (pulsador, tirador o eje de balancín), accionado por el mismo terrorista. Puede también tener un modo de reserva, usando un dispositivo de mando a distancia activado por otro terrorista a cierta distancia. En caso de que el terrorista tema ser abatido por las fuerzas de seguridad antes de ser capaz de accionar la bomba, puede utilizar un interruptor tipo “hombre muerto” (el detonador se activa si se suelta el interruptor).
- El explosivo se esconde, por lo general, debajo de una chaqueta o en un petate/mochila. Se llena generalmente con fragmentos adicionales (metralla) o con materiales no convencionales (amenazas biológicas, en este caso conocido como “bombas sucias”) para aumentar el número de víctimas. El tamaño de la bomba depende del objetivo, del grado de vigilancia y de las medidas de seguridad antes de alcanzar el blanco.

- Los terroristas suicidas son muy difíciles de detectar porque, como se ha mencionado en el párrafo anterior, se disfrazan para asemejarse a la muchedumbre. Además, y cada vez más frecuentemente, mujeres, niños y ancianos son utilizados en este tipo de ataques, haciéndolo aún más difícil de detectar.
- Por el contrario, si se aprovecha la característica del vestuario como elemento discriminatorio, dependiendo de la época del año, puede ser una característica indentificativa: siempre van a aparecer con vestimenta para camuflar su actividad. Así, por ejemplo una persona con gabardina en época de calor y en un lugar proclive al terrorismo puede, como mínimo, levantar sospechas. En la figura 12 puede observarse un ejemplo de este tipo.

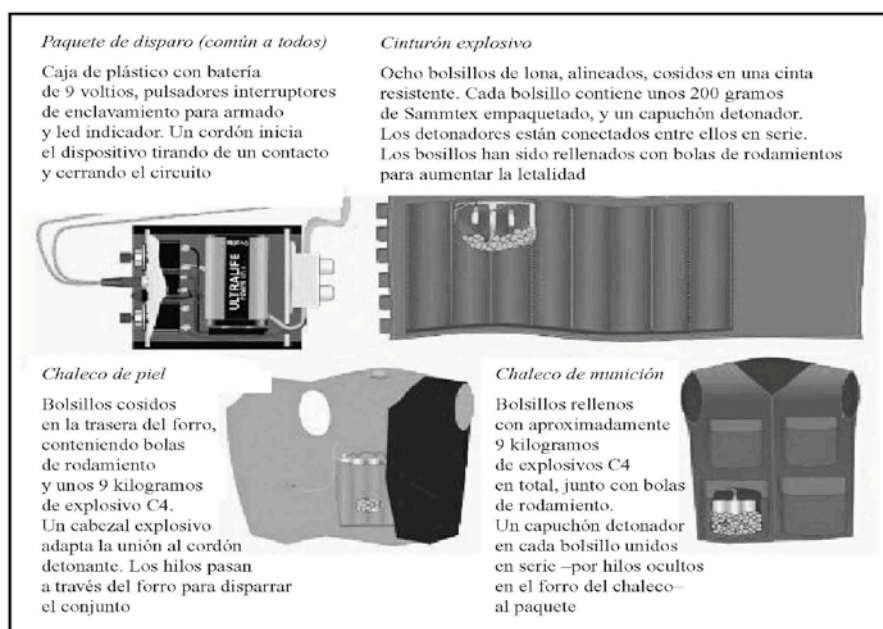


Figura 12.— Prendas de un IED suicida. (Adaptado de AC/259-D(2004)0037 NLAG-D(04)09, volumen III, OTAN).

VEHÍCULO BOMBA (INCLUIDO COCHE BOMBA SUICIDA) VBIED VBIED(1)

Como se ha dicho anteriormente, un VBIED se define como cualquier IED oculto en un vehículo terrestre (coche, camión, moto, carro, etc.). Los blancos de un VBIED son a menudo infraestructuras o convoyes. El ataque puede ser estático: el VBIED se aparca cerca del blanco o a lo largo del itinerario antes de la explosión; o dinámico: el VBIEDs se acerca al blanco a poca velocidad y acelera cuando está cerca del punto de acceso o del convoy para eludir contramedidas o penetrar a través de las fuerzas de la seguridad.

El sistema de iniciación puede variar dependiendo del tipo de ataque: temporizado o remoto si es un ataque estático; activado por el conductor o accionado por control remoto (como modo de reserva) si es un ataque suicida.

El VBIED es el tipo más común en los ataques terroristas (como se ha visto frecuentemente en el escenario nacional) porque tiene las siguientes ventajas:

- Al contrario que los IED(1) independientes, que tienen que ser transportados personalmente para ser colocados previamente a la explosión, el VBIED puede contener y transportar una gran cantidad de explosivos, de forma que aumenta la letalidad y la zona de acción del ataque terrorista. Dependiendo del tamaño del vehículo, la cantidad de explosivo puede variar desde unos 100 kilogramos hasta varias toneladas (para un camión), como se puede ver en el cuadro orientativo del cuadro 4, p. 00.
- Por consiguiente, los coches bomba causan efectos espectaculares que son divulgados siempre por los medios de comunicación (lo cual es uno de los objetivos principales de los terroristas).
- Puede causar daños grandes a las infraestructuras, lo que hace que no sea despreciable el daño financiero a la víctima (los daños del ataque a la T4 del Aeropuerto de Madrid en diciembre de 2006 se valoraron en unos 35 millones de euros).
- Un IED en un vehículo puede ser escondido fácilmente. Es móvil y no atraerá la atención, consiguiendo anonimato en una gran ciudad.
- En el caso de los coches bomba suicidas (VBIED (1), la gran energía cinética del vehículo a alta velocidad permite que el terrorista alcance el blanco pasando a través de las fuerzas de la seguridad o de los puntos de control, incluso aunque hayan sido abatidos (por ejemplo 241 víctimas en el ataque al cuartel de los *US-Marines* en Beirut-Líbano).
- El propio vehículo actúa como potenciador de efecto, generando metralla. En la figura 13 puede observarse un ejemplo de este tipo.

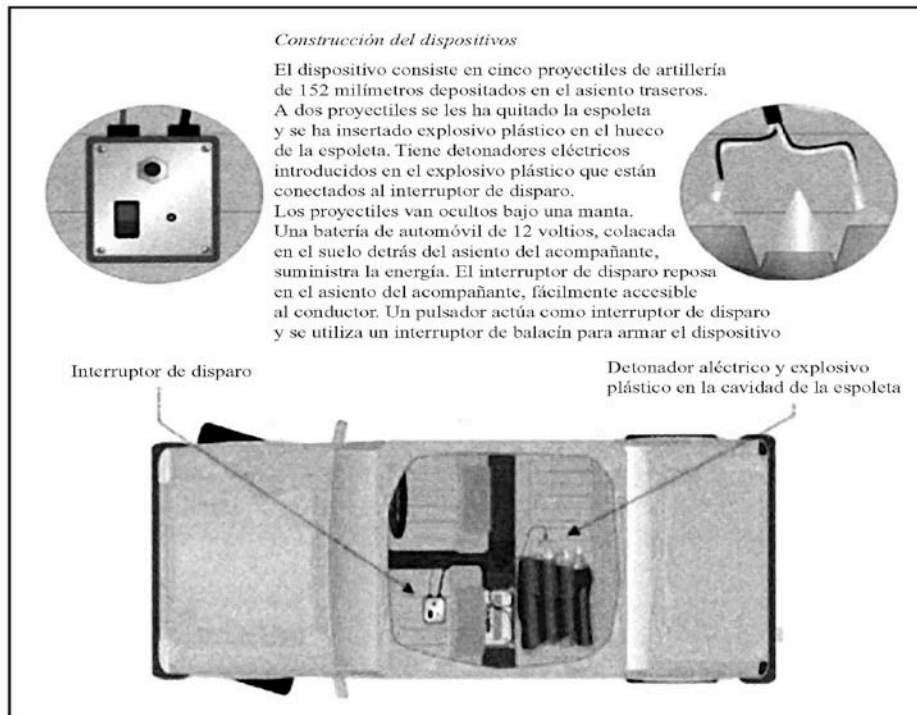


Figura 13.— VBIED. (Adaptado de AC/259-D(2004)0037 NIAG-D(04)09, volumen III, OTAN).

PROPULSADOS IPIED (IMPROVISED PROJECTILE IED)

Este tipo lo consideraremos genérico para que englobe todos los IEDs que se basen en lanzar el proyectil improvisado contra el blanco. Aunque está considerado como IED, está muy próximo a las armas convencionales (y de hecho suele ser munición de artillería modificada). Podemos incluir los siguientes subgrupos:

- IFIED: IED activado por espoleta.
- IRD: IED cohete.
- IMD: IED mortero.
- IRPG: IED de granada Impulsada por cohete.

Se utilizan típicamente contra infraestructuras y convoyes (durante emboscadas).

EN VEHÍCULO NO TRIPULADO UVIED (UNMANNED VEHICLE IED)

Este tipo comprende los IEDs que son llevados en vehículos o plataformas sin tripulación y accionados por control remoto. Pueden estar contruidos a partir de modelos de coches, barcos o aeromodelos. Aunque su uso no es muy frecuente, la tendencia será al aumento de la presencia de este tipo de amenaza. Se divide en tres subgrupos:

- UGVIED: IED en Vehículo Terrestre no Tripulado.

- UAVIED: IED en Vehículo Aéreo no Tripulado.
- UBIED: IED en Barco no Tripulado.
- Las ventajas tácticas principales de esta amenaza son:
 - Dispositivo pequeño difícil de identificar y de seguir.
 - Es un ataque dinámico que desafía seriamente las medidas de seguridad.
 - El terrorista podrá controlar el sistema desde una distancia de seguridad y, por tanto, no será necesaria una acción suicida.
 - Pero también hay severas limitaciones para el uso de tales dispositivos:
 - La complejidad del sistema y de las habilidades requeridas para operarlo.
 - Si se basa en sistemas de modelos de radio control, la cantidad de explosivo estará limitada, y por consiguiente, el efecto también será limitado.
 - Su fiabilidad se asume que será baja porque el dispositivo de radio control se puede interferir fácilmente por el entorno electromagnético.

La organización terrorista palestina Hamas ha demostrado, no hace mucho tiempo, que pueden operar con plataforma no tripulada de bajo coste contra Israel. Por tanto, se espera una tendencia en aumento del uso de tales dispositivos para acciones terroristas, tanto del tipo IED como otras amenazas potenciales, en áreas civiles o a infraestructuras. En España también existen ejemplos de actuaciones por parte del GRAPO con este método.

Frecuencia de los IEDs por tipo

En términos de frecuencia, el cuadro 5 muestra qué tipos de transporte, colocación o control se emplean por los terroristas en un escenario de conflicto potencial para nuestras Fuerzas Armadas. Este cuadro y la figura 14 proporcionan una visión general de lo que parece la amenaza en relación a los IEDs. Los datos no proceden directamente de una base de datos exhaustiva, sino que son una aproximación deducida de fuentes abiertas que se da como referencia cualitativa. Las cifras se deben contemplar con reserva ya que los terroristas adaptan siempre sus tácticas y procedimientos según las técnicas de contramedidas, así que pueden (y seguro será así) evolucionar.

A modo de resumen de las descripciones y esquemas de los apartados anteriores, en el cuadro 6 se muestra describe la configuración típica, a grandes rasgos, de cada clase de IED.

Cuadro 5.— Frecuencias de aparición de los diferentes tipos de IED (datos hasta el año 2005).

Tipo de IED	Subgrupo	Frecuencia (porcentaje)	Frecuencia (subgrupo) (porcentaje)	Objetivos o tácticas más probables
TIED		10		Infraestructuras, zonas públicas, como segunda alternativa.
VOIED		3		Asesinatos, segunda alternativa (contra equipos TEDAX) y convoyes.
GCIED	CWIED RCIED	45	7 38	Emboscadas, convoyes, infraestructuras y zonas públicas.
IEDs		2		Zonas públicas (masacres).
VBIED	VBIED VBIEDs	25	17 8	Zonas públicas (masacres), infraestructuras, convoyes y controles de seguridad.
IPIED		15		Infraestructuras y emboscadas.
UVIED		< 1		Ataques a barcos y infraestructuras.

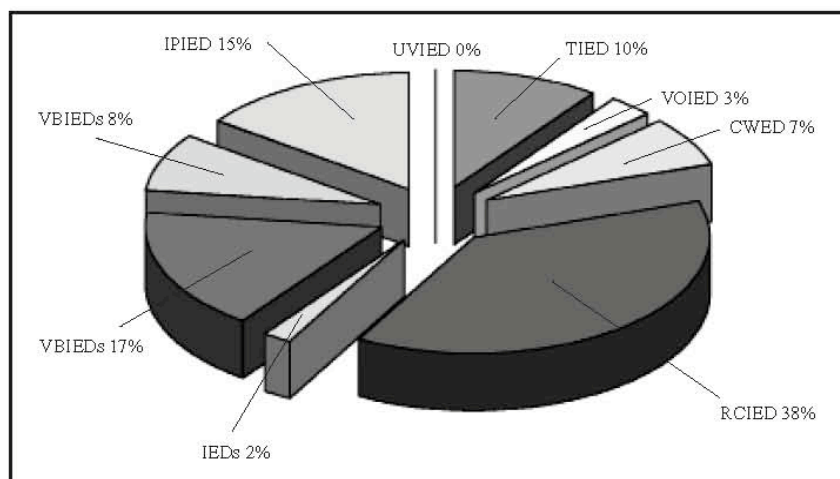


Figura 14.— Frecuencia de incidencia de IEDs. (Adaptado de AC/259-D(2004)0037 NIAG-D(04)09, volumen III, OTAN).

Cuadro 6.— Composición de IEDs (datos hasta el año 2004). (Adaptado de AC/259-D(2004)0037 NLAG-D(04)09, volumen III, OTAN).

Tipo	Probabilidad (porcentaje)	Tipo de disparador	Volumen promedio (aproximado) (L)	Explosivos		Confinamiento	
				Tipo	Masa (aproximada) (kilogramos)	Tipo	Masa (aproximada) (kilogramos)
TIED	10	Reloj	2-5	Caseros y militares	2-3	Envuelta metálica	1
VOIED	3	Múltiple	2-5	Militares y caseros	2	Envuelta metálica	Algunos
CWIED	7	Mecánico	15-100	Militares	10 a algunos cientos	Proyectiles metálicos	5-35
RCIED	38	Circuito RC	15-100	Militares, civiles, y caseros	10 a algunos cientos	Proyectiles metálicos	5-35
IEDs	2	Mecánico	1-5	Semtex, C4 y PETN	0,5 a 10	Sin confinar, normalmente	Hasta 10
VBIED	17	Múltiple (principalmente cableado)	Cuadro 4, p. 00	Mezclas de nitrato amónico y explosivo militar (típicamente TNT), ANFO casero	50-100	Envuelta metálica, proyectiles de artillería	2-5
VBIEDs	8	Múltiple (principalmente cableado)	Cuadro 4, p. 00	Nitrato amónico, militares y caseros	Algunos cientos	Normalmente el propio vehículo	Decenas
UVIED	0	Circuito RC	Máxima 5	N/A	Algunos	Envuelta metálica	Algunos
IPIED	15	Reloj, mecánico (espoleta)	10-15	Militar	10-20	Envuelta metálica	1-5

Notas finales

ESPECIFICIDAD DE LA AMENAZA

En los apartados anteriores se han mostrado de forma genérica diferentes formas de materializar la amenaza a través de los diferentes tipos de IEDs descritos en este capítulo, pero a la hora de sufrir un ataque terrorista, estos tipos genéricos de IEDs hay que encuadrarlos en el escenario real y específico del ataque.

Por ejemplo, el tipo de amenaza: IED accionado por control remoto (GCIED/RCIED) tendría un escenario específico de Ataque a un convoy (o a una patrulla motorizada, tanto de las Fuerzas Armadas, como de las FCSE); por el contrario, la amenaza: IED UVIED/UAVIED sería un ataque muy raro en este escenario. Sin embargo, aun así cabría plantearse si esta amenaza debe considerarse al plantear contramedidas de protección de infraestructuras. En realidad, podría suceder dicho ataque, aunque no sea típico, ya que la amenaza siempre está en continuo desarrollo y evolución. Otro ejemplo: un dispositivo accionado por control remoto, RCIED, en el escenario de protección de infraestructuras, puede no ser frecuente como amenaza de la protección perimetral, pero podría ser un dispositivo que un terrorista suicida lleve con él como método de reserva.

Es por lo tanto crítico analizar qué posibilidades podrían estar presentes, desde el punto de vista de la amenaza, en cada situación particular y específica. A ello se dedicará el apartado «Protección de convoyes o vehículos en movimiento», p. 00.

DETECCIÓN DE LA AMENAZA

La descripción de la amenaza llevada a cabo en este análisis permite aplicar técnicas de detección de los artefactos explosivos de acuerdo con el esquema que se muestra en la figura 15 (aunque otros podrían ser también válidos). De acuerdo con él, se plantean tres niveles de detalle para determinar las técnicas de detección aplicables:

- Primer nivel (enfocado a qué parte del IED se detecta).
- Segundo nivel (enfocado al método de detección).
- Tercer nivel (enfocado al detalle tecnológico o principio físico).

El análisis de estas técnicas se desarrolla en «Análisis de tecnologías y medios de detección», p. 00.

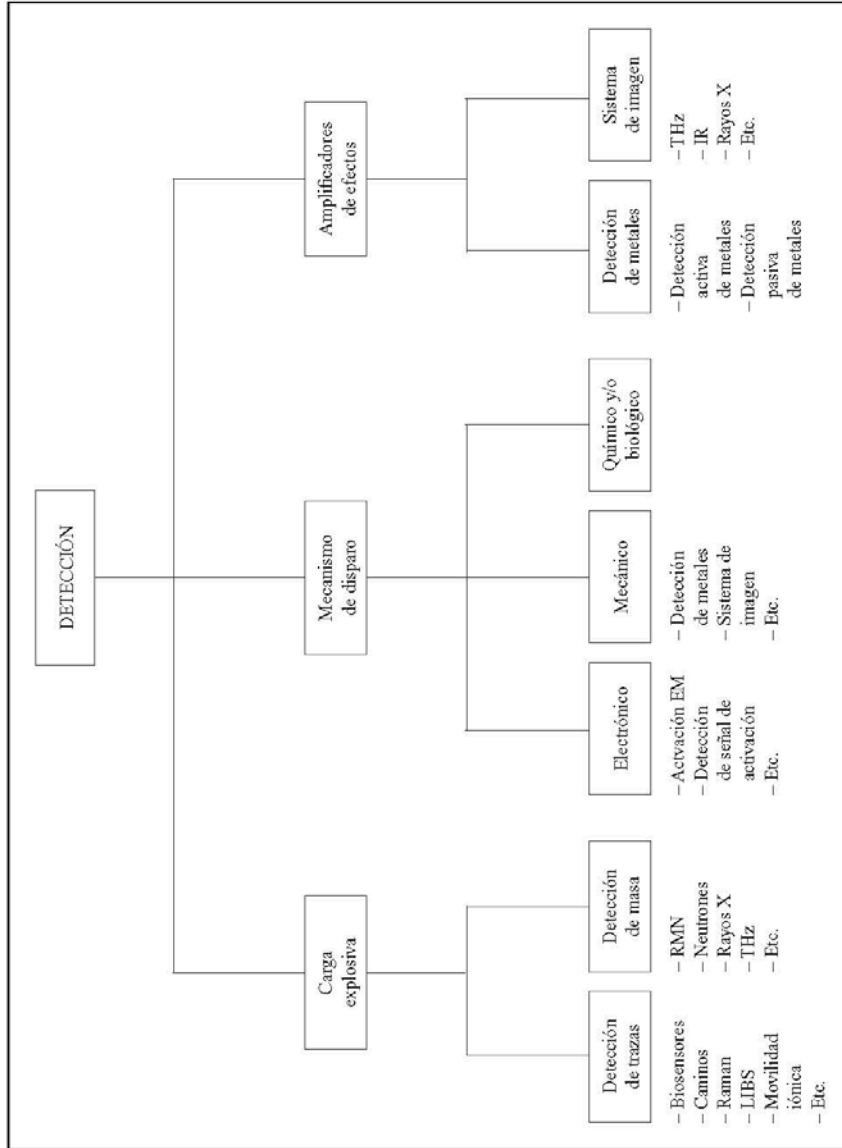


Figura 15.— *Detección de IEDs.*

ANÁLISIS DE TECNOLOGÍAS Y MEDIOS DE DETECCIÓN

Introducción

El análisis de las posibilidades que ofrece la tecnología para la detección de IEDs debe combinarse con los escenarios que definen las condiciones de operación de esa tecnología. Estos escenarios se contemplan desde dos entornos de operación:

- Entorno exterior, en el que actúan nuestras Fuerzas Armadas, fuera del territorio nacional.
- Entorno interior, en el que actúan las Fuerzas y Cuerpos de Seguridad del Estado (FCSE), dentro del territorio nacional.

En este capítulo se pasa revista en primer lugar a las distintas tecnologías (apartado «Detección en entornos abierto», p. 00) y posteriormente a los escenarios en que estas tecnologías deben aplicarse (apartado «Protección de convoyes o vehículos en movimiento», p. 00).

ESCENARIO EXTERIOR

La intervención exterior de las Fuerzas Armadas afronta las siguientes características:

- Combates de media intensidad con alta letalidad.
- Operaciones de Paz (PSO, en su acepción internacional).
- Ayuda humanitaria.

Dicho entorno de operación (entendiéndolo como escenario o teatro de operaciones) de nuestras Fuerzas Armadas en el extranjero está geográficamente muy extendido, figura 1) lo que hace que no sea homogéneo, pero en los sitios de mayor riesgo podemos decir que la amenaza se caracteriza por ser asimétrica y, generalmente, encuadrada en

un entorno urbano (de difícil geografía, con infraestructuras de interés, etc.), que podemos caracterizar por:

1. Entono urbano:

- Presencia de población civil.
- Bloques de edificios.
- Multidimensional (callejuelas que facilitan el uso de artefactos trampa, túneles, edificios e instalaciones).
- Infraestructuras civiles.

2. Fuerzas irregulares:

- Desproporción de víctimas fuerzas regulares/fuerzas irregulares.
- Estrategias asimétricas.
- Uso de una gran variedad de armamento para lucha en entornos urbanos.
- SAM (Misiles Tierra-Aire).
- Armas contra-carro.
- Francotiradores.
- Armas automáticas.
- RPG (Granadas Propulsadas por Cohete).
- Morteros.
- IED y minas.
- Difícilmente diferenciables de la población civil.

3. Amenaza, típica de entornos urbanos:

- Francotiradores actuando en bloqueos de carreteras, puestos avanzados, centinelas y personal general.
- Ataques a vehículos y edificios con cohetes y morteros.
- Colocación de IEDs, tanto con un objetivo específico como aleatorio, para producir confusión y destrucción, y de paso, minar la moral de la población.
- Emboscadas a patrullas (tanto con IEDs como convencionales) y fuego contra helicópteros; es común encontrar en este escenario RPGs.

- La táctica preferida por fuerzas paramilitares en entornos urbanos son emboscadas del tipo “atacar y correr” realizadas en pequeños grupos.



Figura 1.— Misiones españolas en el exterior.

Estos escenarios podrían condensarse, particularizando para este estudio centrado en los IEDs descritos en detalle en «Análisis de la amenaza», p. 00, en los siguientes escenarios clave:

- *Check Point.*
- Instalaciones de cargo.
- Ataques de IED en carreteras.
- Etc.

ESCENARIO INTERIOR

Por lo que respecta a la seguridad interior, las incidencias tienen las siguientes características:

- Artefactos reales: en los que se agrupan los artefactos de autoría terrorista, ya sean explosivos, incendiarios o combinación de ambos, así como cohetes, granadas, proyectiles o cualquier otro tipo de artefacto utilizado por grupo terrorista nacional o internacional, así como la requisa.

- Amenazas de bomba: aviso de colocación de bomba que, debido a diversas motivaciones, se produce por medio oral, escrito o telefónico.
- Falsas alarmas: resultado que se produce cuando, como consecuencia de una alarma o amenaza de bomba, éstas resultan falsas después de ser convenientemente investigadas.
- Artefactos simulados: aquel objeto que se halla dispuesto y colocado de tal manera que su objetivo es inducir error y causar la alarma que produciría un artefacto explosivo.
- Búsquedas preventivas: actuación que se realiza para comprobar si en el lugar investigado existe o no algún artefacto explosivo, incendiario o Nuclear, Radiológico, Biológico y Químico (NRBQ), como medida previa, sin que haya amenaza ni otro motivo de sospecha
- Incidencias NRBQ: actuación que se lleva a cabo ante la presencia de agentes NRBQ.
- Incidencias en colaboración: actuación que se lleva a cabo en colaboración con otros FCSE.
- En el cuadro 1 y la figura 2 se muestran las amenazas por IED en el año 2007 en España (los datos corresponden al Cuerpo Nacional de Policía).

Tecnologías

Se pueden definir las tecnologías como el conjunto de teorías y de técnicas que permiten el aprovechamiento práctico del conocimiento científico. Dentro del alcance del presente trabajo, se ha realizado un ejercicio de identificación de las tecnologías útiles en la detección de artefactos explosivos. Dando continuidad a los criterios establecidos en el «Análisis de la amenaza», p. 00, para la descripción de los artefactos, se ha adoptado una clasificación de estas tecnologías en función de las partes del artefacto que detectan. Así, un primer grupo de tecnologías se han agrupado en torno a la detección del mecanismo de armado y disparo, un segundo grupo a la detección de la carga (explosiva), y un tercer grupo dedicado a aquellas tecnologías dedicadas a partes no específicas o fundamentales, o que abarca el artefacto globalmente. En un segundo nivel de clasificación se han separado las tecnologías en un mayor detalle según el tipo de componente que detectan dentro de cada parte del artefacto, o cómo lo detectan. Por último, se señalan los conjuntos de tecnologías que se basan en principios del mismo tipo

(por ejemplo, químico, biológico, etc.). En la figura 3, p. 00, se detalla la clasificación en forma de esquema en árbol.

Cuadro 1.— . Amenazas de IEDs en el año 2007 en España (Cuerpo Nacional de Policía).

Meses	Tipo de incidencia							Total
	Búsqueda preventiva	Falsa alarma	Amenaza de bomba	Artefacto simulado	NRBQ	Artefacto real	Incidencia de colaboración	
Enero	885	56	17	0	1	45	18	1.022
Febrero	944	39	15	2	0	54	16	1.070
Marzo	1.068	36	8	1	1	46	1	1.161
Abril	1.083	48	7	0	0	58	4	1.200
Mayo	1.188	51	5	1	0	55	12	1.312
Junio	1.088	92	10	0	1	49	6	1.246
Julio	1.256	90	8	3	0	44	8	1.049
Agosto	1.310	50	9	0	0	41	23	1.433
Septiembre	984	50	5	0	1	42	15	1.097
Octubre	1.000	61	7	0	2	64	27	1.161
Noviembre	981	59	5	1	0	566	9	1.111
Diciembre	755	46	4	1	0	46	19	871
<i>TOTAL</i>	<i>12.642</i>	<i>678</i>	<i>100</i>	<i>9</i>	<i>6</i>	<i>600</i>	<i>158</i>	<i>14.093</i>

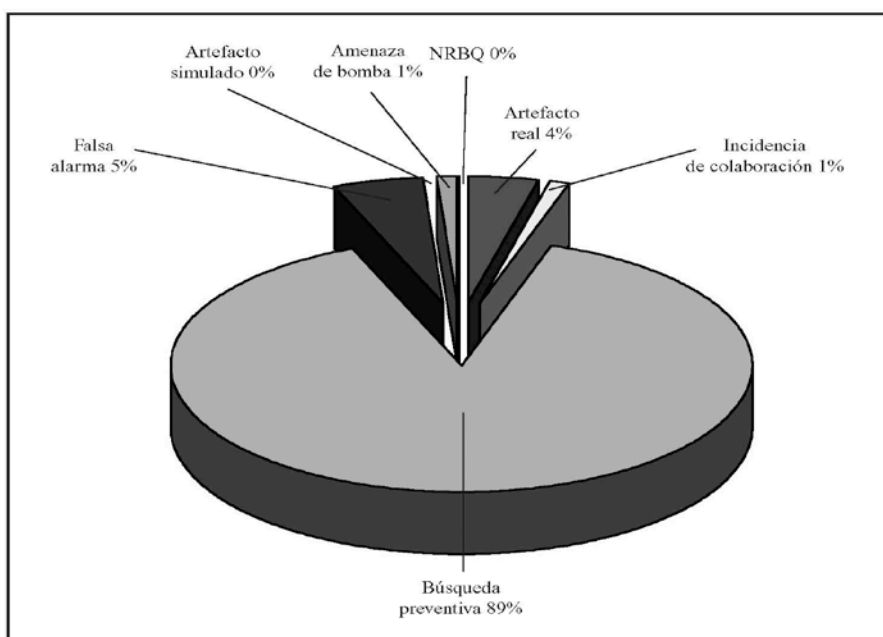


Figura 2.— Amenazas de IEDs en el año 2007 en España; los datos de este gráfico son los del cuadro 1.

Algunas de las tecnologías tienen cabida en más de un apartado de la clasificación. Se han reflejado, por tanto, donde se han considerado de aplicación. A continuación se expone una breve introducción sobre cada uno de los grupos de tecnologías; para cada una de ellas se da información detallada en forma de ficha en el anexo, p. 00.

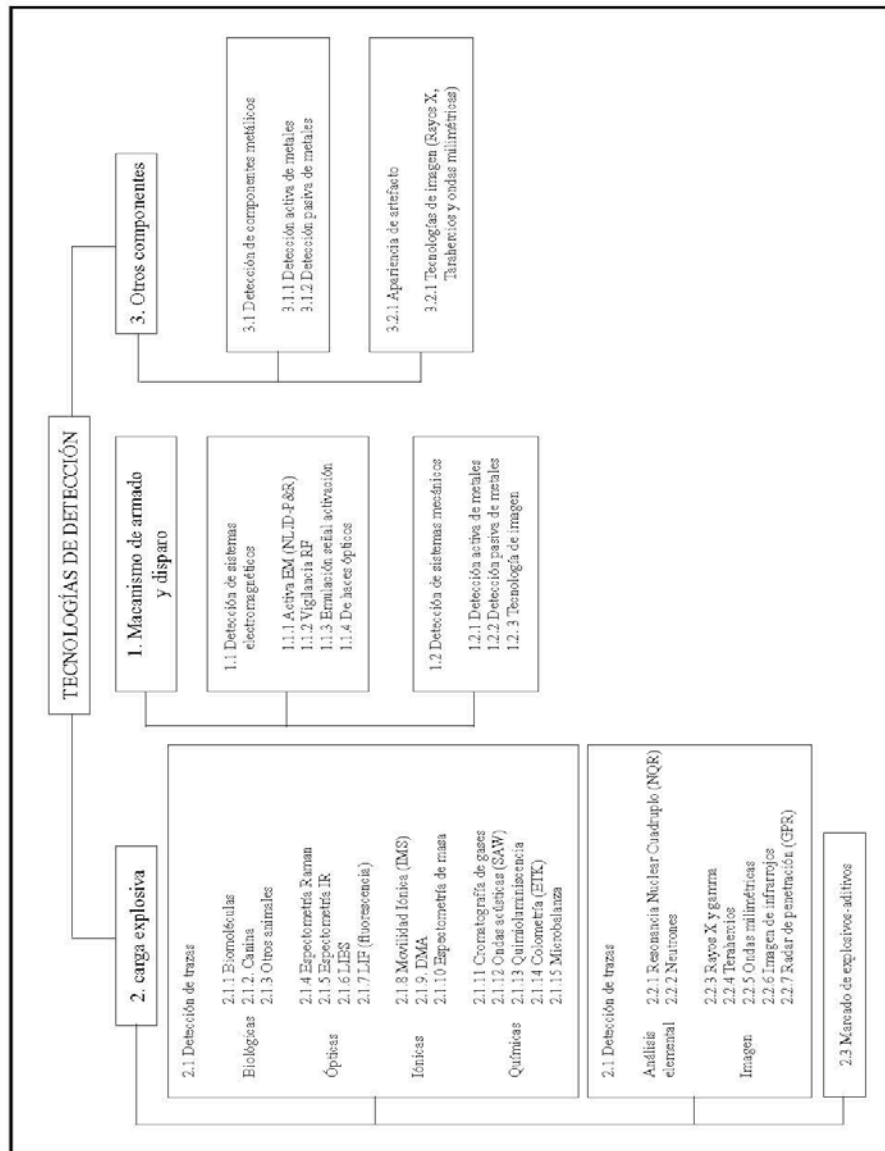


Figura 3.— Tecnologías aplicables a la detección de artefactos explosivos.

TECNOLOGÍAS DE DETECCIÓN DEL MECANISMO DE ARMADO Y DISPARO

DETECCIÓN DE SISTEMAS ELECTROMAGNÉTICOS

Las tecnologías en este apartado detectan el artefacto a través de sus emisiones electromagnéticas, ya sea de las que genera el propio artefacto, o de respuestas a emisiones específicas. Es el caso de la interceptación o detección de transmisiones al artefacto de señales de armado o disparo, de detección de elementos electromagnéticos que actúan como disparador, o de la respuesta provocada por la electrónica del mecanismo.

DETECCIÓN DE SISTEMAS MECÁNICOS

En la detección de sistemas mecánicos se engloba todo lo que comprende la detección de elementos de mecanismo de armado y disparo debido a su propia presencia, identificando la materia del mecanismo. Abarca las tecnologías que proveen imágenes y aquellas que detectan la presencia del mecanismo debido a sus componentes metálicos o revelando diferencias en la materia respecto a su entorno.

TECNOLOGÍAS DE DETECCIÓN DE LA CARGA EXPLOSIVA

DETECCIÓN DE TRAZAS

Las tecnologías de detección de trazas identifican explosivos mediante el análisis de muestras. Analizan los rastros que dejan los explosivos en forma de partículas o por los vapores que generan. Para su funcionamiento requieren la adquisición física de pequeñas muestras de material seguida de su separación y análisis. Las trazas de explosivos suelen estar presentes en el aire en forma de vapor o sobre superficies en estado líquido o sólido. Se basan, por una parte, en el hecho de que todo material tiene una determinada presión de vapor, esto es, que a su alrededor se puede encontrar material en forma de vapor en cierta cantidad. En algunos casos la cantidad de vapor es tan pequeña que se requieren tecnologías con una sensibilidad y una especificidad muy altas. Por otra parte, al manipular explosivos quedan rastros en manos, ropas, bolsas, envoltorios, etc. que incluso en pequeñas cantidades es posible detectar.

Entre estas tecnologías se encuentra el olfato de los animales, así como las “narices electrónicas” que pueden emplear diversas técnicas. Los principios que emplean las tecnologías de detección de trazas pueden ser muy diversos, detectando los explosivos por medio de espectrometría, mediante mecanismos biológicos, a través de sus propiedades físicas mediante ionización, o por análisis químicos.

DETECCIÓN DE MASA

Por la detección de masa se entiende la clasificación como explosivo de cantidades macroscópicas de una materia. Podemos dividirlos en aquellas tecnologías que realizan un análisis químico elemental de la masa en cuestión, y aquellas que proveen una imagen que además puede facilitar información adicional.

Las tecnologías de análisis químico elemental dan información sobre la composición elemental de la materia que, mediante una serie de algoritmos permiten identificar los materiales de interés.

Las tecnologías de imagen, muy extendidas, proporcionan imágenes de los objetos normalmente ocultos (en bultos, bajo la ropa, enterrados, etc.). Este último caso puede ser el de determinadas tecnologías de Rayos X y gamma que permiten generar una imagen del objeto a través de otros materiales, y además, categorizar su densidad permitiendo una clasificación del tipo de material de que se trata.

MARCADO DE EXPLOSIVOS–ADITIVOS

La idea de añadir algún tipo de aditivo a los explosivos para facilitar su detección o identificación, surge en Estados Unidos hace unos 25 años por iniciativa tanto de las autoridades militares como civiles. En el sector de los explosivos a este tipo de aditivos se les conoce como *taggants*, expresión inglesa que puede traducirse más o menos por trazador o identificador.

En función del momento o la forma en que los *taggants* proporcionen la información cabe clasificarlos en los siguientes grupos:

- *Taggants* para la detección de explosivos.
- *Taggants* para la identificación del origen de explosivos, pudiendo subdividirse estos a su vez en:
 - *Taggants* posexposición
 - *Taggants* preexplosión

Taggants para la detección de explosivos A este tipo de *taggants* pertenecen las sustancias añadidas en muy pequeña cantidad al explosivo para facilitar su detección. si bien en el plano teórico-experimental se han definido distintos *taggants* de este tipo, en función del medio o la forma en que se hacen presentes para ser detectados, en la práctica solo se están utilizando, y de forma muy limitada, los del tipo “olfativo”.

Se han sugerido alternativas técnicamente mejores y más fiables, que no han prosperado debido a los problemas que su uso podría ocasionar. a esta categoría pertenecerían los isótopos radioactivos de baja intensidad, que si bien técnicamente cabría considerarlos como una opción seria a considerar, están prácticamente descartados debido a los problemas de salud, medioambientales o incluso de rechazo social a que podrían dar lugar.

Los *taggants* de tipo olfativo surgen debido a que muchos de los explosivos convencionales están constituidos por componentes con muy baja presión de vapor, lo que les hace intrínsecamente poco detectables. se trata por tanto de añadir en la composición del explosivo, en muy pequeña cantidad, una sustancia muy volátil que permita la detección, bien mediante perros adiestrados bien mediante el uso de equipos electrónicos de detección (narices electrónicas).

El uso de este tipo de *taggants* en explosivos es muy poco común, limitándose en la práctica a los explosivos plásticos fabricados en los países firmantes del convenio de Montreal de 1991, al que España se adhirió en diciembre de 1998. No obstante, es posible que constituya una línea de acción futura.

Ejemplos de estos *taggants* son el paramononitrotolueno (p-mnt), el orto-mononitrotolueno (o-mnt), el dinitrato de etilenglicol (egdn) o el dimetildinitrobutano (dmnb).

Taggants para la identificación del origen del explosivo

Taggants post-exposición. A este tipo de *taggants* pertenecen aquellas sustancias o productos que se añaden al explosivo al objeto de poder obtener información sobre el origen del mismo, una vez que el explosivo ya ha explotado.

Este tipo de *taggants* se comercializan bajo distintas concepciones técnicas, si bien siempre se trata de productos o sustancias resistentes a la explosión y que por tanto quedan en el lugar donde se produce la misma, pudiendo ser recogidos y posteriormente analizados por las FCSE.

La forma de recoger estos *taggants* y la forma en que facilitan la información puede diferir según el tipo empleado, si bien se suelen utilizar micropartículas o ciertos materiales que proporcionan un código microscópico de colores que a su vez se correlaciona con los registros que mantienen los fabricantes en cuanto a los clientes destinatarios de cada código específico.

Debido a los costes y problemas operativos que para los fabricantes de los explosivos supone cada cambio del código de colores, la información que actualmente proporcionan este tipo de *taggants* en Suiza, que es el único países en donde se utilizan por motivos reglamentarios obligatorios, son el fabricante y el año de fabricación del explosivo.

Taggants preexplosión. Este subgrupo no encaja exactamente en la definición que se ha hecho de los *taggants*, ya que se refieren a información y codificaciones que se plasman en el propio explosivo mediante etiquetas, códigos de barras o similares. No obstante es oportuno incluirlo aquí por su importancia actual y, con toda probabilidad, futura.

Su objetivo es determinar con la mayor precisión posible el origen de un explosivo, bien incautado en una operación policial bien recuperado del lugar de un atentado fallido por no haber detonado.

En la mayoría de los países que exigen actualmente este tipo de marcado en los explosivos, la información proporcionada permite acotar su origen en unos pocos o en algunos clientes, lo que indudablemente facilita las pesquisas policiales, pero que no es suficientemente concluyente.

A raíz de los atentados del 11 de marzo en Madrid, la Unión Europea decidió definitivamente apostar por la línea de los *taggants* pre-explosión, pero llevada a su máximo extremo de precisión. Para ello desarrolló una Directiva sobre identificación y trazabilidad de explosivos (Directiva del Consejo 2008/43/CE, de 4 de abril) de aplicación obligatoria a todos aquellos comercializados en su territorio. Dicha Directiva obliga a identificar mediante un código individualizado cada cartucho de explosivos, cada detonador, cada 5 m de cordón detonante, etc., al objeto de poder determinar con total exactitud su origen. Esta Directiva entrará en vigor en abril del año 2012.

Utilidad práctica de los taggants

En cuanto a los *taggants* para la detección de explosivos, han sido muchos los intentos por parte de las autoridades de muchos países de abordar el tema con el objetivo final de hacerlos de uso obligatorio. Dichos intentos se repiten periódicamente, normalmente a raíz de la materialización de un atentado terrorista con explosivos, de dimensiones relevantes, soliendo tomar la forma de líneas prioritarias de investigación tendentes a desarrollar *taggants* de detección adecuados, esto es, aquellos que cumplan todas y cada una de las siguientes premisas:

- Ser estables en los explosivos.

- Muy baja tasa de falsos positivos.
- Coste bajo.
- No tóxicos o peligrosos.
- Pervivencia a largo plazo.

En cuanto a los *taggants* posexposición su utilidad práctica es muy escasa o casi nula a pesar de que periódicamente también se debata internacionalmente sobre ello. Hay quien ve la posición de Suiza más como una barrera proteccionista en favor de los fabricantes de ese país que una medida real y práctica de seguridad.

El motivo no es otro que la poca información que proporcionan, ya que conocer quien ha fabricado el explosivo utilizado en un atentado o en que año se fabricó, son datos de un escaso valor, pues hacen muy difícil por no decir prácticamente imposible determinar su origen con un mínimo de precisión. Además, suele ocurrir que en los escombros producidos en un atentado hay productos obtenidos mediante el empleo de explosivos (granitos, cemento etc.) en los que también podría haber los correspondientes *taggants*, lo que daría lugar a confusión y/o invalidez de la información proporcionada.

En cuanto a los *taggants* preexposición ya se ha mencionado la Directiva de la Unión Europea sobre identificación y trazabilidad de los explosivos, que se puede considerar al día de la fecha como la más rigurosa y extensa a nivel mundial, en términos de precisión de la información y número de países de aplicación.

OTRAS TECNOLOGÍAS DE DETECCIÓN

En este apartado se han recogido las tecnologías que son aplicables a la detección del resto de componentes de los artefactos explosivos. Se da el caso de que las tecnologías que se han identificado para este fin ya se han expuesto en alguno de los apartados anteriores.

TECNOLOGÍAS PARA LA UBICACIÓN DE ARTEFACTOS: BÚSQUEDA DE LA FUENTE DE “OLOR”

Hasta ahora, en los apartados anteriores se han abordado diferentes técnicas y tecnologías para la detección de artefactos por medio de la detección de algunos de sus componentes y/o características. Para todas estas técnicas el “encuentro” entre el artefacto y el sensor se realiza bien por que este encuentro sea parte del proceso (por ejemplo un punto de control de seguridad), bien por experiencia del operador (un perro guiado por su guía) o bien por simple casualidad.

Sin embargo, una funcionalidad complementaria a la detección es la de seguir un rastro de trazas de explosivo hasta la localización de la fuente de estas trazas, que en nuestro caso podrá ser un artefacto explosivo o el lugar donde estén almacenados explosivos.

Hoy en día esta funcionalidad, con la excepción de los sensores animales (de los que el perro es el mejor exponente), está muy poco desarrollada pese a su importancia y potencial impacto beneficioso en la capacidad final.

Existen varios métodos de rastreo de fuentes de olores –o más particularmente de Artefactos Explosivos Improvisados (IEDs)–. El más extendido, y que usan la mayor parte de los animales (como el perro o el hombre) es el de quimiotaxis o gradiente de concentración. Este método (o algoritmo cuando se trate de simulación numérica) consiste en ir hacia donde la intensidad del olor es mayor. Funciona relativamente bien en los casos en los que el perfil de olor evoluciona lentamente con el tiempo (en comparación con el tiempo de respuesta del animal o robot que busca), es decir, es poco turbulento, y además cuando la relación señal-ruido es alta (la intensidad del olor es fuerte). Numerosos grupos de investigación han trabajado sobre rastreo de fuentes de olor mediante quimiotaxis y se puede considerar que este método está hoy día superado.

Otro método de búsqueda es la memotaxis, que está basado en añadir al detector una cierta memoria del nivel de señal que ha ido midiendo en el pasado más o menos inmediato, de manera que las fluctuaciones estadísticas de señal (ruido) no le hagan tomar decisiones equivocadas. Este método permite reducir sensiblemente el tiempo necesario para encontrar la fuente de olor (o ruido). En España, el equipo del profesor García-Velarde del Instituto Pluridisciplinar de Física de la Universidad Complutense de Madrid trabaja sobre la teoría y la implementación de este tipo de método de búsqueda.

Por último, podemos citar la infotaxis como el método de búsqueda más avanzado y novedoso. Este método consiste en maximizar la información obtenida sobre el campo de concentración mediante el equilibrio óptimo entre la exploración (entendida como la búsqueda aleatoria de información) y la explotación de esa información. Este método fue publicado en el año 2007 y es el que mejores resultados ha dado hasta el momento en la búsqueda de fuentes en ambientes turbulentos y con baja relación señal-ruido. En un ambiente turbulento, la búsqueda mediante un algoritmo de quimiotaxis no permite la localización de la fuente ya que existen “manchas” de olor locales que además evolucionan rápidamente.

Resulta relevante y digno de mención que dentro de los muy pocos actores industriales e investigadores trabajando para conseguir esta funcionalidad podemos encontrar a la industria española (RAMEM y SIMPPLE, ver fichas en el apartado «Empresas», p. 00). Estas pequeñas y medianas empresas, que trabajan en colaboración, están dedicando un esfuerzo a estudiar la viabilidad del rastreo mediante técnicas inteligentes de búsqueda de olores. Estos estudios se complementan con experimentación de la idoneidad de los algoritmos y técnicas de búsqueda con demostradores basados en plataformas robotizadas que ofrecerían además una capacidad de movilidad autónoma al rastreo.

Escenarios y tecnologías

En el presente apartado se aborda cómo las distintas tecnologías de detección de explosivos se aplican o pueden aplicarse a las situaciones habituales en las que es necesario su uso. Para ello, se emplearán unos escenarios tipo, es decir, situaciones conceptuales que nos permitan categorizar las actuaciones del personal de seguridad, que empleará unas determinadas tecnologías para la detección de explosivos.

Los escenarios principales que podríamos considerar son:

- Punto de control.
- Detección en entornos abiertos, no intrusa.
- Protección de convoyes o vehículos en movimiento.
- Operaciones de búsqueda.
- Operaciones de desactivación o neutralización de artefactos.

Para cada escenario se presenta una descripción del mismo, las tareas o misiones a realizar por el personal para la detección, y se desglosan las tecnologías aplicables a cada uno, indicando sus niveles de madurez y la proyección tecnológica esperable.

Es importante recalcar que una tecnología por sí misma no garantiza resultados; la aplicabilidad a situaciones concretas, a escenarios, es la que nos permite ver su grado de empleo o de eficacia. Tecnología y contexto van, necesariamente, de la mano. Rayos X, seguramente la tecnología más empleada para detección de explosivos en general, es sin embargo completamente inoperante si se pretende realizar detección a distancia de material explosivo o identificación de trazas depositadas sobre una superficie.

PUNTO DE CONTROL

Se denomina punto de control aquel establecido según un procedimiento de seguridad por el que han de pasar personas o cosas y en el cual es posible establecer controles o inspecciones sobre dichas personas o cosas, permaneciendo éstas bajo “control” el tiempo necesario para ser analizadas. Ejemplos típicos son:

- Control de seguridad para acceso de viajeros al terminal de un aeropuerto con su equipaje de mano.
- Control de pasaportes o documentación.
- Inspección de maletas en un aeropuerto u otro medio de transporte.
- Inspección de contenedores o de cualquier tipo de carga.
- Control de accesos a un edificio o instalación.
- En todos ellos, la inspección o análisis se puede realizar sobre:
 - Una persona en sí para verificar si presenta restos de material explosivo, por haberlo manipulado previamente, en sus ropas, cuerpo o elementos pequeños como documentación; se trata de la identificación de un presunto terrorista.
 - Una persona para comprobar si porta material explosivo (cierta cantidad) adherido al cuerpo o entre sus ropas o bien elementos metálicos característicos de un artefacto explosivo, como el mecanismo de iniciación (detonador).
 - Maletas o equipaje de mano, bien de forma independiente de su propietario (maletas una vez facturadas), bien junto a éste, a la vez que se procede a la inspección de la persona; incluiría también los pequeños objetos portados, fundamentalmente los metálicos, que se han de analizar al margen de la persona.
 - Contenedores o elementos de transporte de mercancías, generalmente de mayor tamaño, inclusive los vehículos (camiones, furgonetas, etc.).

El sector aeronáutico es el que domina y lidera la innovación tecnológica en este ámbito, favorecido por una concienciación de la seguridad y una madurez que ha impulsado, además, una cierta normalización o estandarización de la que carecen otros ámbitos. Las referencias posteriores están basadas, fundamentalmente, en cómo la tecnología se aplica a la seguridad aeroportuaria.

En el control de personas, la tecnología clásica por excelencia es la detección de metales, orientada a la detección de elementos detonadores fundamentalmente. Es una

tecnología muy madura cuya misión real es desviar todo objeto metálico hacia la monitorización por Rayos X.

Rayos X es el paradigma de la inspección de bultos, objetos de mano, maletas, contenedores, etc. Permite detectar la presencia de masa de explosivo. En los últimos años, ha evolucionado considerablemente la tecnología y se han incorporado a los equipos convencionales diferentes versiones: tomografía computerizada (imágenes en 3D) para equipajes de bodega; energía dual, que permite diferenciar con mayor precisión la densidad efectiva (Z) de los materiales y, por tanto, la identificación de determinados materiales; alta energía para la monitorización de grandes volúmenes, incluso apantallados (contenedores), cada vez más necesaria para el control del inmenso volumen de tráfico comercial; retrodifusión (*backscattering*), que permite emitir y recibir desde el mismo punto, sin necesidad de transmisión del haz; difracción, que permite identificar cualquier explosivo cristalino, etc. Al ser una técnica basada en la imagen (formas) y la densidad, es utilizada para la detección de otros materiales y elementos más allá que los explosivos, incluso la presencia humana en grandes volúmenes (contenedores y vehículos). Sería interesante que estos equipos de Rayos X tuvieran una especie de memoria de elementos y sustancias (previamente introducidos) que pueden formar parte de un explosivo o artefacto explosivo, con el fin de que si los presuntos terroristas portaran por separado los elementos de un artefacto explosivo o de una sustancia explosiva, estos equipos emitieran una alarma de que en ese vuelo han sido introducidos dichos elementos, para lo cual debería scanearse el billete a la vez que el equipaje, memorizando en todo momento a la persona con su equipaje.

La detección de trazas de explosivos (micro, nanogramos) residentes en superficies o volúmenes, de personas u objetos, incluso vapores, está adquiriendo mayor protagonismo. Las tecnologías existentes, muy variadas y con niveles de sensibilidad asombrosos en algunos casos, presentan un rango de madurez amplio. Comparten la capacidad de detección de otros compuestos de interés, como narcóticos, agresivos químicos, tóxicos industriales, etc. Sin duda, la espectroscopia de movilidad iónica, Espectrometría de Movilidad Iónica (IMS), es la de referencia y la más extendida.

No obstante, el muestreo –la obtención de las partículas de interés desde la superficie o el volumen a analizar– sigue siendo un factor importante que cada vez se considera en mayor medida. En este sentido, están apareciendo en los últimos años equipos para inspección de personas y de volúmenes (equipajes, cajas, contenedores, etc.) que, partiendo de una técnica analítica convencional –por ejemplo Espectrometría de Movilidad

iónica (IMS)–, enfatizan la recolección de partículas y el muestreo. Por ejemplo, los *puffers* o portales para personas, que mediante procesos de venteo y absorción extraen muestras de entre las ropas del individuo para ser posteriormente analizadas; análogamente, se están presentando máquinas para equipajes, pequeños o grandes, e incluso contenedores y paletes, capaces de extraer muestras más representativas de su interior y exterior, figura 4.

A partir de mejores muestras es previsible que otras técnicas analíticas vayan ganando terreno frente al estándar actual IMS.



Figura 4.— *Portal tipo puffer EntryScan Series de GE Security, que utiliza tecnología de espectrometría de movilidad por captura iónica (ion trap mobility spectrometry, ITMS®).*

La monitorización de personas se ha venido realizando, hasta muy recientemente, mediante la técnica de detección de metales exclusivamente. se hacía preciso introducir nuevas técnicas y procesos que permitieran conocer qué podía portar un individuo bajo su ropa, además de la detección de trazas descrita anteriormente. en los últimos años se ha ido introduciendo una nueva familia de tecnologías basada en el rango espectral de las ondas milimétricas y los terahercios (entre 30 y 600 GHz). estas técnicas, unas pasivas (detectan radiación natural reflejada) y otras activas (emiten primero), permiten “ver”

objetos ocultos sobre la piel de las personas, análogamente a cómo lo harían los rayos X (de hecho, se pueden emplear éstos, de muy baja energía, para alcanzar resultados similares). existen equipos desplegados en algunos aeropuertos desde hace dos o tres años, y aunque es una técnica muy prometedora y ciertamente madura en el caso de algunos fabricantes, la posible invasión de la privacidad por las imágenes captadas está retrasando considerablemente un despliegue más amplio. existen equipos de configuración tipo portal, en el que es necesario pararse para que se pueda realizar la monitorización, y otros en los que la detección de objetos ocultos se puede realizar en movimiento y a cierta distancia. los primeros poseen ya un grado de madurez avanzado; los segundos, de menor resolución y mayor complejidad operativa, poseen sin embargo una gran proyección de uso por resultar una técnica no intrusa.

Las técnicas basadas en ondas milimétricas y terahercios tienen ante sí un futuro muy importante, figura 5.

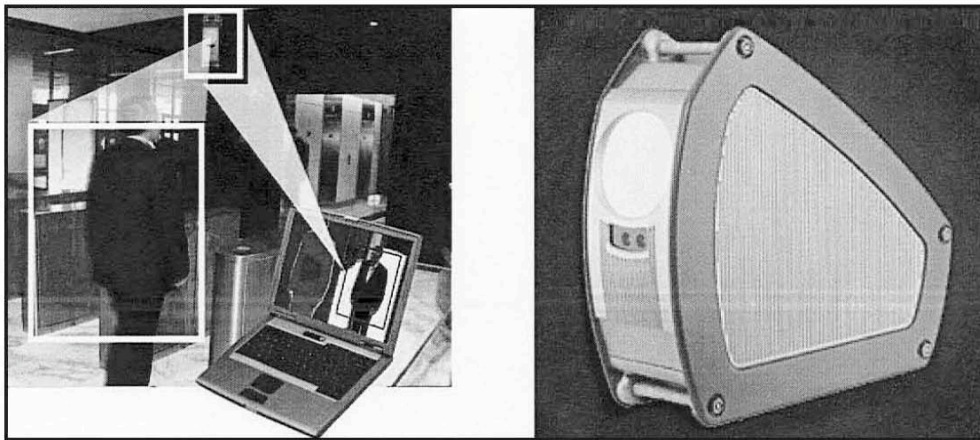


Figura 5.— *Sistema de inspección por imagen T4000 de ThruVision.*

DETECCIÓN EN ENTORNOS ABIERTOS

Es éste un escenario muy abierto y complejo en el que el objetivo consistiría en detectar la presencia de explosivos en el entorno, de forma típicamente no intrusa (sin establecer un control, puntual o fijo), y normalmente a distancia del origen o foco. Se trataría de detectar, por un lado, la presencia de una cierta masa de explosivo portado por

un individuo (terrorista suicida o bien un correo que transporte material) en movimiento, o contenido en un vehículo (suicida o no), en este caso en movimiento o aparcado y, por otro, la presencia en el ambiente de trazas de explosivo procedentes de una fuente no concretada inicialmente, a través de vapores desprendidos por dicha fuente o mediante el análisis de puntos donde se ha podido depositar una cierta cantidad que alerte de la presencia de un posible artefacto explosivo o masa de éste.

En ambos casos, la operativa impone unas restricciones importantes sobre la tecnología que se puede emplear. Ciertamente las capacidades no se encuentran hoy en día adecuadamente cubiertas, si bien es el ámbito donde mayor proyección existe para evitar los incómodos procedimientos asociados a los puntos de control. Podríamos clasificar la operativa y las técnicas en cuatro grandes líneas:

1. Monitorización y análisis del aire para detectar la presencia de moléculas de explosivo. Se requiere una altísima sensibilidad y una adecuada especificidad para evitar los falsos negativos. Hoy en día la tecnología más eficiente sería la de IMS, al estilo de como se aplica en los *puffers* mencionados con anterioridad. No obstante, estaríamos hablando de la monitorización de mayores volúmenes de aire para detectar la presencia de partículas de explosivo en un espacio abierto (una calle) o un recinto amplio (por ejemplo, una estación de metro). La combinación de técnicas es factible; existen conceptos incipientes como el empleo de IMS junto a espectrometría de masas, el primero para filtrar (sensibilidad), el segundo para especificar. Es preciso traer la muestra (moléculas) al equipo de detección, y por tanto el tratamiento de grandes cantidades de aire. O bien la distribución de múltiples sensores a lo largo de una instalación, como podría ser el caso de los conductos de aireación de un edificio; en este caso, se trataría de sensores de bajo coste, como los biosensores o los que emplean técnicas de polimerización de superficies y transductancia mecánica u óptica. El problema de estos últimos es la poca versatilidad actual debido a la alta especificidad de los sensores (sólo detectan un número muy limitado de moléculas).
2. Análisis a distancia de superficies susceptibles de ser o contener restos de explosivo. Las tecnologías ópticas basadas en láser son las aplicables en este caso –Plasma Inducido por Láser (LIBS), Raman, Fluorescencia Inducida por Láser (LIF)–, etc.). Aparte del nivel de madurez y las prestaciones de estas tecnologías, la dificultad radica en la determinación de dónde buscar, dónde apuntar.
3. Detección a distancia y en movimiento de objetos ocultos bajo la ropa de individuos, incluyendo explosivos. La detección de objetos ocultos es ya factible en condiciones

controladas (ondas milimétricas y de THz), con un número creciente de instalaciones en puntos de control. No lo es tanto en condiciones de movimiento, en el exterior. Salvando los asuntos éticos y de privacidad que plantean estas tecnologías, no cabe duda de que son las más prometedoras. La capacidad de determinar la composición de objetos o materiales ocultos (espectrometría) es un asunto más complejo que podrá ser subsanado mediante la integración de distintas tecnologías, unas para una detección inicial de elementos sospechosos, otras para la identificación de los materiales.

4. Detección a distancia, en movimiento o no, del contenido de vehículos. Es ésta una de las mayores necesidades operativas por ser los vehículos los causantes de grandes atentados (coches bomba) o bien como simples elementos transportadores de material explosivo. Es necesario contar con técnicas analíticas capaces de penetrar en el vehículo, a través del metal de la carrocería o del vidrio. Para la detección de masa de explosivo, están ya disponibles técnicas basadas en rayos X (backscattering o retrodispersados, y blandos o *soft X-rays*), con matices operativos (limitaciones en la velocidad de movimiento, la distancia, etc.). Con línea de visión (a través del cristal) es en principio posible la detección de trazas o masa de explosivo mediante técnicas láser (LIBS, Raman), pero es un concepto de difícil aplicación práctica, similar a lo descrito en C).

PROTECCIÓN DE CONVOYES O VEHÍCULOS EN MOVIMIENTO

Es éste un escenario típicamente militar consistente en que uno o varios vehículos, generalmente conformando un convoy, deben recorrer un determinado itinerario amenazado por la presencia de artefactos explosivos (ver a título ilustrativo la figura 4, p. 00). La protección del convoy puede llevarse a cabo de varias maneras, pero nos centraremos en aquellas que requieren el uso de técnicas de detección de explosivos o de artefactos explosivos. La misión de protección puede realizarse en tiempo real, es decir, al mismo tiempo que el convoy discurre por su itinerario, o mediante operaciones de búsqueda o limpieza previa del terreno. Este último caso se verá en el siguiente apartado.

Es decir, nos centraremos en las capacidades de las que el propio convoy puede proveerse.

La tecnología típica de protección de vehículos es la de inhibición (*jamming*) de artefactos explosivos comandados por radiofrecuencia. Sin embargo, el presente estudio se centra en las técnicas de detección, por lo que se descartará aquel. No obstante, existe tecnología disponible hoy en día, parte de sistemas de inhibición, cuyo objetivo es la

detección de señales electromagnéticas de activación de un artefacto explosivo; es lo que se ha denominado vigilancia por Radiofrecuencia (RF). Dado que su empleo deviene inmediatamente en la activación de señales de interferencia (*jamming*) no lo extenderemos más; en operaciones de búsqueda, apartado siguiente, se tendrá también en cuenta esta tecnología, figura 6.



Figura 6.— Terreno propicio para colocar IEDs. Convoy de tropas españolas en Afganistán.

A fecha de hoy no existe tecnología madura para la detección de explosivo o de artefactos explosivos susceptible de ser empleada por convoyes. El factor clave es que se ha de realizar la detección a distancia, a varias decenas e incluso centenares de metros para ser efectiva, lo que impone unas condiciones que la tecnología no ha podido superar hasta la fecha. Es previsible que el futuro depare el desarrollo de técnicas analíticas (espectroscopias como LIBS) o de imagen (terahercios) para la detección de trazas de explosivo, sobre superficies o en fase vapor, o de artefactos ocultos en personas que discurran por el mismo itinerario que el convoy. Es clave el impulso que se dé a estas tecnologías en la actual fase de investigación y desarrollo para la selección de las

tecnologías más prometedoras y acelerar al máximo su puesta en funcionamiento como productos probados.

Algunas de estas capacidades y tecnologías podrán ser incluso aerotransportadas mediante Plataformas no Tripuladas (UAVs) o tripuladas (helicópteros) para dar cobertura en tiempo real al convoy, o bien para operaciones de búsqueda o limpieza del recorrido.

OPERACIONES DE BÚSQUEDA O LIMPIEZA DE ÁREA

El concepto operativo es claro: localizar la posible presencia de un artefacto explosivo en un área delimitada, y/o verificar su no existencia. Casos habituales en el ámbito civil son los avisos de colocación de bombas o vehículos-bomba, o las operaciones de verificación de “área limpia de artefactos” ante la presencia o paso de autoridades; en el ámbito militar, es de destacar la necesidad de crear rutas seguras para el transporte mediante la verificación de la no existencia o potencial existencia de artefactos colocados a lo largo de las mismas, con antelación al paso de convoyes «Protección de convoyes o vehículos en movimiento», p. 00.

LAS TÉCNICAS A EMPLEAR SON VARIADAS EN FUNCIÓN DEL ESCENARIO

Para el análisis de vehículos estacionados es factible el empleo de Rayos X de retrodispersión (*backscattering*), instalados en furgonetas que realizan el escaneo en paralelo al vehículo inspeccionado. Sistemas basados en neutrones darían mayor precisión en cuanto a la identificación de los materiales hallados en el interior, si bien son operativamente más complejos y lentos. En ambos casos, el objetivo es detectar la presencia de masa de explosivo (ambas técnicas) o bien elementos físicos del artefacto como metralla, formas determinadas, etc. (rayos X). La detección de trazas de material explosivo o de vapores del mismo dependerá mucho del tipo de artefacto, el tipo de carga explosiva (presión de vapor) y de las “firmas” que los terroristas hayan podido dejar en el escenario. El empleo de perros o técnicas de olfatación (IMS principalmente) es habitual para trazas en fase vapor; para trazas sólidas, con la dificultad añadida de su localización, es posible emplear técnicas colorimétricas o espectroscopías tipo Raman o LIBS (poco desarrolladas aún, pero que en el futuro deben proveer de una interesante capacidad de análisis a distancia).

Para la localización de posibles artefactos colocados en espacios más abiertos y de mayor tamaño o longitud (carreteras, infraestructuras como oleoductos o estructuras perimetrales), además de las técnicas de localización clásicas (básicamente perros y olfateadores) cabe destacar otras técnicas centradas en la identificación de cambios en el

entorno, no centradas en el material explosivo o en el artefacto en sí, sino en su localización física: es lo que se denomina detección del cambio (o *change detection* en inglés), para lo cual se procede al análisis de información en distintos momentos del tiempo para la detección de elementos cambiantes o disonantes; especialmente se trataría de imágenes. En operaciones del ámbito militar, dadas las mayores capacidades disponibles y un entorno más abierto, el análisis de imágenes captadas por medios aéreos, en combinación con otros elementos propios de la Inteligencia, ha demostrado ser un eficaz arma en la lucha contra los artefactos colocados en rutas de convoyes.

La “limpieza” de carreteras (arcenes, laterales) se viene desarrollando también con técnicas (detección de metales, Radar de Penetración (GPR), NBQR, en fase muy preliminar, etc.) y vehículos propios de operaciones de desminado, si bien son actuaciones lentas.

Se están desarrollando técnicas de detección electromagnéticas (*ping & ring*) para la localización de elementos electrónicos no lineales mediante la emisión de radiación y la escucha y procesamiento de la señal.

El futuro deberá ver el desarrollo de sistemas compuestos por tecnologías ortogonales y/o complementarias junto con técnicas avanzadas de fusión de datos y localización que automaticen estas misiones de búsqueda.

OPERACIONES DE DESACTIVACIÓN O NEUTRALIZACIÓN DE ARTEFACTOS

Una vez conocida la presencia de un artefacto explosivo en una zona determinada, se ha de proceder a su localización en el apartado «Operaciones de búsqueda o limpieza de área», p. 00 y posterior neutralización o desactivación. Son las operaciones típicas del Técnico en Desactivación de Explosivos (TEDAX). A tal fin se trata de recabar la mayor información posible sobre la composición y estructura del artefacto, y no tanto de la carga explosiva en sí; para la neutralización es más importante conocer los mecanismos de armado y detonación del artefacto.

Las técnicas empleadas son fundamentalmente las centradas en imagen, es decir, vídeo y Rayos X. Existen equipos transportables y portátiles de Rayos X para analizar vehículos, paquetes, mochilas, etc. Generalmente basados en Rayos X de transmisión, comienzan a emplearse equipos de retro-dispersión (*backscattering*) que permiten la emisión y recepción por el mismo lado con las consiguientes ventajas operativas. Es imaginable que en el futuro se empleen equipos basados en ondas milimétricas o terahercios.

Otro equipamiento habitual del especialista TEDAX son los detectores de metales (ferromagnéticos), fonendoscopios, olfateadores (IMS o similar), etc.

CAPACIDADES CIENTÍFICAS E INDUSTRIALES EXISTENTES EN ESPAÑA

Introducción

LA BASE TECNOLÓGICA INDUSTRIAL DE SEGURIDAD Y DEFENSA

En ocasiones existe la creencia de que la base tecnológica industrial en un determinado sector está compuesta exclusivamente por aquellas industrias que trabajan en el mismo. Sin embargo, conviene señalar que las capacidades de la base tecnológica industrial son proporcionadas principalmente por la industria –grandes empresas y Pequeñas y Medianas Empresas (PYMES)–, pero también por los centros u organismos de investigación y las universidades. Por tanto, en adelante, cuando se hace referencia a aspectos industriales, se entenderá incluida de esta manera toda la base tecnológica industrial.

A grandes rasgos, el panorama actual en el mercado nacional de seguridad y defensa es el siguiente:

- Grandes empresas. Existe un número limitado de grandes empresas que copan la mayor parte de los contratos nacionales y que participan en proyectos.
- PYMES. Si bien existe un tejido de PYMES importante en España, su participación directa en el mercado de seguridad y defensa es limitado y frecuentemente mediante subcontratación.
- Universidad/Centros Investigación. Las capacidades de la universidad y centros de investigación están poco aprovechadas. Hay que significar en este ámbito que

existen prejuicios de la propia universidad/centros de investigación sobre el Investigación y Desarrollo (I+D) de carácter militar que menoscaban la proyección y aplicación de muchas de sus capacidades, a pesar de que el interés fundamental recaiga en la aplicación de tecnologías duales.

Cuando se particulariza este panorama para el área de lucha contra artefactos explosivos se traduce en sector con un número elevado de pequeñas empresas y universidades y por otro lado, un número relativamente pequeño de grandes compañías.

MARCO ACTUAL Y FUTURO PARA LOS ASPECTOS INDUSTRIALES

Antes de abordar las capacidades industriales nacionales en cada una de las técnicas identificadas, resulta de interés ubicar éstas en el marco actual y futuro de las corrientes en política industrial de seguridad y defensa.

Así, desde el punto de vista de capacidades industriales y tecnológicas se consideran como muy relevantes los siguientes aspectos y tendencias:

- Concepción internacional de la capacidad y de la competitividad. El proceso de integración europea, la necesidad de constituir un mercado unido frente al exterior, la búsqueda de la eficiencia y la evolución del marco regulatorio configuran un entorno europeo caracterizado por la transparencia y la libre competencia. La esencia del cambio consiste en reconocer que una base tecnológica industrial de seguridad y defensa adecuada no se puede sostener exclusivamente desde el punto de vista nacional, con lo que habrá que potenciar su proyección a nivel europeo y obtener de esta manera una capacidad más allá de la suma de cada una de las partes nacionales.

Esta proyección implica:

- La necesidad de mejorar la competitividad de la base tecnológica e industrial nacional de seguridad y defensa para su supervivencia.
- Un incremento del desarrollo de sistemas europeos comunes a partir de proyectos de Investigación y Tecnología (I+T) en colaboración y conforme a necesidades de interoperabilidad y a requisitos armonizados en el marco europeo.
- Visión integral de la cadena de suministro. Tras la revolución tecnológica y la transformación de la industria de Defensa de los últimos 20 años, es necesario contemplar la obtención de sistemas teniendo presente la cadena completa de

suministro. Esto se hace más necesario aún en este ámbito de la detección de artefactos explosivos, donde los actores pequeños (PYMES, Universidades, Centros de Investigación) tienen tanto que ofrecer. Por lo tanto es de esperar que:

- Las cadenas de suministro sean consideradas de principio a fin, teniendo en cuenta tanto a grandes empresas como a PYMES, existiendo comunicación directa (y en consecuencia, posiblemente contratación) entre organismos contratantes (Ministerios, Programas marco, etc.) y actores pequeños. Esta actitud permitirá una comunicación fluida en ambos sentidos, y facilitará la confluencia de las necesidades con las capacidades de manera proactiva.
- Las políticas industriales establecerán mecanismos para integrar en la cadena de suministro a estos actores. Actualmente existe una barrera para la transición entre los resultados de las investigaciones de universidades y centros de investigación y su aplicación a demostradores por la industria. Los esfuerzos para eliminar o reducir esta barrera actualmente son limitados. Estos mecanismos estarán orientados a aprovechar y fomentar la capacidad innovadora y la rapidez de adaptación de las PYMES y la Universidad.
- Incremento de la innovación tecnológica. La dinámica actual del cambio tecnológico en el sector civil hace muy difícil para los Ministerios de Defensa seguir políticas de inversiones significativas en la mayoría de las áreas tecnológicas. Por lo tanto, se considera necesaria la incorporación de diversas técnicas y tecnologías de diferentes áreas tecnológicas al ámbito de la detección de artefactos explosivos. La innovación tecnológica se presenta como un mecanismo ideal para esta incorporación, máxime si tenemos en cuenta las características de los desarrollos y proyectos en el área de detección de artefactos explosivos (que se identifican en el apartado siguiente). En este sentido resulta de interés favorecer la innovación tecnológica en estas tecnologías desde la política industrial de Defensa, teniendo en cuenta que:
 - La política industrial y de I+D de seguridad y defensa aprovechará el avance de las tecnologías civiles, aplicando este avance a sus propósitos, siendo la innovación tecnológica un mecanismo adecuado para este fin.
 - La innovación tecnológica aprovecha y maximiza la capacidad y experiencia de la industria española como industria integradora.

- La innovación tecnológica contribuirá a ofrecer soluciones ajustadas en tiempo y coste a las necesidades de detección de artefactos explosivos en un entorno en constante cambio. Se procurará aprovechar la capacidad de las PYMES y algunas Universidades para ofrecer desarrollos rápidos de demostradores para la evaluación de la aplicabilidad a defensa de los últimos avances tecnológicos en entornos de desarrollo de conceptos operativos y experimentación CD&E (*Concept Development and Evaluations*). Estos avances tecnológicos serán convertidos en sistemas finales a través de la cadena de suministro completa.
- Nuevas formas de financiar y concebir los proyectos. Los desarrollos y programas de seguridad y defensa no son ajenos a los cambios en el panorama administrativo y de competencias de nuestra sociedad. El nuevo marco de la promoción y financiación de investigaciones y desarrollos tecnológicos, con la creciente importancia y competencias de agencias de diferentes ministerios y comunidades autónomas, representa un conjunto nuevo de posibilidades a la hora de financiar y concebir proyectos. Además, hay que tener en cuenta que, por ejemplo el Ministerio de Defensa no desarrolla ya muchas de las tecnologías que emplea, y que por lo tanto enfocará más sus esfuerzos e intereses hacia la incorporación de tecnologías desarrolladas en estos otros ámbitos de las Administraciones (o en la industria privada) y hacia la orientación de proyectos para que la adaptación de éstos satisfagan sus necesidades.

Características industriales tecnológicas para la detección de explosivos

Las particularidades inherentes a la amenaza de los artefactos explosivos imponen un conjunto de demandas y requisitos que caracterizan las investigaciones, los desarrollos y las adquisiciones de soluciones y sistemas. Las características propias, en mayor o menor medida, de los proyectos en este ámbito son las siguientes:

- Los actores involucrados en este ámbito deben poseer una rápida capacidad de reacción frente a la evolución de las técnicas y contramedidas de la amenaza que se revelan en los artefactos explosivos así como en su empleo.
- Deben tener un ciclo de desarrollo y/o adquisición corto, por lo general muy alejado de la media actual de un programa de desarrollo y/o adquisición en el ámbito de la defensa.

- Por lo general, el coste de los sistemas resultantes no debe ser alto, para poder permitir una gran ubicuidad de estas soluciones, debido a que los objetivos principales de esta amenaza son muy numerosos tanto en el entorno de seguridad como de defensa.
- En muchos casos, no se precisarían nuevas tecnologías o profundas investigaciones, sino la utilización de tecnologías existentes de forma innovadora.
- Tienden a ser soluciones compuestas por diversos equipos o sistemas integrados debido a que no existe un solo sistema o equipo capaz de contrarrestar la amenaza en un conjunto amplio de situaciones. En este sentido, el uso de tecnologías y medios, como las plataformas robóticas, que reducen el riesgo para el personal de las fuerzas de seguridad o de defensa, supone una palanca sobre la que multiplicar la capacidad de otros sistemas que aisladamente podrían presentar limitaciones para su aplicación.
- Es imprescindible una interacción continua con los responsables operativos (fuerzas de seguridad y fuerzas armadas) con experiencia real. En el caso de los desarrollos en el ámbito de Defensa, la tendencia es a que esta interacción para el desarrollo de soluciones tecnológicas, deba estar basada en la experimentación conjunta (técnicos, operativos, y responsables de conceptos y doctrina), de acuerdo al concepto CD&E.
- Cubren una base tecnológica muy amplia. Las técnicas y tecnologías con aplicación en la detección de artefactos explosivos provienen de un ámbito tecnológico muy amplio, con áreas tecnológicas muy diversas y a veces muy poco relacionadas entre sí.
- Puede involucrar a un conjunto de actores muy heterogéneo (en perfil y en tamaño).
- Muchos de los requisitos y necesidades son de difusión restringida. Esta característica suele provocar que no se presenten los requisitos científicos y tecnológicos a la industria hasta estadios muy tardíos. Además suele derivar en la clasificación del propio trabajo realizado lo que dificulta las transferencias de conocimiento resultado de las investigaciones y desarrollos.

**Áreas tecnológicas de interés
y capacidades existentes para cada tecnología**

Como se ha visto a lo largo de esta monografía, las tecnologías y técnicas que forman la base de las soluciones técnicas para la detección de artefactos explosivos son muy diversas y provienen todas ellas de numerosas áreas tecnológicas no siempre muy relacionadas entre sí. A la hora de desarrollar las capacidades industriales para la detección de explosivos, es posible afirmar que mediante políticas de apoyo y promoción de estas áreas se fortalecerán directa o indirectamente las capacidades industriales nacionales en detección de artefactos explosivos.

A continuación, se presenta el conjunto de áreas tecnológicas más importantes que apoyan a la detección de artefactos.

INTEGRACIÓN DE SISTEMAS Y PLATAFORMAS

Tradicionalmente se han desarrollado soluciones técnicas de manera aislada, pero para mejorar la robustez y versatilidad de las soluciones es esencial integrar en sistemas y plataformas de manera adecuada y sinérgica diferentes tecnologías implicadas en la detección de explosivos y lucha contra artefactos explosivos. Tres aspectos refuerzan esta necesidad:

- La creciente necesidad de interoperabilidad entre diferentes Fuerzas Armadas y diferentes Fuerzas de Seguridad. En muchos casos será necesario que los equipos interoperen con otros sistemas. Por tanto, esto será un factor clave para futuros equipos.
- Las fuentes de energía continúan limitando la capacidad de despliegue en lugares alejados de infraestructuras fijas. En muchos casos los equipos sensores dependen energéticamente de una plataforma, que además puede ser aprovechada para integrar otros sistemas que refuercen las capacidades de detección (menor probabilidad de falsas alarmas, mayor probabilidad de detección).
- La fusión de datos que aproveche las ventajas de integrar datos provenientes de diversas fuentes (como por ejemplo diferentes sensores para la detección).
- Ejemplos de tecnologías relacionadas son:
 - Tecnologías de generación y suministro de energía.
 - Tecnologías de mando y control.
 - Tecnologías de fusión de datos.
 - Tecnologías para operación remota y autónoma.

- Comportamiento humano.

SENSORES Y DIAGNÓSTICOS

Muchas capacidades de detección de explosivos se basan en sistemas de sensores y diagnóstico. De la lectura de esta monografía y sus numerosos ejemplos de tecnologías de sensores se puede deducir la importancia que tiene esta área en la detección de explosivos que, por lo general, forman la interfaz fundamental entre el sistema y el artefacto explosivo. En este sentido es importante que las investigaciones y desarrollos se mantengan al tanto de las posibles evoluciones que puedan adoptar los artefactos explosivos. Así, es posible que en el futuro las fuerzas armadas y de seguridad estén amenazadas por dispositivos improvisados que contengan sustancias peligrosas distintas a los explosivos, como agentes y agresivos químicos por ejemplo. Las futuras investigaciones deberán abordar:

- La detección e identificación de la carga principal de un artefacto explosivo.
- Las oportunidades de integración de diferentes capacidades de detección, como por ejemplo detección de explosivos y de agresivos químicos.

OTRAS ÁREAS

Otras áreas tecnológicas con gran sinergia con las dos anteriores para la detección de explosivos son:

DESACTIVACIÓN DE ARTEFACTOS EXPLOSIVOS

Además de la necesidad propia de la desactivación y neutralización de artefactos, ambas áreas presentan entre otras sinergias con la detección de explosivos la posible integración de los sensores en los Vehículos a Control Remoto (VCR) para así resolver las limitaciones que muchos sensores tienen para la detección a distancia de explosivos.

SISTEMAS DE RADIO FRECUENCIA

Dentro del amplio abanico que cubren los sistemas de radiofrecuencia las tecnologías de combate electrónico y las tecnologías de comunicación seguras y robustas son de interés para los sistemas de detección de explosivos.

DETECCIÓN Y CONTROL DE PRECURSORES

Como es admitido por todos los actores, cuanto antes se frustren los intentos de acciones terroristas, más baratas y efectivas son las acciones antiterroristas. Este aspecto lo ilustra bien el caso de la detección de precursores en los atentados de Londres de julio

de 2005. Bastantes de las técnicas expuestas en la detección de explosivos son casi o directamente aplicables a la detección y control de precursores.

DETECCIÓN DE SUSTANCIAS ILEGALES



En el caso de detección de trazas, existe sinergia con la lucha contra el tráfico de sustancias ilegales (p.ej. drogas) y la detección de explosivos.

Entidades españolas relacionadas con la detección de artefactos explosivos

Se ha realizado una identificación previa de aquellas entidades nacionales con actividad relacionada con la detección de artefactos explosivos y a cada una de ellas se ha solicitado información sobre su actividad en este ámbito. A continuación se muestran las fichas que recogen dicha información. Se han diferenciado las entidades en dos apartados, el primero dedicado a empresas y el segundo a organismos de investigación y universidades.

La información suministrada por cada entidad y su aparición en esta publicación se ha hecho de forma voluntaria. Asimismo, se ha tratado de hacer la búsqueda e identificación lo más exhaustiva posible. No obstante, es posible que, además de las citadas, existan otras entidades a nivel nacional con actividad en este campo y que, por causas diversas, no aparezcan en esta relación.

EMPRESAS

		Alfa Imaging S.A. Grupo Gate		www.alfaimaging.com			
Domicilio:				Contacto:			
C/General Pardiñas 91 28006 – Madrid Tel: 91 8830457 Fax: 91 8827892				Naomi Alexander Carlos Callejero Andrés Correo-e: nalexander@alfaimaging.com ccallejero@alfaimaging.com			
Áreas de trabajo / Líneas de investigación:							
Diseño y desarrollo de sistemas de barrido optomecánico para ondas milimétricas y terahercios							
Capacidad en detección de artefactos explosivos:							
Tecnología:		Sensor / elemento			Sistema		
		Diseño & desarrollo	Integración	Fabricación	Diseño & desarrollo	Integración	Fabricación
Ondas milimétricas (mmW)					X	X	X
Terahercios (THz)					X		
		DAS Photonics		www.dasphotonics.com			
Domicilio:				Contacto:			
Ciudad Politécnica de la Innovación Camino de Vera s/n Edificio 9B 46022 Valencia Tel.: 963 556 150 Fax: 963 562 581				Jorge Julián Sánchez Director División "Defensa y Seguridad" Correo-e: jsanchez@dasphotonics.com Móvil: 636548330			
Áreas de trabajo / Líneas de investigación:							
Desarrollo de productos innovadores basados en tecnología fotónica propietaria para sectores de altas prestaciones: Defensa y seguridad, Aviónica/Aeronáutica, Satélites/Espacio y Telecomunicaciones.							
Capacidad en detección de artefactos explosivos:							
Tecnología:		Sensor / elemento			Sistema		
		Diseño & desarrollo	Integración	Fabricación	Diseño & desarrollo	Integración	Fabricación
Nanosensores fotónicos basados en inmunoensayos (monitorización clínica)		X		X	X		
Nanosensores fotónicos basados en análisis "in situ" para determinación de situaciones de riesgo.		X		X	X		
Nanosensores fotónicos basados en polímeros fluorescentes (detección de trazas de explosivos, ERC)		X		X		X	
Detección química basada en espectroscopía IR de absorción		X		X	X		X

	EADS-DSE	www.eads.com				
Domicilio: EADS Defence & Security Solutions España S.A.U. Barajas Park, c/San Severo s/n 28042 Madrid, Spain +34 91 746 14 40		Contacto: Andrés Catalán VP MSS Spain EADS Defence and Security Solutions andres.catalan@eads.com Phone +34 91 624 31 76				
Objeto social: Soluciones a medida de "Large System Integration" (integración de sistemas a gran escala) (LSI) para plataformas y subsistemas individuales. Defensa antiaérea y naval, inteligencia, vigilancia y reconocimiento. Sistemas avanzados de mando, control y comunicaciones (C3I) y seguridad del territorio nacional (Global Security).						
Capacidad en detección de artefactos explosivos:						
Tecnología:	Sensor / elemento			Sistema		
	Diseño & desarrollo	Integración	Fabricación	Diseño & desarrollo	Integración	Fabricación
Activación de neutrones (gamma rays)/ Transmisión de Neutrones		X				
Sistemas portátiles para aeropuertos		X		X	X	X
Sistemas fijos para contenedores marítimos/aeropuertos		X		X	X	X
	E&Q Engineering Solutions and Innovation, S.L.	www.eqeng.com				
Domicilio: Plaza de la Estación, 2 Alcalá de Henares 28807 Madrid Teléfono: 91 879 63 00 Fax: 91 879 68 96		Contacto: Enrique Martín Romero Correo-e: e.martin@eqeng.com				
Áreas de trabajo / Líneas de Investigación: Consultoría y formación. Asesoría especializada al Ministerio de Defensa en asuntos relacionados con artefactos explosivos, munición y en particular, sus efectos. Desarrollo de aplicaciones software y otras soluciones de carácter innovador fundamentalmente en el sector de la seguridad y defensa.						
Capacidad en detección de artefactos explosivos:						
Tecnología:	Sensor / elemento			Sistema		
	Diseño & desarrollo	Integración	Fabricación	Diseño & desarrollo	Integración	Fabricación
Red ubícuca de sensores para su aplicación al conocimiento del estado de un determinado escenario (<i>situational awareness</i>).				X	X	
Aplicación de tecnologías de detección con hibridación entre sensores aplicando técnicas basadas en la fusión de datos.				X		

	Indra Sistemas, S.A.	www.indra.es				
Domicilio: Avda. de Bruselas, 35 28108 Alcobendas (Madrid) Tel: 91 4805000		Contacto: Carlos de Miguel Gerente – Sistemas de Seguridad Correo-e: cdemiguel@indra.es				
Áreas de trabajo / Líneas de investigación: Diseño, integración y fabricación de sensores y sistemas HW/SW para la Defensa y la Seguridad, específicamente en sistemas de guerra electrónica e inhibición/perturbación de señales de RF Investigación y desarrollo en tecnologías de sensores y sistemas de detección de explosivos Integración de sistemas NRBC						
Capacidad en detección de artefactos explosivos:						
Tecnología:	Sensor / elemento		Sistema			
	Diseño & desarrollo	Integración	Fabricación	Diseño & desarrollo	Integración	Fabricación
Espectrometría LIBS en aplicaciones a corta y larga distancia				X	X	
Espectrometría Raman				X	X	
Sistemas de inhibición de artefactos explosivos, activos y reactivos	X	X	X	X	X	X

	Ingeniería de Sistemas para la Defensa de España, S.A.	www.isdefe.es				
Domicilio: Edison, 4 28006 Madrid Tel: 91 411 50 11		Contacto: Jorge Lega Ingeniero de sistemas Correo-e: jlega@isdefe.es				
Áreas de trabajo / Líneas de investigación: Ingeniería de sistemas y consultoría						
Capacidad en detección de artefactos explosivos:						
Tecnología:	Sensor / elemento		Sistema			
	Diseño & desarrollo	Integración	Fabricación	Diseño & desarrollo	Integración	Fabricación
Ingeniería de sistemas y consultoría tecnológica en la lucha contra artefactos explosivos.						

	JUPER	www.juper.com				
Domicilio: Plza. De la Alegría, 6 1ªA 28500 – Arganda del Rey Madrid Tfnos: 912792908 / 618384290		Contacto: Juan José Pérez López				
Áreas de trabajo / Líneas de investigación: Adiestramiento de perros, para la localización de sustancias ilícitas, explosivos y defensa.						
Capacidad en detección de artefactos explosivos:						
Tecnología:	Sensor / elemento		Sistema			
	Diseño & desarrollo	Integración	Fabricación	Diseño & desarrollo	Integración	Fabricación
Detección por medios caninos	X	X	X	X	X	X



MULTISCAN TECHNOLOGIES S.L.

www.multiscan.eu

Domicilio:

Pol. Ind. Els Algars
C/ La Safor, 2
03620 Cocentaina (Alicante)
España

Contacto:

Alvaro Soler
Consejero delegado
Correo-e: asoler@multiscan.eu
Tfno. +34 96 533 18 31

Áreas de trabajo / Líneas de investigación:

Investigación, desarrollo, diseño y fabricación de equipos de rayos x para la industria alimentaria.
Investigación y desarrollo sobre tecnologías de rayos x aplicables para la detección de explosivos.

Capacidad en detección de artefactos explosivos:

Tecnología:	Sensor / elemento			Sistema		
	Diseño & desarrollo	Integración	Fabricación	Diseño & desarrollo	Integración	Fabricación
Rayos X				X	X	X



RAMEM S.A.

www.ramem.com
www.ioner.net

Domicilio:

C/ Sambara 33
28027 Madrid
Tel: 914044575

Contacto:

Eladio Montoya Redondo
Director de I+D
Correo-e: emontoya@ramem.com

Áreas de trabajo / Líneas de investigación:

Instrumentación para concentración y detección de volátiles y nanopartículas

Capacidad en detección de artefactos explosivos:

Tecnología:	Sensor / elemento			Sistema		
	Diseño & desarrollo	Integración	Fabricación	Diseño & desarrollo	Integración	Fabricación
DMA	X	X	X	X		
Concentración de volátiles	X			X		
Medida de corrientes ultrabajas	X	X	X	X		
Electrospray	X	X	X			



SEADM

Sociedad Europea de
Análisis Diferencial de Movilidad SL
(Seadm)

www.seadm.com

Domicilio:

c/ José Lázaro Galdiano,1
28038 Madrid
Teléfono: 91 344 1651
Fax: 91 1010 227

Contacto:


Gonzalo Fernández de la Mora
Correo-e: gfdelamora@seadm.com

Áreas de trabajo / Líneas de investigación:


Investigación y desarrollo sobre tecnologías de detección de trazas de volátiles en la atmósfera, incluyendo vapores de explosivos

Capacidad en detección de artefactos explosivos:

Tecnología:	Sensor / elemento			Sistema		
	Diseño & desarrollo	Integración	Fabricación	Diseño & desarrollo	Integración	Fabricación
DMA	X	X				
DMA-MS	X	X				

 SEDET	Sociedad Europea de Detección SL (SEDET)	www.sedet.eu				
Domicilio: Parque Tecnológico de Boecillo, parcela 205 47151 Valladolid Teléfono: 91 344 1651 Fax: 91 1010 227		Contacto: Gonzalo Fernández de la Mora Correo-e: gfdslamora@sedet.eu				
Áreas de trabajo / Líneas de investigación: Desarrollo, fabricación y comercialización de detectores de explosivos basados en las tecnologías desarrolladas por SEADM						
Capacidad en detección de artefactos explosivos:						
Tecnología:	Sensor / elemento			Sistema		
	Diseño & desarrollo	Integración	Fabricación	Diseño & desarrollo	Integración	Fabricación
DMA-MS				X	X	X

 simplle	SIMPPLE SL	www.simplle.com				
Domicilio: Avda. Paisos catalans 15 1-2 43007 Tarragona Tel: 977 110528		Contacto: Angel Rivero Jimenez Responsable de Consultoría Fluidodinámica Correo-e: angel.rivero@simplle.com				
Áreas de trabajo / Líneas de investigación: Consultoría e I+D en mecánica de fluidos Simulación CFD y ensayos experimentales						
Capacidad en detección de artefactos explosivos:						
Tecnología:	Sensor / elemento			Sistema		
	Diseño & desarrollo	Integración	Fabricación	Diseño & desarrollo	Integración	Fabricación
Simulación CFD	X	X	X			

 CSIC	Consejo Superior de Investigaciones Científicas Centro Nacional de Biotecnología	www.csic.es www.cnb.csic.es www.cnb.csic.es/~meml				
Domicilio: C/ Darwin, 3 Campus de Cantoblanco 28049 Madrid Teléfono: 91 5854536 Fax: 91 5854506		Contacto: Victor de Lorenzo Profesor de Investigación Correo-e: vdlorenzo@cnb.csic.es				
Áreas de trabajo / Líneas de investigación: Biotecnología Medioambiental, Biología Sintética						
Capacidad en detección de artefactos explosivos:						
Tecnología:	Sensor / elemento			Sistema		
	Diseño & desarrollo	Integración	Fabricación	Diseño & desarrollo	Integración	Fabricación
Ingeniería genética de bacterias del suelo (Pseudomonas putida) para la detección de TNT y 2,4 DNT en el suelo mediante una emisión luminosa al contacto con el compuesto a detectar	X	X	X	X	X	X



Instituto de Física Aplicada (CSIC)

<http://ifa.csic.es>

Domicilio:			Contacto:			
C/ Serrano 144 280006 Madrid Tel: 91 5618806			M. Carmen Horriño Güemes Investigador Titular Correo-e: carmen.horriño@ifa.csic.es			
Áreas de trabajo / Líneas de investigación:						
Sensores de gases Narices electrónicas						
Capacidad en detección de artefactos explosivos:						
Tecnología:	Sensor / elemento			Sistema		
	Diseño & desarrollo	Integración	Fabricación	Diseño & desarrollo	Integración	Fabricación
Sensores de ondas acústicas	X	X	X	X	X	
Sensores resistivos	X	X	X	X	X	





Grupo de Nanobiosensores
Centro de Investigación en Nanociencia y Nanotecnología
(CIN2: CSIC-ICN)


www.cin2.es/biosensores

Domicilio:			Contacto:			
ETSE. Campus UAB-Edificio Q-QC/2113 08193 Bellaterra, Barcelona Tel: 93 586 80 12			Laura M. Lechuga Gómez Profesor Investigación CSIC Correo-e: laura.lechuga@cin2.es			
Áreas de trabajo / Líneas de investigación:						
Micro/Nanotecnología Dispositivos biosensores Microsistemas fab-on-a-chip						
Capacidad en detección de artefactos explosivos:						
Tecnología:	Sensor / elemento			Sistema		
	Diseño & desarrollo	Integración	Fabricación	Diseño & desarrollo	Integración	Fabricación
Resonancia de Plasmón superficial	X	X	X	X	X	X
Biosensores nanomecánicos y fotónicos	X	X	X	X	X	X

UNIVERSIDADES Y ORGANISMOS DE INVESTIGACIÓN

	Instituto Tecnológico La Marañosa (ITM)	http://www.mde.es/dgam/itm.htm				
Domicilio:			Contacto:			
La Marañosa Ctra. San Martín de la Vega, km 10,5 28330 San Martín de la Vega Madrid Tel: 91 809 85 44			José Carlos Espinosa Barrueco Correo-e: jcespinosa@oc.mde.es			
Áreas de trabajo / Líneas de investigación:						
Desarrollo y validación de conceptos operativos en entornos de experimentación eficientes para la mejora de las capacidades militares de manera sistémica. Experimentación y evaluación de la eficacia de los artefactos explosivos (caracterización y pruebas) y de los dispositivos C-IED.						
Capacidad en detección de artefactos explosivos:						
Tecnología:	Sensor / elemento			Sistema		
	Diseño & desarrollo	Integración	Fabricación	Diseño & desarrollo	Integración	Fabricación
Experimentación y evaluación				X		


	Dpto. Electrónica Facultad de Física Universidad de Barcelona	http://fsp.el.ub.es				
Domicilio:			Contacto:			
C/ Martí i Franquès 1, planta 2 08028 Barcelona Tel: 93 402 90 70			Santiago Marco Colás Profesor Titular Correo-e: smarco@el.ub.es			
Áreas de trabajo / Líneas de investigación:						
Quimiometría Reconocimiento de Patrones aplicado al sensado químico Aplicaciones de sensado químico: biomedicina, seguridad, alimentación						
Capacidad en detección de artefactos explosivos:						
Tecnología:	Sensor / elemento			Sistema		
	Diseño & desarrollo	Integración	Fabricación	Diseño & desarrollo	Integración	Fabricación
IMS	X					
FTIR	X	X		X		
Sensores resistivos	X			X		

	Ingeniería Avanzada para la Seguridad y la Defensa (IASyD) UNIVERSIDA DE CASTILLA-LA MANCHA ESCUELA TECNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES
---	--

Domicilio:	Contacto:
C/ Camilo José Cela s/n 13071 – Ciudad Real Te: 926 295 300 ext: 6291 Fax.: 926 291361	Prof. Osvaldo Daniel Cortázar Pérez Correo-e: daniel.cortazar@uclm.es Móvil: 652428598

Áreas de trabajo / Líneas de investigación:
 Detección de IEDs por medio de neutrones rápidos.
 Desarrollo de equipos HPM orientados a la desactivación - predetonación de IEDs.
 Electrónica de potencia aplicada a fuentes de alimentación portátiles inteligentes.
 Capacidad en detección de artefactos explosivos:

Tecnología:	Sensor / elemento			Sistema		
	Diseño & desarrollo	Integración	Fabricación	Diseño & desarrollo	Integración	Fabricación
Desarrollo de fuentes de neutrones pulsadas	X	X		X	X	

	Grupo de Análisis de Materiales por Láser Dpto. de Química analítica Fac. Ciencias Químicas Universidad de Málaga (UMA)	www.uma.es
---	--	--

Domicilio:	Contacto:
Dpto. Química Analítica, Facultad de Ciencias Campus Teatinos, s/n 29071 - Málaga	José Javier Laserna Vázquez Correo-e: laserna@uma.es

Áreas de trabajo / Líneas de investigación:
 Análisis mediante espectroscopia de emisión atómica inducida por láser
 Capacidad en detección de artefactos explosivos:

Tecnología:	Sensor / elemento			Sistema		
	Diseño & desarrollo	Integración	Fabricación	Diseño & desarrollo	Integración	Fabricación
LIBS				X	X	
Standoff LIBS	X	X				



Laboratorio de Detección de Gases y Vapores
 Dep. Ingeniería Química y Combustibles.
 E.T.S.I. Minas
 Universidad Politécnica de Madrid

www.upm.es

Domicilio:
 Ríos Rosas, 21
 28003 Madrid
 Tel: 91 336 70 69

Contacto:
 Alberto Navaro Izquierdo
albertocavetano.navarro@upm.es

Áreas de trabajo / Líneas de investigación:
 Quimiometría
 Preparación de mezclas patrón
 Calibración de métodos con trazabilidad
 Capacidad en detección de artefactos explosivos:

Tecnología:	Sensor / elemento			Sistema		
	Diseño & desarrollo	Integración	Fabricación	Diseño & desarrollo	Integración	Fabricación
Espectrofotometría IR					X	
Cromatografía de Gases					X	



ETSI Telecomunicaciones
 Universidad Politécnica de Madrid


www.upm.es


Domicilio:
 Grupo de Microondas y Radar
 ETSI de Telecomunicación
 Av. Complutense s/n
 28040 Madrid

Contacto:
 Félix Pérez Martínez
 Correo-e: felix@gmr.ssr.upm.es

Áreas de trabajo / Líneas de investigación:
 Circuitos y subsistemas de microondas
 Circuitos y subsistemas de ondas milimétricas
 Diseño y simulación de sistema radar
 Guerra electrónica: Receptores avanzados y contramedidas
 Procesado de señal para radares de imagen SAR/ISAR
 Radares de alta resolución
 Capacidad en detección de artefactos explosivos:

Tecnología:	Sensor / elemento			Sistema		
	Diseño & desarrollo	Integración	Fabricación	Diseño & desarrollo	Integración	Fabricación
Ondas milimétricas (mmW)	X	X		X	X	X

	<p>Instituto de Reconocimiento Molecular y Desarrollo Tecnológico, Centro Mixto Universidad Politécnica de Valencia - Universidad de Valencia</p>	<p>http://iqma.webs.upv.es</p>				
<p>Domicilio: C/ Camino de Vera s/n Universidad Politécnica de Valencia 46022 Valencia Teléfono: 963 877 343 Fax: 963 879 349</p>		<p>Contacto: Ramón Martínez Mátiz Catedrático de Universidad, Director del Instituto Correo-e: rmatez@qim.upv.es</p>				
<p>Áreas de trabajo / Líneas de Investigación:</p>						
<p>Desarrollo de sensores colorimétricos, fluorimétricos y electroquímicos para la detección explosivos incluyendo nitrógeno explosivos y peróxido explosivos entre otros.</p>						
<p>Capacidad en detección de artefactos explosivos:</p>						
<p>Tecnología:</p>	<p>Sensor / elemento</p>	<p>Sistema</p>				
	<p>Diseño & desarrollo</p>	<p>Integración</p>	<p>Fabricación</p>	<p>Diseño & desarrollo</p>	<p>Integración</p>	<p>Fabricación</p>
<p>Desarrollo de sensores para explosivos</p>	<p>X</p>	<p>X</p>	<p>X</p>	<p>X</p>		

	<p>Grupo de Antenas Área de Teoría de la Señal y Comunicaciones Dpto. de Ingeniería Eléctrica y Electrónica Universidad Pública de Navarra</p>	<p>www.unavarra.es (antenas.unavarra.es)</p>				
<p>Domicilio: Campus de Arosadía 31006 Pamplona Navarra</p>		<p>Contacto: Correo-e: ramon@unavarra.es</p>				
<p>Áreas de trabajo / Líneas de Investigación:</p>						
<p>Desarrollo de cámaras de imágenes en THz</p>						
<p>Desarrollo de Metamateriales</p>						
<p>Diseño de antenas</p>						
<p>Capacidad en detección de artefactos explosivos:</p>						
<p>Tecnología:</p>	<p>Sensor / elemento</p>	<p>Sistema</p>				
	<p>Diseño & desarrollo</p>	<p>Integración</p>	<p>Fabricación</p>	<p>Diseño & desarrollo</p>	<p>Integración</p>	<p>Fabricación</p>
<p>Ondas milimétricas (mmW)</p>	<p>X</p>	<p>X</p>	<p>X</p>	<p>X</p>		
<p>Terahercios (THz)</p>	<p>X</p>	<p>X</p>	<p>X</p>	<p>X</p>		

Capacidades existentes para cada tecnología

En el cuadro 1 se reflejan las entidades relacionadas en este apartado que desarrollan tecnologías directamente aplicables a la detección de artefactos explosivos, cruzando las tecnologías con las entidades identificadas.

Del análisis de respuesta se observa que existen además otra serie de empresas y organismos que contribuyen a estas tecnologías aportando conocimiento, capacidad de análisis, experimentación, ingeniería o capacidades de base, pero que a pesar de su valor no se incluyen en el cuadro por tratarse de capacidades genéricas, o que abarcan, en general, un amplio espectro de tecnologías, o cuya actividad no es trazable a las tecnologías, según la clasificación hecha.

En cada celda se indica:

- D: si realiza diseño y desarrollo.
- I: si realiza integración.
- F: si fabrica.

Asimismo, mediante colores se establece para cada una de las actividades que lleva a cabo, si son sobre sensores o sobre sistemas:

- Sensor/elemento: verde.
- Sistema: rojo.
- Ambos: azul.

Como es lógico, se puede apreciar que la mayoría de las universidades se centran fundamentalmente en diseño y desarrollo, y son en mayor proporción las empresas y el Centro Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) quienes llevan a cabo la fabricación. Se observa también que salvo en Cromatografía de Gases (CG), en las demás tecnologías existe capacidad de diseño, lo cual refleja el conocimiento de la tecnología para estas aplicaciones. Además, es reducido el número de tecnologías en los que no se realiza fabricación.

Un vistazo a la tabla podría hacer pensar en la falta de capacidad tecnológica en muchas áreas respecto a las tecnologías identificadas en el «Análisis de tecnologías y medios de detección», p. 00. No obstante, hay que recordar que la detección de artefactos explosivos se trata de una aplicación muy concreta en la que se ha empezado a explorar tecnologías fuera de las más tradicionales desde hace relativamente poco

tiempo. Es en aquellas tecnologías más “clásicas” donde quizá existe una menor proporción de actores nacionales. Ello es lógico ya que, al tratarse de una actividad mayoritariamente de Investigación Desarrollo e innovación (I+D+i), se intenta actuar en nichos nuevos o vacíos en los cuales se pueden llevar a cabo desarrollos sin encontrar problemas de propiedad industrial e intelectual, y un mercado abierto a la innovación mucho mejor que mercados «clásicos» donde los nuevos actores tienen que competir con empresas ya consolidadas, y algunas de ellas grandes gigantes mundiales.

Es de destacar, por tanto, que la capacidad nacional se encuentra en estos momentos al más alto nivel en algunas tecnologías muy prometedoras en este campo, como son la espectrometría de Plasma Inducida por Láser (LIBS), o el Análisis Diferencial de Movilidad (DMA). Igualmente se considera relevante el hecho de que existe capacidad a distinto nivel (diseño y desarrollo o integración) en muchas de las tecnologías que actualmente se están desarrollando para la lucha contra los artefactos explosivos.

Cuadro 1.—Capacidades nacionales en las diferentes tecnologías aplicables a la detección de explosivos.

Conceptos	Empresas												Universidades y organismos de investigación							
	Alfa Imaging	DAS Photonics	EADS	INDRA	JUPER	MULTISCAN	RAMEM	SEADM	SEDET	CSC GNB	CSC CIN2	CSC IFA	FTSI Minas	FTSI Teleco.	REMOTE	Universidad de Barcelona	Universidad de Castilla-La Mancha	Universidad de Málaga	Universidad Pública de Navarra	
Biomoléculas										DIF	DIF									
Detección por medios caminos					DIF															
Espectrometría Raman			DI																	
IR y FTIR		DIF											I			DI				
LIBS				DI																DI
IMS																D				
DMA							DIF	DI	DIF											
MS								DI	DIF											
GC													I							
Colorimetría															DIF					
SAW																				
Técnicas basadas en neutrones																				
Rayos X			DIF															DI		
Terahercios																				
Ondas milimétricas																				DIF
																				DIF

D.: Realiza diseño y desarrollo. I.: Realiza Integración. F.: Fabrica.

La demanda de estas capacidades es fundamentalmente nacional, aunque hay que tener en cuenta que muchas de estas actividades todavía no han llegado a materializarse como productos finales. En el contexto europeo, son notables y están a nivel de liderazgo europeo las capacidades nacionales en:

- Diseño de sistemas LIBS.
- Integración y pruebas y ensayo de sistemas Raman.
- Diseño, integración y fabricación de sistemas basados en ondas milimétricas y terahérgicas.
- Diseño y fabricación de sistemas basados en DMA.

Conviene indicar que en el caso de ondas milimétricas existen dependencias claves no nacionales que pueden condicionar la capacidad. También existen dependencias tecnológicas significativas en las técnicas espectrométricas y cromatográficas. La menor dependencia se encuentra en LIBS y DMA, aunque estas dos técnicas a la hora de ser integradas en sistemas se basan en técnicas espectrométricas.

En lo que respecta al número de competidores europeos, son elevados en casi todas las áreas menos en LIBS, DMA, ondas milimétricas y terahérgicas, aunque en el caso de las dos últimas, si bien el número es reducido, la capacidad de la competencia es importante.

Por otro lado, se echa en falta un número suficiente de entidades probadoras civiles, como puede suceder en países próximos de nuestro entorno. Además, sería muy beneficioso disponer de un centro de referencia a nivel nacional de reconocido prestigio sobre las técnicas y tecnologías al que puedan acudir los diferentes usuarios de soluciones tecnológicas para recabar asesoramiento técnico sobre productos (para poder comportarse como “compradores inteligentes”) y obtener información sobre el estado del arte de las tecnologías y saber con propiedad los límites de lo que éstas ofrecen.

En este sentido, tanto la puesta en marcha del Instituto Tecnológico «La Marañosa» del Ministerio de Defensa, que extenderá las capacidades que en este ámbito tiene el hasta hace poco tiempo Laboratorio Químico Central de Armamento, como la del Centro de Excelencia C-IED OTAN-Ministerio de Defensa, que se está implantando en Hoyo de Manzanares (Madrid) cubrirán muchas de las necesidades expuestas en el párrafo anterior.

Análisis dafo de la capacidad nacional

FORTALEZAS

- Perfil de los actores industriales y tecnológicos distribuido en la cadena de suministro.
- Perfil de los actores industriales y tecnológicos heterogéneo respecto a las áreas tecnológicas y de conocimiento.
- Excelencia técnica en algunas de las tecnologías más prometedoras o con capacidades singulares (detección a distancia). Mejorar la integración y el conocimiento de todos los actores y sus capacidades en toda la cadena de suministro para facilitar la transición de capacidades tecnológicas a capacidades industriales que ofrezcan productos finales competitivos.

RECOMENDACIÓN DE INCREMENTO

- Mejorar la integración y el conocimiento de todos los actores y sus capacidades en toda la cadena de suministro para facilitar la transición de capacidades tecnológicas a capacidades industriales que ofrezcan productos finales competitivos.
- Dar a conocer las capacidades tecnológicas e industriales al Ministerio de Defensa y del Interior, por ejemplo al Sistema de Observación y Prospectiva Tecnológica.

OPORTUNIDADES

- Incremento de programas internacionales en el ámbito de la detección de explosivos (y áreas relacionadas).
- Alto conocimiento de requisitos de usuario por parte de las Fuerzas Armadas y de las Fuerzas de Seguridad.
- Liderazgo de la Dirección General de Armamento en la iniciativa C-IED del programa de Defensa Contraterrorismo de la OTAN.
- Aprovechamiento del impulso de la demanda civil (sobre todo la aeroportuaria).

RECOMENDACIÓN DE APROVECHAMIENTO

- Formación de foros y redes nacionales e internacionales para la participación en programas internacionales.
- Solicitar apoyo técnico y orientación en la definición de los programas y el aprovechamiento de capacidades tecnológicas.

DEBILIDADES

- Carencia de entidades probadoras y de homologación/estandarización.
- Escasa proyección internacional de PYMES y base tecnológica.
- Carencia de conocimientos y orientación sobre las necesidades de usuarios (en algunas de las entidades PYMEs y de la base tecnológica).
- Escasa cuota de mercado europeo.
- Alta dependencia de la demanda interna.
- Ausencia de un Plan Nacional de I+D específico que promueva la Investigación y Desarrollo en el ámbito de la detección.
- No transformación del conocimiento adquirido en la I+D en valor a través de la puesta en el mercado de productos comerciales.

RECOMENDACIÓN DE SOLUCIÓN

- Aprovechar las futuras capacidades del Instituto Tecnológico de «La Marañosa» y las del Centro de Excelencia C-IED OTAN-Ministerio de Defensa.
- Aprovechar las redes de expertos RTO, CAPTECHs y programas de la EDA para incrementar el conocimiento de las oportunidades y capacidades de formar consorcios (conocimiento de potenciales partners o contratistas)
- Apoyarse en el Ministerio de Defensa como usuario final o asesor (End User/Advisory Board), en las redes de expertos (RTO, CAPTECHs) y en el Programa COINCIDENTE para encontrar formas y posibles aplicaciones de capacidades tecnológicas específicas.
- Incluir la detección en las prioridades de los Planes Nacionales de Investigación y Desarrollo.

AMENAZAS

- No adecuar la base tecnológica industrial nacional a la reestructuración del mercado de seguridad y defensa que actualmente se está llevando a cabo a nivel europeo.
- Competidores europeos, estadounidenses e israelíes.

RECOMENDACIÓN DE DISMINUCIÓN

- Aprovechar los programas de la EDA como vía de integración en la base tecnológica, industrial y de mercado europeos.

- Reducción de los tiempos de desarrollo de “ideas” en productos operativos mediante programas específicos.

Recomendaciones

La base tecnológica industrial presenta unas buenas capacidades en algunas de las tecnologías más prometedoras, sin embargo para proyectar su competitividad (en el caso de la industria) y excelencia (en el caso de la universidad y centros de investigación), debe entender las necesidades de los usuarios finales de los sistemas producidos y aprovecharse del marco actual y futuro de seguridad y defensa.

En este sentido se indican a continuación un conjunto de posibilidades y datos agrupados por los aspectos y tendencias anteriormente indicados.

CONCEPCIÓN INTERNACIONAL DE LA CAPACIDAD Y DE LA COMPETITIVIDAD

En la actualidad existen diferentes marcos para la proyección internacional de la base tecnológica industrial nacional y que sirven de base para el fomento de su competitividad y excelencia. Dada la relevancia de la seguridad y los aspectos relacionados con la detección de explosivos, existen en estos marcos numerosas actividades e iniciativas en las que participar, como por ejemplo la Unión Europea con sus programas marco, la Agencia Europea de Defensa EDA (*European Defence Agency*) y la Organización de Investigación Tecnológica (RTO) de la Organización del Tratado del Atlántico Norte (OTAN). La primera es ampliamente conocida por la base tecnológica industrial que viene participando en las diferentes ediciones del Programa Marco desde hace años. Apuntamos a continuación un conjunto de nociones básicas y orientativas sobre las otras dos, ya que son menos conocidas por la base tecnológica industrial.

La RTO, se estructura en foros (conocidos como paneles de la RTO) de carácter científico-tecnológico para la generación e intercambio de conocimiento técnico en las áreas de interés de la Alianza Atlántica. En estos paneles participan expertos técnicos o científicos de alto nivel propuestos por las naciones miembros. Estos expertos pueden ser de la industria, de la comunicad científica o de los ministerios de defensa. De los siete paneles existentes, los que más relación presentan con la detección de explosivos son el SAS (*Studies, Analysis and Simulation*) y el SET (*Sensors & Electronics Technology*).

Entre las actividades más relevantes en el ámbito de IEDs llevadas a cabo recientemente destacan:

- RTO-MP-SET-117 *Prediction and Detection of Improvised Explosive Devices* (IED). Dedicado a desarrollar soluciones potenciales aportadas por tecnologías nuevas y

- novedosas para tratar el desafío de la lucha contra IEDs. Crear recomendaciones en huecos tecnológicos que, con recursos adicionales, puedan ser desarrollados y usados en C-IED.
- SET-149 *Sensor Support for Defense Against Terrorism and Asymmetric Warfare*. Dedicado a experiencias y estrategias sobre guerra asimétrica y defensa antiterrorista; conceptos operacionales y técnicas relevantes sobre sensores; demanda de sensores de las estrategias actuales, así como de estrategias potenciales usando sensores innovadores, e impacto a corto y largo plazo en defensa antiterrorista y guerra asimétrica.
 - SET-129 *Terahertz Wave Technology for Standoff Detection of Explosives and other Military and Security Applications*. Su objetivo principal es facilitar el intercambio de información sobre el estado actual del uso de ondas THz para detección de explosivos y la identificación de requerimientos de sensores y receptores de ondas THz para imagen en tiempo real e identificación de objetivos.
 - SET-125 *Sensors and Technology for Defence Against Terrorism*. Sus objetivos principales son la adaptación e integración de sensores y tecnologías de defensa y no-defensa para aplicación en defensa antiterrorista, y los conceptos innovadores futuros y sistemas integrados de sensores THz que se estén investigando y desarrollando que sean de aplicación en defensa antiterrorista.
 - Actualmente están en marcha o prevista su puesta en marcha las siguientes actividades o grupos de trabajo:
 - SET-146 *Steering Committee on Stand-off detection of explosives and suicide bombers (SPS Project)* para el control del proyecto del consejo SPSC-OTAN-Rusia “Detección de explosivos y suicidas a distancia de seguridad”.
 - SET-124 *THz Wave Technology for Standoff Detection of Explosives and other Military & Security Applications* orientado a desarrollar un sistema de THz portátil antiterrorista, que opere a una distancia de seguridad de 10 metros, en un periodo de tres años.
 - SCI-193 *Detection and Neutralisation of Route Threats* dedicado a la investigación del potencial operativo y las limitaciones de las técnicas para detección y neutralización a distancia de amenazas en vías de comunicaciones como las minas o los artefactos explosivos.

Estas actividades suponen una excelente vía para la capacitación a medio/largo plazo de las entidades participantes para la participación en programas relacionados con defensa tanto a nivel nacional como internacional. Mediante su participación, las entidades mejoran su comprensión de las necesidades de defensa en estos ámbitos y de los condicionantes para la aplicación de sus capacidades tecnológicas. Por otro lado, establecen redes de contacto con otras entidades (nacionales o internacionales) que pueden ser de utilidad a la hora de formar consorcios para la presentación de propuestas.

Para la participación en cualquiera de estas actividades, los interesados pueden acudir a la Subdirección General de Tecnología y Centros de la Dirección General de Armamento y Material del Ministerio de Defensa. (www.mde.es/dgam/home.htm).

Otra agencia de interés es la EDA. Esta agencia ha designado los proyectos de lucha contra artefactos explosivos (C-IED) como prioridad máxima para el lanzamiento de Programas de Investigación Tecnológica en cooperación. La Dirección de la EDA para I+T establece dos tipos de proyectos, dependiendo del origen de la iniciativa:

1. Los Proyectos TOP DOWN: son proyectos generados por la EDA para tratar una carencia identificada o una prioridad establecida por la Agencia o por algún país miembro (pMS). Dentro de este sistema de generación de proyectos, se encuentran:
 - Proyectos Financiados por la EDA: Se financian a partir del presupuesto operativo de la EDA y obedecen a intereses identificados por la Agencia. El contrato lo gestiona la EDA y todos los pMS obtienen información del proyecto. Entre las actividades más relevantes en el ámbito de IEDs destacan los siguientes estudios:
 - *Detection of improvised explosive devices with CBRN payload.*
 - TERIFIEC (*Terahertz for the identification of explosive chemicals*).
 - Descripción de una capacidad CIED nacional.
 - Proyectos *Ad Hoc Category A*. Propuestos por la EDA o por uno o más países miembros participantes para participación general. Entre las actividades más relevantes en el ámbito de IEDs llevadas a cabo recientemente destaca el Proyecto *Guarded* del *Joint Investment Programme on Force Protection*. Dedicado a un demostrador de una plataforma ROV (*Remote Operated Vehicle*) para la integración de tecnologías de detección (explosivos y Nucleares, Biológicos y Químicos (NBQ) con fusión de tecnologías complementarias.

- Los Proyectos BOTTOM UP: son proyectos propuestos por la base tecnológica industrial y canalizados por las CAPTECHs (foros de expertos gubernamentales o no gubernamentales de la industria, centros de investigación, universidad, etc.) y aprobados por un número de pMS. Entre las actividades más relevantes en el ámbito de IEDs destacan:
 - B-0049 *Development of new technologies to protect Armoured Vehicles Against EFP.*
 - B-0159 IED (*Protection of land vehicles against IEDs*).

Finalmente, a raíz de los atentados del 11 de marzo 2004 en Madrid y especialmente de los del 7 de junio de 2005 en Londres la Comisión Europea impulsó un amplio plan de acción en materia de seguridad en el ámbito de los explosivos; una de las principales actividades desarrolladas fue la creación de Grupos Multidisciplinares de Expertos (ESETF en sus siglas en inglés, de los que formaron parte miembros de diferentes entidades españolas) en los campos de la detección, los precursores, la cadena de suministro, y la seguridad pública. Las conclusiones de estos grupos se concretaron en 50 recomendaciones, que fueron publicadas en junio de 2007 por la Comisión bajo el título *Enhancing the security of explosives. Report of the explosives security experts task force*: [http://ec.europa.eu/commission_barroso/frattini/archive/COM\(2007\)651%20EN.pdf](http://ec.europa.eu/commission_barroso/frattini/archive/COM(2007)651%20EN.pdf).

VISIÓN ÍNTEGRA DE LA CADENA DE SUMINISTRO

Ya se ha indicado anteriormente el interés existente actualmente en la integración de todos los actores que componen la cadena de suministro. Este deseo no es único del mundo de la defensa, de hecho se ha importado del mundo civil donde organismos como la Unión Europea y Ministerios como el de Industria o el de Educación vienen promocionando esta integración. Un ejemplo relevante en el ámbito de la detección de artefactos explosivos lo representa el Proyecto SEDUCE (Programa CENIT, CDTI).

En el ámbito de la detección de explosivos, esta integración se hace todavía más necesaria ya que permitiría aprovechar muchas de las buenas cualidades que ofrecen las PYMES y universidades como innovación, flexibilidad, rapidez de respuesta, etc., y otras cuantas de las reflejadas en «Características industriales tecnológicas para la detección de explosivos», p. 00. Sin embargo, no hay que olvidar que existen también una serie de desventajas importantes como son la no disponibilidad de grandes instalaciones y equipamiento, más problemas para acceder a capital externo, no existe un equipo administrativo, se corren más riesgos al desarrollar un producto o tecnología, etc. Además

cuando estas entidades pretender acceder al mercado de seguridad y defensa se encuentran con numerosas retos, entre los que destacan:

- Carencia de medios de información para que las PYMES y grupos universitarios puedan acceder a la información sobre el mercado de seguridad y defensa
- Desconocimiento de medios para que las PYMES y grupos universitarios puedan darse a conocer en el mercado de seguridad y defensa
- Escasez de recursos financieros y humanos. Dificultad de acceso a capital.
- Protección del conocimiento y los derechos de propiedad intelectual de las PYMES

Una de las posibles opciones para abordar estos retos es la creación de redes (cluster, asociaciones) y participación en las estructuras (CAPTECHs, RTO, etc.) de expertos nacionales en el ámbito de la detección de explosivos.

No sólo desde estas entidades se deben dar pasos para su integración, sino que también desde la Administración se tiene que:

- Promover las propuestas de programas de menor tamaño y a más corto plazo que faciliten la posible participación de las PYMES y las Universidades y centros de investigación, ya que son más accesibles para las PYMES.
- Políticas que fomenten tanto la contratación como la subcontratación de PYMES y grupos investigadores.
- Promover una mayor interacción y colaboración entre el Ministerio de Defensa, los contratistas principales (grandes empresas), las PYMES y los centros de investigación y universidades para estimular el desarrollo de la I+D+i.

En este sentido nació y se desarrolla el Programa COINCIDENTE del Ministerio de Defensa. Este Programa (Cooperación en Investigación Científica y Desarrollo en Tecnologías Estratégicas) intenta aprovechar las tecnologías con carácter civil desarrolladas en el ámbito del Plan Nacional de Investigación y Desarrollo para aplicaciones de utilidad para la defensa, con objeto de fomentar el tejido industrial, científico y tecnológico dedicado a la defensa. Se trata además de un modo de incrementar el nivel tecnológico nacional, aumentar los recursos humanos dedicados a la I+D+i, y fortalecer la imagen de la ciencia y la tecnología españolas, tanto en el ámbito nacional como internacional.

El Programa COINCIDENTE está dirigido a empresas (especialmente PYMES y microempresas), centros privados de investigación y desarrollo y Universidades sin ánimo

de lucro (siempre y cuando vayan de la mano de una empresa), Centros Tecnológicos inscritos como Centro de Innovación y Tecnología, organismos públicos de investigación, y agrupaciones o asociaciones de empresas.

Son varios los ejemplos de programas relacionados con la detección de explosivos que se han enmarcado en el COINCIDENTE, entre otros destacan:

- Proyecto Español de Técnicas Novedosas en la Detección de Explosivos (PETN). RAMEM.
- Proyecto AROMA Detector de explosivos tipo DMA-MS de gran sensibilidad y resolución. SEADM.
- Proyecto DELIBES Detección a Distancia por LIBS de Explosivos y Residuos Químicos y Bacteriológicos. Indra.
- Detección a Distancia de Explosivos mediante ondas milimétricas y terahercios, GATE.

LA INNOVACIÓN TECNOLÓGICA

La innovación tecnológica representa una excelente oportunidad, especialmente si consideramos las características de:

- El tejido tecnológico industrial nacional en el área de detección de explosivos, es decir, centros de investigación y PYMES con relevantes desarrollos tecnológicos y grandes industrias con elevada experiencia integradora.
- Los proyectos en el área de detección de explosivos (por lo general), es decir, rapidez de reacción, ciclo de desarrollo y/o adquisición corto, coste no elevado.

A modo de ejemplo, dos caminos interesantes para la aplicación innovadora de conocimientos y desarrollos ya existentes son:

- La integración de los desarrollos de sensores en sistemas de sistemas donde estos sensores cooperen con otros sensores (de detección por otras técnicas, de imágenes, de evaluación del entorno, etc.) o con otros subsistemas (sistemas de información centralizada, bases de datos de trazas de seguimiento, etc.) para mejorar la robustez y efectividad de la detección.
- La integración de los sensores con plataformas robóticas autónomas o controladas remotamente. Esta opción puede resultar especialmente interesante para técnicas o tecnologías de detección con capacidades de detección a distancia limitadas.

Inherente al concepto de innovación es el conocimiento de las posibilidades y limitaciones de aplicación de los desarrollos. Por la propia naturaleza del área de detección de artefactos explosivos, el acceso a esta información de carácter más operativo es por lo general muy limitado. En cualquier caso, existen diferentes canales donde se puede acceder a conjuntos de información no clasificada sobre el tema que presentan gran interés para el desarrollo, la aplicación y la actualización de los conocimientos en este ámbito. Además de los ya indicados foros de la RTO y la EDA, la Subdirección de Tecnología y Centros por medio del Sistema de Observación y Prospectiva Tecnológica lleva recopilando, procesando y difundiendo información sobre este tema (además de otras áreas de interés tecnológico del Ministerio de Defensa) desde comienzos de 2004, coincidiendo con el comienzo del apoyo técnico al liderazgo de la Dirección General de Armamento en la iniciativa C-IED del Programa de Trabajo de Lucha Contra Terrorismo de la Conferencia de Directores Nacionales de Armamento (CNAD) de la OTAN.

Dentro de esta labor de orientación, es destacable el incremento del interés por parte del Ministerio de Defensa de jugar un papel no tanto como financiador principal de los programas sino como financiador menor (de manera complementaria a otras administraciones) pero aportando orientación técnica y de aplicación (por ejemplo en roles de *End User* o *Advisory Board* para propuestas del Programa Marco de la Unión Europea) o aportando certificación y garantía de conformidad con los intereses del Ministerio de Defensa. Estas opciones repercuten muy favorablemente en la competitividad de las propuestas de las entidades nacionales en su proyección internacional.

ANEXO: TECNOLOGÍAS DE DETECCIÓN DE EXPLOSIVOS Y OBJETOS EXPLOSIVOS. FICHAS RESÚMENES

Descripción de epígrafes

NOMBRE

Nombre identificativo generalmente aceptado, en español y en inglés, y sus correspondientes acrónimos o siglas (en español y/o inglés, la de mejor aceptación).

Descripción:

- Principio tecnológico: explicación concisa de los principios físicos y/o químicos que sustentan la tecnología.
- Aplicabilidad (actual y potencial): descripción de la aplicación actual y/o potencial relacionada con la detección de artefactos explosivos.
- Limitaciones: intrínsecas a la tecnología para las aplicaciones propuestas.

Capacidades:

- Sensibilidad: límites mínimos de detección actuales o alcanzables; se emplea la notación anglosajona: ppm: partes por millón; ppb: partes por millardo (10^{-9}); ppt: partes por billón (10^{-12}); ppq: partes por 1.000 billones (10^{-15}). A menos que se especifique lo contrario, se refieren a volumen.
- Especificidad: capacidad de identificación, no sólo si se trata de material explosivo o no, sino qué compuesto concreto es.
- Rango: distancia posible entre sensor y artefacto en el caso de aplicaciones a distancia, o entre operador y sensor/artefacto si se resuelve mediante operación remota (por ejemplo, robot o sonda). Degradación de prestaciones.
- Tasas de alarma (positivas, negativas): probabilidad, expresada en porcentaje, de que la tecnología o el sistema alerte de la presencia de un Artefacto Explosivo Improvisado (IED) cuando no hay IED o que indique que es explosivo cuando no lo es Falso Positivo (FP); probabilidad de que la tecnología o el sistema indique la no presencia de un IED cuando realmente está presente, o de no identificar un explosivo cuando lo hay Falso Negativo (FN).
- Ambos conceptos, FP y FN, están bastante relacionados: en general, reduciendo el nivel de falsos negativos se genera un incremento de los falsos positivos. La importancia de las falsas alarmas cuando se pretende detectar artefactos explosivos

es crucial. Podrían existir limitaciones operativas muy altas si objetos o personas están siendo monitorizadas y se produce una alta tasa de falsos positivos; desde la perspectiva del operador, limitaría su capacidad para discriminar alarmas reales cuando muchas de ellas son falsas. Fallar en la detección (falso negativo) no es aceptable por motivos obvios.

- En general la información sobre FP para los sistemas de detección disponibles es muy limitada, y cuando existe no se encuentra información complementaria sobre FN. Este hecho, junto con el hecho práctico de que la probabilidad de detección depende mucho de las características del IED, hace casi imposible proveer datos cuantitativos y comparables de calidad sobre tasas de detección y alarma. En ocasiones, se facilita información cualitativa sobre estas tasas de falsos positivos y negativos (alta, baja, media), apoyada en datos cuando sea posible.
- Potenciales mejoras y sinergias: capacidad de la tecnología de ser mejorada mediante ciertos complementos o mediante la integración factible (elementos comunes, por ejemplo) con otras tecnologías, complementarias u ortogonales.
- Coste: referencia sobre el orden de magnitud de sistemas basados en la tecnología.

Operación:

En función de su relevancia para la aplicabilidad de la tecnología, incluyendo además parámetros tales como tiempos de respuesta y recuperación, nivel del operador y formación requerida, condicionantes ambientales, portabilidad, seguridad, etc.

Estado:

- Nivel de madurez: grado de desarrollo en cuanto a su presencia en el mercado. En algunos casos se emplea la escala: 1. Investigación básica. 2. Desarrollo inicial. 3. Desarrollo final. 4. Producto incipiente. 5. Producto maduro.
- Otros campos de aplicación: otros campos científicos o industriales donde la tecnología se manifiesta.
- Proyección de la tecnología: perspectivas a medio y largo plazo en cuanto a la aplicación de la tecnología para la detección de artefactos explosivos.

Referencias:

- Fabricantes: empresas que venden originalmente esta tecnología, y su situación geográfica.

- Investigación: principales grupos de investigación dedicados al desarrollo de la tecnología, aunque ya existan productos comerciales.

Resumen:

- Principales ventajas.
- Principales desventajas.

Tecnologías de detección del mecanismo de armado y disparo

DETECCIÓN DE DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS NO LINEALES
NLJD (*NON LINEAR JUNCTION DETECTION O RING AND PING*)

Descripción:

- Principio tecnológico: cuando se ilumina una pequeña región del espacio con energía a alta frecuencia, cualquier unión no lineal en los alrededores, como por ejemplo las uniones p-n, recibirán esa energía, y por su naturaleza no lineal, reemitirán algunos armónicos de la señal inicial. Midiendo esa señal devuelta, se puede detectar casi cualquier aparato electrónico, esté o no encendido.
- Aplicabilidad (actual y potencial): se puede emplear en la detección de cualquier activador electrónico de dispositivos explosivos.
- Limitaciones:
 - El circuito del activador ha de tener partes con comportamiento no lineal.
 - Los revestimientos metálicos pueden ser un problema.
 - No es posible la distinción entre un dispositivo electrónico no peligroso cualquiera, y un activador de explosivos.

Capacidades:

- Sensibilidad: depende del tipo de circuito electrónico del IED y de las características del transmisor y del receptor (tamaño, potencia, etc.).
- Especificidad: solamente los circuitos electrónicos con componentes no lineales pueden ser detectados. Además no es posible diferenciar entre los dispositivos peligrosos y los no peligrosos.
- Rango: equipos portátiles llegan a operar a más de 30 metros. El rango de detección varía de varios metros a decenas de ellos.

- Tasas de alarma (positivas, negativas): no se conocen, aunque con la baja especificidad, los falsos positivos son muy altos.

Operación:

- Escanear un área moviendo la antena de un lado a otro.
- Observar la señal procesada en el receptor.

Estado:

- Nivel de madurez: desarrollo avanzado para la detección de dispositivos electrónicos de activación de explosivos, tecnología madura como método analítico.
- Otros campos de aplicación: detección de señales de móvil, campos electromagnéticos y cualquier dispositivo electrónico.

Referencias:

- Fabricantes:
 - Nombre: URL
 - Worldwide Technologies: <http://www.wtpl.co.in/bombdetector.htm>
 - ANCI Group : <http://ancigroup.en.ecplaza.net/7.asp>
 - Winkelmann (Reino Unido) Ltd.: <http://www.winkelmann.co.uk/compact-NLJD.htm>
 - Audiotel International: <http://www.audiotel-support.com/site/>
 - Research Electronics International: <http://www.research-electronics.com/cgi-bin/main.cgi>
 - Martin L. Kaiser, Inc.: <http://www.martykaiser.com/sitema~1.htm>
- Investigación:
 - Georgia Department of Corrections: <http://www.dcor.state.ga.us/>

Resumen:

- Principales ventajas:
 - En función de la potencia del transmisor, la antena de recepción y emisión y el receptor, el rango de operación puede aumentar hasta cubrir un área media.
 - Capacidad para trabajar a distancia.

- Gran rapidez.
- Principales desventajas:
 - Sólo se pueden detectar los dispositivos electrónicos.
 - Se requiere un ruido electromagnético de fondo bajo.
 - Los dispositivos electrónicos no peligrosos proporcionan un gran número de falsos positivos, figura 1.



Figura 1.— Equipo portátil Hawk XDi de Winkelmann.

VIGILANCIA DE RADIOFRECUENCIA

Descripción:

- Principio tecnológico: los sensores de vigilancia de radiofrecuencia, repartidos por un área o estructura, pueden detectar cualquier cambio inesperado de RF en el medio de interés. Los resultados se envían a un analizador de espectros y según los criterios establecidos, el receptor puede dar la alarma y, por triangulación, indicar el lugar de donde proviene la señal.
- Aplicabilidad (actual y potencial):
 - Detección de cambios inesperados y sospechosos en el entorno de interés.

- Detección de señales de activación.
- Detección de emisiones no planeadas (armónicos, microprocesadores, etc.).
- Limitaciones: en áreas urbanas, con gran saturación de emisiones de Radiofrecuencia (RF), es difícil definir los criterios de alarma correctamente.

Capacidades:

- Sensibilidad: depende de la señal que aparezca, ancho de banda y tipo de modulación.
- Especificidad: se aplica a los IEDs controlados por RF. En determinados rangos, se pueden detectar algunos dispositivos accionados electrónicamente.
- Rango: para la señal de activación, el rango de detección es del orden de cientos de metros. Para emisiones no intencionadas, el rango de detección es de al menos decenas de metros. Esta vigilancia se puede controlar remotamente.
- Tasas de alarma (positivas, negativas): La detección de una RF dentro de una banda de interés, es una indicación de la probabilidad de que exista un dispositivo explosivo improvisado. El riesgo de falsas alarmas es siempre mayor en zonas con mucho ruido de RF (urbanas), aquí el riesgo de una falsa alarma es medio-alto. Para el caso de zonas con pocas RF, el riesgo de un falso positivo es medio-bajo. Por otro lado, el riesgo de tener un falso negativo es función de la sensibilidad del receptor y del rango de algoritmos utilizados.
- Potenciales mejoras y sinergias:
 - Se puede llegar a localizar la fuente que genera la RF si se emplean analizadores de espectro con una posición fijada y los algoritmos adecuados.
 - Si se elabora una base de datos con las RF comunes y débiles que no activarían los explosivos, se puede hacer un prefiltrado y preprocesado de señal.
 - Se puede emplear con otras técnicas de detección de explosivos para disminuir el ratio de falsas alarmas.
 - Coste: depende del número de sensores y de lo sofisticado del sistema.

Operación:

- Una vez instalados los sensores (ya sea a mano o arrojados desde un avión), se recibe una indicación de la alarma cuando se capte alguna señal sospechosa.

- Los sensores han de discernir el ruido y las frecuencias que no se buscan para interpretar la señal al analizarla, y enviar la información a un centro remoto.

Estado:

- Nivel de madurez: existen productos en fase de desarrollo de mejoras.
- Otros campos de aplicación: esta tecnología se usa comúnmente por fuerzas militares y de seguridad para interceptar transmisiones.
- Proyección de la tecnología.

Referencias:

- Fabricantes:
 - Nombre: URL
 - BAE Systems.
 - Zapchecker: <http://www.zapchecker.com/>

Resumen:

- Principales ventajas:
 - Se puede desplegar fácilmente incluso desde un avión.
- Principales desventajas:
 - Difícil aplicación en áreas urbanas con ambiente lleno de RF a no ser que el criterio de alarma esté muy bien definido.

EMULACIÓN DE LA SEÑAL DE ACTIVACIÓN

Descripción:

- Principio tecnológico: Emular la señal de activación para predetonar el IED controlado por RF. La tecnología depende del mecanismo de radio empleado para iniciar la carga, CTCSS (*Continuous Tone-Coded Squelch System*) y DCS (*Digital Coded Squelch*).
- En caso de conocer que se emplea señal por radio usando los códigos o subtonos CTCSS, la frecuencia de la señal de activación puede ser confinada en un ancho de banda suficientemente estrecho; si no se conoce con exactitud, se deben transmitir todos los subtonos CTCSS (tanto los estándar como los que no lo son) a las frecuencias de interés para iniciar la radio. Los tonos CTCSS son sub-

audibles en el rango de los 67-254 Hz. Los tonos son ondas sinusoidales y su tolerancia en la frecuencia es muy pequeña, normalmente, $\pm 0,5$ Hz. Una lista de los tonos CTCSS estándar y no estándar es la siguiente, cuadro 1.

Cuadro 1.— *Tonos CTCSS estándar y no estándar.*

67.0 Hz	94.8 Hz	131.8 Hz	171.3 Hz	203.5 Hz
69.3 Hz	97.4 Hz	136.5 Hz	173.8 Hz	206.5 Hz
71.9 Hz	100.0 Hz	141.3 Hz	177.3 Hz	210.7 Hz
74.4 Hz	103.5 Hz	146.2 Hz	179.9 Hz	218.1 Hz
77.0 Hz	107.2 Hz	151.4 Hz	183.5 Hz	225.7 Hz
79.7 Hz	110.9 Hz	156.7 Hz	186.2 Hz	229.1 Hz
82.5 Hz	114.8 Hz	159.8 Hz	189.9 Hz	233.6 Hz
85.4 Hz	118.8 Hz	162.2 Hz	192.8 Hz	241.8 Hz
88.5 Hz	123.0 Hz	165.5 Hz	196.6 Hz	250.3 Hz
91.5 Hz	127.3 Hz	167.9 Hz	199.5 Hz	254.1 Hz

- En el caso de que se sepa que la amenaza procede de una señal de radio usando DCS, la frecuencia de la señal de activación puede ser confinada en un ancho de banda suficientemente estrecho; si no se conoce con exactitud, se deben transmitir todos los códigos DCS a las frecuencias de interés para iniciar la radio. DCS es una señal digital que se transmite con la señal de audio. La señal es subaudible con la mayoría de su energía por debajo de los 300 Hz. Sin embargo, tiene un ancho de banda amplio, de 2 a 300 Hz. Cada palabra de la señal es única, y se pueden usar todas las palabras del código en el mismo canal sin interferencia. Una lista de los códigos estándar DCS, en el cuadro 2.

Cuadro 2.— *Códigos estándar DCS.*

023	074	165	261	356	462	627
025	114	172	263	364	464	631
026	115	174	265	365	465	632
031	116	205	266	371	466	654
032	122	212	271	411	503	662
036	125	223	274	412	506	664
043	131	225	306	413	516	703
047	132	226	311	423	523	712
051	134	243	315	431	526	723
053	143	244	325	432	532	731
054	145	245	331	445	546	732
065	152	246	332	446	565	734
071	155	251	343	452	606	743
072	156	252	346	454	612	754
073	162	255	351	455	624	

- Level/Carrier Squelch. Con los modelos antiguos de radios de aficionados, era posible detonar un artefacto explosivo remotamente. Los nuevos aparatos desarrollados tienen la ventaja de diferenciar entre el ruido de alta intensidad y la señal que contiene la información. Usando técnicas de perturbación se puede predetonar un dispositivo controlado con este sistema. Si no se conoce exactamente la banda de interés se debe efectuar un barrido a pasos de 5 kHz.
- Aplicabilidad (actual y potencial): para predetonar de forma intencionada IEDs controlados por RF desde una distancia de seguridad.
- Limitaciones: poca probabilidad de detonar un sistema que use DTMF (*Dual-Tone Multi-Frequency*) si no se conoce el código de activación. Además, no sirve para su uso en movimiento.

Capacidades:

- Sensibilidad:
- Especificidad: se aplica a los IEDs controlados por RF usando tonos CTCSS, DCS o receptores level-squelched.
- Rango: depende en gran medida del poder de radiación efectivo del transmisor EPR. según éste, la estructura y la sensibilidad del sistema de radio, se puede llegar a tener efectividades desde centenas de metros hasta decenas de kilómetros.
- Tasas de alarma (positivas y negativas).
- Potenciales mejoras y sinergias.
- Coste: depende del rango y la potencia requeridos; para una configuración estándar, el coste es aproximadamente el de un equipo comercial de radio.

Operación:

- En el caso de que se conozca el tono y la frecuencia de la señal de activación, el procedimiento es tan simple como encender el transmisor de señal a la frecuencia adecuada con el correspondiente tono, código o tipo de modulación.
- Si no se conoce los datos de la señal de activación, se procederá a escanear la banda de frecuencia con saltos ajustables. El escáner puede ser automático con el uso de un microprocesador.

Estado:

- Nivel de madurez: la tecnología se encuentra en estado avanzado de desarrollo.
- Otros campos de aplicación: puede ser utilizado de manera autónoma o en vehículos aéreos no tripulados, manteniendo la altitud de seguridad. Pueden utilizarse equipos portátiles para predetonar IEDs detectados.
- Proyección de la tecnología.

Referencias:

- Fabricantes:
 - Nombre: URL.
 - Midian Electronics: <http://www.midians.com/html/products.asp?subcat=CTCSS/DCS+Encoders/Decoders>
 - Pacific Research Solutions: <http://www.pacres.com/products/index.html>
 - Midland: <http://www.midlandradio.com/index.asp>

Resumen:

- Principales ventajas:
 - Diseño del sistema y funcionamiento muy sencillo.
 - Bajo precio.
- Principales desventajas:
 - Aplicable a IEDs controlados por radiofrecuencia usando tonos CTCSS, DCS o receptores *level-squelched*.
 - Muy poca probabilidad de poder detonar el artefacto si se emplea DTMF y no se conoce el código de activación.
 - No aplicable para su uso en movimiento ya que la velocidad del escáner es más pequeña que la del convoy, a no ser que la frecuencia esté acotada en una banda muy estrecha.

DETECCIÓN DE HACES ÓPTICOS

Descripción:

- Principio tecnológico: Los detectores de haces ópticos son dispositivos de imagen sensibles a un rango espectral más amplio que el visible. Con estos sistemas se pueden detectar por ejemplo el infrarrojo, el infrarrojo cercano o el ultravioleta.

Existen dispositivos comerciales de este tipo para su uso en laboratorio (control de reflexiones de láser) y también equipos portátiles.

- Aplicabilidad (actual y potencial): Se puede emplear esta técnica para la detección de haces de luz (frecuentemente infrarrojos), que podrían estar dispuestos de forma que cuando el objetivo cruce el haz, se active el IED.
- Limitaciones:
 - Se necesita tener línea de visión.
 - Las condiciones ambientales como altas temperaturas pueden afectar al sistema.

Capacidades:

- Sensibilidad: depende mucho de la intensidad del haz que estemos observando, su longitud de onda y de las características del detector.
- Especificidad: permite averiguar si existe algún haz sospechoso en un cierto lugar que pudiera servir para iniciar un IED.
- Rango: depende de las condiciones del medio. El rango espectral detectable por estos dispositivos puede oscilar entre 180 y 2.200 nm.
- Tasas de alarma (positivas, negativas): no se conocen.
- Potenciales mejoras y sinergias:
- Coste: en función del rango espectral y de las características del equipo, el precio puede oscilar entre 1.000 y más de 10.000 euros.

Operación:

- Se debe escanear la zona sospechosa por la que va a circular el objetivo a proteger, en busca de cualquier haz de luz no visible que interfiera a su paso.

Estado:

- Nivel de madurez: la tecnología está en un grado de desarrollo alto, principalmente a nivel de laboratorio, pero también existen numerosos equipos portátiles incluso para su uso bajo el agua.
- Otros campos de aplicación: alineación de láser, inspección de semiconductores, imágenes térmicas, visión nocturna, etc.
- Proyección de la tecnología: esta tecnología se puede aplicar con otros sistemas de imágenes.

Referencias:

- Fabricantes:
 - Nombre: URL.
 - FJW Optical Systems: <http://www.findrscope.com/>
 - Del Mar Ventures: <http://www.sciner.com/IRV/index.htm>
 - Newport: <http://www.newport.com/store/genproduct.aspx?id=316817&lang=1033&Section=Pricing>
 - Cascade Laser Corp: <http://www.cascadelaser.com/laser-accessories-infrared-viewers---cameras.html?gclid=CPH656-ltZMCFQntIAodBxCrDQ>

Resumen:

- Principales ventajas:
 - Detección a distancia de haces que pueden provocar la iniciación de una carga explosiva cuando un objeto los interfiere.
 - Se puede detectar un gran rango espectral.
 - Económico y de fácil uso e integración.
- Principales desventajas:
 - Necesita un operador.
 - Depende de las condiciones del medio.
 - Sólo tiene aplicación cuando se pretende usar una activación de la carga mediante la interrupción de un haz óptico.

Tecnologías de detección de sistemas mecánicos

DETECCIÓN ACTIVA DE METALES

Descripción:

- Principio tecnológico: Los detectores de metales se basan en la ley de inducción electromagnética (Ley de Faraday), que establece que si se produce una variación en el flujo magnético que atraviesa un material conductor, en la superficie del mismo se genera una fuerza electromotriz por ejemplo o voltaje que se opone a la variación en el campo magnético. Cuando un material conductor es sometido a un campo magnético variable (campo inductor), en la superficie del mismo se inducen

corrientes superficiales que producen un campo magnético secundario (campo inducido) que trata de oponerse a las variaciones en el campo magnético inductor. La intensidad del campo magnético inducido depende de varios factores, pero principalmente depende de la conductividad del material, su permeabilidad magnética, su forma y la orientación del mismo respecto al campo magnético inductor. Esta propiedad de los materiales conductores sometidos a un campo magnético variable se puede utilizar para detectar objetos ocultos tras de una barrera permeable al campo magnético. Generalizando, puede decirse que el principio de estos detectores consiste en emitir un campo electromagnético controlado en el área donde se sospecha que está oculto el material conductor y medir la respuesta del entorno a este campo magnético.

- Aplicabilidad (actual y potencial): la mayor parte de los artefactos explosivos incluyen partes metálicas en el sistema de iniciación y como mecanismo amplificador del efecto de la explosión (generación de metralla), por lo que la detección de metales puede aplicarse en el campo de detección de explosivos:
 - Portales de detección de metales. Usados habitualmente en los aeropuertos.
 - Detección de objetos metálicos enterrados. Desminado.
- Limitaciones:
 - Permite la detección de objetos metálicos (conductores) pero no la identificación de los mismos por lo que el número de falsas alarmas (generadas por objetos inocuos) puede ser muy elevado.
 - Presentan un riesgo para las personas con marcapasos por lo que su utilización se debe de advertir.
 - La capacidad de detección se limita a objetos metálicos (conductores). IED construidos con otros materiales no serían detectados con esta tecnología.

Capacidades:

- Sensibilidad: la tecnología posee una elevada sensibilidad, pero es difícil de cuantificar porque los resultados dependen mucho del material, la forma y la orientación del objeto respecto al detector.
- Especificidad: la especificidad de esta tecnología para detección de IEDs es muy baja. Cualquier objeto metálico puede producir una alarma.

- Rango: normalmente el rango de operación es menor de un metro. La operación remota es posible, pero la necesidad de confirmar la procedencia de las alarmas hace que la operación remota resulte poco operativa.
- Tasas de alarma (positivas, negativas): La tasa de falsas alarmas es muy alta. La tasa de falsos negativos se puede reducir mucho (es una técnica muy sensible) pero esto supone incrementar la detección de pequeños objetos inocuos.
- Potenciales mejoras y sinergias: las técnicas de imagen de objetos ocultos pueden ayudar a reducir los tiempos para la confirmación de las alarmas.
- Coste: bajo.

Operación:

- Portales: el transmisor y el receptor se colocan en una estructura con forma de puerta (o portal). Las personas o los paquetes a examinar se hacen pasar a través del portal. Si la persona o el o paquete lleva objetos metálicos el portal emite una alarma sonora, y dependiendo de la configuración del mismo, una indicación de la altura del portal a la que se encuentra el objeto detectado.
- Detectores de mano: un detector pequeño, alimentado con baterías se pasa sobre el cuerpo de la persona en la que se están buscando los objetos metálicos, al pasar sobre un objeto metálico el detector emite una alarma.
- El tiempo de respuesta es muy corto y la velocidad de paso por un portal es la de una persona caminando con normalidad.
- Los equipos necesitan un tiempo para la calibración antes de comenzar la detección.

Estado:

- Nivel de madurez: es una tecnología madura utilizada en prácticamente todos los puntos de control de entrada de personas a instalaciones o lugares vigilados.
- Otros campos de aplicación: este tipo de detectores se utiliza en detección de metales enterrados (tuberías, armas en escenas de un crimen, etc.).
- Existen sistemas de mano para su utilización bajo el agua.
- Proyección de la tecnología: no se esperan grandes variaciones en esta tecnología.

Referencias:

- Fabricantes:
 - Nombre: URL.
 - Metorex Security Products: *www.metor.net*
 - IDO Security 2.000: *www.idos2000.co.il*
 - Ebinger: *www.ebingermbh.com*
 - CEIA: *www.ceia.net*
 - Guartel Technologies Ltd: *www.guartel.com*
 - Proytecsa: *www.proytecsa.es*

Resumen:

- Principales ventajas:
 - Bajo coste.
 - De fácil manejo.
 - Detección de armas ocultas.
 - Posibilidad de detección bajo el agua.
- Principales desventajas:
 - Baja o muy baja capacidad de discriminación de objeto inocuos.
 - Detecta solo artefactos que incluyan partes metálicas.
 - Difícil ajustar el nivel óptimo entre la sensibilidad y el número de falsas alarmas por objetos inocuos, figura 2.

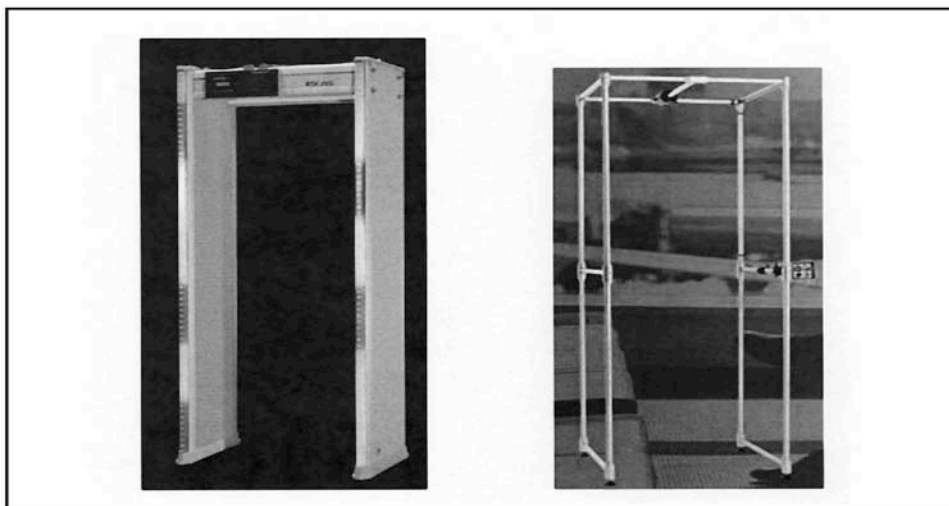


Figura 2.— Portales o arcos de detección de metales: TERASCANTM ESW-618 de escos y PASSEX 100M de Ebinger, mostrando la adaptabilidad de este tipo de equipos a diferentes ambientes.

DETECCIÓN PASIVA DE METALES

Descripción:

- Principio tecnológico: cuando se introduce un material con alta permeabilidad magnética en un campo magnético estático, la intensidad del campo magnético en los alrededores del material se ve afectada por la presencia de éste. Los detectores pasivos de metales son equipos capaces de detectar variaciones muy pequeñas en la intensidad de un campo magnético estático (en general el campo magnético terrestre) causadas por la presencia de un material magnético o ferromagnético. Existen diferentes tipos de sensores magnéticos que pueden emplearse en estos equipos, y la selección de los mismos depende de la intensidad del campo magnético y de las variaciones que hay que detectar. Los detectores de metales pasivos utilizan el campo magnético terrestre, asumiendo que, para un área pequeña, es constante; las variaciones de intensidad son muy bajas y los detectores se utilizan en modo diferencial (la combinación se denomina generalmente gradiómetro) y dispuestos en una configuración en que la distancia entre los sensores es constante de modo que el ruido afecta a ambos pero la perturbación del campo creada por un objeto ferromagnético afecta más a uno u otro sensor.
- Aplicabilidad (actual y potencial): la aplicabilidad de estos sistemas para la detección de artefactos explosivos se basa en el hecho de que la mayor parte de los artefactos explosivos utilizan materiales ferromagnéticos (por ejemplo en la metralla). Se utilizan en desminado. Existen algunos portales de detección de metales basados en esta tecnología.
- Limitaciones: no resulta difícil pensar en un artefacto explosivo que no utilice materiales ferromagnéticos, que no sería detectable por este tipo de sensores.

Capacidades:

- Sensibilidad: la tecnología es muy sensible pudiendo llegar a detectar una cuchilla de afeitar en un portal detector.
- Especificidad: esta tecnología es específica para materiales ferromagnéticos; esto es una limitación, pero al mismo tiempo puede representar una ventaja al no producir alarmas por objetos comunes como relojes, anillos, etc.

- Rango: se han realizado ensayos con esta tecnología a distancias de 2-3 metros. La operación remota también es posible.
- Tasas de alarma (positivas, negativas): Posee una alta sensibilidad, pero produce un elevado número de falsas alarmas debido a objetos inocuos que puedan contener materiales ferromagnéticos.
- Potenciales mejoras y sinergias: utilizando la naturaleza vectorial de alguno de los sensores de campo magnético disponibles, es posible construir sensores que pueden producir una especie de imagen magnética del objeto, proporcionando una idea del tamaño y forma del objeto detectado.

Operación:

- Portales: funciona igual que los portales de detectores activos de metales, pero el sistema puede ser capaz de proporcionar una indicación de la posición y el tamaño del objeto detectado
- Sistemas instalados en vehículos: estos detectores pueden instalarse en vehículos, helicópteros, etc. y utilizarse para rastrear grandes áreas.

Estado:

- Nivel de madurez: cinco- producto maduro.
- Otros campos de aplicación: puede ser utilizada en yacimientos arqueológicos para detección de objetos enterrados.
- Proyección de la tecnología: la tecnología está madura y pueden esperarse nuevos productos para aplicaciones específicas.

Referencias:

- Fabricantes:
 - Nombre: Producto, URL
 - QinetiQ: Ferroguard, www.qinetiq.com
 - View Systems Inc: SecureScan, www.viewsystems.com
 - INEEL: www.inel.gov/
- Investigación:

- Giovanni Leucci, Sergio Negri. Osservatorio di Chimica, Fisica e Geologia Ambientali, Dipartimento di Scienza dei Materiali- Università di Lecce, via per Arnesano, 73100 Lecce, Italy.
- Liao, Y., Nolte, L.W., Collins, L.M. Sony Ericsson Mobile Commun., Inc., Research Triangle Park, NC, Estados Unidos.
- Jim Lestera, Leonhard E. Bernoldb. Control Systems Engineer, E-Merge Systems Inc., Richmond, VA 23220, Estados Unidos.
- Department of Civil Engineering, NC State University, Raleigh, NC 27695, Estados Unidos.

Resumen:

- Principales ventajas:
 - No necesita un campo magnético externo.
 - Bajo consumo de energía.
 - No representa peligros para la salud.
 - Permite realizar perfiles magnéticos del objeto detectado.
- Principales desventajas:
 - Sólo detecta materiales magnéticos o ferromagnéticos

Sistemas de imagen:

- Ver más adelante Rayos X y gamma, terahercios, ondas milimétricas, por infrarrojos y radar de penetración.

Tecnologías de detección de trazas de explosivos

TECNOLOGÍAS DE BIOSENSORES. BIOMOLÉCULAS

Descripción:

- Principio tecnológico: es muy dependiente de la técnica empleada, pero de forma general se combina, por un lado, el reconocimiento específico de moléculas por el elemento biomolecular, y por el otro, la electrónica para la medida, transducción y procesado de señal. Las biomoléculas se pueden acoplar directamente al dispositivo analítico o pueden ser una parte de una célula viva u organismo y actuar como elemento detector. El sensor biológico reacciona ante la presencia de pequeñas cantidades de analito produciendo un efecto medible. Un transductor convierte el

efecto en una señal medible. El detector molecular es, por lo general, un compuesto biológico receptor tal que enzimas, anticuerpos, proteínas receptoras, ácido nucleico, células y tejidos o bacterias. El transductor puede ser electroquímico (por ejemplo amperimétrico, conductivimétrico, potenciométrico, capacitivo, etc.), óptico y/o mecánico (fluorescencias, piezoeléctricos, etc.). Una realización de este sistema empleado para la identificación de rastros de explosivos en fase vapor tendrá los siguientes bloques constructivos: Muestreo del aire (con sus elementos de filtrado y trampa), el biosensor y el hardware y software necesarios para procesar las señales. Así, de forma general podemos indicar tres pasos en el proceso de la detección:

- Primera fase: recogida de muestra y concentración.
- Segunda fase: detección (realizada por las biomoléculas y el transductor).
- Tercera fase: análisis de la señal medida y toma de decisión (identificación positiva o negativa).
- Aplicabilidad (actual y potencial): Los sensores basados en bio-moléculas se pueden aplicar a la detección de trazas de explosivos.
- Limitaciones:
 - Escasa estabilidad del sensor.
 - Dada la especificidad de los anticuerpos, el sistema no detectará sustancias explosivas con excepción de las definidas como diana (véase la especificidad).

Capacidades:

- Sensibilidad: (depende mucho del tipo de sensor específico):
 - El límite de detección de sistemas con el transductor óptico es 5 ng/ml para trinitrotolueno (TNT) y 25 ng/ml para ciclonita (RDX).
 - El Fast 6000 tiene límites de detección en la gama de ppb para TNT y RDX.
 - Otros sistemas son comparables a la sensibilidad de los perros muy bien entrenados.
- Especificidad: La especificidad depende mucho del tipo de biomolécula, por ejemplo:
 - Los biosensores basados en anticuerpos son muy específicos, porque el elemento molecular del sensor se elige para que interactúe solo con la especie a buscar (moléculas diana).

- Los biosensores basados en micro algas marinas no son muy específicos.
- Rango: el sensor debe estar cerca del objetivo. O bien las muestras se recogen cerca del objetivo y se pueden analizar en diferente lugar.
- Tasas de alarma (positivas, negativas): depende obviamente del tipo de biosensor. Por ejemplo, *Biosens* demanda menos del 2% de falsas alarmas.
- Potenciales mejoras y sinergias: La cromatografía de gases que se está utilizando actualmente para analizar las muestras de partículas del suelo recogidas con filtros especiales y combinado con cartuchos de muestreo que recogen en grandes cantidades REST (*Residual Explosive Scent Tracing*). Los datos obtenidos usando el cromatógrafo como sistema de retención mejoran enormemente la selectividad del sistema. El sistema con esta mejora puede analizar una muestra en menos de dos minutos.
- Coste: los sensores basados en biomoléculas pueden costar entre 15 y 25 k/euros, más materiales consumibles tales como filtros y soluciones químicas, pero hay que tener en cuenta que varía mucho, dependiendo de la biomolécula y del transductor.

Operación:

- Antes de análisis se requiere realizar la adquisición y acondicionamiento de la muestra: el muestreo. Dependiendo del volumen de aire muestreado se puede realizar con el aparato mismo o con cartuchos especiales.
- Por ejemplo, en algunos modelos concretos (que pueden variar de unos fabricantes a otros dependiendo de la tecnología escogida), se coloca un filtro en la punta de la sonda y el objeto sospechoso o el área se aspira para recoger tanto material como sea posible, pasando al sistema de análisis donde hay varios biosensores recubiertos con anticuerpos que reaccionarán solamente a la sustancia diana, por ejemplo: cocaína, cannabis, TNT, Semtex, etc. Los anticuerpos realizan la detección y, si la muestra no contiene moléculas diana, los anticuerpos permanecen en el biosensor y no hay cambio de la señal –luz Verde–, pero si la muestra contiene moléculas diana, los anticuerpos migrarán del biosensor y se disparará una alarma –luz Roja–, se identifica la molécula diana descubierta y opcionalmente se puede pedir una impresión.

Estado:

- Nivel de madurez: ya hay algunos productos disponibles en el mercado y un gran esfuerzo de la investigación en este campo para la detección de drogas, ayudas en el desminado, agentes biológicos y químicos en inspecciones de cargo y equipajes, inspección de personal, etc.
- Otros campos de aplicación: los biosensores se utilizan actualmente en algunos tipos de control medioambientales (principalmente para medir parámetros de calidad del agua).
- Proyección de la tecnología: desarrollo de biomoléculas específicas para ampliar el espectro de analitos detectables.

Referencias:

- Fabricantes:
 - Nombre: URL.
 - Advanced Aviation Technology Ltd.: <http://www.aatl.net>
 - BAAB (Biosensor Application Sweden AB): http://www.biosensor.se/eng-tekprod_biosens_m.asp
 - Research International: <http://www.resrchintl.com/raptor.html>
- Investigación:
 - Nombre: URL.
 - Sandia National Laboratories (Estados Unidos): <http://www.sandia.gov>
 - MIT (Estados Unidos): <http://web.mit.edu>
 - Facultad de Ciencias Veterinarias (Grupo de genética). Univ. Complutense de Madrid
 - TNO-PML (NL): <http://www.tno.nl>

Resumen:

- Principales ventajas:
 - Simplicidad.
 - Respuesta rápida.
 - Alcanza alta sensibilidad y especificidad.

- Reducido tamaño y posibilidad de bajar el coste.
- Principales desventajas:
 - Estabilidad deficiente (ciclo de vida corto).
 - Desarrollo costoso de sensores específicos.
 - No funcional en solventes orgánicos.
 - El sensor debe substituirse o recargar después de unas pocas pruebas positivas, figura 3.

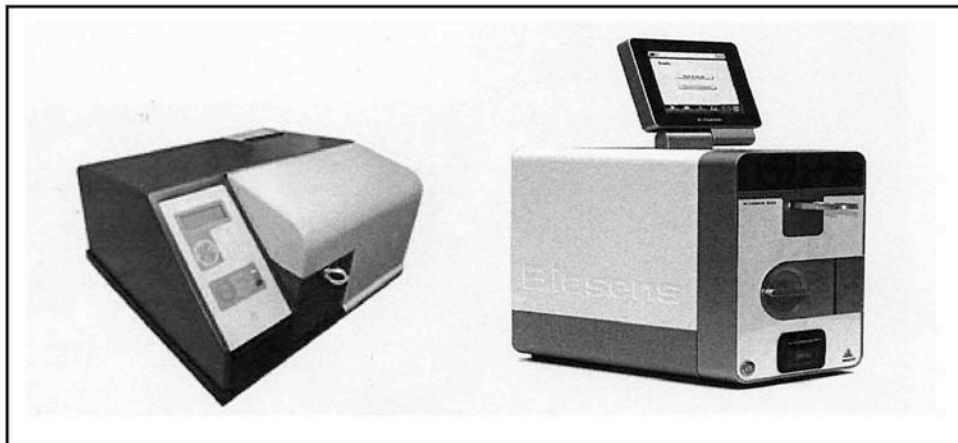


Figura 3.— Equipos que utilizan transductor de microbalanza de cuarzo. *BIOSENS® Trace y BIOSENS® 600 de Biosensor Applications.*

TECNOLOGÍAS DE BIOSENSORES. MEDIOS CANINOS

Descripción:

- Principio tecnológico: Una de las herramientas más importantes (y la más misteriosa) para la detección de IEDs es el sentido olfativo propio de los mamíferos. La potente capacidad para oler de los perros es lo que denominamos habilidad olfativa. El centro olfativo en el cerebro humano es cerca de 40 veces más pequeño que el de un perro estándar. Cuando las moléculas de un olor determinado se depositan en el tejido de la membrana dentro de la nariz del perro, la información de él se recoge, procesa, y envía al cerebro. No se sabe, a ciencia cierta, el tipo y el número de moléculas requeridas realmente por los perros para identificar los explosivos. Los

perros pueden discriminar señales extremadamente débiles (olores diana) frente a un gran ruido de fondo (olores que enmascaran). Además, los perros pueden aprender a discriminar hasta diez olores sin dificultad. El perro detecta el vapor específico o combinación de vapores, por ejemplo TNT sobre todo, impurezas y productos de su degradación, tales como, DNB (dinitrobenceno) y DNT (dinitrotolueno) y no sólo el explosivo en sí mismo, por lo tanto pueden alcanzar una capacidad de la detección sorprendente. Hay que resaltar algunas particularidades de este método de detección:

- Los perros pueden trabajar al aire libre y en el interior. Sin embargo, la temperatura y la humedad ambientales afectan a los resultados del perro. También, el clima local y los microorganismos en el suelo influenciarán la disponibilidad de olores.
- Alta dependencia del operador; el perro siempre trabaja en equipo con su instructor, que ha de interpretar el comportamiento del animal cuando huela el explosivo.
- El tiempo de la recuperación tras una identificación no es relevante, pero existe la limitación de unos 90-120 minutos de trabajo por día.
- Aplicabilidad (actual y potencial): en el área contra IEDs los perros son, actualmente ampliamente utilizados por las fuerzas de seguridad para buscar explosivos ocultos en personas, equipajes, coches, etc. Los perros se consideran, hoy por hoy, el «sistema» disponible de detección de explosivos más fiable y son la referencia al hablar de otros dispositivos de detección de explosivos. Los perros también se utilizan regularmente en el desminado para localizar minas enterradas. También, las organizaciones internacionales como la Organización de Naciones Unidas en misiones de mantenimiento de paz emplean perros para detectar explosivos y municiones escondidas o tráfico ilegal.
- Limitaciones: una limitación importante de los perros es la incapacidad de conservar la habilidad de discriminar sin el reentrenamiento recordatorio de las discriminaciones aprendidas. Dependiendo del perro, el entrenamiento se debe repetir (refresco) tras periodos de 14 a 120 días para mantener sus capacidades de detección. La otra limitación es que no pueden trabajar de forma continua. Un perro puede trabajar generalmente con eficacia, en búsqueda continua, durante no más de 15-25 minutos. Las condiciones ambientales también afectan al resultado del perro,

las temperaturas altas pueden disminuir la capacidad de detección del perro, incluso en un animal no cansado y entrenado para buscar durante largos periodos, en áreas extensas con disponibilidad baja de olores diana. Aunque la humedad tiene un efecto pequeño en el rendimiento del perro, la combinación de humedad alta y temperatura alta afectará las capacidades del perro más que el efecto de cualquiera de esos factores tomados por separado. El clima local y los microorganismos en el suelo pueden influenciar la disponibilidad de olores diana. Por esta razón, es recomendable entrenar a los perros en la región donde se desplieguen, y realizar un entrenamiento de refresco regular para mantener las habilidades de detección. Los perros presentan también algunas limitaciones operacionales, como son el miedo o rechazo de algunas personas a los animales.

Capacidades:

- Sensibilidad: la capacidad de detección del perro se sabe ahora que es sensible a la concentración de explosivo. La sensibilidad del perro a concentraciones decrecientes de 2,4-DNT disminuye rápidamente en la región entre 200-1000 ppt (10^{-12}), aunque hay que hacer notar que esta estimación de sensibilidad está cerca de los límites de la tecnología actual para medidas en condiciones del laboratorio (cerca de 1 ppt).
- Especificidad: los perros pueden ser entrenados para detectar cerca de 10 mezclas explosivas diversas. No está aún claro qué es lo que realmente huele el perro, pero se cree que identifica una combinación de olores del explosivo (el explosivo en sí mismo, algunas impurezas comunes y posiblemente algunos productos de la propia degradación del explosivo), por tanto hay que ser cautos a la hora de sugerir que las sustancias comúnmente detectadas por los perros sean las más abundantes en la fase vapor, es decir aquellas con la presión de vapor más alta.
- Rango: de modo general los perros necesitan estar cerca del explosivo para poder realizar la detección (algunos metros) y el instructor necesita estar también cerca del perro (otros pocos metros) pero es importante resaltar también que las capacidades de los perros dependen mucho de la propagación del olor y esto es un factor muy variable y diferente para cada situación, p. e.. para la detección de minas el transporte del TNT o DNT desde la propia mina enterrada hasta la superficie depende de varios procesos físicos, tales como difusión, separación y evaporación. Estos procesos se ven afectados fuertemente por tres factores: composición del

suelo, temperatura y humedad del suelo (diversa propagación para cada tipo de terreno y clima).

- Tasas de alarma (positivas, negativas). De una forma cualitativa: tasa media.
- Potenciales mejoras y sinergias: los resultados actuales sugieren que no sean entrenados solamente en TNT, o al menos haya una cierta variación en la fuente y calidad del TNT usado. No hay sinergias con otras tecnologías de detección, si bien se emplean Sistemas GIS/GPS de posicionamiento automático para aumentar el rendimiento de la localización e identificación geográfica.
- Coste: los costes más importantes son: el tándem perro e instructor, más el proceso de entrenamiento, que puede durar cerca de un año, y los costes de mantenimiento para los perros. A título orientativo:
 - Selección del perro y entrenamiento: 20.000–25.000 euros.
 - Mantenimiento del perro: 5.000 euros/año.
 - Instructor (como coste equipo): 20.000–35.000 euros/año.

Operación:

- El instructor dirige el perro para que olfatee (aspiración) en el área de búsqueda.
- El perro busca en el suelo-aire, sigue la trayectoria del olor hasta la fuente.
- El perro debe poder moverse alrededor de los objetos que potencialmente oculten el explosivo para encontrar las trayectorias del olor.

Estado:

- Nivel de madurez: la tecnología es madura y ampliamente usada (desplegada) para detección de los explosivos, minas enterradas y detección de drogas en control de fronteras (utilizado por casi todas las Fuerzas de Seguridad mundialmente).
- Otros campos de aplicación: los perros se utilizan actualmente en detección de drogas, en misiones de rescate (búsqueda de personas enterradas o desaparecidas después de una catástrofe), vigilancia en las misiones de paz de las fuerzas de seguridad, etc.
- Proyección de la tecnología: una mejor comprensión del proceso canino de olfatación y detección y de la influencia de las condiciones medioambientales, etc.

Mejorar los programas de entrenamiento para crear la capacidad de detección y desarrollar programas de mantenimiento/reentrenamiento mejorado, figura 4.

Referencias:

- Centros de Investigación:
 - Nombre: URL.
 - Sandia National Laboratories Estados Unidos: www.sandia.gov (James M.Phelan)
 - Auburn University – IBDS Estados Unidos: <http://www.vetmed.auburn.edu/ibds> (Paul Waggoner)
 - U.S. Army Corps of Engineers: <http://www.usace.army.mil>
 - Fraunhofer Institute for Chemical: www.fraunhofer.de Technology. Germany



Figura 4.— Perro detector de explosivos durante el entrenamiento.

Resumen:

- Principales ventajas:
 - Alta sensibilidad.

- Pueden alcanzarse largas distancias de detección.
- Selectividad hasta diez olores diversos, al mismo tiempo.
- Capaz de inspeccionar áreas grandes en un corto plazo de tiempo.
- Principales desventajas:
 - Tiempo diario de trabajo muy limitado, intercalado con largos periodos de descanso.
 - Costoso entrenamiento inicial y mantenimiento/reentrenamiento.
 - Dependiendo del método de entrenamiento, el equipo perro debe estar compuesto por un perro y un cuidador (y solamente uno).
 - Los perros no pueden identificar el tipo de explosivo.

TECNOLOGÍAS DE BIOSENSORES. OTROS ANIMALES

Descripción:

- Principio tecnológico: al igual que en el caso de los cánidos, el uso de otros animales (como abejas, ratas, etc.) explota la capacidad de un organismo vivo de descubrir firmas químicas de explosivos en concentraciones muy bajas. También pueden ser entrenados para buscar sustancias químicas específicas o familias de sustancias químicas. Las abejas (y, también, avispas) realizan continuamente el vuelo libre desde sus colmenas en busca del alimento para retornar de nuevo a la colmena. Las abejas en su vuelo cruzan, una y otra vez, lo que podemos denominar sus áreas de pastoreo que pueden variar entre uno a dos kilómetros (e incluso puntualmente superar varias veces este radio de acción). En su actividad continua de vuelo es muy probable que las abejas o avispas puedan cruzarse con las trazas de explosivos (en formas de vapor o aerosol) varias veces, si es que están presentes en un determinado área, siendo recogidas por aquéllas en sus patas junto con el polen, polvo u otras partículas, y llevadas a sus colmenas. Si consideramos que los múltiples vuelos de las abejas están actuando como factor multiplicador (el equivalente en los sistemas artificiales al pre-concentrador) las partículas traídas a la colmena por las abejas se pueden detectar por tecnologías analíticas tradicionales (incluido las fibras de microextracción en fase sólida) y absorbentes sol-gel de nueva generación, combinados con cromatografía de gases y espectrómetros de masas. Además del uso del vuelo libre de pastoreo de las abejas, es posible entrenarlas para buscar olores de explosivos, análogamente a como ellas buscan el olor de las

flores. Una vez que las abejas se entrenen para seguir el olor del explosivo, la observación de los patrones del vuelo de las abejas permitirá la identificación de las áreas donde se ocultan los explosivos. Una colonia, de decenas de millares de abejas, puede ser entrenada en aproximadamente una hora para sobrevolar y buscar en un campo de explosivos porque una vez que una única abeja identifique un nuevo olor como de alimento, ésta consigue transmitir el conocimiento a los otros miembros de la colmena. Las ratas, al igual que los perros, utilizan el sentido olfativo y necesitan ser entrenadas para determinar el olor de los explosivos.

- Aplicabilidad (actual y potencial): las ratas son utilizadas actualmente o recientemente, en desminado, entre otros, por el Gobierno de Zimbabue, el Instituto Nacional de Desminado de Mozambique y el Gobierno de Tanzania. Las abejas pueden ser utilizadas también para desminado debido a su capacidad para explorar un área muy grande en relativamente poco tiempo. Sin embargo la tecnología de entrenamiento todavía está bajo experimentación, habiéndose llevado a cabo algunos ensayos de campo, pero ningún uso práctico a gran escala.
- Limitaciones: las abejas no vuelan de noche, con fuerte lluvia, o en tiempo frío (por debajo de unos 4 °C). Los tipos de capas que cubren el suelo, condiciones del viento, forma del terreno, cantidad de vegetación y plantas, temperatura ambiental, humedad de las muestras, etc. son variables que limitan el uso de abejas. Las abejas actúan bien en campos abiertos, bajo condiciones cálidas y secas.
- Las limitaciones climáticas y medioambientales para el uso de ratas son similares a las limitaciones de uso indicadas para los perros. El despliegue de ratas requiere que se instale un sistema de correas de guiado para dirigir el movimiento de las ratas en el campo a inspeccionar; las condiciones circundantes afectan las capacidades de la detección de las ratas. Hay una limitación inherente para utilizar abejas y ratas en operaciones en áreas pobladas o en donde haya que inspeccionar personas por razones obvias de aversión a estos animales.

Capacidades:

- Sensibilidad: las pruebas iniciales indican que las abejas son capaces de detectar estos olores en concentraciones por debajo del límite perceptible para la mayoría de los instrumentos actuales. Las abejas se acercan, si no igualan, a la sensibilidad de los perros, es decir, unas pocas ppt (10^{-12}) a ppq (10^{-15}), y posiblemente menores. El límite más bajo de sensibilidad de olfateo para las abejas no se ha determinado

sino durante la fase de entrenamiento de las abejas, de forma que se alcanzó antes el límite del sistema de dosificación sin que las abejas perdiesen la pista del olor. Las pruebas con abejas mieleras demostraron la detección de vapor de 2,4-DNT en concentraciones de ppb y de ppt. Las curvas de ROC (*Receiver Operating Characteristic*), representa la probabilidad de positivos verdaderos, o detección real, respecto a falsos positivos) para concentraciones entre 10 ppb y 0,001 ppb indican que para las dosis por encima de 0,01 ppb (es decir, 10ppt), el sistema abeja se comporta como un detector cuyo ajuste y puesta a punto se haya realizado muy finamente, prácticamente como un detector ideal; figura 5.

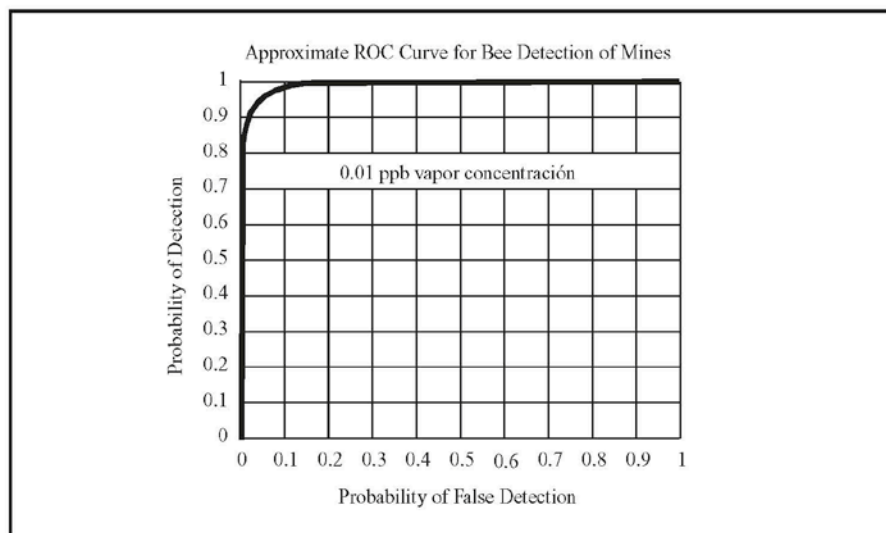


Figura 5.— Gráfico de sensibilidad ROC. (BROMENSHEN, J. Jerry, et al.: Biological Systems (Paper II), Universidad de Montana, 2003).

- Especificidad: para las abejas las composiciones probadas incluyen NG (nitroglicerina), EGDN (etilenglicoldinitrato), 2,6-DNT, 2,4-DNT, TNT, RDX y PETN (pentrita), incluyendo trazas en sus colmenas. Por otra parte en el caso de las ratas, éstas se utilizan principalmente para detectar TNT y sustancias relacionadas.
- Rango: aunque las abejas tienen que estar cerca de la fuente de olor (explosivo) para detectar, refiriéndonos a abejas no entrenadas, no hay ninguna necesidad de operador cercano o conectado a la colonia por lo que podemos considerar las abejas

como sistema con capacidad de detección *stand off* (a distancia). Se ha publicado en algunos casos que las abejas localizaron y determinaron correctamente objetivos de DNT en un área de 200 metros en menos de una hora sin la necesidad de una persona presente en la zona de pruebas. La extensión a 1 km es posible, dando a esta técnica un alto potencial como detección *stand-off*. Para las abejas entrenadas el problema está en poder rastrear y seguir los patrones de vuelo de las abejas. En el caso de las ratas, por el contrario, necesitan estar cerca del explosivo para olerlo. Las ratas pueden oler generalmente una mina en un área de radio cercano a 0.5 metros. Las ratas tienen que operar bajo mando del instructor (uso de lazos) que, por tanto, da un rango de operación menor del centenar de metros.

- Tasas de alarma (positivas, negativas): para las abejas, en general, se ha calculado una probabilidad de 1.0-2,5% de falsos positivos, y probabilidad menor del 1% de falsos negativos. Los ensayos de campo con abejas mieleras en concentraciones vapor de ppb y de ppt de 2,4-DNT demostraron una probabilidad de detección en el rango de 97- 99%.
- Potenciales mejoras y sinergias: mejoras, los avances de la tecnología de sistemas de seguimiento del vuelo (por ejemplo, LIDAR o cámaras fotográficas de alta resolución montadas en aviones, plataformas no tripuladas o satélites) para identificar los patrones de vuelo de las abejas ofrecerán mejoras, de varios órdenes de magnitud, en la velocidad a la cual se podrían retirar (limpiar) los campos de minas antipersonal. Por otro lado, como ocurre con los perros, las ratas se han de «recalibrar» para las minas específicas que se encuentren en las operaciones de desminado, antes del despliegue. Hay también progresos para conectar electrodos en el cerebro de la rata y, a través de un ordenador, realizar el mando y control del animal. Sinergias: Capacidad de aumento de detección por el uso de algoritmos de detección diseñados para aplicaciones radar (AFRL) en el rastreo de patrones de vuelo de abejas entrenadas. Los métodos analíticos y dispositivos para medir residuos y vapores de explosivos en la abeja pueden mejorar las prestaciones al usar abejas en vuelo libre. En el caso de ratas, la sinergia puede venir por el uso combinado con aparatos conocidos como REST, trazas olfativas de explosivo residual), que es una tecnología para la reducción de grandes áreas sospechadas a las áreas realmente contaminadas de minas. Actualmente, esta tecnología se utiliza principalmente en el 'limpiado' de caminos y carreteras.

- Coste: en el caso de las abejas, los costes más importantes serán los iniciales: El proceso de entrenamiento, el salario del apicultor y el equipo para observar las abejas. Además, debemos añadir el coste de compra de la colonia de abejas, principalmente no recurrentes. Por el contrario, los costes operacionales son muy bajos. En el caso de ratas, una rata entrenada cuesta alrededor de 1.700 euros (según datos de 2005).

Operación:

- Abejas. Detección activa: las abejas se entrenan individualmente para discriminar entre una pequeña muestra de aire que no contiene ningún olor y una muestra que contiene el olor de un explosivo. Otro procedimiento de entrenamiento es: El instructor toma un pequeño alimentador, lo coloca cerca de la colmena de abejas y después hace que las abejas se acostumbren a ir y volver al alimentador, colocándolo cada vez más lejos de la colmena. Después se oculta y las abejas tienden a seguir ese alimentador. Puesto que hay restos de explosivo (generalmente en forma de cristales) cerca del alimentador, las abejas asocian ese olor del explosivo a su fuente de alimento. Una colmena de abejas entrenadas se coloca cerca del área donde se supone está el campo de minas. Las abejas entrenadas vuelan sobre las minas como si hubiesen encontrado un campo de flores, y estudiando los patrones del vuelo de la colonia es posible determinar dónde se oculta las minas. Algunos estudios demuestran que si en un suelo no contaminado se encuentran por término medio, durante una hora, 2 abejas, en un área contaminada se encuentran unas 1.200.
- Abejas. Detección pasiva: alternativamente, las abejas no entrenadas pueden ser utilizadas para declarar limpia un área. Basta colocar dondequiera una colmena de abejas no entrenadas y analizar las partículas traídas consiguió a la colmena por las abejas. Las abejas cuando liban recogen néctar, polen, agua, etc. la carga electrostática en su cuerpo atrae polvo, polen, restos del suelo y otras partículas, incluyendo las sustancias químicas que se escapan de los dispositivos explosivos en suelo y agua. Estos materiales entonces se llevan a la colmena que junto con las abejas, el polen, la cera, la miel y el aire dentro de la colmena se pueden ahora analizar en busca de restos de los explosivos. Varias tecnologías analíticas, incluyendo las técnicas de fibras de microextracción en fase sólida SPM (*Solid Phase Microextraction*) *fibers* –SPM *fibers*–, en su acepción en inglés), y una nueva generación de absorbentes sol-gel, combinada con cromatografía de gas y

espectroscopia de masa total, han pasado a validación en campo para la detección de explosivos. Si tras cierto tiempo no hay trazas, de explosivos u otro material peligroso, hay una probabilidad muy alta de que cierta área alrededor de la colmena esté limpia de sustancias peligrosas.

- Ratas. Estos animales, preparados para detectar olores de explosivos, se entrenan para caminar atadas a una correa, que se sujeta a una barra que se mueve hacia adelante en un campo que se sospecha minado; la anchura de las sendas que la rata tiene que explorar se ajusta a 0,5 metros. Cuando los animales huelen el material explosivo arañan o muerden en el sitio (el peso ligero de la rata –0,7 a 1,5 kilogramos– no acciona la mina). El resultado es un sistema de barra o hileras de búsqueda que permiten que el animal se mueva sistemáticamente sobre el campo. Los animales caminan con una correa, que desliza sobre una barra de unos 6 metros de larga que se pueda adelantar progresivamente en el área sospechosa. Dos personas están presentes mientras la rata está trabajando. Ambas asen de cada lado la barra de búsqueda, en la senda segura. Las ratas indican las posiciones de las minas arañando (o mordiendo) la superficie en el sitio donde huele el dispositivo explosivo. Para recompensarla, el instructor llama la atención del animal que se dirige al instructor, consiguen su recompensa y después comienza a explorar la siguiente senda. La segunda persona, el observador, anota el comportamiento y actuación de la rata mientras trabaja. Se han descrito algunos patrones de comportamiento específicos diversos, figura 6.



Figura 6.— Entrenamiento de ratas. (Catálogo APOPO. Bélgica).

- Otra forma de operar es analizando filtros que han tomado la muestra del vapor del ambiente. En este proceso los vapores explosivos se adherirán a los filtros. Los animales entonces evalúan sistemáticamente estos filtros, en un sistema de jaulas, e indican la presencia de explosivos.
- Tiempo de respuesta: el tiempo de reacción variará de algunos segundos a varios minutos. Sin embargo, no se ha documentado tiempo de restablecimiento del sistema.
- Tiempo de operación: varios minutos (la mayor parte del tiempo la abeja está explorando el área). En usos de desminado, las ratas se introducen en la esquina de un cuadrado de 5 x 20 metros (100 m²) dividida en cuarenta sendas (es decir, de 0,5 m de ancho) tomándole una media cercana a los 28 minutos para completar dicho cuadrado.
- Portabilidad: no se ha reportado especialmente este aspecto ya que los animales entrenados se han de desplegar en el lugar que se quiere rastrear. Por tanto se supone una cierta facilidad en relación a este parámetro.
- Dependencia del operador, para las abejas: no hay gran dependencia del operador, pero sí del sistema de seguimiento (identificación del patrón de vuelo). La reacción y el comportamiento de la abeja se deben interpretar por el hombre pero se podrían emplear para automatizar el proceso técnicas LIDAR, imagen de radar o vídeo, aditivos trazadores al explosivo (*taggants*, «Mercado de explosivos-aditivos», p. 00) y pigmentación para establecer patrones de apacentado y densidad de abejas. Se requiere entrenamiento previo para llegar a ser operacionales (en modo activo) pero después la operación es relativamente fácil. Para el caso de ratas: Requieren uno o dos operadores para determinar el comportamiento del animal. Las ratas se deben volver a reentrenar en los explosivos específicos que se buscan antes de ser desplegado el sistema de detección.

Estado:

- Nivel de madurez: la tecnología, en el caso de abejas, está en pruebas de experimentación en campo (puede que haya algún ensayo de uso real, pero sin documentar totalmente los resultados). En el caso de ratas el estado es similar pero más cercano al uso en campo real con resultados satisfactorios para la detección de minas y la limpieza de campos de minas. Podemos asignar un grado de madurez entre tres y cuatro.
- Otros campos de aplicación: las abejas se han utilizado para vigilar trazas de ciertos elementos, metales pesados, substancias químicas orgánicas volátiles y semi-volátiles, materiales radioactivos, etc., tanto en Estados Unidos como en Europa. Se usan también en aplicaciones para detectar drogas y en rescate de personas o localización de cadáveres en estado de putrefacción, por indicar alguna aplicación forense.
- Proyección de la tecnología: las investigaciones del uso de abejas se orientan hacia la fijación de patrones de comportamiento y seguimiento de los movimientos de la abeja. También se extiende su estudio hacia el empleo de animales similares, como las avispas. Las instituciones que investigan esta tecnología han estado explorando maneras de influenciar el comportamiento natural de apacentado (búsqueda de comida) de las abejas para adaptarlas a usos militares, incluyendo la detección y la localización de material explosivo y de minas terrestres. Su integración en sistemas más complejos es difícil ya que la detección recae en la interacción hombre/animal, pero con el desarrollo de los reconocimientos automáticos del comportamiento de la abeja podrían integrarse más fácilmente. En el caso de las ratas la integración se prevé más difícil pero para operaciones de desminado se puede beneficiar del uso de otros Sistemas (Geográficos–GIS–, Satélites, etc.).

Referencias:

- Centros de Investigación:
- Nombre: URL.
- Abejas
 - University of Montana (UM), Estados Unidos, para Defense Advanced:
<http://www.um.edu>
 - Research Projects Agency (DARPA).

- Sandia National Laboratories (SNL). Estados Unidos: <http://www.sandia.gov>
- Air Force Research Laboratory (AFRL), Estados Unidos: <http://www.afrl.usaf.mil>
- Air Force Force Protection Laboratory, Estados Unidos: N/D
- Oak Ridge National Laboratories (ORNL), Estados Unidos: <http://www.ornl.gov>
- Southwest Research Institute (SwRI), Estados Unidos: <http://www.swri.gov>
- TNO Prins Maurits Laboratory, Holanda: <http://www.pml.tno.nl> doctor A.C. van der Steen)
- Inscentinel Ltd. (Reino Unido): www.inscentinel.com
- Geneva International Centre for Humanitarian Demining (GICHD), Suiza. <http://www.gichd.ch> (Håvard Bach)
- Ratas:
 - Neurocommunication Research Laboratories (NCRL), Estados Unidos doctor Weinstein
 - Apopo, Bélgica: <http://www.apopo.org> Mr Weetjens
 - TNO Prins Maurits Laboratory, Holanda: <http://www.pml.tno.nl>
 - Geneva International Centre for Humanitarian Demining: (GICHD), Suiza. <http://www.gichd.ch>

Resumen:

- Principales ventajas:
 - Simplicidad de operación.
 - Alta sensibilidad y facilidad para discriminar del ruido de fondo.
 - Capacidad de detección a distancia (para abejas).
 - Capacidad de inspección de grandes áreas (para abejas).
 - Capaz de inspeccionar áreas en tiempos cortos.
- Principales desventajas:
 - Limitado por condiciones medioambientales.
 - Puede ser costoso.

- Es necesario un entrenamiento especial.
- Reaprendizaje/calibración necesarios.
- Necesidad de cuidadores/ instructores.

TECNOLOGÍAS ÓPTICAS. ESPECTROMETRÍA RAMAN

Descripción:

- Principio tecnológico: cuando se ilumina un material con una fuente intensa (láser) se produce una onda dispersada de menor energía (emisión Raman). La diferencia de energía entre los fotones del láser incidente y los fotones Raman es igual a la de una vibración fundamental del material. El espectro Raman es característico de cada sustancia y de esta manera se pueden identificar trazas de explosivos.
- Aplicabilidad (actual y potencial): se puede aplicar a la detección de volúmenes, trazas y plumas de vapor.
- Limitaciones:
 - Necesita un láser, con el consiguiente peligro para el ojo humano.
 - Es una medida local: hay que saber dónde buscar, ya que hay que enfocar el láser hacia ese punto.
 - No se puede medir en superficies que estén ocultas

Capacidades:

- Sensibilidad: permite detectar granos de explosivo de algunas micras de diámetro.
- Especificidad: alta, pero puede requerir un tratamiento de señal pesado ya que algunas moléculas orgánicas tienen espectros Raman complejos
- Rango: Funciona muy bien en laboratorio (<1 m). La detección remota se ha investigado en baja concentración (Chance, J *et al.*: *Applied spectroscopy*, June 2005) a 27m y 50 metros de distancia.
- Tasas de alarma (positivas, negativas): no existen datos.
- Potenciales mejoras y sinergias:

- Cuando es posible controlar la muestra, se puede recurrir a la preparación de la misma con nanopartículas metálicas para producir efecto Raman Aumentado por Superficie, SERS (*Surface Enhanced Raman Spectroscopy*).
- Puede ser combinado con otras técnicas espectroscópicas como LIBS, LIS o IR para obtener dos tecnologías ortogonales y menor tasa de fallos.
- Coste: para equipos portátiles, entre 15.000 y 40.000 euros.

Operación:

- Inspección de equipajes: el haz láser ha de ser enfocado hacia los lugares que se crean contaminados (manillas, asas, botones, etc.)
- Inspección de documentos: se puede muestrear con el haz láser en una fibra óptica y esto da mucha versatilidad para inspeccionar documentos, tickets, etc.
- Detección a distancia: es necesario realizar la detección en régimen pulsado para aumentar la señal. La luz Raman retrodispersada es recogida por una óptica de colección.

Estado:

- Nivel de madurez: desarrollo avanzado para la detección de explosivos, tecnología madura como método analítico.
- Otros campos de aplicación: análisis de laboratorio.
- Proyección de la tecnología.

Referencias:

- Fabricantes:
 - Nombre: URL.
 - Ahura: <http://www.ahuracorp.com>
 - Avalon Instrumentes : <http://www.avaloninst.com>
 - Avantes :<http://www.avantes.com>
 - Bruker Optics : <http://www.brukeroptics.com>
 - Control Development: <http://www.controldevelopment.com>
 - DeltaNu: <http://www.deltanu.com>
 - Digilab: <http://www.digilabglobal.com>

- EIC Laboratories Inc: <http://www.eiclabs.com>
 - Horiba Jovin Yvon: <http://www.jyhoriba.jp>
 - InPhotonics: <http://www.inphotonics.com>
 - Ocean Optics: <http://www.oceanoptics.com>
 - Renishaw: <http://www.renishaw.com>
 - Thermo Electron Corporation: <http://www.thermo.com>
 - General Electric: <Http://www.ge.com>
- Investigación:
- Nombre: URL. Contacto.
 - Lawrence Livermore National Laboratory: <http://www.llnl.gov> Chance Carter.
 - Fisk University: <http://www.fisk.edu> Z. Pan.
 - University of Hawai'i: <http://www.hawaii.edu> S.K. Sharma.



Figura 7.— *Espectrómetro Raman portátil Responder RCI, de Smiths Detection.*

Resumen:

- Principales ventajas:
 - No hay que preparar la muestra.

- Tiempo de medida corto (segundos).
- Alta especificidad.
- Posible análisis de aguas.
- Principales desventajas:
 - Señal débil: el proceso Raman es muy poco probable (sólo un fotón Raman por cada millón de fotones).
 - Análisis complejo.
 - Potencial peligro para el ojo, figura 8.



Figura 8.— *Aparato portátil StreetLab Mobile, de GE Security.*

TECNOLOGÍAS ÓPTICAS. ESPECTROMETRÍA INFRARROJA (IR Y FTIR)

Descripción:

- Principio tecnológico: es una tecnología análoga a la Raman. Se trata de ver qué longitudes de onda son absorbidas por las vibraciones y rotaciones de las moléculas. Es una tecnología absolutamente extendida en los laboratorios de análisis químico. Permite identificar grupos químicos funcionales en sólidos, líquidos y gases. Cada compuesto da un espectro que es una huella dactilar suya; incluso dos isómeros del DNT presentan dos espectros diferentes. Para aumentar la velocidad de adquisición en todo el espectro se utiliza un principio de transformada de Fourier basado en un interferómetro de Michelson. Hay aparatos que miden sólo

la absorción de un láser (u otra fuente monocromática) a una longitud de onda determinada a la que se sabe que absorbe una sustancia. Por ejemplo se utiliza la absorción del grupo (NO_2 presente en la mayoría de los explosivos). En la variante de paso abierto (open path) el haz luminoso viaja a través del aire (bien un local o bien atmósfera libre) con recorridos de 10 a 100 metros reflejándose en un espejo dispuesto al efecto y retornando al aparato. Es adecuada para supervisar grandes superficies, si bien se pierde la capacidad de conocer en qué punto concreto está la pluma de vapor absorbente:

- Aplicabilidad (actual y potencial): Es aplicable a gases, líquidos y sólidos.
- Limitaciones: Si se utilizan fuentes poco potentes (no monocromáticas para la adquisición de todo el espectro e identificación de distintas sustancias) es necesario integrar en celdas de medida de distancias grandes (metros) para obtener señal apreciable. Si se utilizan fuentes potentes (láser) sólo se detecta una sustancia determinada.

Capacidades:

- Sensibilidad: puede identificar 10 ng en líquido ó sólido o 3 ppb en gas con tiempos de acumulación de 1 minuto y celda de 100 metros. Los sistemas comerciales láser detectan menos de 1 ppb.
- Especificidad: la tecnología FTIR convencional es capaz de identificar prácticamente cualquier especie. La tecnología desarrollada para explosivos ha de ser específica para sustancias determinadas.
- Rango: el analito debe ser llevado al aparato, pero el muestreo de gases puede realizarse mediante sondas de muestreo.
- Tasas de alarma (positivas, negativas): prácticamente nula para la tecnología convencional. No hay datos para la tecnología láser para explosivos.
- Potenciales mejoras y sinergias: se puede combinar con otras espectrometrías.
- Coste: a partir de 15.000 euros.

Operación:

- Puede funcionar aspirando aire alrededor del cuerpo sospechoso y analizándolo en una cámara o recogiendo la muestra con una gasa y desorbiendo con aire caliente.

Estado:

- Nivel de madurez: existen sistemas comerciales para puntos de control. La tecnología de *open path*, totalmente implantada en el campo medioambiental, empieza a utilizarse para explosivos relativamente volátiles que no contienen N.
- Otros campos de aplicación: análisis químico en general. Análisis forenses de restos de explosiones.
- Proyección de la tecnología: crecimiento acelerado, figura 9

Referencias:

- Fabricantes:
 - Nombre: URL.
 - Ahura: <http://www.ahuracorp.com>
 - Bruker Optics: <http://www.brukeroptics.com>
 - Cascade Technologies: <http://www.cascade-technologies.com/Defence.php>
 - Digilab: <http://www.digilabglobal.com>
 - Jasco: <http://www.jascoinc.com/>
 - Horiba: <http://www.scientific.horiba.com/products.htm>
 - Shimadzu: <http://www.shimadzu.com/products/lab/spectro/index.html>
 - Thermo Electron Corporation: <http://www.thermo.com>
 - Unisearch Associates, Inc: <http://www.unisearch-associates.com/ftir.htm>
 - Varian, Inc: <http://www.varianinc.com/>
- Investigación:
 - Nombre: URL.
 - Ocean Optics: <http://www.oceanoptics.com/>
 - Dr. B. Mizaikoff. School of Chemistry and Biochemistry Georgia Institute of Technology, Estados Unidos: <http://asl.chemistry.gatech.edu/>
 - University of Applied Sciences, Düsseldorf, Alemania.
 - Fraunhofer Institute for Physical Measurement Technology IPM, Freiburg, Alemania.
 - Discovery Semiconductors: <http://www.chipsat.com/>



Figura 9.— *Espectrómetro FTIR de alta capacidad para uso en laboratorio IFS 125, de Bruker Optics.*

Resumen:

- Principales ventajas:
 - Es posible construir analizadores pequeños y baratos.
 - Es posible el análisis directamente del aire ambiente.
- Principales desventajas:
 - Para el análisis FTIR tradicional el tiempo de medida es largo (minutos).
 - Para el análisis láser, es muy específico y es necesario fuentes láser finamente sintonizadas, figura 10.



Figura 10.— *Identificador FTIR portátil HazMatID Ranger, de Smiths Detection.*

TECNOLOGÍAS ÓPTICAS. ESPECTROMETRÍA DE PLASMA INDUCIDO POR LÁSER (LIBS)

Descripción:

- Principio tecnológico: cuando un láser pulsado (duración del pulso del orden de los nanosegundos) es fuertemente focalizado, la temperatura en la zona de focalización aumenta a varios miles de grados. Entonces se produce un plasma (gas fuertemente ionizado) en el que las moléculas se rompen y los átomos emiten luz característica de su naturaleza química. Estudiando los espectros de emisión de este plasma se puede remontar a la composición química del gas, y a detectar contenidos de trazas.
- Aplicabilidad (actual y potencial): Las siguientes aplicaciones son posibles, aunque no están aún desarrolladas:
 - Detección de trazas de explosivos sobre una superficie a distancia.
 - Detección de trazas de explosivos en una gasa (muestreo con contacto).
 - Análisis de explosivos en masa.
 - En desminado, análisis del suelo alrededor de la minas.
 - Inspección de vehículos sospechosos o el área por delante de un convoy.
- Limitaciones:
 - Es necesaria una detección en línea recta.
 - Como hay que evaporar material, esto puede marcar las superficies inspeccionadas.
 - Los láseres que se usan son peligrosos para el ojo humano.

Capacidades:

- Sensibilidad: 1-200 ppm
- Especificidad: Se puede detectar fácilmente la existencia de explosivos a distancia, pero es difícil distinguir explosivos distintos con composiciones químicas similares.
- Rango: en detección de trazas, 50 metros. En detección masiva, 100 metros. Se puede hacer detección remota con fibra óptica a condición de no perder potencia para generar el plasma.
- Tasas de alarma (positivas, negativas).
- Potenciales mejoras y sinergias:

- Se puede mejorar la sensibilidad utilizando pulsos dobles.
- El uso de láseres de pulsos de femtosegundos también mejora la sensibilidad.
- Se puede combinar con otras tecnologías espectroscópicas (IR, Raman, LIF).
- Coste: desconocido, pero del orden de las decenas de miles de euros.

Operación:

- En detección cercana, un dispositivo lleva la fibra óptica y la óptica de colección a la superficie.
- En detección remota, se produce un disparo de láser y se recoge la luz del plasma con una óptica que está situada cerca del láser. La detección se produce en menos de un segundo.

Estado:

- Nivel de madurez: en desarrollo final.

Referencias:

- Fabricantes: JMAR Technologies.
- Investigación:
 - Nombre: URL.
 - Applied Photonics: www.appliedphotonics.co.uk
 - ARL: <http://www.arl.army.mil/>
 - Industrial Material Institute of Canada: <http://www.imi.cnrc-nrc.gc.ca/>
 - Institut für Physik und Physikalische Technologien Technische Universität Clausthal: Wolfgang Schade
 - Laser Analysis Technologies Pty. Ltd : <http://www.laseranalysis.com/>
 - LTB (Lasser Technik Berlin) : <http://www.ltb-berlin.de>
 - Universidad de Málaga. Dpto de Química Analítica: www.uma.es (Prof. J.J. Laserna)
 - Wehrwissenschaftliches Institut (WIWEB): Gerhard Holl

Resumen:

- Principales ventajas:

- No hace falta preparar la muestra.
- Detección remota.
- Tiempo de medida muy corto.
- Principales desventajas:
 - Potencial daño para el ojo humano.
 - Se necesita detección en línea recta, figura 11.

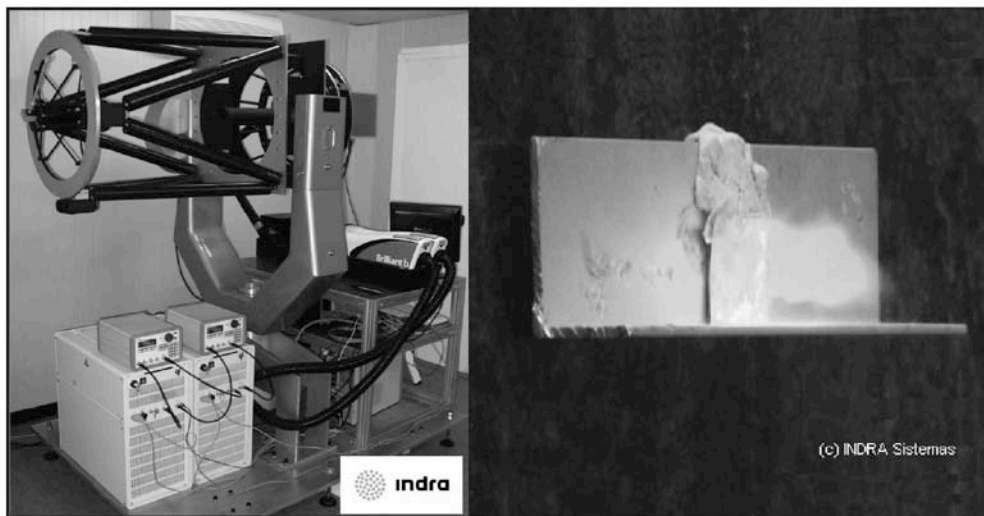


Figura 11.— Sistema LIBS de Indra. La fotografía de la derecha muestra el plasma generado mediante espectroscopía LIBS a una distancia de 50 metros sobre trazas de pentrita.

TECNOLOGÍAS ÓPTICAS. FLUORESCENCIA INDUCIDA POR LÁSER (LIF)

Descripción:

- Principio tecnológico: cuando un fotón es absorbido por una molécula, los electrones de ésta son excitados a estados de energía superiores que no son estables. Con el tiempo, el electrón vuelve a caer al estado inicial y devuelve la luz a una longitud de onda mayor que la del fotón incidente y con un espectro característico de la naturaleza química de la molécula.
- Aplicabilidad (actual y potencial): Es aplicable en detección cercana o remota:
 - La Universidad de Florida ha descrito la detección remota de trazas de TNT con LIF.

- Un equipo del Centro de Investigación Nuclear Soreq en Yavne (Israel) ha descrito la detección de TNT y DNT basado en la fluorescencia del grupo NO a distancias de 2,5 metros con expectativas de extenderlo a 10 metros.
- Limitaciones:
 - Es necesaria detección en línea recta.
 - Para que se produzca LIF ha de producirse absorción de la luz antes. Para obtener buena señal es por tanto necesario un láser sintonizable.

Capacidades:

- Sensibilidad: ppm.
- Especificidad: dependiendo del grupo funcional que se elija para estudiar su fluorescencia, puede ser muy alta.
- Rango: Algunos metros.
- Tasas de alarma (positivas, negativas): no conocido.
- Potenciales mejoras y sinergias: La combinación con otras técnicas espectroscópicas y la utilización de la resolución temporal pueden mejorar la especificidad.
- Coste: desconocido.

Operación:

- La fuente láser se dirige a la muestra. La luz emitida se recoge y se analiza. El tiempo de detección es de menos de un segundo.

Estado:

- Nivel de madurez: como tecnología de análisis de laboratorio es madura, como tecnología de detección de trazas de explosivos está en desarrollo inicial.
- Otros campos de aplicación: análisis químico general.

Referencias:

- Investigación:
 - Nombre: Producto. URL.
 - Picometrics: ZETALIF. <http://www.picometrics.com>

Resumen:

- Principales ventajas: es posible la detección remota.
- Principales desventajas: Las fuentes láser son peligrosas para el ojo.

TECNOLOGÍAS IÓNICAS.

ESPECTROMETRÍA DE MOVILIDAD IÓNICA (IMS, *ION MOBILITY SPECTROMETRY*)

Descripción:

- Principio tecnológico: Se muestrea aire ambiente. Los volátiles son ionizados mediante un ionizador radiactivo. Los iones gaseosos se mueven arrastrados por un campo eléctrico con una velocidad proporcional a la movilidad eléctrica del ion y a dicho campo eléctrico. Dicha movilidad es función de la masa, carga, tamaño y forma del ion. Los iones se separan de acuerdo a su movilidad y el espectro de movilidad se obtiene midiendo el tiempo de llegada de los iones. Las partes principales del IMS son la zona de entrada, la cámara de ionización, el tubo de deriva y el colector de iones.
- Aplicabilidad (actual y potencial): los IMS son bien conocidos para la detección de explosivos.
- Limitaciones: bajo caudal de muestreo. No pueden usarse bajo el agua.

Capacidades:

- Sensibilidad: es posible la detección de explosivos en el rango de ppb.
- Especificidad: media debida a que la resolución no es muy alta.
- Rango: el instrumento, incluyendo los portales de inspección, debe estar cerca del objetivo.
- Tasas de alarma (positivas, negativas): alta (5%).
- Potenciales mejoras y sinergias: se puede añadir un preconcentrador y/o combinación con cromatografía de gases, para aumentar la sensibilidad y especificidad. Se puede realizar una transformada de Fourier para aumentar la resolución.
- Coste: decenas de miles de euros, figura 12.

Figura 12.— *Aparato portátil THSCANTM™
TR 1000 de Nuctech Co., Ltd.*



Operación:

- El detector se tiene que colocar cerca del objeto o persona sospechosos. Se muestrea un caudal de aire por aspiración. La muestra es analizada en unos segundos y se dispara una alarma si el resultado es positivo. El aparato tarda menos de un minuto en estar listo para un nuevo análisis. La operación no necesita personal cualificado.

Estado:

- Nivel de madurez: tecnología madura.
- Otros campos de aplicación: drogas, agentes de guerra química, aplicaciones biológicas, aplicaciones médicas.
- Proyección de la tecnología: Sigue siendo la tecnología más fiable para la detección de explosivos en campo. Se están investigando varias técnicas para aumentar la resolución.

Referencias:

- Fabricantes: existen varios entre los que destacan: Ioanalitycs, Smith Detection, General Electric, Environics, Bruker Daltonics, Nuctech Co., Ltd.
- Investigación: Hay muchos grupos investigando en IMS. Destacan EADS en Alemania y Sandia en Estados Unidos, figura 13.



Figura 13.— *Aparato fijo IONSCAN 500DT de Smiths Detection.*

Resumen:

- Principales ventajas: buena sensibilidad, respuesta rápida, facilidad de operación.
- Principales desventajas: baja resolución, usa una fuente radiactiva para ionizar la muestra, bajo caudal de muestreo, figura 14.



Figura 14.— *Detector portátil por IMS ChemPro100i de EnviroNics.*

Descripción:

- Principio tecnológico: se muestrea aire ambiente. Los volátiles son ionizados (explosivos u otros) mediante descarga eléctrica, ultravioleta o radiactivo. Posteriormente se introducen en un túnel de viento (*sheath gas*) con campo eléctrico cruzado. En función de la movilidad (tamaño) los iones son más o menos deflectados por el *sheath*. Sintonizando el campo se puede elegir qué clase de iones llegan al detector.
- Aplicabilidad (actual y potencial): en la actualidad sólo se utiliza como técnica estándar para la detección y clasificación de nano- y micropartículas en medio ambiente. La aplicación a seguridad requiere del aumento del caudal de *sheath* a velocidades casi sónicas, por lo que de momento está en fase de Investigación y Desarrollo (I+D).
- Limitaciones: las propias de un equipo en desarrollo (portabilidad, consumo y rapidez).

Capacidades:

- Sensibilidad: actualmente unas 10 ppb. Es posible que en el futuro llegue a las 100 ppt.
- Especificidad: alta mediante un adecuado tratamiento de señal.
- Rango: hasta decenas de metros en función del material explosivo. Se puede montar en robots.
- Tasas de alarma (positivas, negativas): no determinado.
- Potenciales mejoras y sinergias:
 - Es posible añadir una etapa previa de preconcentración para reducir el límite de detección.
 - Es posible añadir detectores tipo array para disminuir el tiempo de medida.
 - Es necesario añadir un procesado de señal que determine si la detección es positiva o no y con qué probabilidad. Para ello es necesario construir previamente una base de datos de espectros de movilidad de las especies iónicas generadas por cada método de ionización.

Operación:

- A nivel de laboratorio, es todavía necesario un operador cualificado y una muestra controlada.

Estado:

- Nivel de madurez: desarrollo inicial.
- Otros campos de aplicación:
 - Medio Ambiente: detección cuantitativa de contaminantes.
 - Salud (diagnóstico por aliento).
 - Agroalimentario: control de procesos productivos.
- Proyección de la tecnología: Se prevé que en dos o tres años salga el primer prototipo para estas aplicaciones.

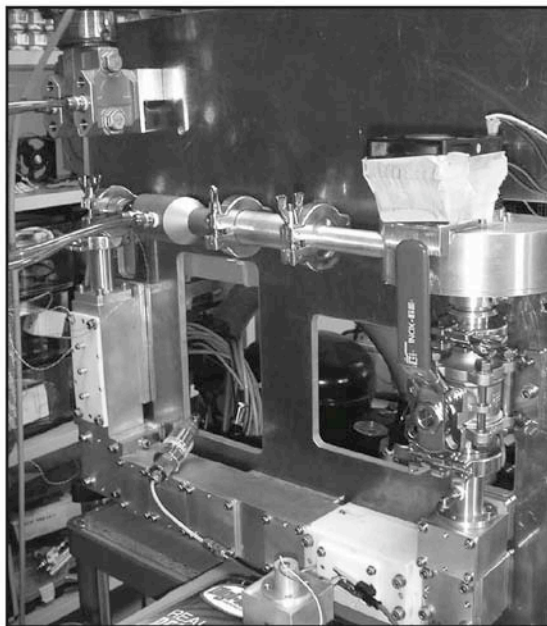
Referencias:

- Fabricantes: Ramem, SEADM (España).
- Investigación: Ramem, SEADM, Brigham Young University (Estados Unidos).

Resumen:

- Principales ventajas:
 - Mejor resolución que los IMS, lo cual redundará en menor tasa de falsos positivos y negativos.
 - Límite de detección bajo.
- Principales desventajas:
 - Estado de desarrollo.
 - Portabilidad, figura 15.

Figura 15.—Equipo DMA para la detección de explosivos. Cortesía de Ramem.



TECNOLOGÍAS IÓNICAS. ESPECTROMETRÍA DE MASAS (MS)

Descripción:

- Principio tecnológico: el vapor es introducido en la cámara de ionización donde unas bombas de vacío producen aspiración a la vez que eliminan la mayoría de las moléculas de O_2 y N_2 del aire. En el proceso de ionización cierta fracción de moléculas resultan fragmentadas en trozos de menor masa que la original. Los iones moleculares son acelerados y recolectados en un electrómetro, suministrando un espectro de masas. Existen diferentes subprincipios de medida que se refieren a la diferente manera de clasificar los iones con diferentes masas. La tecnología más utilizada es la de tiempo de vuelo (TOF), en la que los iones con menor masa adquieren mayor velocidad y llegan antes al electrómetro.
- Aplicabilidad: la MS puede detectar y medir prácticamente todos los explosivos. No obstante es muy poco utilizada, hasta el momento, en campo, aunque muy utilizada en laboratorios de análisis.
- Limitaciones: aplicable sólo a muestras gaseosas. En caso de muestras sólidas o líquidas han de ser previamente vaporizadas, lo que aumenta el tiempo de operación.

Capacidades:

- Sensibilidad: límites de detección para aparatos transportables ~5 ppb en 10 segundos de recolección. Los aparatos de laboratorio llegan a las ppt. La metodología de ionización por láser (LI-MS y REMPI), en desarrollo, baja al límite de ppb/ppt, en tiempos de adquisición menores y aumentando la selectividad.
- Especificidad: es casi totalmente específica. Se apoya en colecciones de espectros para identificar los compuestos. En algunos pocos casos puede haber duda entre compuestos. También es válida para analizar y medir varios vapores simultáneamente.
- Rango: la muestra ha de ser llevada al aparato. Se pueden utilizar sondas de muestreo para aspirar los vapores.
- Tasas de alarma (positivas, negativas): muy baja.
- Potenciales mejoras y sinergias: se están desarrollando sistemas que combinan la espectroscopia óptica. Es previsible la bajada de los precios y el aumento de desarrollos en la medida que los aparatos transportables se popularicen para medidas medioambientales.
- Coste: >30.000 euros.

Operación:

- Se muestrea la atmósfera circundante al objeto o persona sospechoso en puntos lo más cercanos posibles al mismo (portal de inspección, etc.). Actualmente se puede realizar un espectro por segundo, pero para mejorar los límites de detección hay que aumentar el tiempo. Adicionalmente se necesitan varios minutos para preparar el aparato para la siguiente muestra. No hay limitación por condiciones de temperatura o humedad ambiental.

Estado:

- Nivel de madurez: existe un equipo maduro pero muy poco implantado. Hay varios desarrollos en diferentes estados.
- Otros campos de aplicación: mayor implantación en el campo de contaminación ambiental, y en laboratorios e investigaciones fundamentales. Muy utilizado como detector analítico en cromatografía de gases.

- Proyección de la tecnología: la necesidad de disponer principios de medida selectivos, y para compuestos que no tienen nitrógeno, apoya su posible futura expansión.

Referencias:

- Fabricantes: además de los múltiples fabricantes de aparatos de laboratorio, y de GC-MS existe un fabricante de aparatos transportables: Kore Technology Ltd., Reino Unido. <http://www.kore.co.uk/prodgall.htm>
- Investigación: Swedish Defence Research Agency, FOI, Grindsjön Research Centre SE-147 25 Tumba, Suecia. Molecular Physics Laboratory, SRI Internacional, Johns Hopkins University, Maryland, Estados Unidos. Explosive detections Systems, Holanda.

Resumen:

- Principales ventajas:
 - Válido para cualquier explosivo, conteniendo N o no.
 - Muy selectivo.
 - Bastante sensible.
- Principales desventajas:
 - Necesita interpretación.
 - Costoso.
 - Voluminoso, figura 16.



Figura 16.— Espectrómetro de masas portátil, con tecnología TOF, MS-200 de Kore Technology.

TECNOLOGÍAS QUÍMICAS. CROMATOGRAFÍA DE GASES (GC)

Descripción:

- Principio tecnológico: La muestra es inyectada en el cromatógrafo (en el caso de líquidos o disoluciones hay un portal donde se produce la volatilización) y el gas es arrastrado por un gas inerte a través de un tubo relleno con material adsorbente y/o absorbente, llamado columna. En la columna, cada compuesto presente en la muestra es retenido con más o menos intensidad dependiendo de su afinidad con el relleno de la columna, y por ello sale de ésta antes o después. Utilizando columnas adecuadas pueden separarse varios isómeros de un mismo compuesto. A la salida de la columna cada compuesto es secuencialmente detectado y cuantificado utilizando uno de los aproximadamente 15 detectores existentes, incluyendo la espectrometría de masas (GC-MS) y la espectrometría infrarroja (GC-FTIR), la quimioluminiscencia (GC-CL), la espectrometría de movilidad iónica (GC-IMS), y los sensores de ondas acústicas superficiales (GC-SAW).
- Aplicabilidad (actual y potencial): la GC puede detectar prácticamente cualquier explosivo, sus precursores y productos de degradación y otras sustancias que pudieran estar presentes.
- Limitaciones: bajo caudal de muestreo, las muestras deben ser líquidas o gaseosas.

Capacidades:

- Sensibilidad: depende del detector utilizado, y puede ser muy alta: el detector TID (detector de ionización termoiónica) tiene límites de detección para el TNT del orden de 1 ppb. Para compuestos conteniendo halógenos el ECD (detector de captura electrónica) tiene límites de detección del orden de 1 ppt. Para GC-MS son del orden de 1 pg (10^{-12} g).
- Especificidad: muy alta, pero hay que elegir la columna adecuada.

- Rango: las muestras deben ser recogidas e inyectadas en el GC.
- Tasas de alarma (positivas, negativas): muy baja.
- Potenciales mejoras y sinergias: se pueden utilizar preconcentradores para aumentar la sensibilidad y/o selectividad.
- Coste: medio bajo (desde 10.000 euros).

Operación:

- Se recoge la muestra, que si es sólida o líquida se vaporiza calentándola a la temperatura apropiada. Posteriormente es inyectada en el GC donde se realiza el análisis y se muestran los resultados. El tiempo de análisis, en aparatos de laboratorio dedicados, es del orden de decenas de minutos dependiendo de la columna y parámetros de operación del GC. En los sistemas portátiles, donde se prima la detección sobre la cuantificación, es menor de un minuto.

Estado:

- Nivel de madurez: tecnología madura.
- Otros campos de aplicación: en cualquier campo donde se requiera potencia analítica:
 - Proyección de la tecnología: las perspectivas a largo plazo son buenas, existiendo las siguientes líneas de mejora:
 - Preconcentradores de funcionamiento rápido.
 - Columnas de alto poder de separación con cortos recorridos y tiempos de elusión bajos.
 - Abaratamiento del coste de sistemas complejos como GC-MS, figuras 17 y 18.

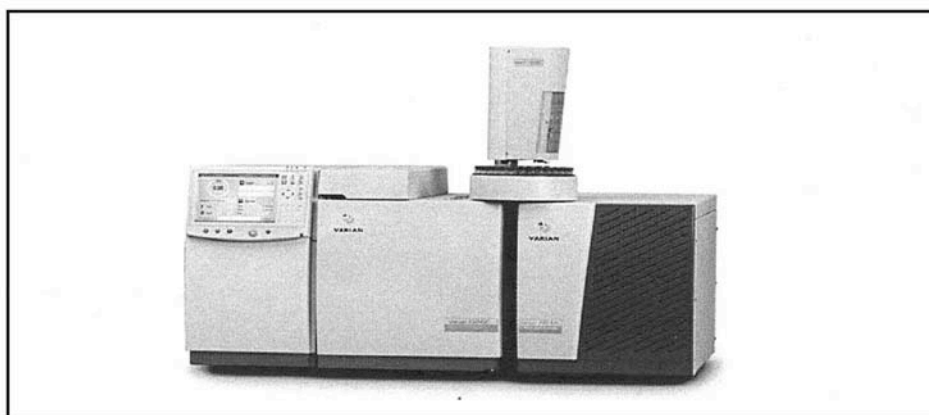


Figura 17.— Sistema Varian 240-MSIONTRAP GC/MS de Varian, Inc., que combina el cromatógrafo Varian 450-GC con un espectrómetro de masas.



Figura 18.— *Cromatógrafo de gases SRI Explosives GC System, de SRI Instruments.*

Referencias:

- Fabricantes:
 - Hay centenares de fabricantes incluidos los españoles. Entre los fabricantes de GC-MS y GC-FTIR cabe citar: Agilent, Bruker, Hitachi, Perkin Elmer, Shimadzu, Thermo Electrón, Varian, etc. En el campo de los aparatos para explosivos: Mass Spec Analytical Ltd (MSA), Reino Unido, MDS Sciex Inc., J.S. Chinn P.E. Ltd, Syagen Technology Inc., SRI Instruments.
- Investigación:
 - Aparte de los propios fabricantes existen muchos grupos investigando en alguno o todos los aspectos del GC-MS. Cabe destacar un grupo de la Universidad de Hamburgo que desarrolla un espectrómetro de masas miniaturizado.

Resumen:

- Principales ventajas: alta sensibilidad, alta resolución, reproducible, método estándar.
- Principales desventajas: el tiempo de medida es variable dependiendo de la configuración del sistema y típicamente en el intervalo 5 a 15 minutos. Elevada complejidad.

TECNOLOGÍAS QUÍMICAS. ONDAS ACÚSTICAS SUPERFICIALES SAW (*SURFACE ACOUSTIC WAVES*)

Descripción:

- Principio tecnológico: el principal componente es un cristal piezoeléctrico en el que se propaga una onda acústica superficial. Sobre ese material se deposita un material adsorbente (normalmente un polímero). Cuando se adsorben moléculas en éste la velocidad de propagación de la onda cambia. Este cambio de velocidad se mide como un cambio de frecuencia que es proporcional a la masa adsorbida. Normalmente estos sensores se usan con un GC de alta velocidad previo que separa los compuestos. Cuando no hay GC se emplean en arrays de sensores diferentes formando parte de narices electrónicas.
- Aplicabilidad (actual y potencial): existen pocos modelos para la detección de explosivos. Tiene buenas perspectivas futuras.
- Limitaciones: bajo caudal de muestreo, no se puede usar bajo el agua.

Capacidades:

- Sensibilidad: en el rango de picogramos.
- Especificidad: dependiendo de la columna cromatográfica puede ser bastante específico.
- Rango: se necesita colocar el detector cerca de la muestra.
- Tasas de alarma (positivas, negativas): Probabilidad de detección entorno al 95%.
- Potenciales mejoras y sinergias: la sensibilidad puede mejorarse con un preconcentrador.
- Coste: en torno a los 30.000 euros.

Operación:

- Las muestras se introducen en la columna cromatográfica para su separación. La salida del cromatógrafo de gases se focaliza en el resonador piezoeléctrico donde se

adsorben los compuestos reversiblemente. Se obtienen un cromatograma que se compara con una librería interna para identificar los compuestos. El tiempo de análisis es de unos 10-15 segundos.

Estado:

- Nivel de madurez: existen sistemas comerciales para la detección de explosivos pero la tecnología todavía está en un estado incipiente.
- Otros campos de aplicación: se aplican en los campos típicos de las narices electrónicas (alimentación, medioambiente, etc.).
- Proyección de la tecnología: se están desarrollando nuevos polímeros y optimizando la configuración de los arrays, figura 19.



Figura 19.— Sistema de detección EST-4200 Ultimate Vapor Tracer & Analyzer, de Electronic Sensor Technology que utiliza un cromatógrafo de gases de alta temperatura con detector SAW.

Referencias:

- Fabricantes: Hay dos fabricantes principales: Electronic Sensors Technologies (EST 4100) y Brechbuler (Znose).
- Investigación: hay muchos grupos investigando en sensores SAW. En España está el Laboratorio de Sensores del Instituto de Física Aplicada del Centro Superior de Investigaciones Científicas.

Resumen:

- Principales ventajas: sensibilidad, velocidad de respuesta, especificidad.
- Principales desventajas: bajo caudal de muestreo, reproducibilidad, duración de los sensores.

TECNOLOGÍAS QUÍMICAS. QUIMIOLUMINISCENCIA

Descripción:

- Principio tecnológico: un sensor de quimioluminiscencia consiste en moléculas que exhiben fluorescencia de forma que cuando el analito está presente las características de la luz emitida se modifican. Hay dos tipos de sensores: los basados en moléculas en los que la fluorescencia se inhibe en presencia del analito y los basados en moléculas en los que la fluorescencia se produce en presencia del analito. La alteración de las propiedades de la luz emitida es función de la concentración de analito. La medida de la emisión de luz es muy simple y puede realizarse con sistemas de bajo coste. La quimioluminiscencia también puede tener lugar cuando el propio analito, después de sufrir alguna reacción química, genera otras moléculas en estados electrónicamente excitados, de forma que al relajarse emiten luz.
- Aplicabilidad (actual y potencial): esta tecnología puede usarse en cualquier detector de explosivos, incluso en los detectores de explosivos en soluciones acuosas.
- Limitaciones: los sensores se diseñan en función de la estructura molecular del explosivo a detectar y, por tanto, están limitados a ese explosivo o familia de explosivos con estructura similar.

Capacidades:

- Sensibilidad: depende del sensor y las condiciones ambientales. En ensayos en laboratorio se han encontrado límites de detección de 1 fg (10^{-15} g) de TNT.
- Especificidad: muy específicos.
- Rango: como todos los detectores de explosivos en fase vapor la distancia debe ser corta.
- Tasas de alarma (positivas, negativas): debido a la alta especificidad la tasa de falsos positivos es baja. La probabilidad de detección está entorno al 70% para trazas de TNT (modelo Fido Nomadics).
- Potenciales mejoras y sinergias: se puede obtener una amplificación del efecto del analito formando cadenas de cromóforos en un polímero (es el principio del Fido).
- Coste: por debajo de los 30.000 euros.

Operación:

- Se usan en modo dual: muestreo sólido o modo vapor. En el muestreo sólido se pasa un trapito por la superficie que se quiere analizar. La muestra se introduce en el analizador donde se evapora y viene analizada en modo vapor. En modo vapor la muestra se introduce a través de una bomba. Cuando los analitos pasan a través del elemento sensor la fluorescencia de éste cambia. Este cambio se detecta con elementos ópticos y electrónicos diseñados para optimizar la sensibilidad. La respuesta de los sensores es reversible por lo que estos elementos pueden usarse múltiples veces. El tiempo de respuesta es menor de un minuto. Hay que dejar varios minutos entre medidas para la limpieza del detector.

Estado:

- Nivel de madurez: tecnología madura para la detección de TNT y sus derivados.
- Otros campos de aplicación: se usan para la detección de otras sustancias ilegales.
- Proyección de la tecnología: se está investigando la detección de explosivos bajo el agua, figuras 20 y 21.



Figura 21.— *Detector por quimioluminiscencia Fido® OnBoard de ICx Technologies, Inc., montado en un robot.*

Referencias:

- Fabricantes: Nomadics, Scintrex Trace Corp, ICx Technologies, Inc.
- Investigación: MIT.

Resumen:

- Principales ventajas: sensibilidad, velocidad de respuesta, especificidad.
- Principales desventajas: pocas familias de explosivos.

TECNOLOGÍAS QUÍMICAS. COLORIMETRÍA

Descripción:

- Principio tecnológico: las trazas de explosivos reaccionan con un reactivo que se tiñe de un determinado color en función de la naturaleza química del explosivo.
- Aplicabilidad (actual y potencial): aplicable en campo.
- Limitaciones: hay que saber dónde hay que buscar ya que hay que recoger la muestra y añadirle el reactivo o proyectar un spray con el reactivo sobre una superficie que se cree contiene trazas de explosivos.

Capacidades:

- Sensibilidad: microgramos, llegando a nanogramos en algunos modelos.
- Especificidad: alta por familias (nitroaromáticos, peróxidos, nitratos, etc.), baja dentro de una misma familia.
- Rango: corto.
- Tasas de alarma (positivas, negativas): bajo.
- Potenciales mejoras y sinergias:
- Coste: bajo (decenas de euros por kit).

Operación:

- El operario recoge con una gasa o torunda la muestra de la superficie y la lleva al reactor. Ahí se produce la reacción química que cambia de color en presencia de

explosivos (u otras sustancias). En caso de spray, se proyecta éste directamente sobre la superficie. Un código de colores da el resultado de la reacción.

Estado:

- Nivel de madurez: tecnología madura.
- Otros campos de aplicación: detección de drogas, química analítica en general, figura 22.

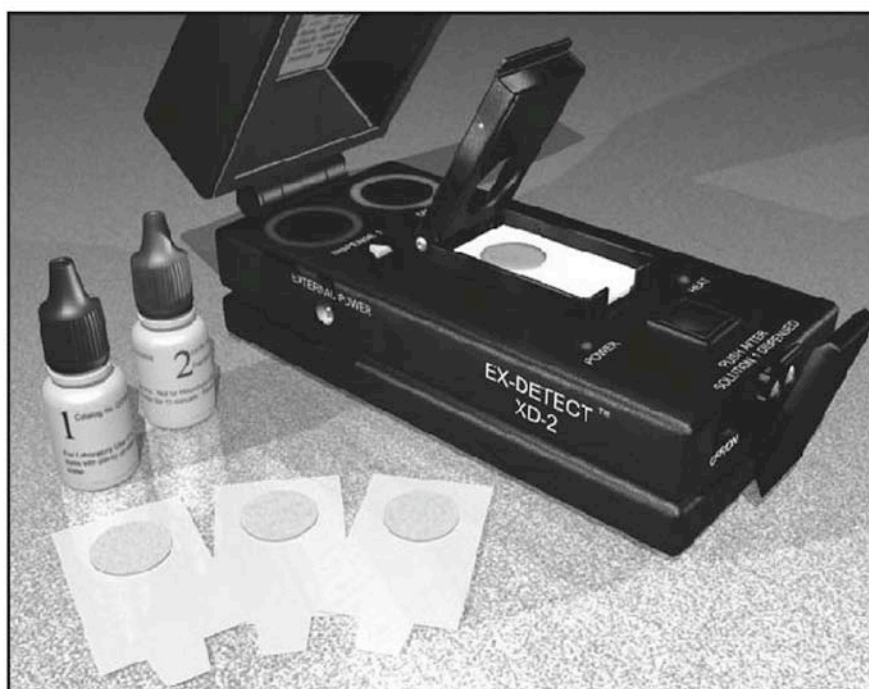


Figura 22.— Aparato para detección colorimétrica Ex-Detect Model XD-2 de ChemSpectra, Inc.

Referencias:

- Fabricantes: E2sec Technologies, System Two.

Resumen:

- Principales ventajas: sencillez de uso, respuesta rápida.

TECNOLOGÍAS QUÍMICAS. MICROBALANZA DE CUARZO

Descripción:

- Principio tecnológico: el cuarzo es un material piezo-eléctrico; es decir, se deforma en presencia de un campo eléctrico. Al someter una micro-viga de cuarzo a un campo eléctrico alterno, ésta comienza a vibrar. La viga puede entrar en resonancia

con el campo eléctrico si éste tiene la frecuencia de vibración propia de la viga. Esta frecuencia de vibración propia está muy bien definida, de manera que cuando su masa varía (debido por ejemplo a que una sustancia se deposita en ella), su frecuencia de vibración varía, lo que hace posible cuantificar la presencia de una sustancia dada. Típicamente, las frecuencias propias de las micro-vigas están en torno a 4-6 MHz, y son capaces de medir cambios en la frecuencia propia de 1 Hz. También se puede medir el cambio de amplitud de las oscilaciones, que está relacionado con la viscosidad del medio.

- Aplicabilidad (actual y potencial): se pueden utilizar en fase gaseosa o vacío y en fase líquida. Para la detección de explosivos, lo más frecuente es detectar las trazas de volátiles en el aire.
- Limitaciones: si se funcionaliza la microbalanza para un compuesto, ésta será específica para el mismo, y no detectará otros. Por tanto, será necesaria una batería de microbalanzas para poder detectar todos los compuestos que se pretenden.

Capacidades:

- Sensibilidad: pueden medir desde 1 ng/cm^2 , operatividad de orden de ng.
- Especificidad: en principio no son específicas de una sustancia química determinada, salvo si la superficie de la microbalanza se funcionaliza con una sustancia que retenga específicamente a la sustancia que se pretende detectar (por ejemplo, explosivos).
- Rango: al tratarse de una detección de trazas en el aire, la concentración disminuye rápidamente cuando aumenta la distancia a la fuente. Unos 10 metros es la distancia máxima de detección sin otros métodos de concentración o muestreo específicos.
- Tasas de alarma (positivas, negativas): falsos positivos < 1%.
- Potenciales mejoras y sinergias: Una detección combinada con una tecnología distinta (IMS, por ejemplo) evita en gran medida las falsas alarmas.
- Coste: 10-50 K euros.

Estado:

- Nivel de madurez: producto incipiente.
- Otros campos de aplicación: biología (reconocimiento de anticuerpos).
- Proyección de la tecnología: muy prometedora, figura 23.



Figura 23.— Sistema de detección MN1000™ de Scent Detection Technologies, que utiliza microbalanza de cristal de cuarzo de alta frecuencia (HF-QCM). La pieza de la derecha es el elemento para la toma de muestras.

Referencias:

- Fabricantes: Scent Detection Technologies.
- Investigación:
 - Nombre: Contacto.
 - Commissariat à l'Énergie Atomique (Le Ripault, Francia) : L. Hirault.
 - Oak Ridge National Laboratory (Oak Ridge, Estados Unidos): L. A. Pinnaduwege.
 - Chinese Academy of Science, Shanghai (China): Min Liu.

Resumen:

- Principales ventajas:
 - Sensibilidad.
 - Especificidad.
 - Portabilidad.
- Principales desventajas:
 - Coste relativamente elevado.

- Requiere de una funcionalización para ser específica.

Tecnologías de detección de masa de explosivos

TECNOLOGÍAS DE ANÁLISIS QUÍMICO ELEMENTAL.

RESONANCIA NUCLEAR CUADRUPOLO NUCLEAR, QUÍMICO Y RADIOLÓGICO

Descripción:

- Principio tecnológico: algunos núcleos atómicos, como el del nitrógeno, tienen una distribución de carga en cuadrupolo. Cuando se aplica un determinado campo electromagnético (ondas de radio de baja frecuencia, entre 500 KHz y cinco MHz) a un núcleo con cuadrupolo se produce una excitación que modifica su estado energético. Al retirar el campo, y volver el núcleo a su estado normal, se produce una emisión característica que permite identificar el elemento en cuestión. Así, es posible establecer la composición de la muestra e identificar explosivos.
- Aplicabilidad (actual y potencial): Aplicable a explosivos sólidos.
- Limitaciones:
 - La señal es débil.
 - Baja sensibilidad al TNT.
 - Tiempo de medida lento.
 - Interferencias en radiofrecuencia.

Capacidades:

- Sensibilidad: en pruebas se han detectado hasta 50 gramos de explosivo.
- Especificidad: alta (la señal medida es característica)
- Rango: Corto alcance (< 1 metro).
- Tasas de alarma (positivas, negativas): no existen datos contrastados. Hay pruebas en que se ha dado una probabilidad de falsa alarma del 5%.

Operación:

- Inspección de objetos sospechosos: existen equipos montados en vehículos y portátiles que pueden ser empleados remotamente.
- Limpieza de campos de minas: se emplea de forma similar al detector de metales tradicional. En las pruebas realizadas se estima muy útil como medio de confirmación más que de detección.

Estado:

- Nivel de madurez: tecnología en desarrollo final para la detección de explosivos/ productos incipientes.
- Otros campos de aplicación: monitorización del flujo en extracciones petrolíferas.

Referencias:

- Fabricantes: Quantum Magnetics, General Electric.
- Investigación: US Naval Research Laboratory

Resumen:

- Principales ventajas:
 - Tecnología segura para el operario (no emplea fuentes radioactivas ni genera radiaciones ionizantes).
 - Alta especificidad.
 - No requiere calibraciones ni mantenimiento especial.
- Principales desventajas:
 - Señal débil.
 - Tiempo de medida alto.
 - No es capaz de detectar a través de metales.

TECNOLOGÍAS DE ANÁLISIS QUÍMICO ELEMENTAL.

TÉCNICAS BASADAS EN NEUTRONES

Descripción:

- Principio tecnológico: se trata de una serie de técnicas que tras someter a la muestra a un bombardeo de neutrones, y midiendo los neutrones que son transmitidos, reflejados o diferidos, o bien la radiación procedente de la desintegración radiactiva que sigue a la activación neutrónica, proporciona información sobre su composición elemental. Dependiendo del tipo de neutrones que se emplea, y de la respuesta medida, se puede hablar de:
 - Activación por neutrones térmicos (TNA): Se bombardea con neutrones térmicos o de baja energía, que interaccionan con el núcleo atómico emitiendo rayos gamma, que se miden y proporcionan una firma única de cada material. La

respuesta al nitrógeno es fuerte, la del carbono y el oxígeno, por el contrario, es débil. Emplea fuente radioactiva o generador electrónico de neutrones.

- Activación por neutrones rápidos (FNA): Se emplean neutrones rápidos o de alta energía, que poseen mayor capacidad de penetración que los térmicos. Emplea generador electrónico de neutrones. Es sensible a casi todos los explosivos.
- Activación por neutrones rápidos pulsados (PFNA). Actúa de la misma manera que la técnica anterior con la diferencia que empleando pulsos muy cortos (del orden de nanosegundos) es posible además ubicar físicamente el explosivo.
- Imagen por partículas Alfa asociadas: aprovecha la generación de partículas Alfa asociadas a las interacciones nucleares proporcionando una resolución espacial a partir de la medición del tiempo de vuelo. Es una técnica compleja difícilmente aplicable fuera del laboratorio.
- Retrodispersión de neutrones: Es la técnica más sencilla. Cuenta el número de neutrones que chocan y vuelven hacia la fuente. Proporciona una medida del contenido de hidrógeno del compuesto.
- El detector en sí puede emplear diferentes tecnologías, como el conteo de destellos, por ionización de gas, o de semiconductor, a su vez en diferentes configuraciones.
- Aplicabilidad (actual y potencial):
 - Detección de explosivos dentro de vehículos, contenedores, bultos, etc.
 - Inspección de objetos sospechosos.
- Limitaciones:
 - Es necesaria una fuente de neutrones, que puede ser radiactiva para los neutrones térmicos, con el riesgo asociado. Los generadores electrónicos son más seguros, pero también más complejos y caros.
 - No puede emplearse sobre seres vivos (riesgo de radiación).

Capacidades:

- Sensibilidad: Puede variar entre 0,1 y 10^6 ng/g dependiendo del elemento analizado.
- Especificidad: se puede detectar fácilmente la existencia de explosivos a distancia, pero es difícil distinguir explosivos distintos con composiciones químicas similares.

- Rango: corto alcance (pocos metros).
- Tasas de alarma (positivas, negativas).
- Potenciales mejoras y sinergias: El empleo de pulsos permite localizar el material explosivo.
- Coste: elevado.

Operación:

- Puede realizarse mediante un arco para inspeccionar vehículos o contenedores.

Estado:

- Nivel de madurez: en desarrollo final / producto Incipiente
- Otros campos de aplicación: industria petrolera.

Referencias:

- Fabricantes: SAIC Clear Path Technologies, Inc.: <http://www.clear-path-tech.com>/HiEnergy Technologies, Inc, figuras 24 y 25 y 26.



Figura 24.— Equipo portátil de detección basado en neutrones para aplicaciones aeroportuarias. Sistema ULIS de EADS. Cortesía de EADS.



Figura 25.— Sensor desplegado sobre el terreno en aplicaciones de detección de minas por detección empleando neutrones. Cortesía de EADS.

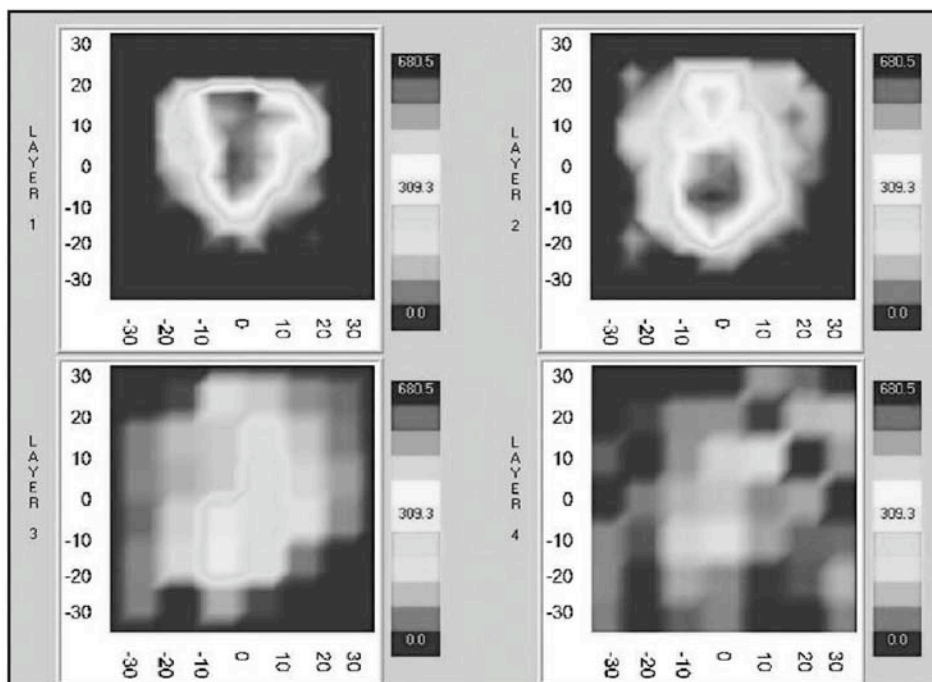


Figura 26.— Empleo de neutrones para detectar explosivos enterrados (Imagen de análisis de detección de explosivos enterrados). Cortesía de EADS.

Resumen:

- Principales ventajas:
 - No hace falta prepara la muestra.
 - Detecta a través de materiales (capaz de penetrar unos centímetros de acero).
 - Identifica elementos.
- Principales desventajas:
 - Tiempo de medida largo (decenas de segundos) y espectros complejos (FNA).
 - Coste.
 - Consumo de energía alto.
 - Riesgo de radiaciones.

TECNOLOGÍAS DE IMAGEN. RAYOS X Y RAYOS GAMMA

Descripción:

- Principio tecnológico: Los Rayos X y gamma tienen una gran capacidad para atravesar materiales en mayor o menor medida dependiendo de su naturaleza (diferente grado de absorción de la radiación en función de su número atómico). Esto permite generar imágenes de materiales ocultos a la vista. Se emplean mediante varias técnicas:
 - Transmisión: los rayos atraviesan la muestra y se capta la imagen al otro lado de ésta. Permite distinguir básicamente formas, identificándose fácilmente los metales.
 - Energía dual: se emplean dos fuentes de diferente energía. La combinación de las respuestas de ambas permite diferenciar tipos de materiales (orgánicos/inorgánicos).

- Retrodispersión: la imagen se genera por la radiación reflejada, siendo más adecuado para la identificación de materiales orgánicos.
- Aplicabilidad (actual y potencial): ampliamente extendidos para la detección de armas, con las técnicas más modernas se pueden identificar tipos de materiales. Se emplean en inspección de equipajes y en arcos para personas, vehículos, contenedores...
- Limitaciones: salvo la retrodispersión, necesitan colocar la muestra entre dos partes del sistema. Proveen imágenes que han de ser interpretadas. No tiene capacidad para identificar las sustancias.
- Sensibilidad: alta.
- Especificidad: baja, proporciona imágenes y clasifica únicamente tipos de materiales, no tiene capacidad de identificar.
- Rango: el instrumento debe estar cerca del objetivo. En retrodispersión, hasta 10 m, también es plausible su empleo remoto.
- Tasas de alarma (positivas, negativas): N/A.
- Potenciales mejoras y sinergias: puede constituir un sistema muy completo en combinación con tecnologías analíticas o de detección de trazas, que identifiquen sustancias. El empleo de Rayos X coherentes también permitirá mejorar su capacidad de identificación.
- Coste: dependiendo de la aplicación y la tecnología específica, pueden variar entre decenas de miles a centenas de miles de euros.

Operación:

- El detector se tiene que colocar cerca del objeto o persona sospechosos. Se irradia la muestra y se obtiene una imagen. El proceso se puede realizar en tiempo real o casi-real, dependiendo del equipo.

Estado:

- Nivel de madurez: producto maduro.
- Otros campos de aplicación: ensayos no destructivos, medicina (radiografías).

- Proyección de la tecnología: sigue siendo la tecnología preferente en inspección de bultos, equipajes, etc. El empleo de Rayos X coherentes posibilitará mayor precisión en la determinación de las sustancias.

Referencias:

- Fabricantes: American Science and Engineering (AS&E), General Electric Security, Gilardoni, Heimann Systems, InVision Technologies, Inspection Systems, L-3 Communications Security & Detection Systems, Optosecurity, PerkinElmer Detection Systems, Quantum Magnetics, RapiScan Security Products, SAIC, Scanna MSC, Smiths Detection, etc.
- Investigación: hay muchos grupos investigando en rayos X en las universidades de todo el mundo, figuras 27, 28, 29, 30 y 31.



Figura 27.— Sistema portátil de imagen de rayos X RTR-4® de SAIC.



Figura 28.— Sistema SECURE 1000, de Spectrum San Diego, Inc., que utiliza Rayos X retrodispersados.

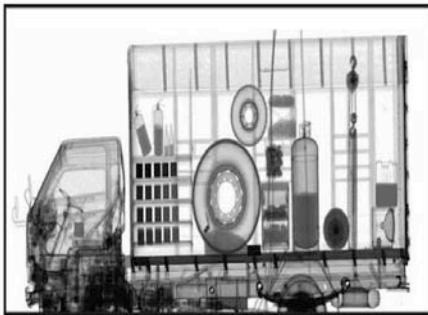


Figura 29.— *Sistema Dual-Energy Container/Vehicle Inspection Technology, de NUCTECH, que permite distinguir los materiales en base a su número atómico, mostrándolos en diferente colores.*



Figura 30.— *Sistema automático de detección de explosivos CTX 9400 DSi, de General Electric, que utiliza tomografía computarizada.*



Figura 31.— Sistema de imagen por rayos gamma All-Terrain VACIS® de SAIC, transportado en vehículo. La imagen de la derecha es una gammagrafía obtenida con el mismo.

Resumen:

- Principales ventajas: proporciona imágenes de objetos ocultos incluso en recipientes de acero (hasta 15 centímetros de acero para los Rayos gamma). Buena sensibilidad, respuesta rápida, facilidad de operación.
- Principales desventajas: capacidad limitada de identificación de sustancias, necesidad de interpretación, coste.

TECNOLOGÍAS DE IMAGEN. TERAHERCIOS

Descripción:

- Principio tecnológico: el rango de frecuencias que abarcan los Terahercios se considera, en general, de 100 GHz a 10 THz, que corresponde en longitud de onda

a la región submilimétrica, entre aproximadamente 3 milímetros (microondas de alta frecuencia) y 30 micrómetros (infrarrojo medio). Esta tecnología consiste en, con los sensores adecuados, captar las emisiones que los cuerpos a temperatura ambiente emiten en esta banda y generar imágenes. En estas frecuencias los tejidos y otros materiales son prácticamente transparentes. La distancia objeto-sensor actual máxima es de unos 25 metros.

- Aplicabilidad (actual y potencial): detección de objetos bajo la ropa en personas o ligeramente envueltos. Determinación espectrométrica de explosivos a distancias de un metro.
- Limitaciones: no ve a través de metales ni de agua.

Capacidades:

- Sensibilidad: baja.
- Especificidad: baja, en imágenes. La identificación por espectrometría es también posible.
- Rango: unos pocos metros (< 25 metros). Permite empleo remoto.
- Tasas de alarma: N/A.
- Potenciales mejoras y sinergias: se puede mejorar su capacidad iluminando la muestra (de momento son limitadas las fuentes emisoras en estas frecuencias). La espectrometría se encuentra en desarrollo, con algunos productos incipientes.

Operación:

- El sensor, de funcionamiento análogo a una cámara de video, es pasivo, aunque puede emplearse iluminación para mejorar su capacidad. Basta con orientarlo hacia donde se quiere obtener la imagen. Puede llegar a funcionar en tiempo real. Los sistemas actuales están orientados principalmente a su empleo en entornos cerrados.

Estado:

- Nivel de madurez: tecnología en desarrollo final / producto incipiente.
- Otros campos de aplicación: medicina, bioquímica, farmacia, astronomía, ensayos no destructivos, análisis químicos.

- Proyección de la tecnología: paso de la generación de imágenes a espectrometría.

Referencias:

- Fabricantes: Thruvision, TeraView.
- Investigación: Múltiples, entre ellos: Rensselaer Polytechnic Institute, National Institute of Standards and Technology, Harvard University, Yale University, Nueva Jersey Institute of Technology (NJIT), MIT-Sandia, Leeds Faculty of Engineering, Alfa Imaging, Universidad de Navarra.

Resumen:

- Principales ventajas: pasivo (si se emplea en modo activo, la radiación no es ionizante). Funcionamiento en tiempo real. Capacidad de “ver” a través de tejidos y otros materiales.
- Principales desventajas: baja sensibilidad y resolución. Corto alcance. Interferencia con el agua, figura 32.



Figura 32.— Sistema de detección de explosivos basado en el TPS spectra 3000, espectrómetro pulsado de terahercios de TeraView.

TECNOLOGÍAS DE IMAGEN. ONDAS MILIMÉTRICAS

Descripción:

- Principio tecnológico: como en el caso de los Terahercios, consiste en la generación de imágenes en una determinada banda de frecuencias (en este caso de 30 a 300 GHz).

- Aplicabilidad (actual y potencial): inspección de personas para detectar objetos ocultos bajo la ropa.
- Limitaciones: no es capaz de penetrar metales ni agua.

Capacidades:

- Sensibilidad: baja.
- Especificidad: baja, genera imágenes.
- Rango: variable, hasta decenas o centenas de metros. A mayor alcance menor capacidad de detección.
- Tasas de alarma:N/A.
- Potenciales mejoras y sinergias: la sensibilidad puede mejorarse con iluminación en la misma banda y mediante fusión de imágenes con sensores en otras bandas, como IR.

Operación:

- El sensor puede ser de funcionamiento análogo a una cámara de video, en cuyo caso basta con orientarlo hacia la muestra. Otros sistemas operan como un arco o portal. Es pasivo aunque puede emplearse iluminación para mejorar su capacidad. Funciona en tiempo real. Permite la obtención de imágenes a través de la niebla, humo y polvo, además de la ropa y diversos tipos de embalajes.

Estado:

- Nivel de madurez: en desarrollo final.
- Otros campos de aplicación: radar.
- Proyección de la tecnología: los sistemas actuales de mejor resolución son pesados, costosos y lentos. Se prevé que en unos pocos años estén disponibles sistemas compactos, de mejores prestaciones, funcionando en tiempo real.

Referencias:

- Fabricantes: L-3/SafeView, Smiths Detection, ThruVision, QinetiQ, Brijot/Lockheed Martin, Millivision.
- Investigación: Alfa Imaging, GATE, Laboratorio Rutherford, Universidad de Reading, figura 33.



Figura 33.—Arco detector por RF retrodispersada, Pro Vision, de L-3 communications, con imágenes 3D.

Resumen:

- Principales ventajas: pasivo (si se emplea en modo activo, la radiación no es ionizante). Funcionamiento en tiempo real. Capacidad de “ver” a través de tejidos y otro materiales.
- Principales desventajas: baja sensibilidad y resolución. Interferencia con el agua.

TECNOLOGÍAS DE IMAGEN. IMAGEN POR INFRARROJOS

Descripción:

- Principio tecnológico: mediante un sensor específico, consiste en la generación de imágenes en una determinada banda de frecuencias (entre longitudes de onda de 750 nm y 1 milímetro, que corresponden aproximadamente a entre 300 THz y 300 GHz). Los objetos calientes (a temperatura corporal o mayor) emiten en esta banda.
- Aplicabilidad (actual y potencial): detección de objetos.
- Limitaciones: las propias de los sistemas de imágenes.

Capacidades:

- Sensibilidad: décimas de Kelvin.

- Especificidad: baja
- Rango: es posible detectar objetos a kilómetros de distancia en función de su tamaño y diferencia de temperatura respecto a su entorno. No obstante, en aplicaciones de detección de objetos ocultos puede considerarse del orden de decenas a centenas de metros dependiendo del equipo y las tecnologías empleadas.
- Tasas de alarma: N/A, figura 34.



Figura 34.— *Imagen por infrarrojos tomada con el equipo IR-360 de imaging1.*

Estado:

- Nivel de madurez: productos maduros.
- Otros campos de aplicación: termografía, medicina, ensayos no destructivos, mantenimiento de instalaciones, optrónica, etc.

- Proyección de la tecnología: las posibilidades son múltiples en detección e identificación en todos los campos.

Referencias:

- Fabricantes: múltiples.

Resumen:

- Principales ventajas: sistema pasivo.
- Principales desventajas: consumo energético. Sólo proporciona imágenes.

TECNOLOGÍAS DE IMAGEN. RADAR DE PENETRACIÓN GPR (*GROUND PENETRATING RADAR*)

Descripción:

- Principio tecnológico: generalmente aplicado al suelo, se le conoce por GPR. Funciona emitiendo una onda electromagnética, generalmente de microondas (desde cientos de MHz a varios GHz) en pulsos cortos con un gran ancho de banda. Cada cambio en la constante dieléctrica del medio, normalmente debido a la presencia de objetos, produce una reflexión de la radiación emitida que es detectada por la antena del sistema. La amplitud y la forma del pulso varían dependiendo del tamaño y la constante dieléctrica de los objetos presentes en el medio, permitiendo la generación de imágenes de los objetos ocultos. Proporciona imágenes transversales en dos dimensiones.
- Aplicabilidad (actual y potencial): detección de minas y artefactos enterrados.
- Limitaciones: la onda puede verse atenuada por las características de ciertos suelos como la arcilla, por inhomogeneidades en el medio, y por la presencia de agua. Los objetos muy pequeños son difíciles de identificar. Es necesario hacer balance entre la capacidad de penetración y la resolución. Para obtener resultados óptimos la distancia entre la antena y el suelo deber ser menor que 50 cm. Es necesario interpretar las imágenes.

Capacidades:

- Sensibilidad: variable, dependiente de la onda y las características del suelo. El tamaño de los objetos para ser detectados tiene que ser superior a cinco

centímetros. La capacidad para distinguir entre dos objetos próximos está en torno a los 15-20 cm (si los objetos están más próximos, se detectan como un único objeto).

- Especificidad: baja (la posibilidad de distinguir, por ejemplo, entre minas y piedras, sólo puede hacerse por el tamaño).
- Rango: capaz de penetrar hasta 30 metros en determinados suelos. Dependiendo del tipo de suelo tiene distinta capacidad. La atenuación aumenta con la frecuencia de la onda y con la presencia de agua y puede verse limitada hasta a 50 cm. El empleo real suele hacerse a decenas de centímetros como máximo.
- Tasas de alarma (positivas, negativas): la tasa de falsas alarmas en detección de minas es baja, pero depende mucho de las condiciones del suelo (humedad, homogeneidad, etc.).
- Potenciales mejoras y sinergias: combinación con detectores de metales, sensores de neutrones, *sniffers*, etc.
- Coste: el coste de los equipos varía mucho con las especificaciones. Sistemas sencillos pueden encontrarse entre 10 y 15.000 euros, para un sistema capaz de examinar 5 m²/segundo el precio está entorno a 250.000 euros.

Operación:

- Generalmente se emplea desplazando el sistema sobre el terreno, ya sea en un equipo portátil (a mano), o más comúnmente sobre un vehículo. Se enfoca la antena del sistema hacia el suelo. Se emite el pulso de gran ancho de banda. Se examina las reflexiones. Las imágenes indican las diferencias en las características dieléctricas de la zona inspeccionada, y tras su interpretación permiten detectar objetos y calcular la profundidad a la que se encuentran.

Estado:

- Nivel de madurez: existen productos incipientes y maduros.
- Otros campos de aplicación: geología, arqueología, ingeniería civil, detección de objetos enterrados, desminado humanitario y estudio de suelos.
- Proyección de la tecnología: es posible combinarlo con detectores de metales en equipos portátiles, figuras 35 y 36.



Figura 35.— *Equipo portátil L-3 AN/PSS-14 para localización de minas que combina radar y detector de metales, de CYTERRA.*

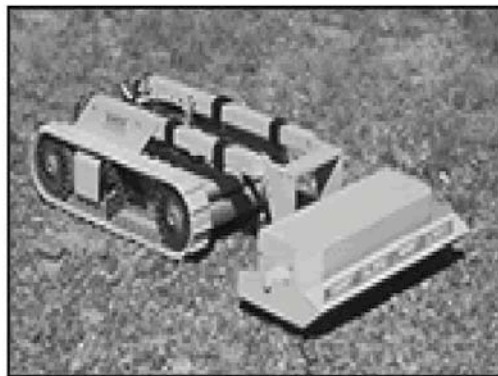


Figura 36.— *Equipo para localización de minas que combina radar y detector de metales montado en vehículo para operación remota (PackBot), de CYTERRA.*

Referencias:

- Fabricantes:
- APL

- Citera: <http://www.cytterra.com/index.html>
- ERA Technology: <http://www.era.co.uk/Services/mosd.asp>
- IDS:
- Georadar: <http://www.georadar.com>
- NIITEK
- Penetradar
- Sensors & Software Inc
- Rheinmetall Land systems: <http://www.rheinmetall-detec.de/>
- QinetiQ
- Vallon: <http://www.vallon.de/index.lasso>
- Investigación:
 - Tohoku University.
 - US Army.
 - QinetiQ.
 - DEMINE Consortium.
 - Universidad de Denver.

.Resumen:

- Principales ventajas:
 - Capacidad de detectar objetos no metálicos.
 - Proporciona información sobre la profundidad a que se encuentran.
 - Bajo consumo.
 - Fácil operación del sistema.
- Principales desventajas:
 - Dependencia de sus prestaciones del tipo de suelo.
 - Aplicación limitada a detección de objetos enterrados.
 - Necesidad de interpretación de las imágenes.

- Baja capacidad de discriminación.
- La distancia entre la antena y el suelo tiene que ser baja.

Cuadro resumen del anexo.

Tipo	Objetivo	Distancia	Madurez (en aplicación a IEDs)	Coste y complejidad	Coste estimado (euros)
<i>Tecnologías de detección de sistemas electromagnéticos</i> NLJD	Circuitos electrónicos	~ 30 metros	Disponible	Medio	
Vigilancia de radiofrecuencia	Señal activa RF	~ 100 metros	Disponible	Medio	
Emulación de la señal de activación	Señal activa RF	10 metros 10 kilómetros	Desarrollo avanzado	Bajo	
Detección de haces ópticos	Haces IR	Decenas de metros	Disponible	Medio	1.000->10.000
<i>Tecnologías de detección de sistemas mecánicos</i> Detección activa de metales	Metales	< 1 metro	Disponible	Bajo	
Detección pasiva de metales	Metales	2-3 metros	Disponible	Medio	
<i>Tecnologías de detección de trazas de explosivos</i> Tecnologías de biosensores: - Biomoléculas	Explosivo	< 1 metro	Desarrollo avanzado	Alto	15.000 25.000
- Medios caminos	Explosivo	Algunos metros	Disponible	Alto	25.000
- Otros animales	Explosivo	Variable	Desarrollo	Medio	17.000-?

Cuadro resumen del anexo (continuación).

Tipo	Objetivo	Distancia	Madurez (en aplicación a IEDs)	Coste y complejidad	Coste estimado (euros)
Tecnologías ópticas: - Espectrometrías Raman	Explosivo	< 1 metro	Disponible	Alto	15.000-40.000
- IR y FTIR	Explosivo	< 1 metro	Disponible	Alto	>15.000
- LIBS	Explosivo	Decenas de metros	Desarrollo avanzado	Alto	20-30.000 ?
- LIF	Explosivo	Algunos metros	Desarrollo	?	?
Tecnologías iónicas: - IMS	Explosivo	< 1 metro	Disponible	Alto	20-30.000 ?
- DMA	Explosivo	Decenas de metros	Desarrollo inicial	Alto	
- MS	Explosivo	< 1 metro	Disponible	Alto	> 30.000
Tecnologías químicas: - GC	Explosivo	< 1 metro	Disponible	Medio	> 10.000
- SAW	Explosivo	< 1 metro	Disponible	Alto	30.000
- Quimioluminiscencia	Explosivo	< 1 metro	Disponible	Medio	< 30.000
- Colorimetrías	Explosivo	< 1 metro	Disponible	Bajo	10-100
- Microbalanza de cuarzo	Explosivo	< 10 metros	Desarrollo final	Medio	10-50.000

Cuadro resumen del anexo (continuación).

Tipo	Objetivo	Distancia	Madurez (en aplicación a IEDs)	Coste y complejidad	Coste estimado (euros)
<i>Tecnologías de detección de masa de explosivos</i> Tecnologías de análisis químico elemental: – Resonancia nuclear cuadruplo	Explosivo	< 1 metro	Desarrollo final	Alto	?
– Técnicas basadas en neutrones	Explosivo	Algunos metros	Desarrollo final	Alto	
Tecnologías de imagen: – Rayos X y Rayos gamma	Imagen	Algunos metros	Disponible	Medio	10.000 >100.000
– Terahercios	Imagen	< 15 metros	Desarrollo final	Alto	
– Ondas milimétricas	Imagen	Algunos cientos metros	Disponible	Alta	
– Imagen de infrarrojos	Imagen	Algunos cientos metros	Disponible	Medio-Alto	?
– GPR	Imagen	< 1 metro 30 metros	Disponible	Medio	10.000 250.000

COMPOSICIÓN DEL GRUPO DE TRABAJO

Presidente: **D. MANUEL ÁNGEL SANCHIDRIÁN BLANCO**
Universidad Politécnica de Madrid

Coordinador: **D. FERNANDO SANZ TERCERO**
Ministerio de Defensa: CESEDEN

Vocales: **D. GUILLERMO GONZÁLEZ MUÑOZ DE MORALES**
Ministerio de Defensa: DGAM-SDG TECEN

D. JAVIER NAVALMORAL SÁNCHEZ
Ministerio del Interior: B.C. Desactivación Explosivos y NRBQ

D. CARLOS DE MIGUEL GIL
INDRA Sistemas.

D. RAMÓN GONZÁLEZ EGUREN
MAXAM

D. MIGUEL SÁNCHEZ MARTÍN
EADS.

D. ELADIO MONTOYA
RAMEM-IONER

D. JORGE LEGA DE BENITO
Ministerio de Defensa. DGAM-SDG TECEN.

D. ALBERTO NAVARRO IZQUIERDO
Universidad Politécnica de Madrid

Las ideas contenidas en este trabajo son de responsabilidad de sus autores, sin que refleje, necesariamente el pensamiento del CESEDEN, que patrocina su publicación.