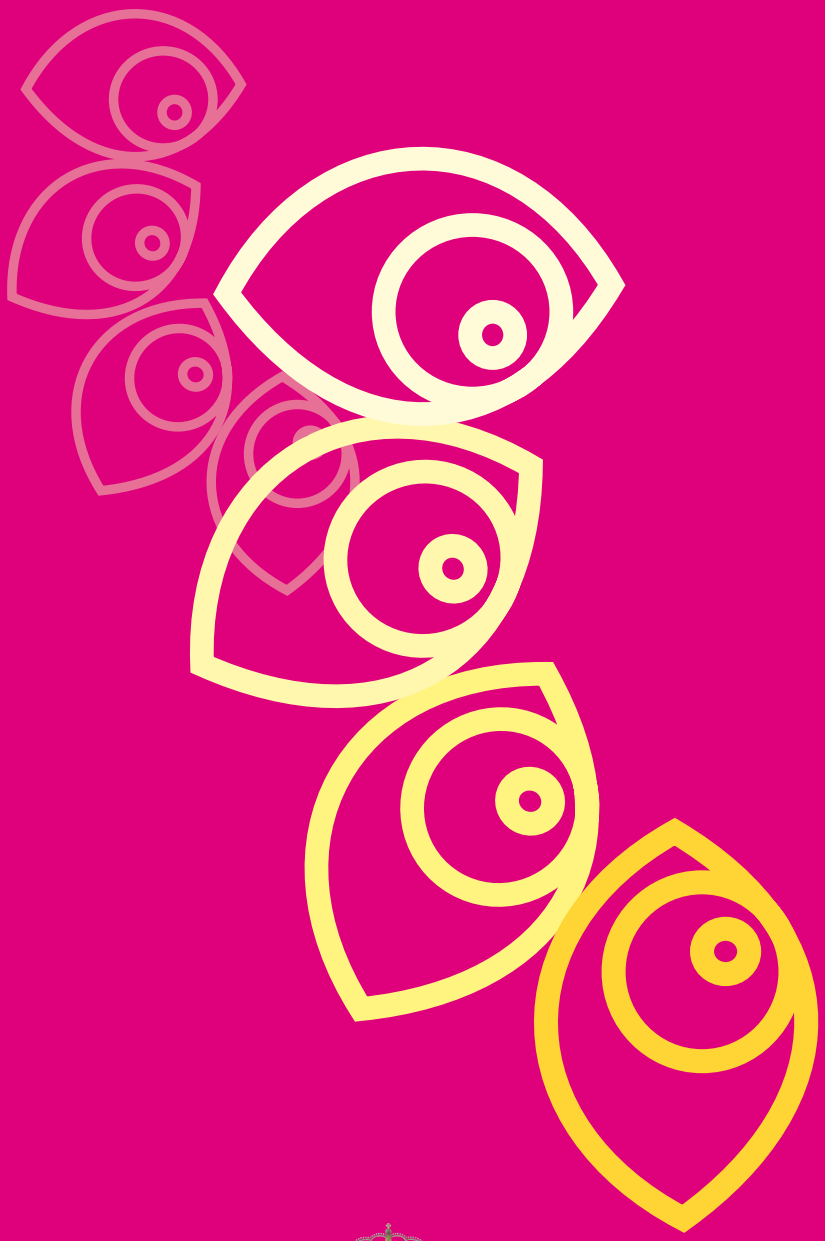
15 Monografías del SOPT

Proyecto RAPAZ y tecnologías anti-RPAS



MINISTERIO DE DEFENSA

15 Monografías del SOPT

Proyecto RAPAZ y tecnologías anti-RPAS

SOPT
SISTEMA DE OBSERVACIÓN Y PROSPECTIVA TECNOLÓGICA

http://www.tecnologiaeinnovación.defensa.gob.es/es-es/Paginas/Inicio.aspx

MINISTERIO DE DEFENSA

CATÁLOGO GENERAL DE PUBLICACIONES OFICIALES
http://publicacionesoficiales.boe.es/

Edita:

MINISTERIO DE DEFENSA
SECRETARÍA GENERAL TÉCNICA

http://publicaciones.defensa.gob.es/

© Autor y editor, 2016

NIPO: 083-16-433-4 (impresión bajo demanda)
NIPO: 083-16-434-X (edición en línea)
Fecha de edición: diciembre 2016

Las opiniones emitidas en esta publicación son exclusiva responsabilidad del autor de la misma.
Los derechos de explotación de esta obra están amparados por la Ley de Propiedad Intelectual. Ninguna de las partes de la misma puede ser reproducida, almacenada ni transmitida en ninguna forma ni por medio alguno, electrónico, mecánico o de grabación, incluido fotocopias, o por cualquier otra forma, sin permiso previo, expreso y por escrito de los titulares del © Copyright.

PROYECTO RAPAZ Y TECNOLOGÍAS ANTI-RPAS

SUMARIO

1. INTRODUCCIÓN 13
1.1 RPAS de clase I 18
1.2 Dualidad tecnológica 20

2. ASPECTOS GENERALES DEL PROYECTO RAPAZ 25
2.1 Origen 27

3. PROYECTO RAPAZ FASE I 33
3.1 Planteamiento y preparación 35
3.1.1 Sistemas participantes 39
3.1.1.1 Blackhornet (proxdynamics) 39
3.1.1.2 Huggin x1 (e&q-sky watch) 44
3.1.1.3 Iris 4 (triedro) 46
3.1.1.4 Ons (soticol) 49
3.1.1.5 Shepherd mil (expal) 53
3.1.1.6 Alcotan (usol) 55
3.1.1.7 Sx8 (sertec) 58
3.1.1.8 Dronequasar (dronetools) 60
3.1.1.9 Geodrone (conyca) 62
3.1.1.10 Aracnocopter (arborea) 63
3.1.1.11 Altea eko (flightech) 66
3.1.1.12 Sniper (alpha unmanned) 68
3.1.1.13 Mantis (indra) 70
3.1.1.14 Rw5 vultur (inda) 72
3.1.1.15 Orbiter 2 (aeronautics) 74
3.1.1.16 Microb (triedro) 75
3.1.1.17 Spylite (triedro) 78
3.1.1.18 Fulmar (thales) 80
3.2 Ejecución y evaluación 82
3.3 Resultados 85
3.3.1 Madurez de los sistemas y capacidad industrial 86

3.3.2 Conclusiones/recomendaciones 87

4. PROYECTO RAPAZ FASE II 91
4.1 Planteamiento 94
4.1.1 Preparación 94
4.1.2 Sistemas participantes 99
4.1.3 Sistema de mando y control 100
4.1.4 Segregación del espacio aéreo 102
4.2 Ejecución 105
4.3 Resultados 110
4.3.1 Madurez de los sistemas y capacidad industrial 111
4.3.2 Conclusiones/recomendaciones 112

5 TECNOLOGÍA ANTI-RPAS 115
5.1 Alcance 117
5.2 Vulnerabilidades de los subsistemas embarcados en un RPAS 118
5.2.1 Interoperatividad y modularidad 118
5.2.2 Sistemas de comunicación 118
5.2.3 Sistemas de propulsión 122
5.3 Sistemas no tripulados, como armas 124
5.3.1 Enjambres de RPAS 125
5.4 Tipología de la amenaza 126
5.4.1 Actividades molestas 126
5.4.2 Interferencia del espacio aéreo 126
5.4.3 Monitorización 126
5.4.3.1 Vigilancia 127
5.4.3.2 Reconocimiento 127
5.4.4 Amenaza cinética / kamikaze 127
5.4.5 Carga útil. Tráfico ilegal, contrabando 128
5.4.6 UAS armados 128
5.4.6.1 Armas letales y no letales 128
5.4.6.2 IED´S, explosivos 129
5.4.6.3 Ataques NBQR 129
5.4.6.4 Ataques electrónicos 130

6 CONCEPTO DE SISTEMAS ANTI-RPAS 131

7 TECNOLOGÍAS PARA LA DETECCIÓN 135
7.1 Huella acústica 137
7.2 Huella térmica, sistemas de reconocimiento por imagen, reflexión de fotones 139

7.3 Detección por emision de RF 140
7.4 Detección por emision magnética inducida y electro-magnética 142
7.5 Detección mediante radar 142
7.6 Conclusiones..... 143

8 SISTEMAS DE MITIGACIÓN Y/O NEUTRALIZACIÓN..... 145
8.1 Metodos de ataque a un sistema RPAS 148
8.1.1 Solapamiento de la señal gps. Gps-spoofing 148
8.1.2 Derribo directo por sistema antiaéreo convencional.... 148
8.1.3 Derribo mediante armas láser 149
8.1.4 Contramedidas electrónicas..... 151
8.1.4.1 Sistemas ECM 151
8.1.4.2 Sistemas HPM 152
8.1.4.3 Sistemas HPEW..... 152

9 SISTEMAS ANTI-RPAS. PRODUCTOS Y PROYECTOS EN EL MERCADO..... 155
9.1 Sistemas de detección / identificación 157
9.1.1 Anti RPAS Defense System (AUDS) 157
9.1.2 Tactical Counter-UAS Technology (TCUT) 159
9.1.3 Harrier Drone Surveillance Radar DSR-200 160
9.1.4 Beam 200 161
9.1.5 Narcissus Optical Augmentation System / Banshee.... 162
9.1.6 Dronetracker..... 163
9.1.7 Droneshield 163
9.1.8 Drone-Detector 164
9.1.9 Drone Detection and Defeat Technology (D3T)..... 164
9.1.10 Basic Drone Detection System..... 165
9.2 Sistemas de mitigación / neutralización 165
9.2.1 Skyshield air Defense System 165
9.2.2 Vigilant Eagle..... 166
9.2.3 Green Laser Optical Warner (GLOW) 168
9.2.4 Common Infrared Countermeasures (CIRCM) 168
9.2.5 Drone Civil Anti-Drone..... 168
9.2.6 Falcon Shield Counter RPAS System..... 169
9.2.7 Anti-Drone 169
9.2.8 Counter-RPAS System 170
9.2.9 Drone Guard..... 171
9.2.10 High Energy Laser Weapon Systems 172
9.2.11 Iron Beam 174

10 CONCLUSIONES..... 175

11 ANEXOS..... 181

11.1 Acrónimos 183

11.2 Referencias 187

PRÓLOGO

La presente monografía ha sido realizada por el Sistema de Observación y Prospectiva Tecnológica (SOPT) de la Subdirección de Planificación, Tecnología e Innovación (SDG PLATIN) de la Dirección General de Armamento y Material (DGAM).

Quiero felicitar a todos los que han hecho posible esta monografía, y en concreto al director del proyecto RAPAZ, teniente coronel José Manuel Mateo Alonso así como al personal del Área de Planificación y Control de la SDG-PLATIN, capitán Kevin Chase O'Neill (USAF), Cesar Heras Menor de Gaspar y Roberto Obeso Cobo así como al técnico del Observatorio Tecnológico de Plataformas Aéreas, Guillermo Carrera López, por su dedicación y esfuerzo.

También, extender este agradecimiento al resto de colaboradores del proyecto, que han contribuido a que podamos tener hoy este trabajo en nuestras manos.

Tcol. Juan Manuel González del Campo Martínez
Jefe del SOPT
Subdirección de Tecnología e Innovación
Dirección General de Armamento y Material

MOTIVACIÓN

El objeto de esta monografía es dar a conocer el estado del arte a nivel nacional en materia de RPAS de clase I a través de los sistemas presentados en el proyecto RAPAZ. Este proyecto, promovido por el Ministerio de Defensa a través de la DGAM, persigue entre otros objetivos conocer el estado del arte y las capacidades de la industria nacional en el desarrollo de RPAS de clase I, así como dar a conocer a los diferentes fabricantes nacionales de RPAS las necesidades de las FF. AA., de cara a facilitar el establecimiento en un futuro de un posible proceso de adquisición de este tipo de sistemas.

Sin profundizar en aspectos técnicos, en el documento se describe el proceso de planeamiento y ejecución seguido en el proyecto RAPAZ, dándose a conocer las conclusiones obtenidas tras las dos fases realizadas.

Al mismo tiempo, en esta monografía se plantea una introducción a la problemática de seguridad acaecida por el desarrollo y proliferación de sistemas RPAS, los cuales pueden ser fácilmente adquiridos a bajo coste y utilizados en contra de las fuerzas propias, haciendo necesario el desarrollo de contramedidas. En este sentido, la monografía incluye el trabajo realizado para la DGAM por la empresa DEFINE-e analizando el estado del arte de los sistemas «anti-RPAS».

Para elaborar esta monografía se ha empleado la información proporcionada por los diferentes fabricantes de cada sistema, aportando tanto datos técnicos como operacionales, así como la documentación generada por la DGAM a lo largo de las pruebas operativas realizadas en el marco del programa RAPAZ tanto en su fase de planeamiento como de ejecución.

La monografía se estructura en los siguientes apartados:

- Introducción a los sistemas de RPAS de clase I y al proyecto RAPAZ.
- Aspectos generales del proyecto RAPAZ, Fase I.

- Descripción técnica y operacional de los sistemas presentados en el proyecto RAPAZ.
- Fase II del proyecto RAPAZ.
- Problemática de seguridad derivada del uso de RPAS, sistemas anti-RPAS.

SOPT

SISTEMA DE OBSERVACIÓN Y
PROSPECTIVA TECNOLÓGICA

1. INTRODUCCIÓN

1 INTRODUCCIÓN

Hace más de medio siglo que comenzaron a emplearse los sistemas aéreos no tripulados. Estos sistemas surgieron como sencillos equipos con diferentes propósitos, siendo el principal de ellos servir como blancos móviles. Con el paso del tiempo han ido evolucionando hasta los complejos sistemas con los que hoy cuentan la mayoría de fuerzas armadas de los países.

El interés despertado por este tipo de sistemas, unido a los avances tecnológicos en ámbitos como el de las comunicaciones, navegación, optrónica y las mejoras en la integración de cargas de pago, han logrado dotar a estas aeronaves de nuevas capacidades, permitiendo adaptar estos sistemas a los requisitos de las fuerzas armadas para responder a sus nuevos retos.

A esto hay que sumar un conjunto de acontecimientos que han propiciado el imparable crecimiento en el uso de estos sistemas:

- La posibilidad de combatir en zonas conflictivas reduciendo el riesgo para la vida de los efectivos desplegados ha producido una rápida integración de los sistemas no tripulados en la estructura de las fuerzas conjuntas. Sin embargo, los sistemas y tecnologías actuales aún carecen de la suficiente operatividad, coordinación e integración con el resto de fuerzas para alcanzar los niveles de eficacia, eficiencia, asequibilidad, homogeneidad, interoperabilidad, y otros parámetros clave necesarios para satisfacer las actuales y futuras necesidades operativas.
- La reducción de los presupuestos a las que se han visto sometidas las diferentes instituciones que representan la Defensa Nacional en los países de la OTAN, ha obligado a los Gobiernos a la búsqueda de sistemas más asequibles, obligando a su vez a las compañías que desarrollan estos sistemas a conseguir un menor coste de los mismos, sin reducir las prestaciones.

- También ha resultado clave, el desarrollo de las tecnologías de comunicaciones, tanto directas como a través de redes. Esto ha permitido la proliferación de estos sistemas dentro del ámbito civil y el desarrollo de complejos sistemas a muy bajo coste, siendo muy fácil su adquisición en el mercado nacional e internacional.
- Por otra parte, se presentan nuevos retos derivados de la proliferación de estos sistemas debido a su reducido coste, fácil adquisición y atractivo para el uso privado, tanto personal como industrial. Las amenazas dentro de teatros de operaciones, se ven afectadas por la reducción de costes de estos sistemas, así como la facilidad de obtenerlos debido a su extenso uso civil y la producción de los mismos por países fuera de la OTAN.
- Derivado del punto anterior, el uso de estos sistemas está empezando a suponer una amenaza a la seguridad nacional, debido a la utilización de sistemas comerciales, de uso profesional o personal para cometer acciones ilegales con resultado de daños a terceros o a instalaciones privadas o estratégicas, siendo además muy difícil tomar acciones de neutralización y más aún, de identificación de los posibles responsables de esa acción.

Como consecuencia de los aspectos anteriores, a lo largo de los últimos años el uso de estos sistemas ha dejado de ser exclusivamente militar, comenzando a emplearse a nivel civil, especialmente en el caso de los sistemas de menor tamaño.

El alto número de aplicaciones en las que estos sistemas pueden ser empleados, ha favorecido que un gran número de empresas hayan tomado posiciones en este nuevo nicho de mercado con el fin de dar respuesta a estas nuevas necesidades. En los últimos años el volumen de ventas de estos sistemas en el mercado civil no ha hecho más que aumentar lo que está generando una reducción en los costes de adquisición de sistemas y componentes, permitiendo su acceso a un público mayoritario, y favoreciendo un avance tecnológico muy acusado.

El auge de las aeronaves remotamente tripuladas ha dado lugar al uso de diferentes términos a la hora de referirse a estos sistemas, siendo los principales los indicados a continuación:

- DRON (plural DRONES): se registra en la 23ª edición del Diccionario de la Academia de la Lengua española, como adaptación al español del

sustantivo inglés *drone* (literalmente «zángano»), para referirse a una «aeronave no tripulada».

- UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*): vehículo aéreo no tripulado.
- UAS (*Unmanned Aerial System*): sistema aéreo no tripulado, es decir, la plataforma más su sistema de control.
- RPA (*Remotely Piloted Aircraft*): sistema aéreo operado de forma remota.
- RPAS (*Remotely Piloted Aircraft System*): sistema aéreo operado de forma remota, en el caso de que se incluya el aparato y el sistema de control.

Todos los RPAS son UAV, ya que son vehículos aéreos no tripulados, pero no todos los UAV son RPAS, ya que para ello deben estar controlados por un operador. A lo largo de esta monografía emplearemos el término RPAS salvo en aquellos casos en los que los sistemas no estén remotamente pilotados.

Adicionalmente existen diferentes clasificaciones que mediante clases y categorías clasifican las diferentes plataformas aéreas que se pueden emplear en los sistemas aéreos no tripulados. A continuación se puede ver la clasificación que emplea la OTAN.

Clase	Categoría	Empleo habitual	Altura de operación normal	Radio de Misión
CLASE I (< 150 Kg)	MICRO < 66 Julios	Subunidad táctica (lanzamiento manual), operadores individuales.	Hasta 200 ft AGL	Hasta 5 Km (LOS)
	MINI <15 Kg	Subunidad táctica (lanzamiento manual), operadores individuales.	Hasta 3.000 ft AGL	Hasta 25 Km (LOS)
	SMALL > 15 Kg< 150 Kg	Unidad Táctica (utiliza sistema de lanzamiento)	Hasta 5.000 ft AGL	50 Km (LOS)
CLASE II (150 Kg- 600 Kg)	TÁCTICO	Formación Táctica	Hasta 10.000 ft AGL	200 Km (LOS)
CLASE III (>600 Kg)	MALE (*Medium Altitude Long Endurance*)	Operacional / de Teatro	Hasta 45.000 ft MSL	Sin límite (BLOS)
	HALE (*High Altitude Long Endurance*)	Estratégico	Hasta 65.000 ft	Sin límite (BLOS)
	ATAQUE/COMBATE	Estratégico/Operacional	Hasta 65.000 ft	Sin límite (BLOS)

Tabla 1-1. Clasificación OTAN RPAS. (Fuente: DGAM)

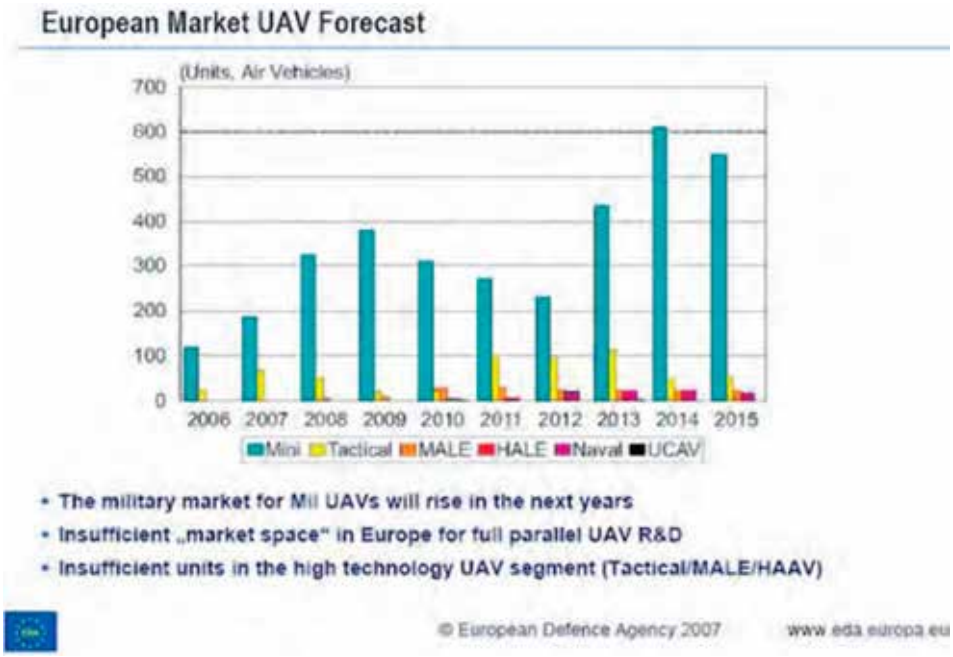


Tabla 1-2. Previsión de mercado de RPAS. (Fuente: EDA)

Según esta clasificación, el mayor volumen de sistemas pertenece a la clase I, especialmente en lo relativo a los sistemas de menor peso máximo al despegue (MTOW) de las categorías MICRO y MINI. Como se verá más ampliamente, esto se debe a que se trata de los sistemas de menor coste, tanto de desarrollo como de adquisición, que además se emplean en un mayor número de aplicaciones tanto en el mercado civil como en el militar.

1.1 RPAS de clase I

Como se ha apuntado anteriormente, esta categoría es la que más sistemas abarca. Entre otras razones, esto se debe a:

- La disminución en costes de desarrollo y fabricación de un RPAS de clase I en comparación a los de clase II y III. Los de clase I tienen capacidad para incorporar cargas de pago con grandes prestaciones, si bien todavía son inferiores a las que puede embarcar un RPAS de clase II o III. La reducción de costes tanto de adquisición, mantenimiento y operación, junto a sus capacidades operativas los convierten en sis-

temas muy atractivos de cara a ser adquiridos por distintas unidades de las FF. AA.

- El desarrollo tecnológico de las baterías que emplean los sistemas de clase I está permitiendo mejorar sus características, especialmente la autonomía, lo que está posibilitando que el tipo de misiones en las que estos sistemas se pueden emplear sea cada vez mayor.
- La evolución tecnológica de estos sistemas es muy alta. El relativo bajo coste en la adquisición de estas tecnologías está permitiendo a las FF. AA., someter a los sistemas con los que cuenta en sus arsenales a *retrofits* de cara a dotarles de nuevas tecnologías disponibles en el mercado, pudiendo con ello contar con sistemas que se encuentran en el estado del arte a un menor coste.
- Se trata de sistemas que tienen una baja firma logística que no requieren grandes recursos para ser desplegados. Debido al tamaño de los mismos, el uso de estructuras modulares permite que la sustitución de elementos estructurales y cargas de pago no consuma prácticamente recursos de las unidades pudiendo ser como en el caso de ciertos sistemas micro los operadores de los mismos los encargados de reemplazar los elementos necesarios del sistema que operen. Esto también se traduce en una reducción en el tiempo de despliegue del sistema.
- Los sistemas de control en tierra GCS, (*Ground Control System*) que emplean los RPAS de esta clase, especialmente los de categorías nano y micro, son de reducido tamaño, lo que permite que su transporte sea sencillo, llegando a poder ser transportadas por un solo hombre. Al reducido tamaño hay que sumar la sencillez de su manejo.
- El tiempo y complejidad de los pre-vuelos es muy reducida, lo que les dota de una gran facilidad a la hora de ser desplegados.

A pesar de todas estas ventajas, dentro de la clase I existen diferencias entre las categorías nano, micro y *small*. En particular, esta última difiere de las otras en varios aspectos:

- Los sistemas de categoría *small* tienen unos costes de desarrollo superiores a los sistemas de las otras dos categorías, lo que exige una mayor inversión.
- Al ser sistemas más complejos, requieren mayores recursos para su adquisición, mantenimiento y formación del personal. Esto, combinado con la existencia de una clase II, los hace menos atractivos que los nano y micro.

1.2 Dualidad tecnológica

En el sector de los RPAS está muy presente el uso de tecnologías duales. El uso de los sistemas de RPAS especialmente de clase I ha traspasado desde hace un tiempo el ámbito militar, pasando a estar presentes también en el ámbito civil. La llegada de estos sistemas ha supuesto una revolución gracias a su adaptabilidad, resultando de ello que el nivel de crecimiento del mercado civil sea en los últimos años superior al militar. Así, en el periodo 2015-2020 la cuota de crecimiento del ámbito civil se va a situar en torno al 19% anual, mientras que en el militar va a oscilar en torno al 5%. Estos datos indican que, al igual que en otras ocasiones, tecnologías desarrolladas en el ámbito militar desbordan a éste y pasan a ocupar un papel destacado en el ámbito civil.

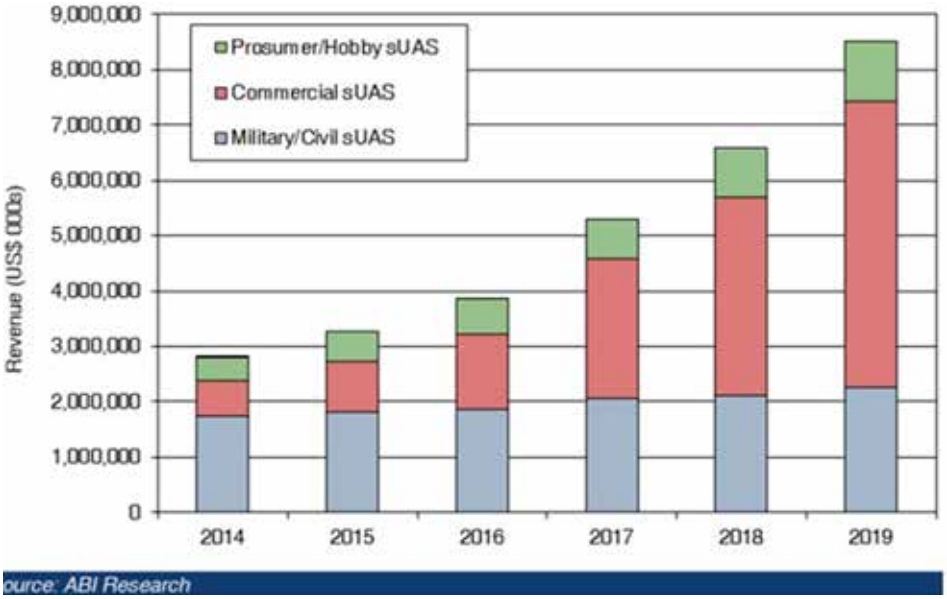


Tabla 1-3. Beneficio en el sector de los RPAS por ámbito de uso. (Fuente: ABI Research)

Un factor que favorece este trasvase es la existencia de mayores barreras de entrada para acceder al mercado militar que al civil, lo que está dando lugar a que muchas compañías se hayan centrado en el desarrollo de sistemas para uso civil, donde la diversidad de clientes y mercados hace que su labor comercial resulte menos complejo.

Este hecho está relacionado con que los requisitos operativos de cualquier sistema militar son en general más exigentes que los de los sistemas civiles, traduciéndose en un aumento de la inversión de cara a afrontar una adaptación a los requisitos exigidos en defensa. A este aumento de inversión hay que sumar los actuales problemas que encuentran las empresas a la hora de encontrar financiación debido al marco económico actual.

Esta situación tiene como resultado una desconexión de las empresas con el ámbito militar, lo que implica que una posible adaptación futura tanto de la compañía como de los sistemas de nuevo al ámbito militar sea más compleja.

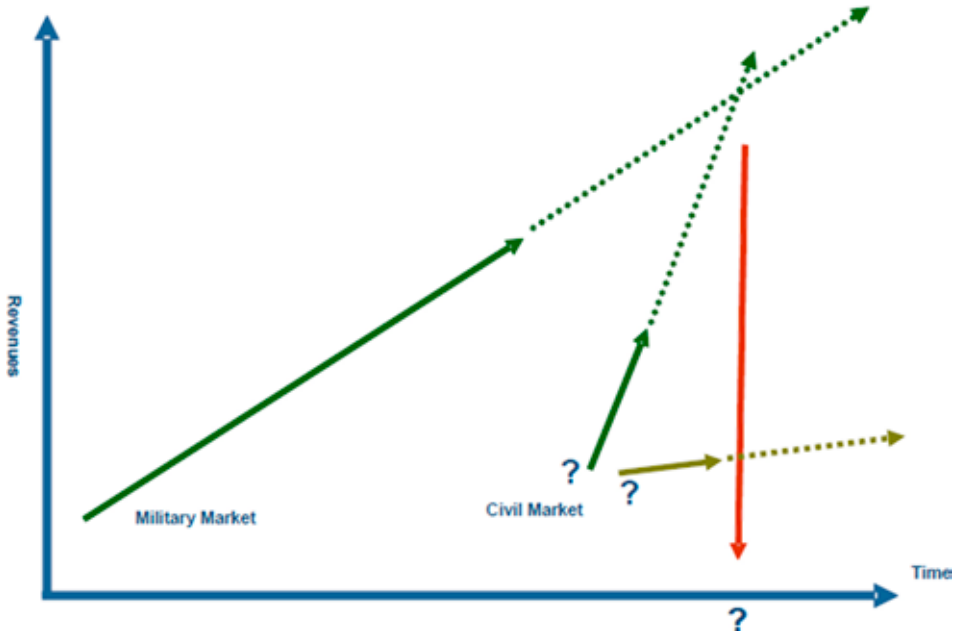


Imagen 1-1. Evolución mercado RPAS. (Fuente: EDA)

Las diferencias principales entre las necesidades de defensa y del sector civil son las necesidades del sector de defensa de operar en entornos altamente complejos. La mayoría de sistemas empleados en defensa requerirán de unas prestaciones significativamente superiores a aquellas que ofrecen las aplicaciones comerciales, además de contar con las limitaciones de tamaño, potencia, peso y transmisión de la información obtenida.

Existen paralelismos en los requisitos que encontramos en áreas como el mantenimiento en ambientes severos, donde sectores como los de *oil&gas*, naval, energético, aeronáutico… están invirtiendo en sistemas que faciliten las tareas de mantenimiento en dichos entornos, minimizando los riesgos y reduciendo los costes de dichas tareas. Así mismo el aumento de la autonomía de los sistemas especialmente de aquellos que emplean propulsión eléctrica y el análisis de los grandes volúmenes de información que estos sistemas pueden obtener son tareas en las que existen convergencias en ambos ámbitos.

Del desarrollo tecnológico de los RPAS se benefician tanto el sector de defensa como el civil. Por ello, resulta de gran importancia que desde el Ministerio de Defensa, en la medida de lo posible, se trabaje en un acercamiento a las empresas de cara a que estas conozcan tanto las necesidades como los requisitos exigidos en las mismas, posibilitando una aproximación y adaptación de los sistemas comercializados por dichas empresas a los requisitos de defensa.

Analizando las iniciativas que han tenido lugar en Europa para fomentar la inversión en tecnología relacionada con RPAS es posible ver cómo la evolución ha sido muy alta. Un ejemplo de ello son los programas marco de la Unión Europea. Este programa nació como la principal iniciativa comunitaria para el fomento de la I+D en la Unión Europea, teniendo como principal objetivo la mejora de la competitividad mediante la financiación de actividades de investigación, desarrollo tecnológico, demostración e innovación en régimen de colaboración transnacional entre países miembros y Estados Asociados.

En el VII Programa Marco se incluyó el área de seguridad, que posiblemente sea la que promovió un mayor número de proyectos de interés para defensa. El área contó con un presupuesto de 1.370 millones de euros repartidos en un total de 322 proyectos a lo largo de los 7 años de duración del programa. De todos los proyectos, España lideró un total de 30, lo que supone un 9,5% del total, obteniendo una tasa de retorno de financiación del 9,55%. Este porcentaje se traduce en unos 118,19 M€, que sitúan a España en el quinto lugar en grado de retorno tras Alemania (12,3%), Reino Unido (12%), Francia (11,6%) e Italia (10,3%). A su vez demuestran el interés por parte de empresas e instituciones nacionales por participar en iniciativas de I+D+i. Dentro de los proyectos financiados en el área de seguridad, un total de 8 estaban relacionados con RPAS lo que supone un 2,48% del total. De todos ellos, solamente 1 fue liderado

por España contando con participación nacional en 5. Extendiendo el análisis al conjunto de proyectos financiados dentro del VII Programa Marco es posible encontrar 33 proyectos relacionados con RPAS, distribuidos a lo largo de 10 programas diferentes entre los que destacan, seguridad, transporte, espacio, medio-ambiente…

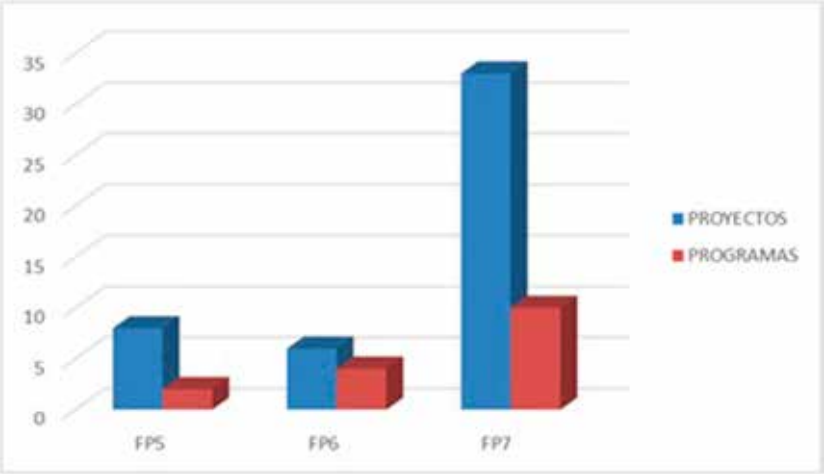


Tabla 1-4. Evolución proyectos relacionados con los RPAS y los diferentes programas en las últimas convocatorias del programa marco. (Fuente: DGAM)

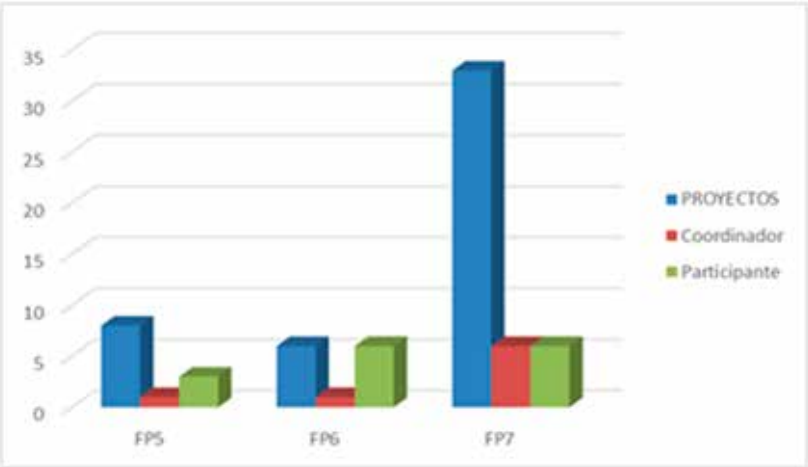


Tabla 1-5. Comparativa participación española proyecto RPAS en programas marco. (Fuente: DGAM)

Como vemos, el número de proyectos relacionados con los RPAS ya sea a nivel de sistemas completos como de cargas de pago y aplicaciones no ha hecho más que aumentar, especialmente en la última convocatoria del programa marco. Esta evolución en la adjudicación de financiación a proyectos coincide con la evolución del mercado de RPAS.

A nivel nacional, el Ministerio de Defensa cuenta con el programa COINCIDENTE (Cooperación en Investigación Científica y Desarrollo en Tecnologías Estratégicas), iniciativa encaminada a aprovechar las tecnologías desarrolladas en el ámbito civil para aplicaciones de utilidad para la defensa, con objeto de fomentar el tejido industrial, científico y tecnológico dedicado a la defensa. Los proyectos en el marco del programa COINCIDENTE deben ser tendentes al desarrollo de un demostrador con funcionalidad militar y deben suponer una novedad tecnológica significativa, que satisfaga una necesidad real o potencial del Ministerio de Defensa.

Los proyectos son cofinanciados con un grado de participación variable del Ministerio de Defensa dependiendo de factores tales como el interés militar del proyecto, su carácter innovador, su interés tecnológico, así como las capacidades tecnológicas del consorcio que lo presenta. Desde su puesta en marcha en el año 1985, el programa COINCIDENTE ha sido un instrumento esencial para promover la capacitación de la base científica, tecnológica e industrial nacional en las áreas tecnológicas de interés para Defensa. El programa está abierto a la participación de empresas, universidades, centros de investigación, organismos públicos de investigación, etc.

SOPT

SISTEMA DE OBSERVACIÓN Y
PROSPECTIVA TECNOLÓGICA

2. ASPECTOS GENERALES DEL PROYECTO RAPAZ

2. ASPECTOS GENERALES DEL PROYECTO RAPAZ

Una de las iniciativas impulsadas por el Ministerio de Defensa para promover el tejido industrial nacional en materia de RPAS es el proyecto RAPAZ.

El proyecto RAPAZ consiste en la evaluación operativa de sistemas RPAS Clase I (vehículos con peso al despegue inferior a 150 Kg) existentes en el mercado y desarrollados fundamentalmente por el sector industrial nacional, con el fin de comprobar las capacidades reales de inteligencia, vigilancia y reconocimiento (ISR, en sus siglas en inglés) y que desde el punto de vista tecnológico se encuentren lo suficientemente maduros como para aportar las capacidades demandadas por las FF. AA.

Se trata de una iniciativa inicialmente recogida en el Plan Director de RPAS, presentado a la industria en el mes de marzo de 2015 por parte de la Subdirección General de Planificación, Tecnología e Innovación (SDGPLATIN) de la Dirección General de Armamento y Material (DGAM) con la participación de la Secretaría de Estado.

Esta iniciativa está en consonancia con las líneas de acción derivadas de la Estrategia de Seguridad Nacional de 2013 y conducentes al «fortalecimiento del tejido industrial español de defensa mediante las acciones de fomento, proyección y colaboración con las capacidades nacionales que, salvaguardadas las necesidades operativas propias, se estimen necesarias». Además se encuentra en consonancia con las líneas de actuación marcadas por la agenda para el fortalecimiento del sector industrial en España: «apoyar el crecimiento y la profesionalización de las PYME españolas, apoyar la internacionalización de las empresas industriales y diversificación de mercados, orientar la capacidad de influencia de España a la defensa de sus intereses industriales».

2.1 Origen

El sector de los RPAS es considerado por la DGAM como estratégico por su marcado componente tecnológico así como por la necesidad no solo

de mantener sino de aumentar la capacidad industrial con la que actualmente cuenta el país con el fin de contar con un tejido nacional capaz de satisfacer las necesidades de las FF. AA.

Este interés se materializó en 2015 con la publicación del primer Plan Director de RPAS, cuyos objetivos son marcar las pautas temporales de las necesidades unificadas de las FF. AA., derivadas del uso de los sistemas de RPAS en el corto, medio y largo plazo, prever la evolución de la flota, así como la planificación y coordinación de las obtenciones.

En cuanto al I+D+i el Ministerio de Defensa publicó a finales de 2015 la revisión de la ETID (Estrategia de Tecnología e Innovación para la Defensa), iniciativa que se deriva de la política vigente de I+D+i del Ministerio de Defensa y que pretende servir de orientación tecnológica y como herramienta para promover la coordinación entre los diferentes actores, tanto internos como externos al Ministerio de Defensa, implicados en el desarrollo de la tecnología vinculada a las necesidades actuales y futuras de las FF. AA.

La ETID cuenta con un conjunto de objetivos tecnológicos (denominados metas tecnológicas) en torno a los que concentrar los esfuerzos en I+D+i en los próximos años. Del total de 79 metas incluidas en la estrategia, las relacionadas con RPAS son las siguientes:

- **Plataformas aéreas de nueva generación**

  Desarrollo de tecnologías relacionadas con plataformas aéreas militares de nueva generación incluyendo sistemas aéreos tripulados remotamente RPAS de clase III. Esta meta comprende tanto tecnologías críticas asociadas con la mejoras en las capacidades requeridas a las nuevas plataformas y RPAS, como tecnologías relacionadas con sus procesos de diseño, desarrollo, fabricación y pruebas.

- **RPAS militares clase I y clase II**

  Investigación y desarrollo de tecnologías relevantes para sistemas aéreos tripulados remotamente RPAS de clase I y II incluyendo tanto la plataforma aérea con los subsistemas que incorpora (estructura, control, guiado y navegación, carga de pago, etc.) y su integración, como el equipo de control y gestión de la información en tierra. Incluye el desarrollo de componentes, subsistemas y sistemas y su validación en entornos relevantes.

- **Sistemas integrados y modulares de aviónica**

Investigación y desarrollo de tecnologías relevantes para la aviónica de plataformas aéreas tripuladas y no tripuladas haciendo uso cuando posible del concepto de aviónica modular e integral. Incluyendo tecnologías que permiten la integración, fusión, gestión, procesamiento y presentación de la información aeronáutica y táctica procedente de sensores, equipos de comunicaciones y equipos de navegación, guiado y control.

- **Sistemas de propulsión de plataformas aéreas**

Investigación y desarrollo de tecnologías asociadas a sistemas de propulsión de plataformas aéreas en los que se integren características de incremento de prestaciones, baja observabilidad y mejora de la fiabilidad y del coste de ciclo de vida.

- **Integración de RPAS en el espacio aéreo no segregado**

Desarrollo de sistemas necesarios para la integración de RPAS en el espacio aéreo no segregado, incluyendo tecnologías de *detect and avoid* con diferentes capacidades (para tráfico aéreo cooperativo y no cooperativo, o en diferentes clases de espacio aéreo) y gestión de comunicaciones. Incremento de las capacidades de lanzamiento y recuperación y gestión de contingencias. El desarrollo de estas tecnologías deberá estar sometido a los requisitos de seguridad que faciliten la certificación de dichos sistemas.

En relación a las contramedidas a emplear contra los RPAS y las diferentes medidas de protección de instalaciones críticas también se encuentra recogido en la siguiente meta tecnológica:

- **Protección de bases e instalaciones terrestres**

Esta meta tecnológica incluye como punto de gran importancia la problemática del empleo de sistemas no tripulados como amenaza contra bases e instalaciones.

Para el área de I+D+i el Plan Director sugiere un reparto del volumen total de financiación destinado a RPAS en torno al 10%, establece en el medio plazo la necesidad de continuar desarrollando una base tecnológica suficiente para obtener desarrollos nacionales en sistemas de clase I y II para lo que este plan director contempla impulsar proyectos concretos en línea con las líneas tecnológicas marcadas por la DGAM, para ello el Plan Director plantea la posible apertura de concurso para la

obtención de sistemas de clase I. En base a las necesidades planteadas el Plan Director esboza un marco de colaboración entre el Ministerio de Defensa y la industria para lo que plantea la realización de evaluaciones operativas de los diferentes sistemas de interés. Esta iniciativa nace en base a las necesidades a corto y medio plazo en sistemas de clase I, esta necesidad se traduce en una oportunidad de colaboración entre el Ministerio de Defensa e industria nacional contribuyendo a la mejora de capacidades de esta gracias al contacto directo con el usuario final y permitiendo de esta forma conocer de primera mano su opinión formada por diferentes mecanismos como son las ya comentadas pruebas operativas así como por ejercicios de instrucción y adiestramiento con los sistemas de interés.

El objeto de esta iniciativa es la obtención de sistemas lo suficientemente maduros para ser incorporados en las unidades interesadas y de esta forma disminuir la necesidad que actualmente existen en materia de RPAS de clase I.

Esta iniciativa se materializó en julio de 2015 con la puesta en marcha del proyecto RAPAZ. La base sobre la que comenzó el proyecto fue la búsqueda de empresas nacionales, en conocimiento de la DGAM, con sistemas que cumpliesen los requisitos definidos en el Plan Director.

Los requisitos tanto técnicos como operativos planteados desde la DGAM indispensables para poder presentar un sistema en el proyecto RAPAZ fueron los siguientes:

- Madurez del sistema: no necesita desarrollos adicionales para la demostración y es funcional.
- Capacidad para desarrollar al menos una de las misiones operativas.
- Disponer de carga de pago para el cumplimiento de al menos una de las misiones operativas.
- La plataforma podrá ser de ala fija, rotatoria o multirrotor.
- El sistema será, al menos en un 70%, de diseño, producción y fabricación nacional.
- Cada sistema constará al menos de dos plataformas para las campañas de vuelo con la carga de pago específica para el cumplimiento de la misión operativa a excepción de sistemas *SMALL* que podrán disponer de una sola plataforma.
- Disponer de estación control de tierra (GCS) con un grado de rugerización suficiente para poder ser empleado en condiciones meteorológicas adversas.

- El sistema deberá ser capaz de transportarse en contenedores estandarizados embarcables en vehículos de transporte militares ligeros o pesados. En la subclase MICRO el sistema deberá estar preparado para ser portado por un solo hombre junto con el resto de su equipo de combate individual (en mochila o vehículo ligero).
- La estación de control terrestre (GCS) deberá disponer de capacidad de planificación y seguimiento de la misión y simulación de la misma. Deseable disponer de una función de entrenamiento.

Una vez planteados los requisitos técnicos y operativos desde la DGAM se inició un proceso de selección de empresas de las que la DGAM tenía conocimiento previo del posible estado de madurez de sus sistemas. Localizadas las empresas candidatas se inició una ronda de contactos con las mismas con el fin de plantearles la iniciativa que había tomado la DGAM e invitarlas a participar en el mismo. El resultado de este proceso fue la invitación a 25 empresas de las cuales se recibió contestación de 24 de ellas.

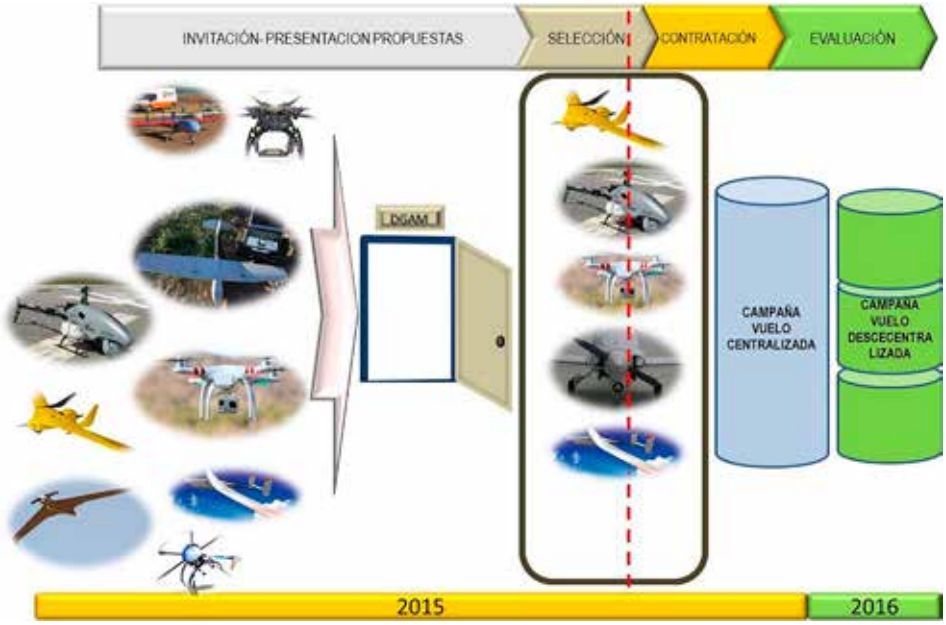


Ilustración 2-1. Esquema temporal proyecto RAPAZ. (Fuente DGAM)

Tras los contactos con las unidades y organismos implicados en el proyecto se procedió en septiembre de 2015 a comunicar a las empresas

participantes la fecha, del 9 al 12 de noviembre, y lugar, base Conde de Gazola, donde tendría lugar las primeras jornadas de vuelo del proyecto así como los requisitos necesarios para poder realizar la prueba operativa y los procedimientos apropiados para poder obtener el CAE (Certificado de Aeronavegabilidad Experimental). Este último requisito fue indispensable para todos los sistemas presentados y sin el que no se podría realizar la prueba operativa, el organismo responsable de tal propósito fue el INTA (Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial). Esta certificación garantizaba la seguridad de los sistemas a la hora de realizar las operaciones además de suponer un primer contacto con el estado de madurez de los sistemas presentados.

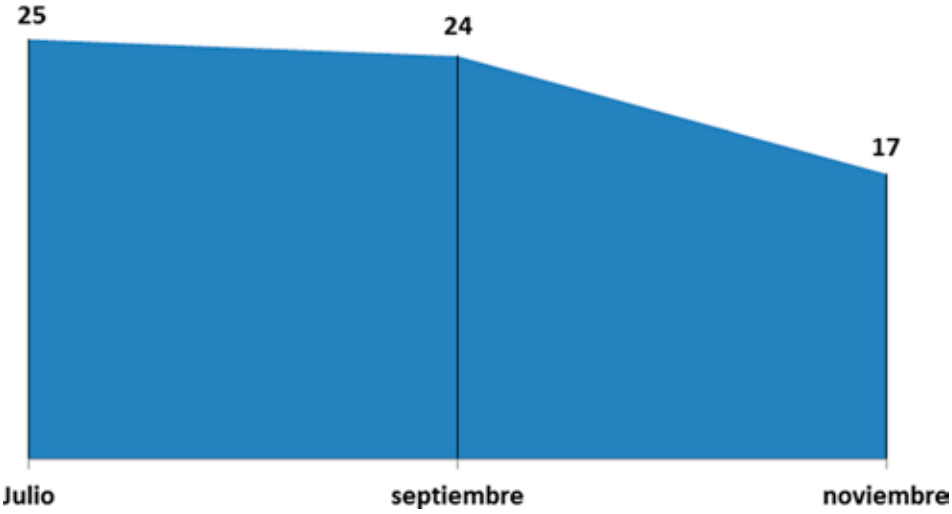


Ilustración 2-2. Evolución empresas participantes. (Fuente DGAM)

Las causas principales a las que se debieron las bajas de las diferentes empresas fueron:

- Falta de madurez del sistema propuesto.
- Falta de cumplimiento de los requisitos iniciales de la convocatoria.
- Otros compromisos con potenciales clientes.
- Otros intereses particulares.

SOPT

SISTEMA DE OBSERVACIÓN Y PROSPECTIVA TECNOLÓGICA

3. PROYECTO RAPAZ FASE I

3. PROYECTO RAPAZ FASE I

3.1 Planteamiento y preparación

Consiste en la evaluación operativa de los sistemas clase I aportados por las empresas seleccionadas por la DGAM que se encuentren en un estado tecnológico de madurez avanzado, para su empleo en el seno de ejercicios de instrucción y adiestramiento de las posibles unidades usuarias de las FF. AA.

Esta primera campaña de vuelo planteada en el proyecto comenzó en julio de 2015 con los procesos de certificación de los sistemas presentados para su desarrollo requirió el apoyo y coordinación de diferentes organismo de las FF. AA.:

- DGAM/SDG-PLATIN como órgano de planificación y coordinador general de la campaña de vuelo.
- Ejército de Tierra
  - División de Operaciones del Estado Mayor del Ejército de Tierra.
  - Mando de artillería de campaña/RACA 63/GAIL III/63.
  - Mando de Adiestramiento y Doctrina (MADOC).
  - Equipos de evaluadores y observadores de diferentes unidades.
- Ejército del Aire
  - SESPA (Sección de Espacio Aéreo).
  - Estado Mayor del Aire (EMA).
  - Equipos de evaluadores y observadores de diferentes unidades.
- DGAM
  - SDG-PLATIN como órgano de planificación y coordinador general de la campaña de vuelo.
  - SDG-ADQUI (Subdirección General de Adquisiciones).
  - SDG-INREID (Subdirección General de Inspección, Regulación y Estrategia Industrial de Defensa).

- INTA
  - Departamento de Aeronaves y Armamento.

En estas primeras pruebas de vuelo, como ya se ha presentado, participaron un total de 17 empresas y se evaluaron 18 sistemas, todos ellos de clase I distribuidos en las siguientes categorías MICRO (5 sistemas) MINI (11 sistemas) *SMALL* (2 sistemas). Para garantizar la seguridad de las jornadas de vuelo se tomó la decisión de realizar la primera campaña de vuelo de forma centralizada de manera que todos los sistemas fueran evaluados en unas instalaciones que reuniesen los requisitos necesarios para semejante propósito debido al desconocimiento, que a priori se tenía, sobre las capacidades de vuelo reales de los sistemas presentados.

Para ello se tomó la decisión de realizar esta primera fase de pruebas de vuelo en la base militar «Conde de Gazola» situada en el Ferral de Bernesga (León) entre los días 9 y 12 de noviembre de 2015. La elección de esta localización se debió a la experiencia de la unidad coordinadora de las pruebas, el Mando de Artillería de Campaña (MACA), en el uso de estos sistemas puesto que opera el sistema PASI y disponen del sistema SIVA así como de las instalaciones que esta base posee para el uso y operación de este tipo de aeronaves, contando entre sus instalaciones con una pista de 550 m de longitud.

Imagen 3-1. Pista de RPAS. (Fuente: DGAM)

Para el desarrollo de las pruebas el personal de la BM «Conde de Gazola» acondicionó tanto los accesos desde la BM hasta la zona de operaciones, así como del terreno contiguo a esta con el fin de facilitar tanto el acceso como el trabajo tanto de las empresas participantes como del personal evaluador y organizador, para ello se instalaron un conjunto de tiendas para la preparación de los vuelos por parte de las empresas, realización de los *briefings* previos a cada operación, puesto médico y cantina. También se instaló en la zona de operaciones un puesto de operaciones desde el que se coordinaban las distintas operaciones entre los operadores, puestos de control aéreo… por último se adecuó un área contigua a la pista de RPAS a modo de parking.

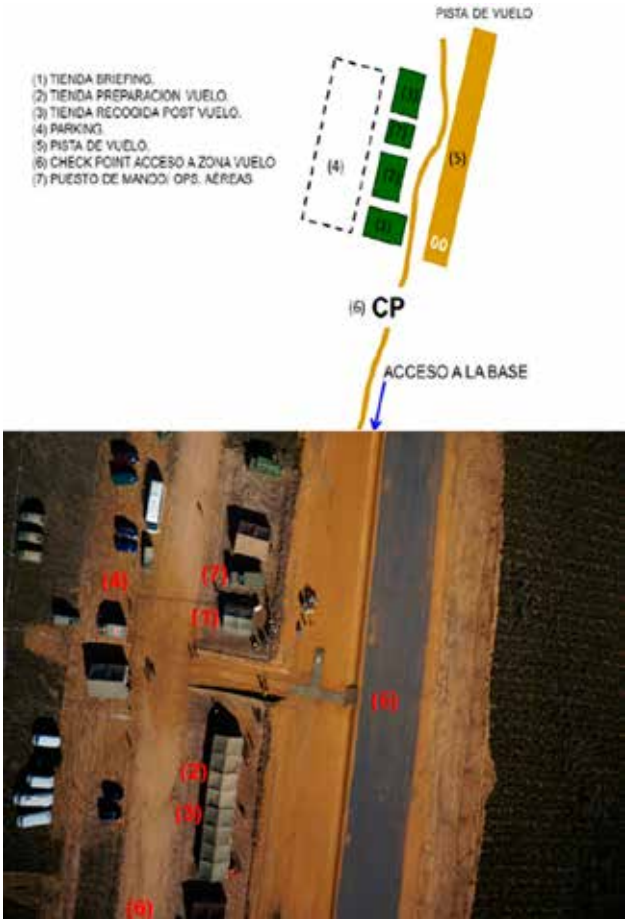


Imagen 3-2. Instalaciones campo de vuelo CV-1. (Fuente: DGAM)

Para la realización de las pruebas de vuelo se tuvo en cuenta la siguiente documentación:

- Reglamento de Aeronavegabilidad de la Defensa (RAD), RD 2218/2004 de 26 de noviembre (BOE núm. 286).
- Normas del jefe de Estado Mayor del Aire, autoridad competente militar, sobre la operación.
- Sistemas aéreos no tripulados (UAS) militares en espacio aéreo segregado. Estado Mayor del Aire. División de Operaciones. Sección espacio aéreo. (Feb. 2011).
- Procedimiento INTA para la emisión del Certificado de Aeronavegabilidad para la Experimentación (CAE) aplicable a sistemas de aeronaves no tripuladas (UAS) AER/PRO/7130/108/INTA Ed. Inicial 19.06.2015, p. 89.
- Proyecto de Real Decreto por el que se regula la utilización de las aeronaves pilotadas por control remoto.
- Real Decreto 2218/2004, de 26 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de Aeronavegabilidad de la Defensa.
- STANAGS:
    - STANAG 4703, aplicable RPAS de ala fija y con MTOW igual o inferior a los 150 Kg.
    - STANAG 4746, aplicable a RPAS de ala rotatoria y con MTOW igual o inferior a los 150 Kg.

Conforme a los requisitos establecidos en la normativa anteriormente expuesta y por tanto aplicada, fue necesaria la segregación del espacio aéreo en el área en el que se iban a realizar las pruebas, por ello se procedió a delimitar el espacio aéreo a través de una ZOUAS y su ZOTER correspondiente, también se emitió un NOTAM de reserva de espacio aéreo para RPA.

El NOTAM emitido estuvo activo durante el siguiente periodo:

- Del 09 al 12 de noviembre (ambos inclusive)
    - 07:00Z-12:30Z
    - 14:00Z-17:00Z
- 13 de noviembre
    - 07:00Z-12:30Z
- Semana del 16 al 19 de noviembre (ambos inclusive)
    - 07:00Z-12:30Z
    - 14:00Z-17:00Z

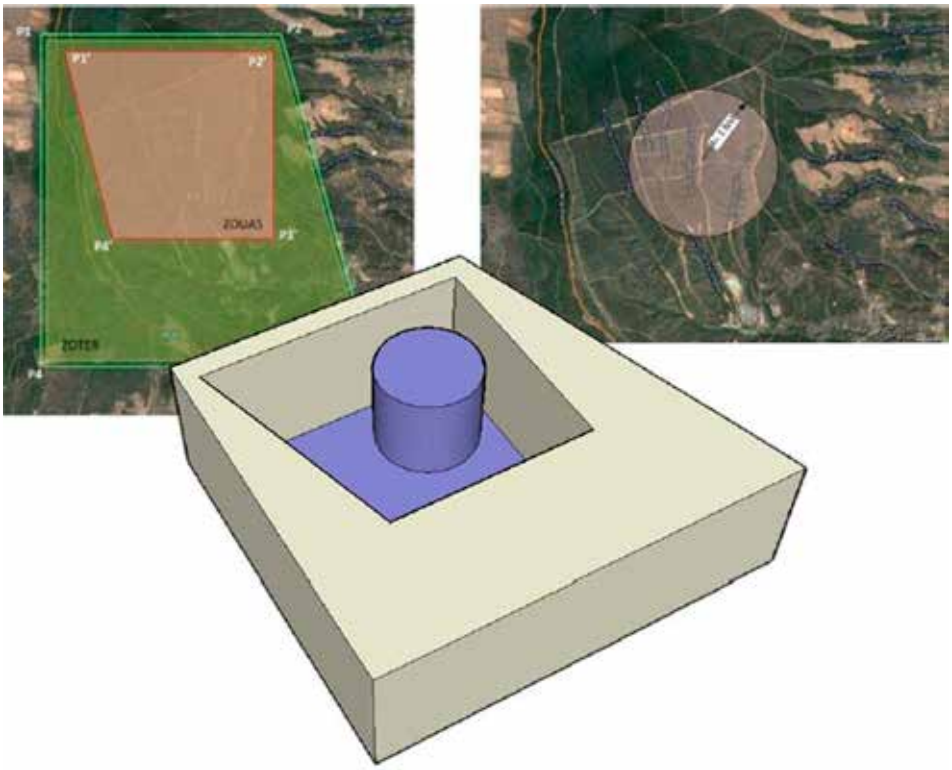


Ilustración 3-1. ZOUAS y ZOTER establecidas. (Fuente: DGAM)

- 20 de noviembre
  - 07:00Z-12:30Z

Los tránsitos de aeronaves y las operaciones realizadas en el campo de vuelo se realizaron en coordinación entre el centro de operaciones instalado en el campo de vuelo y la torre de control de la BM Virgen del Camino junto con el CAO de Madrid.

3.1.1 Sistemas participantes

3.1.1.1 Blackhornet (proxdynamics)

El PD-100 Black Hornet *Personal Reconnaissance System* (PRS) es el sistema aéreo no tripulado para ámbito militar o policial más pequeño del mundo y ha sido empleado extensivamente en operaciones de combate por las Fuerzas Armadas de diferentes países de la OTAN durante los últimos años. El sistema está concebido como una solución denomina-

Imagen 3-3. Sistema BLACKHORNET. (Fuente: DGAM)

da «ISR de bolsillo» desplegable por cualquier combatiente en cualquier momento y que ha creado un nuevo estándar y clasificación para los RPAS de menor tamaño denominado nano.

La empresa noruega Proxdynamics fue fundada en 2007 por personas con amplia experiencia en dos áreas críticas, la transmisión de video y la miniaturización de aeronaves controladas remotamente. Durante años esta empresa fue paulatinamente desarrollando la solución que hoy conocemos y que comercialmente fructificó en 2012 con el pedido de un gran número de sistemas por parte de las Fuerzas Armadas británicas las cuales tenían una necesidad operacional urgente que consistía en mejorar la capacidad de inteligencia inmediata de las tropas sobre el terreno. El desarrollo de este programa fue un éxito y los usuarios que lo emplearon en combate lo describen como una herramienta que «ha cambiado las reglas del juego» y un «seguro de vida» que ha ayudado a reducir bajas. Tras cumplir con éxito su cometido en ISAF el sistema de reconocimiento personal PRS Black Hornet ha sido incluido en el equipamiento básico en Reino Unido. Desde entonces diferentes países tales como EE. UU., Australia, Noruega,… entre otros, son países que han declarado ser usuarios activos del Black Hornet.

El PD-100 *Personal Reconnaissance System* es un sistema aéreo no tripulado (UAS) que está compuesto por los siguientes elementos básicos: dos sensores aéreos (Black Hornet), estación base, mando de control, pantalla, bolsa y otros elementos que son todos empacados en un maletín de transporte. El peso total del sistema operativo que porta el combatiente es de 1,3 kg.

El sensor aéreo (Black Hornet) pesa 18 gramos y mide 16 centímetros de longitud y permite al operador la visualización de video y captura de imágenes en tiempo real. El Black Hornet está disponible en la versión diurna (cámaras EO) lo que permite grabar video y tomar instantáneas en alta definición o la versión nocturna la cual incorpora un sensor IR permitiendo operaciones diurnas con capacidad de reconocimiento térmico o nocturnas, por lo tanto, con ambos sensores se garantiza una operatividad 24/7. Entre otras características es capaz de:

- Permanecer en vuelo hasta 25 minutos, límite de su batería interna.
- Avanzar a una velocidad sobre el terreno de 5m/s.
- Soportar rachas de viento de hasta 12m/s o viento sostenido de 8m/s.
- Operar con determinadas condiciones meteorológicas como lluvia o nieve.

La particularidad de tener un tamaño tan reducido le confiere las siguientes ventajas:

- Es considerado inherentemente seguro contra las personas y otras aeronaves puesto que su energía cinética máxima es muy reducida y por este motivo las autoridades de los países que lo operan estiman que no es necesario realizar gestiones para el uso del espacio aéreo y es también posible operarlo en entornos urbanos sin mayores restricciones.
- La firma visual y acústica es reducida siendo difícilmente perceptible a distancias superiores a 10-15 metros permitiendo la obtención de información y perspectivas que otras plataformas no podrían conseguir sin ser detectadas. Esta característica contribuye al factor sorpresa.
- Al operar a baja cota (15-20 metros) sobre el terreno le afectan en menor medida las condiciones de baja visibilidad (humo, niebla,…).
- Es posible disponer de múltiples sensores aéreos sin mermar la movilidad del combatiente lo que permite tener redundancia de los mismos en caso de pérdida o daño sin que esto afecte a la misión.
- Robustez relativa, por su peso reducido y por tanto baja energía, soporta impactos que le permiten seguir siendo operativo.

En cuanto a los elementos terrestres del sistema podemos encontrar la estación base que aloja dos Black Hornet que pueden ser indistintamente cualquier combinación de su versión diurna o nocturna y también dispone de un mando de control extraíble que permite dar órdenes para planificar, ejecutar y revisar todas las misiones. Toda la información de la misión se almacena exclusivamente en la estación base para su revisión y difusión a terceros. Los sensores aéreos se recargan en la propia estación base que dispone de una batería interna que por sí sola permite utilizar el sistema hasta dos horas y media. Esta batería a su vez se recarga mediante un

abanico de fuentes de alimentación posible, incluyendo baterías tácticas. La unidad base proporciona también alimentación a la pantalla externa semi-rugerizada que se puede leer en condiciones de alta luminosidad y cuya información permite al operador tener el control total del sistema.

El sistema cuenta con un enlace de datos complejo que permite el control del sensor y de la carga útil durante su operación hasta distancias de 1,6 km línea vista (LOS) o 2 km utilizando una antena externa opcional. El enlace de datos se genera sólo antes de cada misión y desde cualquier estación base y este finaliza tras terminar la misma. La señal del enlace de datos es fiable y resistente a perturbaciones externas, así como su potencia de emisión muy reducida.

El PD100 Black Hornet está gobernado por un *software* avanzado que permite el manejo de los sensores aéreos mediante sencillas órdenes gracias a un sofisticado autopiloto desarrollado por Proxdynamics que evita cualquier carga de pilotaje al operador quien se limita a dar órdenes direccionales en todos los planos al sensor que es asistido para su navegación por la señal GPS. Así mismo el sistema gestiona y muestra la información necesaria para cumplir la misión sin sobrecargar al operador para su interpretación y toma de decisiones. El sistema dispone de diferentes modos automáticos y funciones que permiten obtener mayor y mejor inteligencia y su explotación posterior.

Todo el sistema es portable y operable por un solo operador por lo tanto no es necesario exponer a varias personas para su lanzamiento o recuperación, además gracias al escaso volumen y peso del mismo (1,3kg) el operador puede seguir llevando consigo su equipo de combate personal sin restricciones. El tiempo de despliegue es reducido pudiendo estar en condiciones normales en el aire obteniendo inteligencia en menos de dos minutos.

La formación completa para ser operador del PD100 Black Hornet es de muy pocos días y no requiere conocimientos previos en esta tecnología ni en la operación de vehículos aéreos no tripulados (RPAS), por lo tanto es un sistema utilizable por cualquier usuario que supere el curso. Así mismo se ofrecen módulos de formación computerizada y un *plug-in* para utilizar el sistema real con el *software* VBS3. Las principales y sencillas tareas de mantenimiento correctivo y preventivo se enseñan durante el curso.

Proxdynamics trabaja en propuestas más avanzadas tales como el VRS (*Vehicle Reconaissance System*) que pretende integrar el PD100 Black Hornet en una plataforma vehicular. Esta integración puede partir desde una integración básica para operar el sistema dentro del vehículo o carro hasta integración en los sistemas de combate o mando y control.

Imagen 3-4. Sistema BLACKHORNET completo. (Fuente: Proxdynamics)

Imagen 3-5. Imagen tomada desde BLACKHORNET. (Fuente: Proxdynamics)

3.1.1.2 Huggin x1 (e&q-sky watch)

El Sistema Huginn X1 pertenece a la categoría micro RPAS dentro de la clase I, según clasificación OTAN, cuenta con una aeronave de ala rotatoria tipo multirrotor (cuadrirrotor), de despegue y aterrizaje vertical (VTOL). La aeronave dispone de una carga de pago modular montada frontalmente consistente en una cámara EO HD o bien una cámara dual EO HD/LWIR, que permiten al sistema realizar diferentes tipos de misiones tanto en el ámbito civil como en el militar (ISR, *targeting*, búsqueda de IED, *post-blast,* operaciones EOD inspección y monitorización de infraestructuras, utilización en catástrofes, mapeado automático de áreas, etc.).

El Sistema Huginn X1, operado por una sola persona, está concebido para un despliegue rápido (< 2 min).

La capacidad de lanzamiento y recogida manual de la aeronave posibilita el uso en condiciones exigentes y diversas como terrenos irregulares y escarpados o desde una zodiac. El sistema, de diseño robusto, puede ser operado con garantías en condiciones exigentes de polvo, lluvia intensa y nieve y viento. El Huginn X1 cuenta con diversas funciones que lo dotan de un alto grado de autonomía (despegue y aterrizaje automático, navegación avanzada por *waypoints*, etc.), así como múltiples características automáticas de seguridad programadas (*fail-safes*). El enlace de datos está encriptado para una transmisión segura (AES de 128 bit) de forma que sea menos vulnerable frente a actos de interferencia ilícita (*jamming* & *spoofing*).

El *software* de navegación cuenta con múltiples funcionalidades que facilitan el empleo táctico del sistema y lo dotan de una elevada flexibilidad y un alto grado de autonomía. Dentro de estas funcionalidades cabe citar:

- Navegación autónoma por *waypoints*, permitiendo programar el tiempo de espera en el *waypoint*, las alturas y la forma de vuelo entre los *waypoints* e incluso programar rutas cerradas que pueden repetirse indefinidamente (ej. vigilancia de un perímetro).
- Designación de puntos de interés tanto desde el mapa como desde la imagen de vídeo en tiempo real que se muestran automáticamente al operador en la tablet. Al finalizar el vuelo se genera automáticamente un informe con los puntos de interés seleccionados en el vuelo y todos los detalles correspondientes (fecha, hora, coordenadas estimadas del punto de interés e imagen).

- Mirar a un punto fijo, lo que permite apuntar automáticamente la carga de pago (cámara) a un punto fijo seleccionado por el operador con el RPAS desplazándose en cualquier dirección.
- Seguimiento automático de la estación de tierra, lo que facilita en ciertos casos el desplazamiento de la propia unidad vigilando simultáneamente el entorno con el RPAS (*situational awareness*).
- Mapeado automático de áreas seleccionadas por el operador, lo que posibilita disponer del rastreo sistemático de una zona con diferentes fines (búsquedas de objetivos, posibles IED, utilización en catástrofes, etc.).

El Sistema Huginn X1 dispone de una carga de pago modular con capacidad de reconocimiento por parte del sistema de control y guiado, con montaje frontal de rápido reemplazo. La cámara térmica LWIR es la más avanzada del mundo para su reducido peso y tamaño y cuenta con una paleta de 12 colores para un filtrado dependiendo del escenario de uso.

La cámara térmica posibilita el uso nocturno del sistema pudiendo detectar vehículos a más de 1.500 m de distancia y personas a más de 500 m. Estas distancias (estimaciones) se muestran a continuación. El rango de distancias puede variar dependiendo de las condiciones meteorológicas, el escenario y la experiencia del usuario.

Imagen 3-6. Sistema HUGGIN X-1. (Fuente: E&Q)

El Sistema Huginn X1 cuenta con una mochila militar diseñada a medida para su empleo táctico. Dentro de la mochila, que cuenta con antenas desplegables para los enlaces de datos y video, se ubican los diferentes elementos del sistema, incluyendo la aeronave plegada.

Imagen 3-7. Imagen tomada en vuelo desde el sistema HUGINN-X1. (Fuente: E&Q)

3.1.1.3 Iris 4 (triedro)

El Iriscopter 4 es un multicóptero con 4 rotores de tamaño medio (850 mm de diámetro) y un peso máximo al despegue de 5,5 kg. Tiene un rango de operación de 1,5 km y una autonomía máxima (con *payload*) de unos 30 minutos. Este multicóptero puede ser operado de forma manual mediante una emisora común de radio control, o de manera totalmente autónoma siguiendo los *waypoints* indicados previamente, utilizando el *software* disponible para tal fin.

Puede ir equipado con distintas cargas de pago, dual con visión diurna e IR, solo diurna y solo IR, todas ellas estabilizadas para una óptima captura de video. El video capturado se transmite en todo momento al GCS. Adicionalmente se puede utilizar una carga de pago fotogramétrica para la realización de mapas de pequeñas extensiones bajo demanda. Este sistema es una solución óptima para los requisitos del usuario final; es altamente efectivo y totalmente operacional.

Estos sistemas RPAS disponen de capacidades de inteligencia, vigilancia, adquisición de objetivos y reconocimiento (ISTAR), soportando escenarios de campo abierto y urbano. El sistema Iriscopter 4, es un medio altamente efectivo para entregar visualización día/noche en los diferentes.

En cuanto a sus principales características destaca:

- Despliegue rápido, en cualquier momento y lugar, incluso en áreas urbanas restringidas.
- Transportable, fácil de llevar y transportar.
- Modo manual o completamente autónomo, desde el lanzamiento hasta el aterrizaje.
- Fácil operación, preparación operacional rápida y fácil.
- Cargas de pago estabilizadas, para video real diurno o nocturno.
- Ideal para observación estática.
- Realización de mapas de pequeñas extensiones en un corto plazo de tiempo.
- Mantenimiento simple.
- Bajo LCC (coste del ciclo de vida).

Imagen 3-8. Sistema IRIS4. (Fuente: DGAM)

Imagen 3-9. Sistema IRIS 4 y GCS. (Fuente: DGAM)

Diámetro	850 mm sin palas de rotor
Peso máximo al despegue	5,5 kg
Peso máximo carga de pago	1,5kg
Autonomía máxima	30 minutos
Techo	5000m
Baterías	10000mah 6S / 16000mah 6S

Tabla 3-1. Características IRIS 4. (Fuente: TRIEDRO)

3.1.1.4 Ons (soticol)

La participación de SOTICOL Robotics Systems, *spin-off* de la Universidad de Alcalá, en el Proyecto RAPAZ, tuvo como objetivo principal demostrar la viabilidad y capacidades de su tecnología para su aplicabilidad en RPAS, independientemente del tipo de plataforma aérea en la que esta se instalará. Esta tecnología, denominada CACM-RL® (*Control Adjoining Cell Mapping combined with Reinforcement Learning*) permite realizar un control y planificación óptimos de cualquier sistema dinámico (incluidos los inestables), teniendo en cuenta de forma implícita las posibles no linealidades inherentes a cualquier sistema real complejo (aviones, satélites, RPAS, vehículos, etc.).

CACM-RL® es una tecnología fundamentada en una base científica sólida que integra técnicas computacionales de dinámica de sistemas y esquemas inteligentes de aprendizaje, cuyo objetivo prioritario es disponer de algoritmos eficientes de control óptimo, que a su vez permiten realizar sobre los sistemas controlados planificación óptima de movimiento.

SOTICOL RS ha participado en el proyecto RAPAZ haciendo determinadas pruebas y demostraciones operativas de dicha tecnología tanto en un entorno *outdoor* como *indoor*, donde la ausencia de GPS y presencia de obstáculos son los aspectos más significativos. Se puede considerar que los nuevos autopilotos de SOTICOL RS y basados en CACM-RL® constituyen una revolución tecnológica en cuanto al control y planificación autónomos de aeronaves, ya que además de generar las trayectorias correspondientes de un origen a un destino, éstas se llevan a cabo optimizando un criterio específico, como puede ser el tiempo, energía o distancia. De este modo, el concepto clásico de *waypoints* no solamente se puede seguir aplicando, sino que nace un nuevo concepto orientado a objetivo donde la trayectoria generada puede ser continua y óptima de acuerdo al criterio de optimalidad seleccionado.

Además, estos autopilotos se encuentran interconectados con un sistema sensorial diseñado y desarrollado por SOTICOL RS, que dota de capacidad automática de *Sense And Avoid* (SAA) a la plataforma. Esta capacidad es implementada haciendo fusión sensorial de 3 tipos de tecnologías constituyendo 3 subsistemas, todos ellos integrados.

Sónar 3D-360, que utiliza diez sensores sónar (ocho distribuidos cada 45º en azimut, uno en la parte superior y uno en la parte inferior) de alta calidad configurados y sincronizados mediante un algoritmo específico,

para maximizar su eficiencia en la detección volumétrica de todo el perímetro de detección. Este algoritmo aplica una priorización variable que permite detectar con mayor precisión aquellos blancos que se encuentran más próximos. A su vez, este subsistema se ha implementado con arquitectura de doble núcleo para dotar a la plataforma no solamente de la sofisticada capacidad de detección descrita sino también de la capacidad de determinar la mejor trayectoria de evasión para evitar una posible colisión.

Sensor de flujo, que puede ser considerado como el elemento sensorial principal para mantener la estabilización de la plataforma aérea en ausencia de GPS (por ejemplo, en recintos *indoor*). Cuando la aeronave sobrevuela un área determinada, este sensor se encuentra apuntando hacia tierra midiendo el flujo óptico recibido, para a partir de los vectores de flujo generados (véase figura) tomar sus referencias y así alcanzar la estabilización requerida.

LIDAR, mediante el cual se determina la distancia de la plataforma aérea con un objeto o superficie haciendo uso de un láser pulsado. Este subsistema es el complemento perfecto al sonar (utilizado tanto en *outdoor* como *indoor*), sobre todo para mejorar las precisiones en recintos

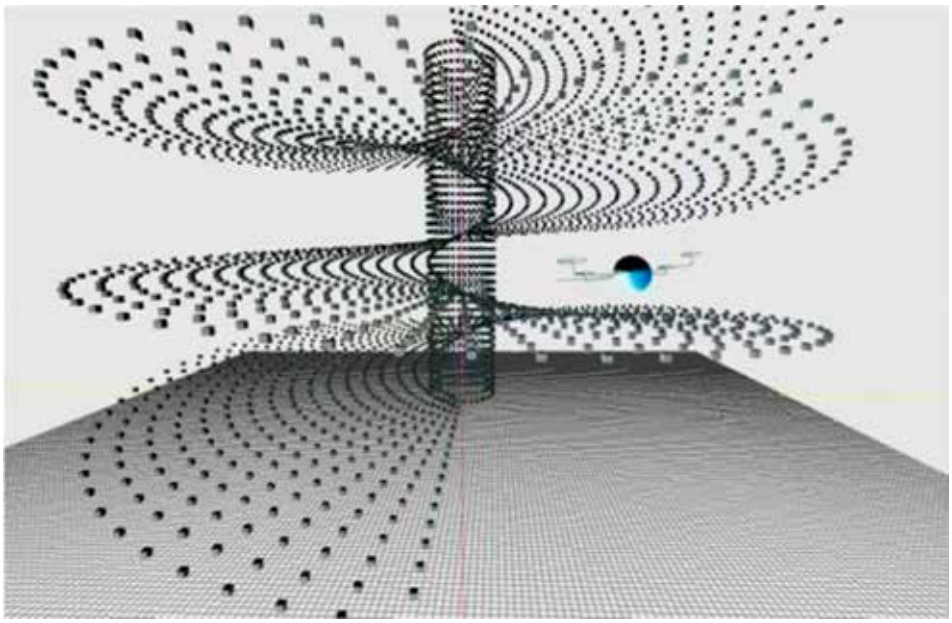


Imagen 3-10. Sistema inspección de torre. (Fuente: SOTICOL)

indoor. La mayor ventaja que se deriva de este subsistema es su capacidad para explorar el terreno rápidamente con una precisión muy alta. Dependiendo de los objetivos a explorar (azimut y/o elevación), existe la posibilidad de instalar este subsistema en un *gimbal*.

Las pruebas que SOTICOL RS realizó para RAPAZ se centraron fundamentalmente en ejecutar misiones orientadas a la vigilancia e inspección en espacios *outdoor* (torres de refrigeración o zona de despliegue de tropas), así como en espacios *indoor* (naves o hangares). Las demostraciones operativas fueron llevadas a cabo en diferentes fases:

Inspección de torre de refrigeración en *outdoor*, donde el RPA genera de forma autónoma una trayectoria circular ascendente y equidistante a dicha torre, enfocando siempre con su cámara a la torre.

En esta misión, el RPA realiza un movimiento de traslación a la torre y un movimiento de rotación a sí mismo con objeto de enfocar de forma continua a la torre.

Navegación *indoor* con SAA. En esta prueba, el RPA esquiva cualquier tipo de objeto (estático y/o dinámico) que se interponga por su camino. Además, si al RPA se le invade su perímetro de seguridad, bien porque varias personas se acerquen a él por diferentes ángulos y le acorralen o bien porque varios objetos le rodeen, genera automáticamente y de forma eficiente una trayectoria de evasión.

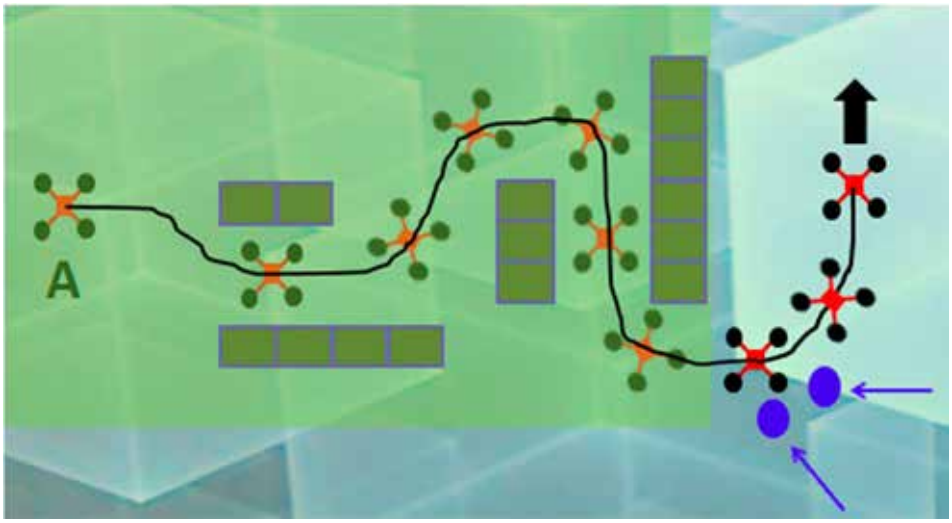


Imagen 3-11. Navegación indoor. (Fuente: SOTICOL)

Otra prueba llevada a cabo que aunque se hizo en *indoor* es perfectamente válida para *outdoor* es la que el RPA, tras indicarle un avance en línea recta, se mantiene automáticamente a una altura constante sobre el perfil del terreno evitando los obstáculos y/o aprovechando las zonas de paso (puentes, túneles, aperturas, etc.).

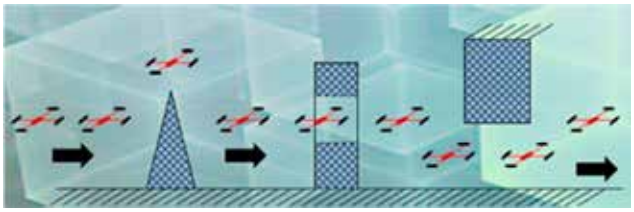


Imagen 3-12. Navegación indoor. (Fuente: SOTICOL)

Finalmente, es de destacar que la aportación de SOTICOL RS al sector de los RPAS no se limita solamente a los autopilotos y sus capacidades añadidas sino que, como se mostró durante el desarrollo de las pruebas en RAPAZ, también tienen diseño propio tanto de mandos de radio control (MRC) como de estaciones de tierra. Por ejemplo, en la figura siguiente se puede apreciar el diseño de la interfaz del MRC, que permite conocer el estado completo de detección de objetos perimetrales, así

Imagen 3-13. Sistema de localización de obstáculos. (Fuente: SOTICOL)

como mostrar los datos más relevantes de navegación, necesarios para no perder control del equipo en vuelo.

Por último, mencionar que con estas pruebas, uno se puede hacer una idea de las capacidades de CACM-RL® para generar autónomamente trayectorias óptimas y cómo además, permite integrar capacidades operativas específicas como el SAA para dotar a la aeronave de mayores capacidades de sonorización para la evasión de objetos.

Imagen 3-14. Sistema de SOTICOL en vuelo indoor. (Fuente: DGAM)

3.1.1.5 Shepherd mil (expal)

El SHEPHERD-MIL de EXPAL es un dispositivo de reconocimiento aéreo autónomo con forma de ave y silencioso, que incorpora dos cámaras día/noche y permite el despegue y aterrizaje automático, así como navegación guiada por *waypoints*. SHEPHERD-MIL está integrado en el sistema de información de apoyo de fuegos TECHFIRE de EXPAL, como complemento del observador avanzado (FO).

Su capacidad de vuelo y camuflaje, junto con la posibilidad de equiparlo con cámaras y *software* de geolocalización, permite la aplicación del SHEPHERD-MIL en misiones de control y seguridad. Es un sistema perfecto para control de fronteras, terrestres y marítimas, o para operaciones contra el narcotráfico.

Imagen 3-15. Sistema SHEPHERD MIL en vuelo. (Fuente: EXPAL)

Imagen 3-16. Sistema SHEPHERD MIL en despegue. (Fuente: DGAM)

Las características técnicas del sistema son:

Longitud	1780mm
Altura total	380mm
Envergadura	1650mm
Longitud	850mm
Peso máximo al despegue	2,8kg
Peso del sistema	2,6kg
Velocidad máxima	77 km/h
Velocidad de crucero	58km/h
Velocidad máxima de viento	32km/h
Autonomía máxima	60 minutos
Techo	4000m
Altitud máxima despegue	AGL, 2500m
Baterías	Li-ION

Tabla 3-2. Características SHEPHERD MIL.
(Fuente: EXPAL)

3.1.1.6 Alcotan (usol)

Unmanned Solutions (USOL) nace como *spin off* de la compañía Dynamic Systems Research Group, empresa especializada en la comercialización de sistemas de control automático de vuelo y envuelta en el desarrollo de sistemas RPAS desde 2004. Actualmente comercializan dos sistemas ambos de clase I pero de diferentes categorías mini (ALCOTAN) y *small* (K150) ambos fueron presentados al proyecto RAPAZ volando únicamente el ALCOTAN.

Imagen 3-17. Sistema ALCOTAN. (Fuente: USOL)

Imagen 3-18. Sistema ALCOTAN en despegue. (Fuente: DGAM)

El USOL ALCOTAN es un sistema mini con capacidad para realizar misiones ISR en un área reducida al contar con un rango de operación de 5 km.

Imagen 3-19. Desde sistema ALCOTAN. (Fuente: DGAM)

Las características técnicas del sistema son:

Envergadura	1800mm
Peso máximo al despegue	3,5g
Peso Sistema	2,6kg
Peso carga de pago	0,9kg
Velocidad máxima	65km/h
Velocidad de crucero	50km/h
Velocidad de perdida	30km/h
Autonomía máxima	60min
Rango operación	5km

Tabla 3-3. Características Sistema ALCOTAN. (Fuente: USOL)

3.1.1.7 Sx8 (SERTEC)

SX8 es un RPAS equipado de serie con autopiloto, dos cámaras frontal/ventral (vuelo/terreno), capaz de recibir y transmitir imágenes, video e infrarrojos en tiempo real, una estación de control de tierra, y un lanzador opcional.

- DESPEGUE MANUAL. Una persona puede hacer de lanzador del sistema de forma fácil y cómoda. Existe la posibilidad de lanzar con catapulta.
- ESTACIÓN DE CONTROL DE TIERRA: Planificación de misión y transmisión de datos preparada para exterior. Para los servicios de larga duración, se recomienda el uso de «Shelter» como estación de tierra.
- RED DE RECUPERACIÓN: Este sistema opcional de recuperación automática es adecuado para aplicaciones en espacios pequeños; la red se puede extender en menos de un minuto, cuando la nave comienza su maniobra de aterrizaje.

Todo el equipo se puede transportar fácilmente e instalar por dos personas en menos de 30 minutos en una zona sin preparación. Su despegue, vuelo y aterrizaje son totalmente automáticos y programables por *waypoints* GPS-3D. El sistema se puede utilizar en cualquier condición de tiempo, incluso con 50 km/h de velocidad del viento.

Imagen 3-20. Sistema SX8 en vuelo. (Fuente: SERTEC)

Imagen 3-21. Sistema SX8 y GCS. (Fuente: DGAM)

Longitud	2200mm
Peso máximo al despegue	4,5kg
Peso Sistema	2kg
Peso carga de pago	2,5kg
Velocidad rango	10-60km/h
Velocidad de crucero	40-60km/h
Autonomía máxima	70-90min
Alcance máximo (distancia de vuelo)	70km
Rango operación	10km
Techo	4000m

Tabla 3 4. Características SX8. (Fuente: SERTEC)

3.1.1.8 Dronequasar (dronetools)

Sistema QR de altas prestaciones, cuenta con una autonomía al operar con un peso igual al MTOW de 50 minutos pudiéndose alcanzar los 70 minutos sin carga de pago para lo que emplea 4 baterías de iones de litio de 29 voltios y 5.700 mAh. La aeronave tiene un alcance de 25 km y alcanza un techo de 5.000 m.

El sistema dispone de varios tipos de modos de control según el nivel de ayuda al piloto proporcionado por el autopiloto. Para todo ello el sistema emplea una GCS ruguerizada donde se controla el RPA y la carga útil. Dispone de ordenador para la planificación de misiones, enlace de radio para el control del drone y la carga de pago, y receptor de vídeo con pantalla de alta luminosidad para la visualización de la telemetría y las cámaras.

La aeronave dispone de cargas de pago intercambiables para diferentes operaciones con un máximo de 1.400 gr.

Imagen 3-22. Sistema DRONEQUASAR con sistemas GCS. (Fuente: Dronetools)

1 cámara diurna FullHD con zoom 30x y estabilización con montura *brushless*.

1 cámara térmica Flir modelo VUE con estabilización con montura *brushless*.

1 visual con 24 Mpix cartográfica con montura cenital para ortofotografías.

1 Sistema de suelta de baliza o apoyo, con un peso máximo de carga de 2.500 gr.

Cada carga de pago dispone de un sistema de suelta rápida para intercambiarlas fácilmente. En el caso de las cámaras disponen de 3 ejes con estabilización que puede controlarse desde la estación de tierra.

Longitud	1780mm
Altura total	380mm
Envergadura	1780mm
Peso máximo al despegue	8,3kg
Peso máximo carga de pago	2,5kg
Peso del sistema	6,096kg
Velocidad máxima	43,2 km/h
Velocidad de crucero	18km/h
Velocidad de máxima vertical	5m/s
Velocidad máxima de viento	28,8km/h
Velocidad máxima viento lateral	25km/h
Autonomía máxima	70 minutos
Techo	5000m
Rango de temperaturas	-20ºC, +50ºC
Baterías	4 x Li-ION 5,75A
Variador	60A
Potencia máxima	720W
RPM máximas	1450

Tabla 3-5. Características DRONEQUASAR. (Fuente: DRONETOOLS)

3.1.1.9 Geodrone (conyca)

GEODRONE es una aeronave autónoma no tripulada, desarrollada para múltiples aplicaciones, ligera y de mantenimiento sencillo.

Su capacidad de despegue con catapulta y aterrizaje por toma dura ambos automáticos proporcionan al sistema de la versatilidad suficiente para ser operado en cualquier situación. En cuanto a sus aplicaciones hay que destacar las de topología y análisis del terreno para lo que cuenta con una carga de pago EO Sony NEX 24MPx y dos baterías con un sistema inteligente de carga.

Imagen 3-23. Sistema GEODRONE. (Fuente: CONYCA)

Imagen 3-24. Sistema GEODRONE. (Fuente: DGAM)

Dispone de una carga de pago de 500 gr en una bodega de 130 x 80 x 80 mm, proporcionando una adaptabilidad completa según las necesidades.

Envergadura	1550mm
Peso máximo al despegue	2kg
Peso carga de pago	0,5kg
Peso Sistema	1,5kg
Velocidad de operación	70 km/h
Autonomía máxima	1 hora
Radio de operación	30km

Tabla 3-6. Características GEODRONE. (Fuente CONYCA)

3.1.1.10 Aracnocopter (arborea)

Arbórea Intellbird S.L. es una empresa dedicada al diseño, fabricación, operación y formación de operadores de multirrotores, todo ello bajo la marca registrada Aracnocóptero. En 2011 lanzó al mercado su primer sistema multirrotor diseñado específicamente para la inspección de palas de aerogeneradores.

Imagen 3-25. Sistema ARACNOCOPTER. (Fuente: DGAM)

Las características más destacables del sistema son:

- Imagen en espectro visible de alta resolución y luminosidad (hasta 40Mp), generada con ayuda de una lente de grandes dimensiones que permite trabajar en alta velocidad, manteniendo una gran profundidad de campo.
- Imagen térmica radiométrica que aporta temperatura en cada píxel con una gran precisión.
- Sensores diversos para generar metadatos de posicionamiento de imagen que permitan localizar cada una de las imágenes posteriormente.

Las ventajas competitivas de los especializados sistemas para inspección industrial basados en Aracnocóptero en relación con otros sistemas SARP profesionales son:

- Brazos Intercambiables.
- Resistencia a lluvia intensa.

Imagen 3-26. Sistema ARACNOCOPTER bajo campana de agua. (Fuente: DGAM)

- Mínima huella logística.
- Robustez.
- Capacidad de carga.
- Eficiencia.
- Fiabilidad.
- Capacidad de vuelo con viento fuerte.
- Sencillez de manejo.
- Simplicidad.
- Piezas modulares para su reparación rápida.
- Sin mantenimiento.
- Fácil operación.
- Estabilidad de vuelo.

Imagen 3-27. Sistema ARACNOCOPTER en vuelo. (Fuente: DGAM)

Longitud	1440mm
Altura total	440mm
Envergadura	1440mm
Peso máximo al despegue	4,35kg
Peso máximo carga de pago	2kg
Peso del sistema	2,35kg
Velocidad máxima	43,2 km/h
Velocidad máxima de viento	43km/h
Autonomía máxima	15-35minutos según payload
Techo	4000m
Alcance	3km
Rango de temperaturas	Hasta -15ºC (según baterías), +60ºC
Baterías	Li-PO 10/12Ah

Tabla 3-7. Características ARANOCOPTER. (Fuente: ARBOREA)

3.1.1.11 Altea eko (flightech)

ALTEA es un vehículo diseñado para la prevención y lucha contraincendios. Tiene configuración de ala alta con cola en H que dispone de un solo motor con hélice propulsora. El fuselaje es fusiforme y contiene tapas para acceso a los equipos a bordo y una cúpula en la zona ventral delantera, para cámara motorizada. El ala tiene una envergadura de 6,15 m y está dotado de alerones en los extremos del ala. El empenaje en «H» está unido al resto del avión mediante sendos largueros de cola que cuelgan de la zona inferior de los largueros del ala. Consta de un estabilizador recto y sendos estabilizadores verticales en los extremos del horizontal.

El despegue y aterrizaje se realiza desde tierra sin ningún sistema de lanzamiento adicional.

El vehículo va equipado con un sistema de control y comunicaciones operado desde tierra o de forma automática con un plan de vuelo programado. La aeronave va equipada con un sistema de recuperación de emergencia con paracaídas.

Imagen 3-28. Sistema ALTEA-EKO. (Fuente: FLIGHTECH

Longitud	3207 mm
Altura total	1054 mm
Envergadura	6151 mm
Altura fuselaje	413 mm
Anchura fuselaje	400 mm
Superficie alar	3,6 m2
Diedro ala	1.5°
Cuerda	600 mm
Peso máximo al despegue	80 Kg
Carga de pago con combustible máximo	17,1 Kg
Capacidad máxima de combustible	15 l
Velocidad máxima	150 Km/h
Velocidad de crucero	110 Km/h
Velocidad de pérdida	62 Km/h
Velocidad de ascenso	27 Km/h
Autonomía máxima	6 horas 40 minutos
Alcance máximo	658.5 km
Techo	3500 m
Cilindrada	167.6 cc
Combustible	Gasolina 98

Tabla 3-8. Características ALTEA-EKO.
(Fuente FLIGHTECH)

3.1.1.12 Sniper (alpha unmanned)

Alpha Unmanned System es una compañía fabricante de RPAS de clase I así como de integración de tecnología FCS (Flight Control System) y cargas de pago para reconocimiento e inspección tanto de ámbito civil como militar. Esta compañía cuenta con todo tipo de clientes y solucio-

nes en el ámbito de los RPAS, ofrece una completa integración de la GCS, comunicaciones, control *software* y accesorios a medida de cada cliente. Ofrecen soluciones personalizadas basadas en las necesidades del cliente buscando una adaptación de la plataforma al cliente. Esta compañía desarrolla e integra por si misma los equipos integrados en sus sistemas sin depender de terceros.

El SNIPER es un sistema MINI VTOL (*Vertical Take-Off and Landing*) diseñado para desarrollar misiones tanto civiles como militares, en cuanto a estas últimas su capacidad se centra a la hora de desarrollar diferentes misiones ISTAR como seguimiento de convoyes, relé de comunicaciones, supervivencia *over the hill*, vigilancia perimetral y marítima. Para desarrollar estas misiones el SNIPER cuenta con cámaras EO/IR giroestabilizadas con una óptica 10x, interface RS232, GCS y autopiloto integrado.

Cuenta con una autonomía de 2 horas gracias a su planta propulsora empleando para ello un motor de explosión.

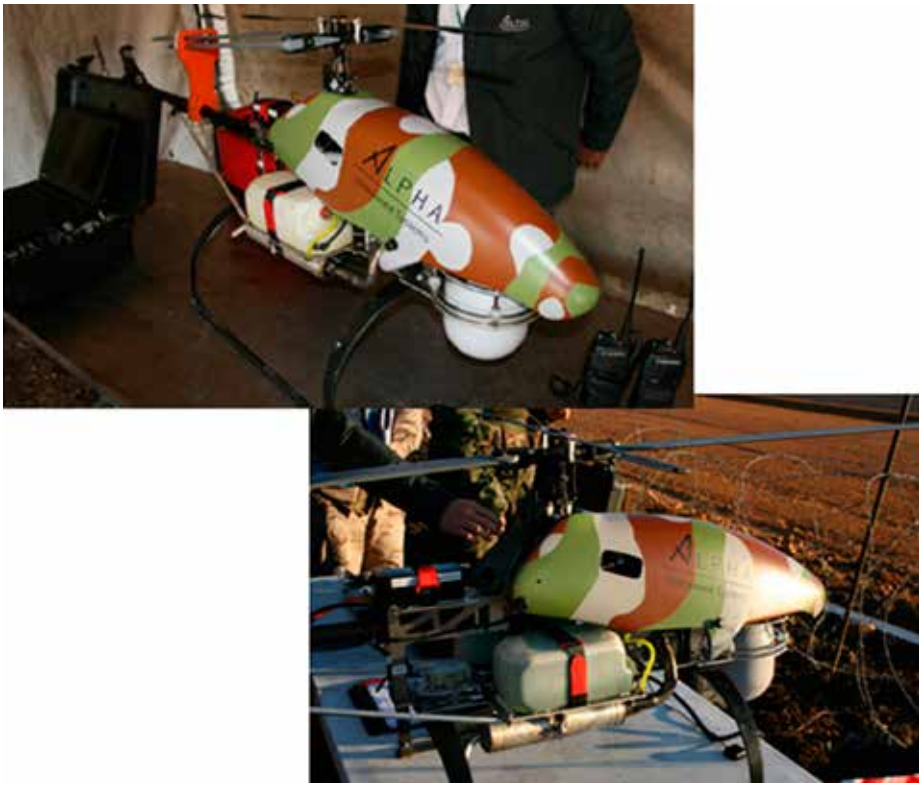


Imagen 3-29. Sistema SNIPER. (Fuente: DGAM)

En cuanto a las características técnicas del sistema:

Longitud	1600 mm
Altura total	700 mm
Diámetro de rotor	1800 mm
Peso máximo al despegue	14 Kg
Peso estándar misión	11 Kg
Peso máximo carga de pago	2 Kg
Velocidad de crucero	50 Km/h
Autonomía máxima	2 horas
Techo	3000 m

Tabla 3-9. Características SNIPER. (Fuente: ALPHA UNMANNED)

3.1.1.13 Mantis (indra)

MANTIS es una solución avanzada de bajo coste para misiones de inteligencia, vigilancia, adquisición de objetivos y reconocimiento (ISTAR) en operaciones tácticas de corto alcance, diurnas o nocturnas, que requieran un despliegue rápido.

MANTIS es un sistema robusto, modular, y muy ligero, lo que facilita su portabilidad, el sistema tiene capacidad de despegue y aterrizaje automáticos (ATOL), cuenta con una avanzada aviónica y navegación de precisión (GPS/INS), que permite el vuelo en modo manual, asistido o con navegación completamente automática. Su capacidad de control lateral y direccional le permite realizar giros coordinados, pudiendo fijar objetivos más fácilmente.

Tiene un alcance (*Line-Of-Sight*) superior a 10 Km y más de 1 h de autonomía. MANTIS transmite en tiempo real imágenes en color o infrarrojos a su estación de control terrestre (GCS), empleando cámaras

fijas (mayor ligereza y fiabilidad al carecer de partes móviles). Asimismo tiene capacidad para iluminación y telemetría láser de objetivos en tierra, así como dispositivo *Blue Force Tracking*. Cuenta con interfaces para su integración en el Sistema de Mando y Control de la fuerza operante.

Imagen 3-30. Sistema MANTIS. (Fuente: INDRA)

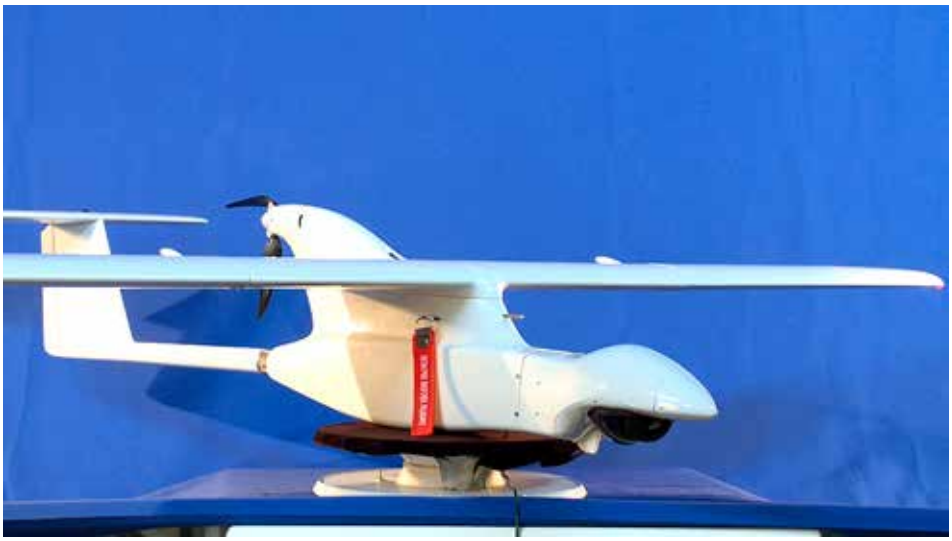


Imagen 3-31. Sistema MANTIS. (Fuente: INDRA)

Longitud	1482 mm
Altura total	274 mm
Envergadura	2100 mm
Anchura fuselaje	109 mm
Peso máximo al despegue	6,5 Kg
Velocidad máxima	110 km/h
Velocidad de crucero	60 km/h
Velocidad máxima viento de cara	30 km/h
Velocidad máxima viento lateral	25 km/h
Autonomía máxima	2 horas
Alcance máximo	10 km
Potencia máxima	600W
Rango de temperaturas	-20ºC, +50ºC

Tabla 3-10. Características MANTIS. (Fuente: INDRA)

3.1.1.14 RW5 VULTUR (INDA)

Compañía que nace en 2009 con el fin de desarrollar sistemas autónomos multipropósito con el fin de cubrir necesidades en las áreas de seguridad, defensa, emergencias, sector energético, agricultura de precisión, sector y audiovisual. Especializados en sistemas de ala rotatoria actualmente cuentan con la familia ALACRAN formada por tres sistemas de diferentes características, todos ellos de clase I.

El RW5 VULTUR es un sistema mini VTOL (*Vertical Take-Off and Landing*) propulsado por un motor de explosión, cuenta con un sistema de autopiloto capaz de controlar la aeronave durante toda la misión: desde el despegue hasta el aterrizaje se realiza de forma automática, y siempre teniendo la opción de sobrecomandar manualmente.

Tanto la tecnología empleada como la filosofía de doble CPU permiten al autopiloto actualizar la estimación de actitud y cerrar el bucle de control a alta velocidad (1 kHz), mientras en paralelo se puede manejar la carga de pago.

Imagen 3-32. Sistema RW5 VULTUR. (Fuente: DGAM)

Longitud	1800 mm
Peso máximo al despegue	14 Kg
Peso estándar misión	12 Kg
Peso máximo carga de pago	2 Kg
Planta propulsora	30.5cc
Autonomía máxima	2 horas
Techo	2000 m

Tabla 3-11. Características RW5 VULTUR. (Fuente: INDA)

3.1.1.15 Orbiter 2 (aeronautics)

Aeronautics es una de las compañías líderes en la fabricación y comercialización de sistemas autónomos, uno de sus sistemas líderes es el ORBITER 2, presentado en el proyecto RAPAZ. Este sistema de clase I y categoría mini se caracteriza por sus altas prestaciones para desempeñar misiones ISR, adquisición de objetivos, ajuste de tiro de artillería, seguridad de convoyes e ISR en entorno naval, todas ellas tanto diurnas como nocturnas.

Cuenta con una baja firma acústica y visual haciéndolo prácticamente imperceptible cuando se sitúa en un nivel de vuelo cercano a los 2.000 ft.

Imagen 3-33. Sistema ORBITER 2. (Fuente: DGAM)

En cuanto a las características principales del ORBITER 2 destacan:

- Cargas de pago estabilizadas y con zoom continuo.
- Sensor estabilizado doble o triple (diurno, nocturno y puntero láser), de fácil intercambio.
- Realización de misiones de forma autónoma.
- Aterrizaje y recogida autónomos.
- Selección y bloqueo de objetivos.
- Vuelta a casa autónoma.
- Caja negra con los datos obtenidos a lo largo del vuelo.
- Control a lo largo de diferentes GCS.

Longitud	1050 mm
Altura total	220 mm
Envergadura	3000 mm
Peso máximo al despegue	9,8 Kg
Carga de pago	1,3 Kg
Velocidad máxima	50 knots
Velocidad de crucero	40 knots
Velocidad de pérdida	36 knots
Autonomía máxima	3 horas 30 minutos
Alcance máximo	40km /100km (opcionales)
Techo	5486 m
Altitud operacional (AGL)	152 m-1219 m
Rango de temperaturas	-20ºC a +45ºC

Tabla 3-12. Características ORBITER 2. (Fuente: AERONAUTICS)

3.1.1.16 MicroB (triedro)

El MicroB es un Micro RPAS de aproximadamente 1 Kg de peso, maduro y con experiencia en operaciones reales. El MicroB está diseñado para una operativa totalmente autónoma, fácil manejo y mantenimiento, equipado con una única carga de pago estabilizada puede lanzarse de modo autónomo en unos pocos segundos, incluso en ambientes urbanos poblados, y entregar vídeo de calidad con información GIS y seguimiento de objetivos. Estos sistemas RPAS disponen de capacidades de inteligencia, vigilancia y reconocimiento (ISR), soportan escenarios de campo abierto y urbano. El sistema MicroB tiene

capacidad de visualización día/noche en los siguientes escenarios y necesidades:

- Monitorización de áreas designadas o localizaciones de interés.
- Seguimiento continuo y monitorización de objetivos estáticos y móviles, en ambientes abiertos o urbanos, incluyendo vehículos y humanos.
- Conocimiento avanzado de la situación, mando de la operación y capacidades de control en el centro de control.
- Observación de fuegos terrestres y evaluación táctica de daños.
- Vigilancia marítima.
- Protección de fuerzas.
- Búsqueda y rescate.
- Operaciones de seguridad.
- Aplicación de la ley.
- Operaciones de control y gestión terrestre.

Una única persona es necesaria para operar el sistema, desde el lanzamiento a la recuperación, esta se realiza a través de un paracaídas desplegado desde la GCS o a través del sistema de emergencia (ECU). El RPAS puede pre programarse para volver a una localización específica y desplegar su paracaídas, calculando de modo autónomo la velocidad del viento y la dirección para un aterrizaje seguro. Mientras el paracaídas esté abierto, el MicroB se invierte para proteger la carga de pago y otras partes principales de la aviónica durante el impacto del aterrizaje.

Imagen 3-34. Sistema MICRO B. (Fuente: DGAM)

Imagen 3-35. Sistema Micro-B. (Fuente: DGAM)

Longitud	550 mm / 770mm con winglets
Envergadura	990 mm
Peso máximo al despegue	1,2 Kg
Carga de pago	0,25 Kg
Autonomía máxima	1 hora
Alcance máximo	10 km
Techo	3000 m AGL
Altitud operacional (AGL)	1000 m AGL

Tabla 3-13. Características MICRO B. (Fuente: TRIEDRO)

3.1.1.17 Spylite (triedro)

Spylite es un mini RPAS con amplia experiencia en operaciones reales, optimizado para dar cobertura e inteligencia visual en tiempo real. Es completamente autónomo, desde su punto de lanzamiento hasta su recuperación. Es una solución única en su capacidad de vuelo incluso bajo malas condiciones ambientales: fuerte viento, nubosidad y/o lluvia. El sistema Spylite asegura una alta capacidad operacional, una autonomía de 3-4 horas y un rango de comunicaciones de 50 Km (opcionalmente extensibles 70 Km). Es una plataforma ISR (inteligencia, vigilancia y reconocimiento) fácil de usar, altamente confiable, versátil y estable, dispone de capacidades de inteligencia, vigilancia y adquisición de objetivos y reconocimiento (ISTAR).

Combina unas cargas de pago estabilizadas, CCD e IR, con un software de explotación de tierra, permite transmitir en tiempo real imágenes asociadas a su posición GPS. Indicando para dar soporte de vídeo real tanto en misiones en áreas abiertas como en entornos urbanos, para uso militar, conflictos de baja intensidad, seguridad, cumplimiento de la ley, S&R, gestión de desastres y aplicaciones comerciales. Este sistema acumula miles de horas de vuelo operacional, se emplea habitualmente por varios clientes, destacando el uso por las fuerzas israelíes desde el año 2006. Hasta la fecha, el sistema Spylite acumula más de 10.000 salidas operacionales.

El sistema Spylite es un medio altamente efectivo para la visualización día/noche en los siguientes escenarios:

- Monitorización de áreas designadas o localizaciones de interés.
- Seguimiento continuo y monitorización de objetivos estáticos y móviles, en ambientes urbanos o abiertos, incluyendo vehículos y humanos.
- Observación de fuegos terrestres y evaluación táctica de daños.
- Conocimiento avanzado de la situación, mando de la operación y capacidades de control en el centro de control.
- Vigilancia marítima.
- Protección de fuerzas.
- Búsqueda y rescate
- Operaciones de seguridad.
- Operaciones de gestión y control de desastres.
- Probado en operaciones reales; el sistema Spylite ha acumulado en torno a 10.000 salidas operacionales.

- Transportable, fácil de llevar y transportar.
- La totalidad de la estación de control de tierra, incluyendo lanzadera, puede instalarse y operarse en un vehículo.
- Capacidad de operación bajo condiciones climáticas adversas; capacidades operacionales probadas con mal tiempo, lluvia…
- Completamente autónomo, desde el lanzamiento hasta el aterrizaje.
- Alta altitud de operación, probado a 36.000 pies.
- Fácil operación, preparación operacional rápida y fácil.
- Lanzamiento y recuperación en cualquier terreno, no se necesita tener un área preparada, recuperación precisa mediante paracaídas.
- Operación encubierta, bajas señales acústicas y visuales.
- Cargas de pago giro-estabilizadas, dual, IR y opcionalmente láser.
- Cargas de pago fotogramétricas para realizar mapeos.
- Seguimiento de objetivos móviles, seguimiento de vídeo integrado y modo de guiado por cámara.

El sistema Spylite es un elemento táctico portable, rápidamente desplegable, diseñado para operaciones de campo para una tripulación de 2 personas (operador y técnico). Spylite permite la programación previa de la ruta de la misión para permitir el rápido despliegue del vuelo pre-programado para una respuesta rápida. El autopiloto puede programarse *on-site* o ser redirigido durante el vuelo.

Es importante destacar que la estación de control de tierra es totalmente compatible con los sistemas MicroB, ThunderB, WanderB y Spylite, disponiendo así de una única plataforma de control para todos los RPAS de ala fija de Triedro.

Imagen 3-36. Sistema SPYLITE. (Fuente: DGAM)

Longitud	1350 mm
Envergadura	2750 mm
Peso máximo al despegue	9,5 Kg
Carga de pago	1,35 Kg
Autonomía máxima	3-4 horas
Alcance máximo	50 km
Techo	9144 m ASL
Altitud operacional (AGL)	1000 m AGL

Tabla 3-14. Características SPYLITE. (Fuente: TRIEDRO)

3.1.1.18 Fulmar (thales)

El sistema Fulmar es un sistema de observación e identificación, basado en un avión no tripulado RPAS o RPAS tipo ala volante y dentro del segmento *small* de larga duración, concebido para su uso en distintos entornos operativos, desde terrenos no preparados hasta embarcaciones. El sistema tiene la capacidad de despegue y aterrizaje autónoma.

El sistema Fulmar está compuesto por 2 RPAS *small* equipados con carga completa: bola giro-estabilizada en los tres ejes con sensores EO/IR, repetidor AIS y respondedor IFF modos 3/C, una estación de control portátil, sistema de *tracking* de antenas, una lanzadera, un sistema de recuperación en red, y los elementos auxiliares.

El sistema Fulmar también tiene la posibilidad de incorporar un vehículo como estación de control, que además de integrar la propia estación de control, también sirve como transporte del resto de los elementos y la capacidad de realizar tareas de mantenimiento.

Sus características de vuelo le permiten operar con vientos de hasta 70 Km/h con un alcance de operación de 50 Km y una velocidad de crucero de 100 Km/h, considerada óptima para la observación en alturas de vuelo de 300/500 m sobre el terreno.

Imagen 3-37. Sistema FULMAR. (Fuente: DGAM)

Imagen 3-38. Sistema FULMAR. (Fuente: DGAM)

Longitud	1230 mm
Envergadura	3100 mm
Altura	500 mm
Peso máximo al despegue	20 Kg
Carga de pago	4 Kg
Autonomía máxima	6-8 horas
Alcance máximo	50 km video/100 km datos
Velocidad de crucero	100 km/h
Techo	3352 m
Altitud operacional (AGL)	300 m / 500 m

Tabla 3-15. Características FULMAR. (Fuente: THALES)

3.2 Ejecución y evaluación

A la hora de realizar las pruebas operativas y debido a la variedad y el número de sistemas presentados se optó por la creación de diferentes circuitos adaptados a cada categoría. Cada uno de los circuitos supondría el ejercicio a cumplir para poder evaluar el estado de madurez y las capacidades de cada uno de ellos. Los circuitos estaban formados a su vez por un conjunto de misiones que los sistemas debían de ir realizando conforme avanzaba el ejercicio. Para facilitar la organización tanto a empresas como a personal observador y evaluador, el orden de las pruebas de vuelo de cada uno de los sistemas se organizó agrupándolo por circuito a realizar.

EMPRESA	CAT	DENOMINACIÓN	DIA	CIRCUITO	DESPEGUE	ATERRIZAJE	INICIO	FIN	DURACIÓN
A.PAUKNER	MICRO-0,18	BLACKHORNET	Lunes 9	C0	ALA ROTATORIA	ALA ROTATORIA	12:00	12:30	0:30
E&Q	MICRO-1,6	HUGINN X1	Lunes 9	C0	ALA ROTATORIA	ALA ROTATORIA	12:30	13:00	0:30
TRIEDRO	MINI-3	IRIS-4	Lunes 9	C0	ALA ROTATORIA	ALA ROTATORIA	13:00	13:30	0:30
SOTICOL	MICRO-2,5	DEMOSTRACIÓN (INDOOR)	Lunes 9	C0	ALA ROTATORIA	ALA ROTATORIA	13:30	14:00	0:30

Tabla 3-16. Sistemas jornada lunes. (Fuente: DGAM)

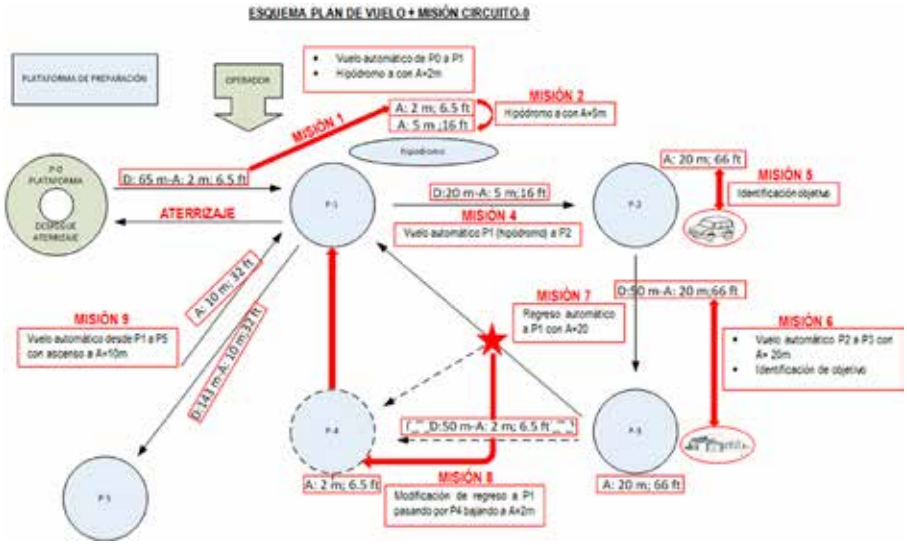


Ilustración 3-2. Esquema circuito C-0. (Fuente DGAM)

EXPAL	MINI-2,8	SHEPHERD MIL	Martes 10	C1	LANZADO MANUAL	SUELO	8:30	9:10	0:40
USOL	MINI-3	ALCOTAN	Martes 10	C1	LANZADO MANUA	RED	9:10	9:50	0:40
SERTEC	MINI-3	SX8	Martes 10	C1	CATAPULTA	SUELO	9:50	10:30	0:40
DRONETOOLS	MINI-7,4	DRONEQUASAR	Martes 10	C1	ALA ROTATORIA	ALA ROTATORIA	10:30	11:10	0:40
CONYCA	MICRO-2,2	GEODRONE	Martes 10	C1	CATAPULTA	SUELO	11:10	11:50	0:40
ARBOREA	MINI-4,4	ARACNOCOPTERO	Martes 10	C1	ALA ROTATORIA	ALA ROTATORIA	11:50	12:30	0:40
DESCANSO									
FLIGHTECH	SMALL-80	ALTEA-EKO	Martes 10	C3 PLUS	PISTA	PISTA	15:00	17:30	2:30

Tabla 3 17. Sistemas jornada martes. (Fuente: DGAM)

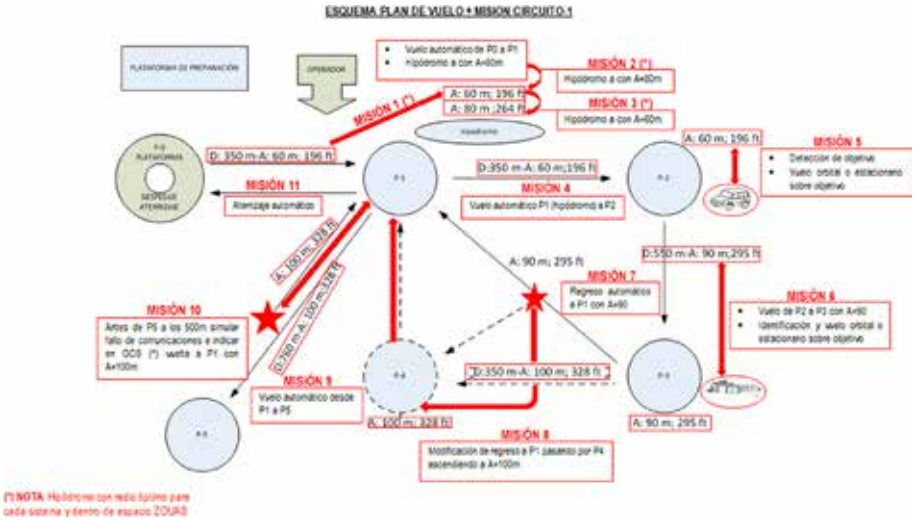


Ilustración 3-3. Esquema circuito C-1. (Fuente DGAM)

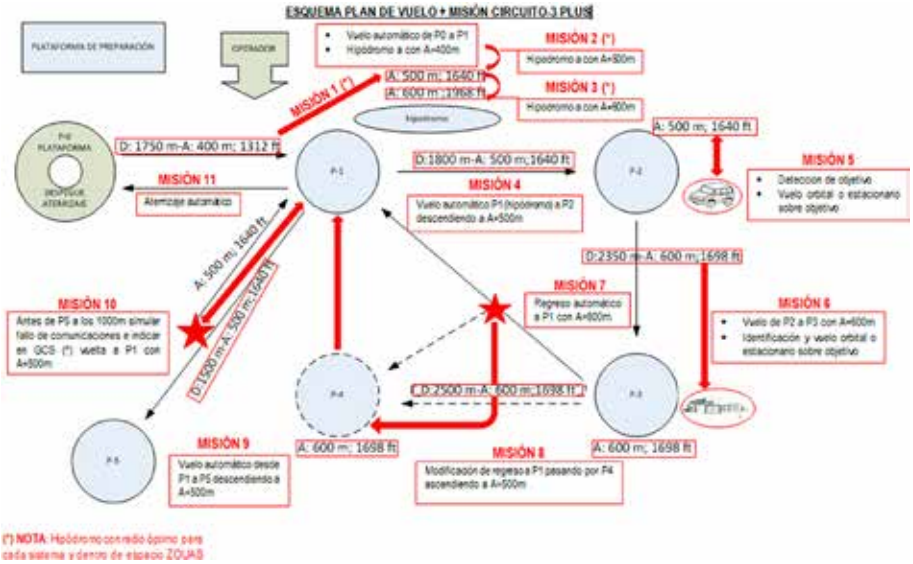


Ilustración 3-4. Esquema circuito C-3 PLUS. (Fuente DGAM)

ALPHA UNMANNED	MINI-14	SNIPER	Miércoles 11	C2	ALA ROTATORIA	ALA ROTATORIA	8:30	9:30	1:00
INDRA	MINI-6,5	MANTIS	Miércoles 11	C2	CATAPULTA	SUELO	9:30	10:20	0:50
INDA	MINI-14	RW5 VULTUR	Miércoles 11	C2	ALA ROTATORIA	ALA ROTATORIA	10:20	11:20	1:00
DESCANSO									
AERONAUTICS	MINI-10	ORBITER2	Miércoles 11	C2	CATAPULTA	PARACAÍDAS	15:00	16:00	1:00
TRIEDRO	MICRO-1,2	MICRO B	Miércoles 11	C1	CATAPULTA	PARACAÍDAS	16:00	16:40	0:40
TRIEDRO	MINI-9,5	SPYLITE	Miércoles 11	C2	CATAPULTA	PARACAÍDAS	16:40	17:40	1:00
THALES	MINI-20	FULMAR	Jueves 12	C3	FIJ-PISTA	PISTA	10:00	12:30	2:30

Tabla 3 18. Sistemas jornadas miércoles y jueves. (Fuente: DGAM)

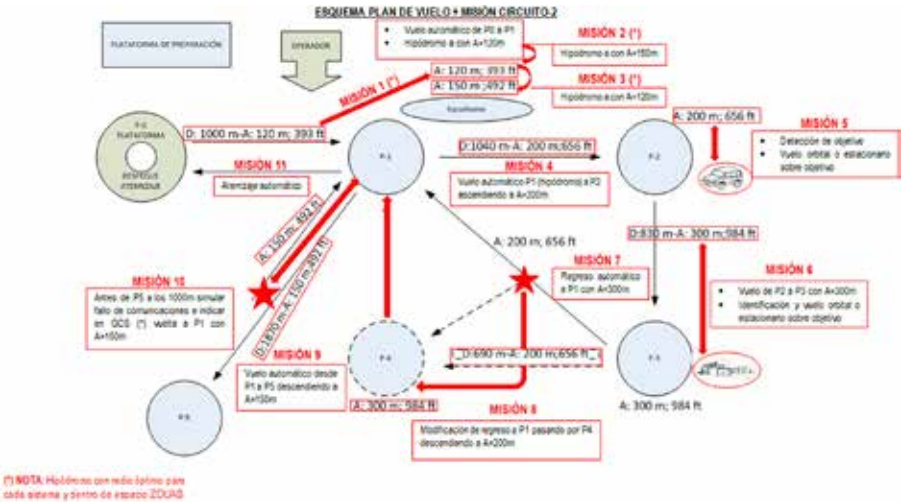


Ilustración 3-5. Esquema circuito C-2. (Fuente DGAM)

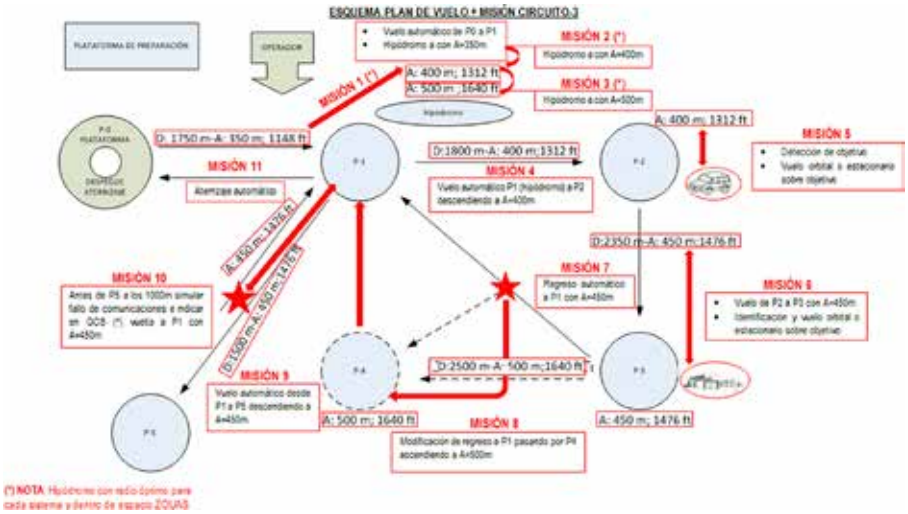


Ilustración 3-6. Esquema circuito C-3. (Fuente DGAM)

Para realizar la evaluación de los sistemas se creó una ficha de evaluación común a todos ellos en la que se recogían un total de 21 puntos de evaluación y que contemplaban todas las fases de operación (*Briefing* inicial, pre-vuelo, cumplimiento de misión, post-vuelo). Cada uno de los puntos de evaluación contaba con una escala de valoración y un apartado de notas en el que los evaluadores, además de valorar, pudieran añadir comentarios sobre el punto evaluado. Tras la evaluación de estos 21 puntos se incluía un apartado en el que se aportaba una valoración general por parte de cada evaluador y en el que plasmaban sus impresiones y comentarios sobre el sistema. A ello hay que sumar una tabla resumen del proceso de evaluación que incluía los resultados de las pruebas, el grado de madurez del sistema, la misión operativa y la unidad usuaria recomendada.

El proceso de evaluación cumplió dos objetivos, la evaluación de los sistemas de cara a una segunda fase dentro del proyecto RAPAZ y un segundo objetivo al proporcionar a las empresas participantes un informe de evaluación en el que se indicaba a cada una de ellas las carencias observadas sobre sus sistemas y los desarrollos que esta necesitaría acometer para que el sistema cumpliese con todos los requisitos militares exigidos.

3.3 Resultados

Con la conclusión de las jornadas de vuelo se precedió a la síntesis de toda la información obtenida de estas así como de la información gene-

rada por el personal evaluador a través de las fichas de evaluación que completaron a lo largo de las jornadas de vuelo. Se generaron tantas hojas de evaluación por sistema como personal evaluador participó en las jornadas. Por tanto, la información que se obtuvo de cada sistema fue de alto interés.

3.3.1 Madurez de los sistemas y capacidad industrial

Las jornadas de vuelo permitieron conocer de primera mano el estado de madurez de los sistemas presentados. De los 18 sistemas presentados y tras obtener los resultados de las evaluaciones se consideró que 3 de estos sistemas no eran lo suficientemente maduros, 6 de ellos se consideraban sistemas maduros pero requerían desarrollos específicos para adaptarlos a los requisitos militares establecidos y por último seleccionaron un total de 9 sistemas cuya madurez les hacía propicios para pasar a la siguiente fase del proyecto. De estos nueve sistemas preseleccionados, se consideró que solo 3 de ellos requerían desarrollos específicos para adaptarlos a las necesidades militares aunque se les consideraba sistemas maduros.

En cuanto al tipo de plataforma de los sistemas preseleccionados, 5 de ellos eran de ala fija, 3 multicópteros y uno de ala rotatoria.

En relación a la capacidad industrial nacional, todos los sistemas evaluados en la primera fase del proyecto eran de clase I, por lo que de cara a conocer esa capacidad es importante considerar por separado la categoría de cada sistema, según se trate de sistemas micro, mini y *small*.

De la categoría micro se evaluaron un total de cinco sistemas de los cuales tres de ellos eran de fabricación nacional. El resultado de la evaluación fue que un total de tres, de los cuales solamente uno de ellos no era de fabricación nacional, contaban con un estado de madurez suficiente. Se considera que se cuenta con capacidad para desarrollar sistemas con la madurez suficiente para cubrir los requisitos de las FF. AA. especialmente en materia de instrucción y adiestramiento.

En la categoría mini se evaluaron un total de doce sistemas de los cuales diez de ellos eran de fabricación nacional y dos de fabricación israelí, un gran número de los sistemas evaluados contaban con un grado de madurez elevado gracias a su uso en entornos civiles. De todos los sistemas presentados se seleccionaron un total de seis para la segunda fase del proyecto todos ellos de desarrollo nacional. Se considera por tanto

que la capacidad industrial en el desarrollo de sistemas de categoría mini es suficiente como para satisfacer las necesidades de las FF. AA., en sistemas de esta categoría, si bien un gran número de los sistemas desarrollados a nivel nacional están concebidos para uso civil su adaptación a los requisitos militares se vería satisfecho al realizar pequeñas adaptaciones en los sistemas.

En cuanto a la categoría *small* se presentaron un total de cinco sistemas al proyecto de los cuales cuatro de los mismos se retiraron del mismo por falta de madurez antes de realizarse las jornadas de vuelo quedando solamente un único sistemas que fue evaluado. La capacidad industrial nacional en sistemas *small* es limitada, como quedó demostrado en el desarrollo del proyecto, si bien existen desarrollos por parte de la industria, las dificultades en el desarrollo y el alto coste de estos ha generado que a fecha del proyecto RAPAZ estos sistemas no cuenten con la madurez suficiente.

3.3.2 Conclusiones/recomendaciones

El proyecto RAPAZ es el resultado de la necesidad por parte de las FF. AA. de disponer de sistemas de RPAS capaces no solo de mantener sino de aumentar las capacidades ISR de sus diferentes unidades, impulsando para ello el desarrollo tecnológico nacional. Esta necesidad implica dotar a este sector de la capacidad suficiente para desarrollar RPAS de clase I así como de RPAS de clase II que sean capaces de cumplir los requerimientos exigidos por las FF. AA. o bien de participar en programas conjuntos de desarrollo de RPAS de clase-III, para lo cual es fundamental continuar manteniendo y fomentando la inversión en I+D.

Este proyecto también está ayudando a las FF. AA. a conocer el estado del arte a nivel nacional de RPAS de clase I. Tras la primera fase de pruebas, se ha podido ver la capacidad nacional para el desarrollo en las categorías micro y mini, especialmente en aquellos con un MTOW menor a 25 kg. A partir de este peso y hasta los 150 kg que engloba la categoría, las dificultades de desarrollo aumentan, así como la inversión necesaria. Esto implica que muchas empresas encuentren grandes dificultades para desarrollar sistemas de categoría *small* capaces de cumplir los requisitos exigidos en las FF. AA. Prueba de esto es que, de los 18 sistemas evaluados en la primera jornada de vuelo, solo 1 de estos tenía un MTOW de 80 kg.

Muchos de los sistemas presentados tenían una clara utilidad civil y por tanto estaban poco adaptados a los requisitos exigidos por defensa. Este proyecto también ha servido para acercar estos requisitos a empresas cuyos sistemas han sido desarrollados para efectuar operaciones civiles y por tanto con requisitos civiles. Los requisitos exigidos por defensa distan de los civiles, en muchos casos para lograr cumplir con estos se requiere ciertas modificaciones en los sistemas y por tanto inversión. Este proyecto también pretende dar a conocer a las empresas estos requisitos de forma que ellas tengan constancia de las debilidades y fortalezas de sus sistemas frente a los requisitos de defensa. A los requisitos generales exigidos por defensa hay que añadir los requisitos de las distintas unidades entre cuyas necesidades está el empleo de RPAS de clase I. Para ello, los equipos de evaluación estuvieron formados por diferentes unidades que analizaron las aptitudes de cada sistema, facilitando con ello la distribución de los sistemas seleccionados en las diferentes unidades para afrontar la segunda parte de la fase I del proyecto.

Los sistemas que han participado dentro de la evaluación operativa del proyecto RAPAZ componen una muestra muy heterogénea, en la cual se encuentran desde modelos casi artesanales, hasta otros de origen extranjero más robustos y militarizados.

Del proceso de planificación y desarrollo de las pruebas de la campaña de vuelo 2015 del proyecto RAPAZ se extraen las siguientes conclusiones:

- Se considera muy positivo este primer contacto entre las empresas y las unidades de cara a una adaptación de sus productos de cara a un uso militar.
- Dentro del MINISDEF, se dispone actualmente de una visión más objetiva del mercado civil existente para los sistemas objeto de la evaluación.
- La mayor parte de los sistemas observados, sobre todo los de origen nacional, son equipos desarrollados y pensados para un uso civil, por lo que necesitan ser adaptados y mejorados en muchos aspectos (alcance, autonomía de vuelo, enlace digital, encriptación, terminales de video remotos, etc…) para ser utilizados en el ámbito militar.
- La industria nacional tiene capacidad para desarrollar sistemas más o menos operativos con plataformas por debajo de los 25 Kg de peso al despegue (MTOW), pero que a partir de este peso y hasta los 150 Kg, tiene problemas dado que los desarrollos requieren grandes inversio-

nes. En este sentido, de cinco sistemas seleccionados por encima de 25 Kg, solo ha podido ser evaluado un sistema de 80 Kg.

- Dentro del proceso de obtención, este tipo de iniciativas contribuyen a facilitar los trabajos en la etapa de selección de la alternativa de obtención (DDV) en caso de iniciarse un proceso de obtención.
- El proceso de obtención de los certificados de aeronavegabilidad experimental otorgados por el INTA, permite a las empresas disponer de una documentación auditada por un organismo oficial de cara a obtener futuras autorizaciones, ya sea en el plano civil como en el militar.
- Debido a las restricciones del uso del espacio aéreo en las condiciones planificadas en la CV-1, los sistemas más grandes (con peso superior a 25 Kg) corrían el riesgo de no poder ser evaluados por lo que se optó por complementar las pruebas de vuelo reales con una simulación de las principales *performances* proporcionada por una empresa ajena a las pruebas, con objeto de disponer de un informe de viabilidad previo a la CV que redundara en la seguridad de la operación. La experiencia piloto de realizar una simulación previa de las características y comportamiento de alguno de los sistemas (K150), ha puesto en valor este tipo de herramientas de cara a analizar la viabilidad de continuar el desarrollo de un determinado sistema.

SOPT

SISTEMA DE OBSERVACIÓN Y PROSPECTIVA TECNOLÓGICA

4. PROYECTO RAPAZ FASE II

4. PROYECTO RAPAZ FASE II

Tras la realización de la primera campaña de vuelo, el proyecto RAPAZ contemplaba la realización de una segunda campaña de vuelo descentralizada, en la que se asignaría el sistema más adecuado a la unidad operativa de las FF. AA. más idónea para su empleo en el ámbito de los ejercicios de instrucción y adiestramiento programados.

Para la Fase II, contando con la experiencia acumulada en la CV del 2015, se tenía previsto realizar varias CV con un concepto diferente. Una vez evaluado el sistema en la CV-1, se pone en manos de una unidad operativa el sistema para que lo evalúe dentro de su SIAE (sistema de instrucción y adiestramiento) en diferentes ejercicios programados.

En este concepto de proceder surge, a principios del año 2016, la posibilidad de apoyar la prueba de ultra fondo de los «101 Km Ronda», consistente en un recorrido único de 101 kilómetros por la Serranía de Ronda a realizar en un tiempo inferior a 24 horas. El objeto planteado desde la DGAM es apoyar a la prueba proporcionando a la organización imágenes de la evolución de los corredores durante la duración de la prueba, empleando sistemas RPAS tanto civiles como militares de clase I.

El esquema de evaluación diseñado para el proyecto RAPAZ en la Fase II resulta válido al proporcionar apoyo a las unidades usuarias en ejercicios de instrucción y adiestramiento.

La operación de apoyo a los 101 Km Ronda, se diseñó desde un punto conceptual, como una rama dentro del proceso de planeamiento del proyecto RAPAZ de evaluación de sistemas RPAS clase I, y se ejecutó bajo las premisas de un ejercicio de instrucción y adiestramiento de las FF. AA. para su aplicación desde el punto de vista táctico. Se buscaba obtener unos resultados y una información que pudiera ser explotada por la organización de la prueba, en tiempo real, mediante imágenes obtenidas por diversos sistemas RPAS de la evolución de los participantes durante el recorrido de 24 horas de duración, detectando situaciones de

riesgo para los participantes y estableciendo los mecanismos de alerta y coordinación necesarios para movilizar los medios oportunos.

Al igual que con el CV-1, esta fase conceptual o evaluación operativa concluyó con la remisión de un informe que reflejaba los resultado de las pruebas realizadas e identifica las carestías o mejoras a realizar por las diferentes empresas para cumplir los requisitos exigidos en los documentos «Requisitos de Estado Mayor» de la tres subclases existentes «micro, mini y *small*».

El objeto principal de la operación de apoyo con RPAS de la DGAM/SDG-PLATIN a los 101 Km Ronda 2016, ha sido la participación en este evento, a través de los medios técnicos y personales necesarios, con el fin de proporcionar a la organización de la prueba, durante los días 14 y 15 de mayo 2016, imágenes obtenidas por diversos sistemas RPAS civiles y militares. Se buscaba con ello dar cobertura a los participantes durante toda la duración de la prueba (24 horas) y detectar situaciones de riesgo mediante mecanismos de alerta y respuesta mejorados, movilizando para ello todos los medios oportunos e integrando toda la información obtenida en un centro de situación unificado.

Como objetivos más específicos, el esquema de apoyo a los 101 Km de Ronda pretende:

- Validar procedimientos de empleo táctico con RPAS para identificar aquellas lecciones que sean aprovechables por los Ejércitos y Armada.
- Integrar en un único sistema de mando y control un amplio abanico de RPAS para disponer en tiempo real de la información obtenida mediante los sensores, tanto de día como de noche.
- Validar el estado del arte de los sistemas nacionales en un ambiente real y táctico, como continuación del proyecto RAPAZ para el año 2016, que establece una evaluación descentralizada de los diferentes sistemas evaluados por los CC. GG., durante la primera fase del proyecto desarrollada en el 2015.
- Integrar en un mismo espacio aéreo varios sistemas RPAS de forma alternativa y simultánea.

4.1 Planteamiento

4.1.1 Preparación

Desarrollada desde el 1 de febrero al 10 de mayo, según el esquema adjunto, donde se realiza un análisis del terreno, diseño de la estructura

de mando y control, selección de sistemas a emplear, solicitud de apoyos a FF. AA. integración de los sistemas RPA en el sistema de mando y control, contratación y segregación de espacio aéreo.

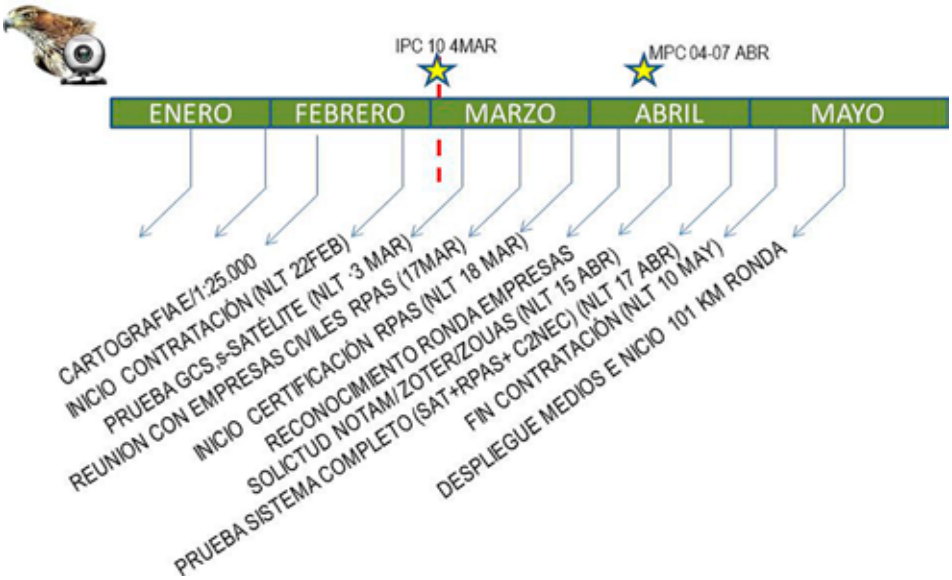


Ilustración 4-1. Calendario operación. (Fuente: DGAM)

Al igual que en el proceso de preparación de la CV-1, a la hora de la preparación de las jornadas de vuelo en Ronda, la SDG-PLATIN contó con el apoyo, colaboración y coordinación de las siguientes unidades de las FF. AA. y organismos:

- DGAM/ SDG PLATIN: planificación y coordinación general de la campaña de vuelo.
- Ejército de Tierra:
  - División de Operaciones del Estado Mayor del Ejército de Tierra.
  - Mando de Artillería de Campaña/ RACA 63/GAIL III/63.
  - Mando de Transmisiones. Compañía 33/II/21.
  - Brigada Paracaidista. Compañía de Inteligencia VI.
  - Bandera de CG. BRIL. Rey Alfonso XIII II de la Legión.
  - Brigada de Infantería Acorazada «Guadarrama» XII.
  - Tercio Alejandro Farnesio IV de la Legión.
  - Centro Geográfico el Ejercito (CEGET).

- Ejército del Aire:
  - SESPA (Sección de Espacio Aéreo).
- Subdirecciones de la propia DGAM:
  - Subdirección General de Adquisiciones.
- INTA:
  - Departamento de Aeronaves y Armamento-SEYC.

Así mismo para el desarrollo de los vuelos de la CV en apoyo a los 101 Km Ronda, se ha tenido en cuenta la siguiente documentación:

- Reglamento de Aeronavegabilidad de la Defensa (RAD). Real Decreto 866/2015 de 02 de octubre (*BOE* núm. 255) y que sustituye al Real Decreto 2218/2004, de 26 de noviembre.
- Normas del jefe de Estado Mayor del Aire, autoridad competente militar, sobre la operación de sistemas aéreos no tripulados (UAS) militares en espacio aéreo segregado. Estado Mayor del Aire. División de Operaciones. Sección de Espacio Aéreo. (Feb. 2011).
- Procedimiento INTA para la emisión del Certificado de Aeronavegabilidad para la experimentación (CAE) aplicable a sistemas de aeronaves no tripuladas (UAS) AER/PRO/7130/108/INTA Ed. Inicial 19.06.2015, p. 89.
- STANAGS:
  - STANAG 4703, aplicable RPAS de ala fija y con MTOW igual o inferior a los 150 Kg.
  - STANA 4746, aplicable a RPAS de ala rotatoria y con MTOW igual o inferior a los 150 Kg.

Como se ve reflejado en el esquema de planificación, una vez definido el marco normativo conforme al que se iba a desarrollar el proyecto y establecidos los contactos con las unidades de los diferentes ejércitos que iban a actuar como apoyo a la organización, se procedió a la realización del estudio del área de operaciones.

La zona de operaciones está ubicada en la provincia de Málaga, en un área extensa de 26x16 Km^2 de la serranía de Ronda, con una orografía irregular.

Ilustración 4-2. Localización área Ronda. (Fuente: DGAM)

Durante la fase de preparación se requirió de la realización de dos reconocimientos del terreno con objeto de optimizar la operación de apoyo planificada. Para ello, en el mes de marzo se realizó un primer reconocimiento por parte del personal del APC de la SDG PLATIN con la finalidad de tener una visión general del escenario, establecer un calendario de planeamiento y estudiar los apoyos necesarios a solicitar a los CC.GG. Estos términos se expusieron en el mes de marzo durante la reunión inicial de planeamiento (IPC).

Durante los días 4, 5 y 6 de abril se realiza por parte del personal siguiente, un segundo reconocimiento en Ronda, que tiene por objeto exponer al 4º Tercio de la Legión, la planificación en detalle del apoyo a proporcionar a la organización de la prueba mediante el empleo de RPAS y concretar la ubicación exacta de los medios de enlace a desplegar, además de ello, en el reconocimiento se presenta el recorrido y ubicación sobre el terreno asignado en el planeamiento a cada empresa.

Fruto del proceso de reconocimiento fue el estudio de despliegue que se realizó. Para ello se generó una simulación previa de la carrera en la que incluyendo la sección de bicicletas de montaña y marchadores a pie.

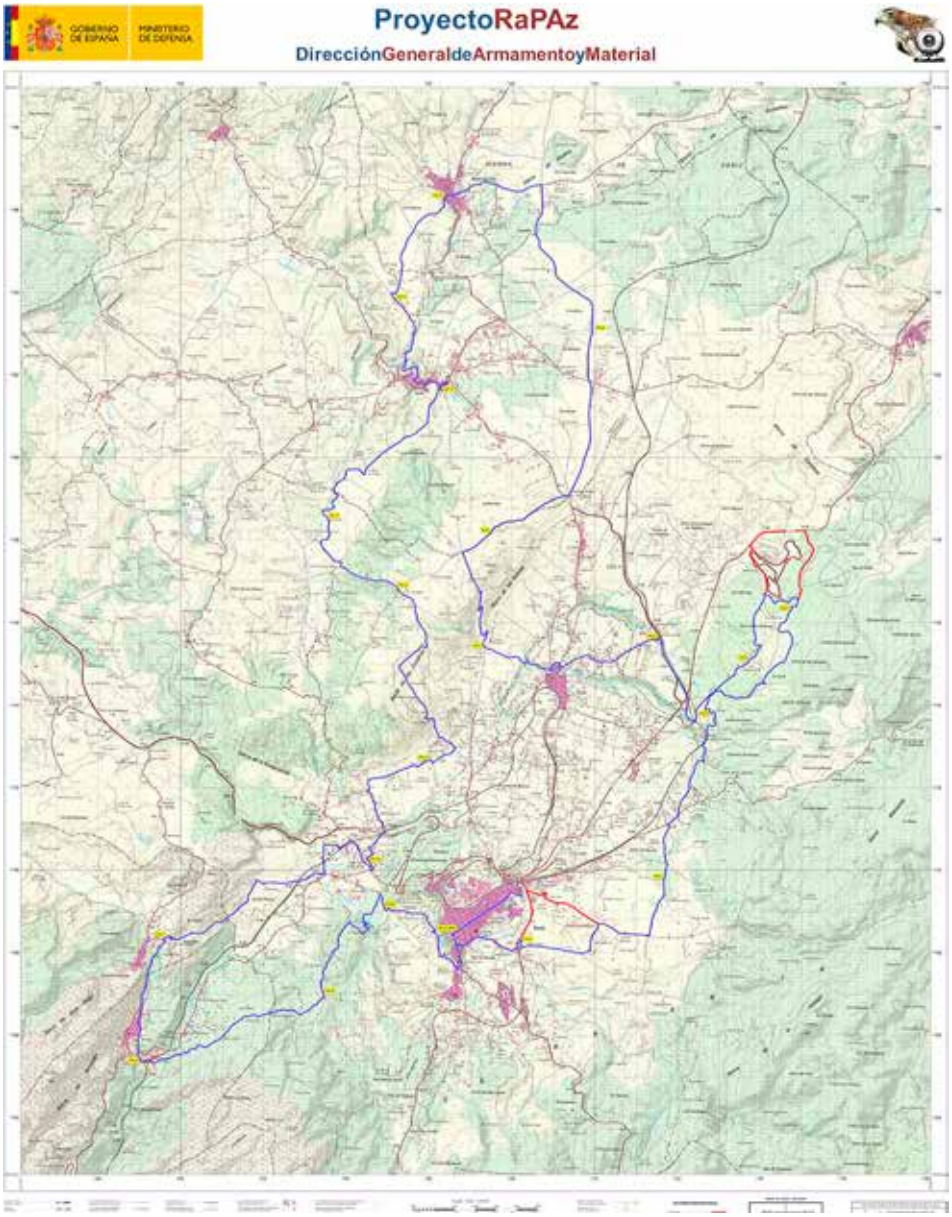


Ilustración 4-3. Plano circuito 101 Km de Ronda. (Fuente: DGAM)

Mediante una funcionalidad del sistema C2 TALOS y con los datos estadísticos obtenidos de la carrera de 2015, se analizó el volumen de corredores en función de las horas de la carrera, realizando una distribución de la cobertura de los sistemas RPAS más adecuada para la operación.

4.1.2 Sistemas participantes

Una vez definido el concepto de operación, se seleccionaron los sistemas RPAS a emplear. Para ello, de las pruebas y análisis derivados de la campaña centralizada (CV-1) de 2015 dentro del marco del proyecto RAPAZ, se seleccionaron aquellos sistemas lo suficientemente maduros para poder desempeñar este tipo de ejercicio y con capacidad para cumplir con los requisitos de autonomía, alcance y despliegue requeridos para la pruebas, como son:

- Autonomía teórica mínima de 60 min.
- Alcance mínimo del enlace de video de 10 Km.
- Haber superado las pruebas de la CV-1 sin ningún incidente grave.
- Despliegue del sistema sin necesidad de pistas.

Por el tipo de operación a realizar, se descartaron los sistemas de la rotatoria y multi-rotores debido a su velocidad y menor autonomía, exceptuando el sistema empleado en la zona de salida para la toma de imágenes de la misma para lo que se empleó un sistema multi-rotor.

Por todo ello los sistemas que se han utilizado son los siguientes:

SISTEMA	EMPRESA	IMAGEN	AUTONOMÍA	ALCANCE
MANTIS	INDRA		90 min	>15 Km
ALCOTAN	USOL		60 min	>15 Km
SHEPHERD	EXPAL		60 min	>15 Km
SPYLITE	TRIEDRO		3 horas	>30 Km
FULMAR	THALES		5 horas	>30 Km

Tabla 4-1. Sistemas participantes Ronda. (Fuente: DGAM)

Además de los sistemas seleccionados a partir de la CV-1, se solicitó la colaboración dos (2) sistemas RAVEN del ET.

SISTEMA	FAS	IMAGEN	AUTONOMÍA	ALCANCE
RAVEN	ET		60 min	>10 Km

Tabla 4-2. Características sistema RAVEN. (Fuente: DGAM)

4.1.3 Sistema de mando y control

La capacidad de los diferentes medios seleccionados, al contar con sus propias estaciones de control, permitían disponer y explotar en tiempo real la información proporcionada por los sensores de las plataformas en vuelo. No obstante, esta información obtenida *in situ* en los lugares de despliegue de los sistemas, no podían ser analizados por la organización de la prueba en tiempo real, sino sólo permitía remitir a través de teléfono o radio de situaciones o posiciones, sin disponer de una información global y de conjunto en el centro de situación (SITCEN) de la organización.

Para solventar este problema, se requirió integrar toda la información en un sistema único que diese coherencia a la información recibida por los diferentes sistemas. Para ello el despliegue de medios, preveía la activación alternativa y simultánea de los sistemas conforme evolucionaba la carrera, lo que implicaba, que se podía recibir simultáneamente la información de dos o más sistemas al mismo tiempo.

En el estudio inicial, se contemplaba como solución principal, un despliegue de medios militares satélite en base a 4 terminales TLB-50, que disponen de suficiente ancho de banda para la transmisión de la información, y la integración de las señales en un sistema de mando y control, que proporcionara en tiempo real la información de las plataformas en vuelo, sin necesidad de una retransmisión por teléfono del análisis de la misma, como se ha indicado anteriormente.

La selección del sistema de mando y control, se realizó atendiendo a dos criterios: el de tiempo, estimado en tres meses para integrar la señal de 6 sistemas diferentes y atendiendo al criterio económico, que implica que el gasto de contratación no puede superar la limitación de los créditos del proyecto RAPAZ 2016.

Del resultado del análisis de ambos factores, se recurre a una de las aplicaciones que se integrarán en SIMACET y que ya está desarrollada para proporcionar Información del campo de batalla y apoyo de fuego denominado «C2 NEC TALOS». Esta aplicación permite integrar sensores de información y apoyo de fuegos en menos de tres meses y a un coste reducido al tener ya implementado este tipo de capacidades y ser necesario solamente una pequeña adaptación. En este sentido, el sistema «C2 NEC TALOS» permite disponer en un «mapa de situación digital» del total de la información de telemetría de todos los sistemas en vuelo en tiempo real, de la posición de todos los elementos desplegados en la carrera tales como ambulancias, corredores, vehículos organización, etc. Así mismo el sistema permite comunicar eventos desde y hacia el PC y registrar toda la información desde el inicio hasta la finalización de la carrera. No obstante, la diferencia entre el planteamiento principal y el alternativo radica en que el sistema C2 propuesto proporciona una visibilidad a la operación que el esquema alternativo no puede.

Finalmente, toda la información se integraría en un solo SITMAP situado junto a la organización de la carrera con objeto de facilitar la toma de decisiones en base a la información recibida en tiempo real. Como

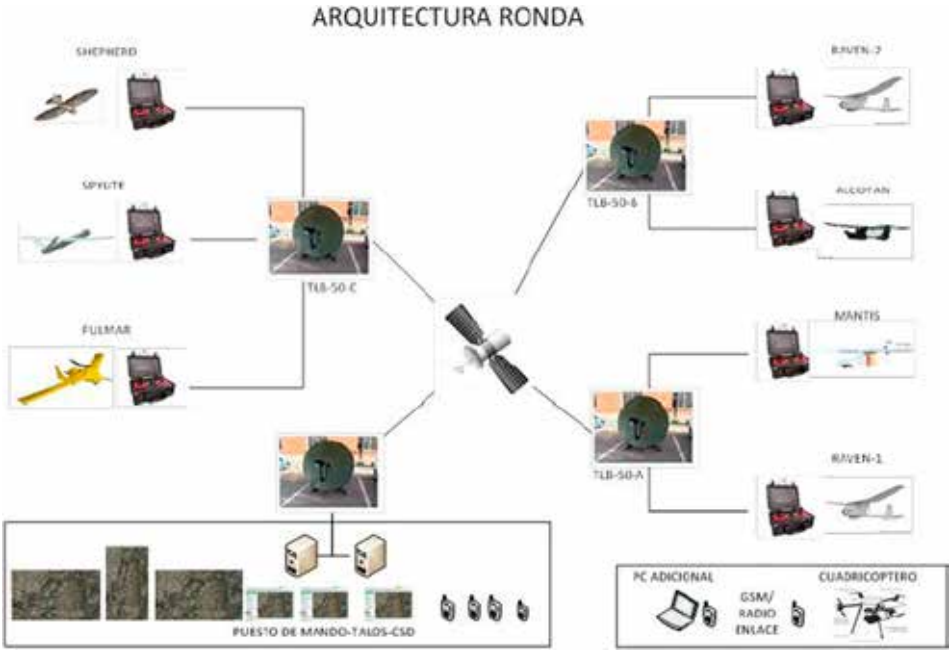


Ilustración 4-4. Arquitectura de comunicaciones. (Fuente: DGAM)

esquema alternativo, en caso de fallo de comunicaciones satélite o del sistema de mando y control, se preveía la comunicación de los sucesos o acontecimientos detectados mediante los vuelos durante el transcurso de la carrera desde las GCS desplegadas en el campo vía teléfono con el PC integrado.

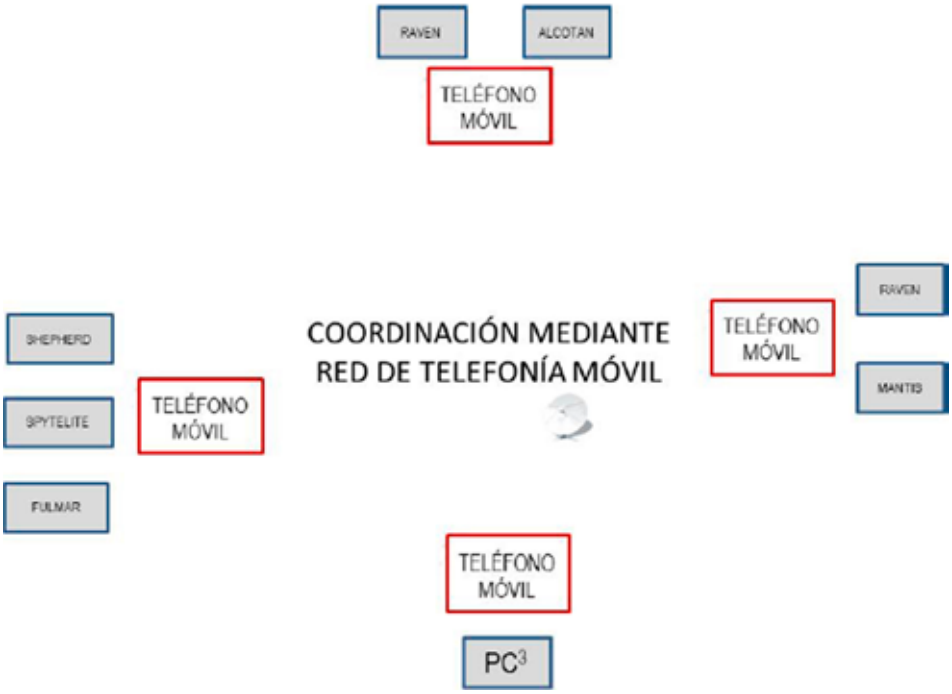


Ilustración 4-5. Arquitectura de comunicaciones alternativa. (Fuente: DGAM)

4.1.4 Segregación del espacio aéreo

Con la finalización del reconocimiento del terreno en donde se iba a ejecutar la operación y con los sistemas seleccionados se procedió al estudio y petición de los NOTAM necesarios para restringir el espacio aéreo en donde los sistemas iban a operar. Para ello se decidió realizar una segregación dinámica del espacio aéreo en la zona de operaciones, para lo que se procedió a la publicación de un NOTAM dinámico. Para ello se segregó el espacio aéreo en siete zonas, una por cada uno de los circuitos a realizar por los sistemas participantes, cada una con su ZOTER y ZOUAS correspondiente.

La distribución de las zonas de trabajo quedó de la siguiente forma:

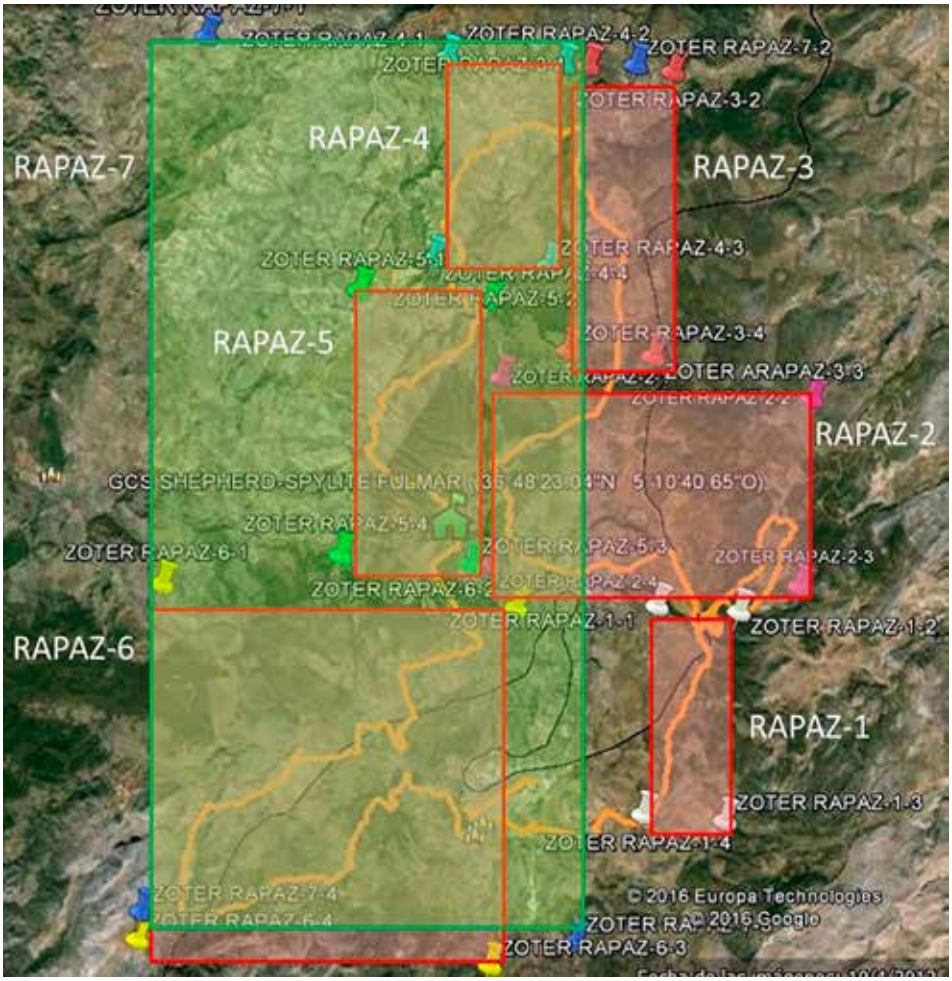


Ilustración 4-6. Zonas de operación de los sistemas participantes. (Fuente: DGAM)

A los espacios aéreos anteriormente descritos se añadió otro más, que a su vez se dividió en dos zonas diferenciadas, ambas situadas en la población de Ronda con el fin de operar el sistema multi-rotor que se empleó para la monitorización del paso de los participantes por esta localidad.

Ilustración 4-7. Zona de trabajo RAPAZ-0A. (Fuente: DGAM)

La coordinación de todos los vuelos se realizó a través del puesto de mando situado en la localidad de Ronda, punto desde el cual se tenía comunicación redundante con todas las GCS de los sistemas participantes a través de sistemas telefónicos. Así mismo se contó con una radio con frecuencia aeronáutica con el fin de escuchar el tráfico en la zona y una línea de comunicación con el ECAO Sevilla.

Ilustración 4-8. Zona de trabajo RAPAZ-0B. (Fuente: DGAM)

4.2 Ejecución

La ejecución de esta fase del proyecto RAPAZ comenzó en las fechas previas a la realización de la prueba de los 101 km de Ronda. Con el fin de garantizar el éxito de la operación y el correcto funcionamiento de todos los sistemas y unidades desplegadas se realizaron dos días de pruebas previas. El despliegue de unidades y sistemas comenzó por tanto el día diez de mayo debido a que los medios de transmisiones que

se emplearon requerían realizar el despliegue de vehículos pesados en los puntos previamente establecidos. Así mismo, durante esa misma jornada se realizó el despliegue del sistema FULMAR debido a la necesidad preliminar que conocer el terreno de despliegue de sus sistemas de catapulta y red. Posteriormente el día once de mayo se realizó el despliegue del resto de sistemas RPAS con el fin de comenzar el día doce las pruebas de integración de todos los sistemas que durarían hasta el día trece.

El día trece se realizaron las pruebas de vuelo de los sistemas, así como las pruebas de integración con el sistema de mando y control utilizado en la pruebas (TALOS).

La programación de los vuelos y las pruebas fue la siguiente:

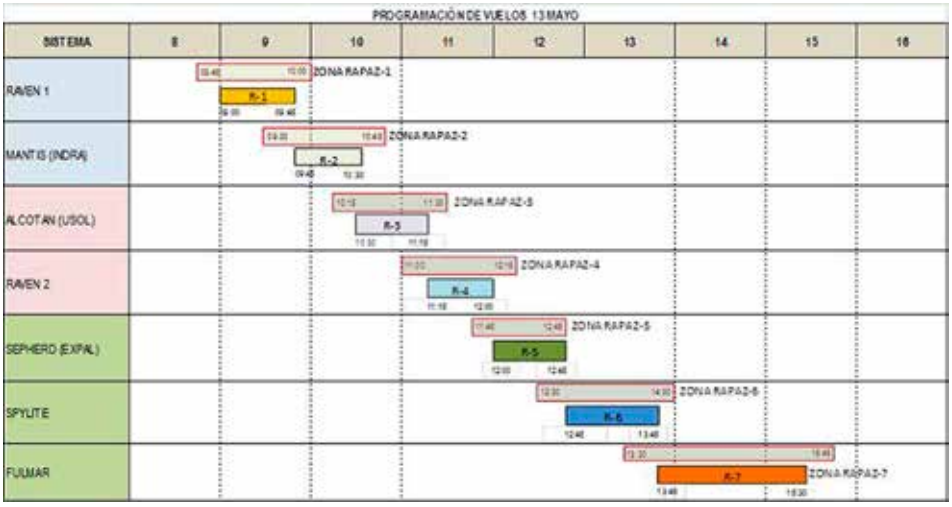


Tabla 4-3. Programación vuelos jornada 13 de mayo. (Fuente: DGAM)

La distribución de los sistemas a lo largo del recorrido fue la siguiente:

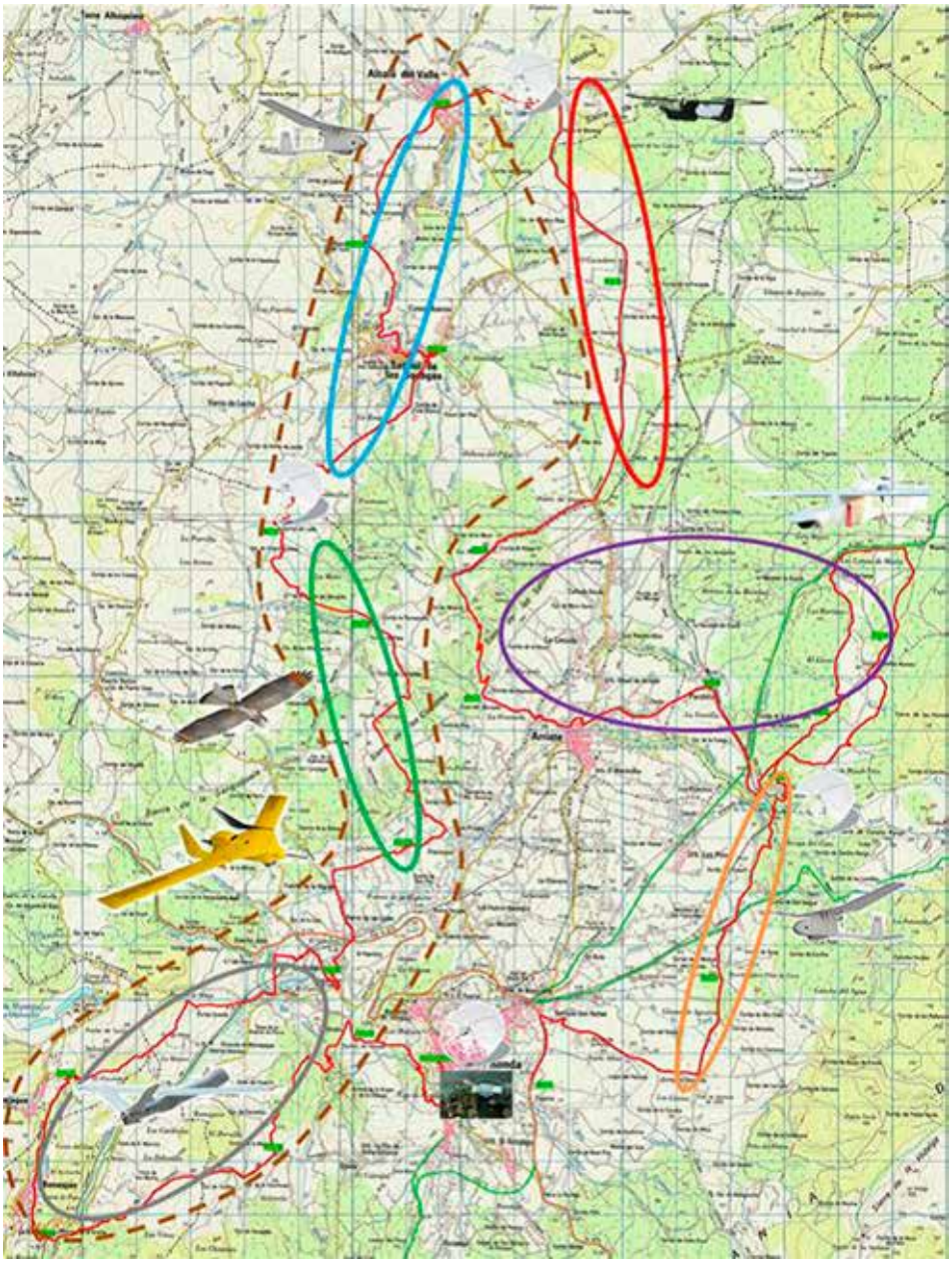


Ilustración 4-9. Distribución sistemas RPAS. (Fuente: DGAM)

Como resultado de las pruebas previas del día trece, debido a un fallo en su planta propulsora, uno de los sistemas causó baja, lo que provocó una reprogramación de la operación y de los itinerarios a ejecutar por el resto de sistemas de RPAS con el fin de cubrir la cobertura aérea que debía proporcionar dicho sistema, quedando la reprogramación de la operación de la siguiente forma:

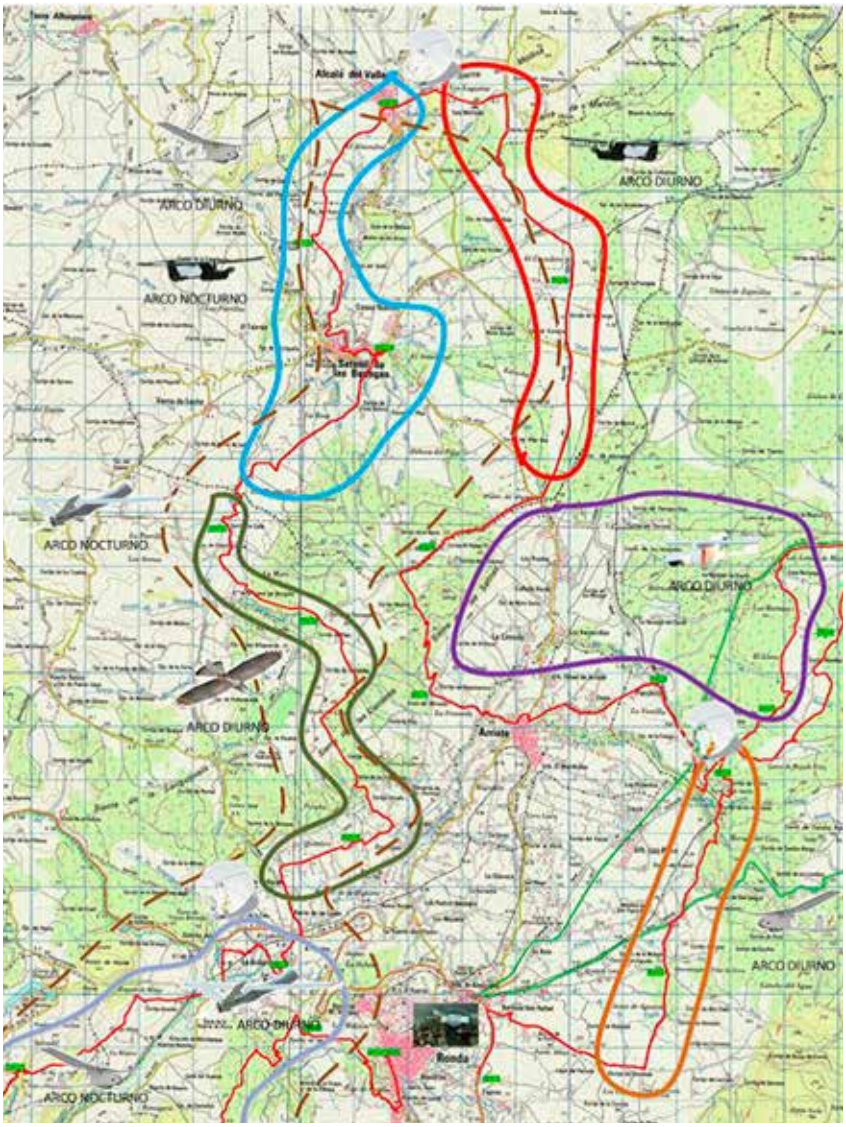


Ilustración 4-10. Reprogramación de la operación. (Fuente: DGAM)

El día 14 de mayo se inició la operación comenzando con la monitorización de la salida mediante el sistema DE820T (PRODETEL-DRONING), este sistema se desplegó en la salida y se enlazó (señal de video) mediante una conexión *modem* de telefonía móvil. Se realizó la monitorización de la salida de los marchadores a pie sin ningún incidente. A continuación, según lo previsto, se inició la operación desde la zona de operación RAPAZ-1 siendo realizada por el sistema RAVEN-1 (BRIPAC). Cuando llevaba dos horas de operación el sistema cayó al suelo (según el análisis preliminar sufrió un ataque de un ave y le daño el estabilizador vertical). El sistema fue inmediatamente localizado gracias al sistema de posicionamiento del RPAS que proporcionó sus últimas coordenadas en vuelo en el momento de caer a tierra, lo que facilitó la búsqueda pese a que por su forma había quedado oculto en la vegetación. Inmediatamente se lanzó otro sistema y se recuperó el accidentado continuando con la operación con normalidad.

Posteriormente inició el vuelo el sistema MANTIS (INDRA) sin ningún incidente reseñable. Tan sólo indicar que debido al aumento del viento en la zona (rachas de viento superiores a 13 nudos) no pudo terminar la operación a falta de 15 minutos según lo planificado.

- El sistema ALCOTAN (USOL) realizó el vuelo diurno indicado sin ningún incidente, y tras el término, el mismo se preparó para operar durante la noche cubriendo 3 horas del arco nocturno.
- El sistema RAVEN-2 (BRILEG) realizó la operación correctamente. Debido a la reprogramación de los vuelos operaron dos (2) horas más de lo establecido inicialmente. Debido a problemas de comunicaciones entre la GCS del sistema y la aeronave, se tuvo que cambiar su canal de comunicaciones, lo que implicó una coordinación con el sistema RAVEN-1 (BRIPAC) para que no utilizaran la misma. El problema se solucionó sin ningún incidente.
- El sistema SHEPHERD (EXPAL) realizó la operación correctamente sin ningún incidente. A continuación debido a la reprogramación de los vuelos el sistema RAVEN-2 (BRILEG), realizó dos (2) horas de vuelo más de lo establecido inicialmente sin ningún incidente.
- El sistema ALCOTAN (USOL), comenzó el vuelo durante el arco nocturno, ejecutando una cobertura aérea de cuatro (4) horas sin ningún incidente.
- El sistema SPYLITE (TRIEDRO) realizó su operación en el arco nocturno sin ningún incidente.

Finalmente el sistema RAVEN (BRILEG) realizó la última operación entre las 6 y 10 horas del día 15 para terminar de cubrir el apoyo.

Todos los detalles de la operación aérea se registraron en un diario de operaciones para poder realizar un análisis posterior.

Es destacable que tanto las tripulaciones de los sistemas, como los propios sistemas, RAVEN-1 (BRIPAC), RAVEN-2 (BRILEG), ALCOTAN (USOL) y SPYLITE (TRIEDRO), se adaptaron en tiempo y forma a las modificaciones de los itinerarios establecidos, realizando la operación con seguridad a pesar de no estar planificados inicialmente para realizar operaciones nocturnas.

También es destacable el hecho de tener en vuelo tres sistemas RPAS compartiendo el mismo espacio aéreo y realizar una operación nocturna en territorio nacional, integrando la información de los sistemas en tiempo real en el centro de situación, además se realizó la incursión en este espacio aéreo de un helicóptero de la Guardia Civil, todo ello perfectamente coordinado y controlado.

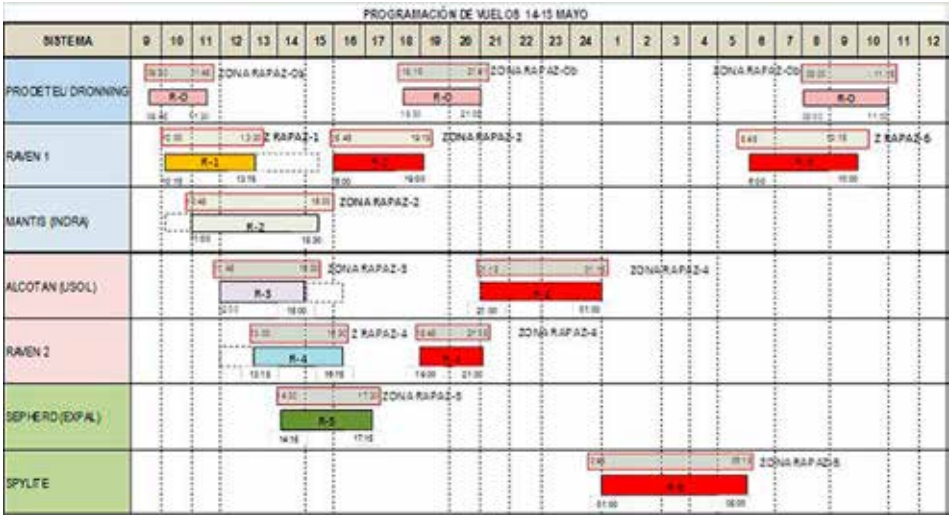


Ilustración 4-11. Programación vuelos día de operación. (Fuente: DGAM)

4.3 Resultados

Como resultados del apoyo proporcionado a la carrera de los 101 Km, cabe destacar que la detección de situaciones de riesgo durante la carrera y su eventual reacción requiere de un planteamiento diferente en el empleo de los RPAS, debido a que la detección desde el aire no depende tanto del tipo de sistema empleado sino más bien de mecanismos de

control de paso que alerten de posibles incidencias y del empleo de los medios aéreos para buscar o verificar una información. En este sentido, en caso de un desvanecimiento de un corredor, en la práctica resulta muy difícil que fuera observado directamente desde el aire, a no ser que suceda justo en el momento en que el sistema esté volando y observando la zona donde se encuentra el corredor. Por ello, el modo de empleo de los RPAS aumenta su eficacia cuando, en virtud a una alerta dada, se orienta los medios para detectar la incidencia y actuar en consecuencia. Este hecho alcanza mayor relevancia cuando el incidente se produce por la noche, y mediante el empleo de cámara térmica o infrarroja se facilita una localización desde el aire.

Otro hecho que destaca en el cumplimiento de los objetivos deriva de la autonomía de los sistemas en relación con la longitud del recorrido. El recorrido de la prueba de 104 Km aproximadamente condiciona el tipo de sistema que debe ser empleado. Lo más adecuado es emplear sistemas con una autonomía de al menos 12 horas, pudiendo así establecer dos fases de empleo: durante el arco diurno y durante el arco nocturno.

Al disponer de sistemas clase I, con una autonomía que oscila entre una y tres horas, y con objeto de disponer de información de los participantes en la prueba durante el máximo tiempo posible, se realizó un estudio que combinó la evolución del flujo de corredores a lo largo del tiempo desde la salida, permitiendo activar el vuelo de los diferentes sistemas y orientándolos hacia las zonas con mayor densidad de corredores, y una división del recorrido por tramos. De esta forma, una activación secuencial de los sistemas permite a la operación disponer de más observación por kilómetro de recorrido, y una mayor frecuencia de paso por cada uno de los tramos de itinerario. No obstante, no se puede realizar un seguimiento personalizado de corredores, sino sólo de manera puntual y de forma aleatoria en uno o varios tramos, al no disponer de referencia en el PC de la posición de cada corredor.

4.3.1 Madurez de los sistemas y capacidad industrial

Las empresas españolas del sector RPAS avanzan notablemente mejorando sus desarrollos continuamente alcanzando casi en su totalidad los cometidos asignados en la operación dentro de las limitaciones de cada aeronave.

Si bien se detectan ciertas carencias en algunos sistemas, aún en fase de desarrollo, la mayor parte de ellas derivan del uso/misiones que se

asigna al sistema y no a sus capacidades técnicas. Las mayores carencias detectadas afectan a la capacidad de las cámaras para la identificación de objetivos, no así a sus capacidades de reconocimiento que todos los sistemas cumplen notablemente.

Después de las pruebas previas realizadas y de la operación de apoyo a los 101 Km de Ronda se han obtenido las siguientes conclusiones en lo referente a los sistemas civiles que participaron en la evaluación.

Como conclusión general de las pruebas realizadas se sigue demostrando que los sistemas cuyo MTOW es mayor de 20 Kg necesitan un desarrollo más elaborado y complejo, si bien es cierto, que la operación de estos sistema dentro del ámbito civil para realizar pruebas en entornos operacionales no está al alcance de las empresas, ya que AESA no permite la realización de estos vuelos.

Se considera por tanto, que resulta necesario seguir apoyando a la industria, facilitando escenarios de operación dentro del «paraguas» que proporciona el empleo de la normativa militar, para que se pueda seguir desarrollando y probando los sistemas con objeto de identificar posibles problemas y depurar desarrollos que a priori parecen encontrarse más maduros para operar.

4.3.2 Conclusiones/recomendaciones

El empleo de RPAS con integración de la señal de todos los sistemas en un centro de situación de la organización de la prueba, ha permitido el seguimiento de la misma durante las 24 horas de su duración, en tiempo real, y la toma de decisiones en provecho de la propia organización. Para ello se ha integrado las señales de telemetría y video de todos los sistemas en un solo mapa de situación digital que reflejaba la evolución del flujo de corredores y la posición de los RPAS en vuelo, integrando la imagen obtenida por las cámaras de las plataformas en vuelo. Se considera clave que la integración se realice en un sistema CIS que disponga de un SITMAP único y que permita volcar toda la información de medios aéreos y terrestres en tiempo real.

- Ha permitido validar el estado del arte de los sistemas nacionales en un ambiente real y táctico, como continuación del proyecto RAPAZ para el año 2016, que establece una evaluación descentralizada de los diferentes sistemas evaluados por los CC.GG., durante la primera fase del proyecto desarrollada en el 2015. En este sentido, el fallo de ope-

ración de uno de los sistemas participantes no afectó a la operación al disponer de planes alternativos. Se considera por tanto, la necesidad de establecer un planeamiento en detalle que contemple planes alternativos para casos como el descrito.

- Queda demostrada la importancia de disponer de sensores giroestabilizados para permitir un análisis de la señal en tiempo real con la suficiente calidad y nitidez.
- La participación de diversas empresas en la operación, les ha permitido probar sus medios en un escenario real con vuelos diurnos y nocturnos, empleando un espacio aéreo segregado y compartido con otras aeronaves, hecho que actualmente no está al alcance dentro del marco civil de operaciones con RPAS, lo que permite impulsar el desarrollo y la confianza de estos sistemas de cara a una futura adquisición para su empleo por las FF. AA.
- Ha permitido a la organización disponer de un mecanismo de alerta, seguimiento y reacción en tiempo real en caso de haber surgido algún incidente durante la prueba, lo que ha aumentado el grado de seguridad de la misma.

SOPT

SISTEMA DE OBSERVACIÓN Y PROSPECTIVA TECNOLÓGICA

5 TECNOLOGÍA ANTI-RPAS

5 TECNOLOGÍA ANTI-DRON

Como hemos visto en los capítulos anteriores los RPAS no paran de ofrecer continuas y mejoradas capacidades en zonas de conflicto, escenarios de combate y riesgos terroristas, pero por otro lado la demanda de sistemas no tripulados continúa aumentando, a lo que hay que añadir las pocas o nulas barreras de entrada para adquirir un sistema, esta proliferación ha provocado que los RPAS supongan una amenaza para la seguridad tanto de personas como infraestructuras.

A continuación se describen las amenazas que suponen y las posibles formas de detectarlos y neutralizarlos.

5.1 Alcance

No debe descartarse que el reducido coste, la facilidad de adquisición y la dificultad de localización de los operadores responsables de su uso, hacen que estos sistemas resulten muy atractivos para actividades delictivas. Actualmente, las más usuales son actividades relacionadas con la violación de la privacidad, violación de espacio aéreo, espionaje industrial, etc.

Los siguientes capítulos se orientan fundamentalmente al análisis de los riesgos que pueden implicar y los sistemas para combatirlos. Los sistemas clase II y III de mayor tamaño y velocidad, así como los sistemas de detección y combate, entran en el campo de la defensa anti-aérea clásica y no serán discutidos en este trabajo.

A continuación, se describirán y analizarán los distintos subsistemas a bordo de los RPAS que puedan ser susceptibles de ser «atacados» por un sistema anti-RPAS, por último, se expondrá la tipología de las amenazas que un RPAS puede suponer para la seguridad de las personas y cosas.

5.2 Vulnerabilidades de los subsistemas embarcados en un RPAS

En este apartado, se analizarán de forma general, los diferentes subsistemas y componentes de los RPAS, necesario conocer su potencial así como conocer la evolución de estos sistemas y las líneas tecnológicas sobre las que evolucionan con el fin de conocer sus principales vulnerabilidades.

Todos estos sistemas no tripulados, evolucionan permanentemente en la búsqueda de una mayor protección y fiabilidad de su funcionamiento, ante amenazas externas. Tanto para evitar daños al sistema, como para que puedan ser capturados por el enemigo, con las connotaciones que esto supone.

5.2.1 Interoperatividad y modularidad

Los sensores y la tecnología de armas, evoluciona rápidamente, como sucede con el desarrollo de algoritmos y *software* de procesamiento, a tal efecto. Dichos avances, superan en volumen y tiempos, a las distintas instituciones internacionales de defensa para su actualización, pero mucho más aún, supone una enorme dificultad para el desarrollo de sistemas que puedan detectar o neutralizar dichos RPAS.

La gran cantidad de sensores que existen actualmente, sistemas de comunicaciones y sistemas de armas, está evolucionando continuamente debido a procesos comerciales y a la evolución de la tecnología electrónica. Esto ha llevado a que los principales contratistas ofrecen plataformas modulares, que a su vez gozan de una inter-operatividad completa. Fuera de cualquier análisis de logística, mantenimiento o adquisiciones, y dentro del objetivo del presente documento, esto hace mucho menos vulnerables a los sistemas. La inexistencia de sistemas cerrados, como en el caso de los RPAS de aplicación civil o industrial, implica dificultades adicionales para su detección o neutralización.

5.2.2 Sistemas de comunicación

Estos sistemas son uno de los principales desafíos de los sistemas no tripulados, debido a la asignación del espectro de frecuencias ya de por sí saturado y la resistencia de todos los subsistemas de RF frente a interferencias. Desde los sistemas no tripulados que utilizan como medio de comunicaciones, el cable, pasando por los sistemas RF y llegando a los

sistemas de comunicación por láser, todas las arquitecturas de red de comunicación operativa OV-1, sufren deficiencias de infraestructura que producen problemas específicos que desembocan en vulnerabilidades que debemos considerar para desarrollar sistemas de defensa ante los RPAS.

Algunas de estas vulnerabilidades producidas por los actuales sistemas de comunicaciones, son:

- Deficiente o mala conectividad global. Capacidad insuficiente para distribuir globalmente datos dentro del ancho de banda de las plataformas no tripuladas, como por ejemplo el video en «tiempo real» o FMV y principalmente a usuarios estratégicos, operacionales y tácticos.
- Alto coste de las redes de satélites. Para poder disponer del ancho de banda que permita comunicaciones de video con el sistema no tripulado en tiempo real, se precisa de complejas redes de satélites, como por ejemplo los DISA (SATCOM o COMSATCOM). Esto obliga a utilizarlas solo con algunos sistemas no tripulados, siendo controlados en su mayoría desde sistemas terrestres directamente o a través de unidades repetidoras. Todos estos últimos sistemas, permiten disponer de mayor número de opciones para su detección previa y por tanto para su neutralización.
- Infraestructuras *stovepipe*. La mayor parte de los sistemas de comunicaciones para RPAS avanzados, se basan en esta infraestructura o similar. Dicha infraestructura se basa en pasarelas para *beyond-line-of-site* (BLOS) para las comunicaciones y acceso a infraestructuras de redes terrestres. Dichos sistemas no tienen la misma inter-operatividad que los SATCOM y además tienen mayor número de opciones de detección y acciones de neutralización.
- Intercambio de información bajo. La mayor parte de los sistemas, emplean un procesamiento dedicado de explotación y difusión para los datos de misión, algo que impide el intercambio eficaz de datos entre los sistemas, servicios y organizaciones. Nuevamente bajo este punto de vulnerabilidad se puede detectar, y neutralizar la conexión entre el sistema no tripulado y las infraestructuras terrestres, pudiendo neutralizar o recuperar dicho sistema, como ya ha sucedido en alguna ocasión.
- Sistemas de redes. En su mayoría, los sistemas militares, utilizan el núcleo DISN como su infraestructura de línea base para redes terrestres y su conectividad global. Sin embargo, siguen produciéndose problemas de *jitter* y latencia, inherentes a un sistema que se basa en una

IP, Cuestiones como el *buffering* descubierto en los sistemas no tripulados, puede causar la pérdida de datos e incluso la imposibilidad de detectar una intrusión en el sistema. DISN está desarrollando sistemas que proporcionan una seguridad superior ante la pérdida de paquetes de extremo a extremo, entre los sensores más sensibles del vehículo no tripulado.

- Sistemas MIMO. Los sistemas *Multiple-Input, Multiple-Output*, son una tecnología muy probada pero que resulta inapropiada para sistemas no tripulados avanzados, por su vulnerabilidad. Actualmente se utiliza en múltiples sistemas civiles o comerciales para uso industrial/profesional.

Esta tecnología, se aplica bajo sistemas de cuarta generación en sistemas no tripulados, con velocidades de vuelo o desplazamiento inferiores a 30 nudos. El ancho de banda eficaz es de 300 bps, con codificación de corrección de errores. Estos sistemas son muy vulnerables a los perturbadores (en inglés *jammers*) aun cuando se han incorporado en los últimos años, nuevas interfaces que incorporan protocolos con redes de malla *self-forming* y *self-healing* que les permiten operar en redes multisensor y multiplataforma.

- Comunicaciones ópticas. La aplicación del láser en las comunicaciones de los sistemas no tripulados, aun no siendo una tecnología usual debido a su alto coste, proporciona un blindaje frente a contramedidas electrónicas de perturbación. En su favor, además, se obtienen enlaces aire-tierra con velocidades de 100Mbit/s reales con distancias de 100 km, dependiendo de las condiciones meteorológicas. Sus inconvenientes proceden de el alto coste de la tecnología, la cantidad de energía necesaria en el RPAS para alimentar el sistema de comunicaciones, la dificultad de mantener apuntado en el objetivo un haz muy estrecho del láser y finalmente el apantallamiento de la atmósfera. Esto ha dejado esta tecnología disponible básicamente para el Global Hawk, Boeing Phantom Eye y el X-37B. En la actualidad este sistema se implemente mediante un sistema híbrido, óptico/RF con un enlace aire-aire de hasta 200 km - [3 a 6 Gb/s] y aire-tierra >130 km (oblicuo) – [3 a 9 Gb/s], entre punto-punto del enlace de comunicaciones.

Este sistema tiene una extraordinaria dificultad para localizar el RPAS por carecer de emisión de radiofrecuencia (RF) y además no admite acciones de interferencia salvo la utilización de otro láser y un *jammer* simultáneos

para apantallar su línea de comunicaciones. Estos RPAS deberán ser detectados y neutralizados por otros métodos.

- Navegación. Todos los sistemas no tripulados, utilizan el GPS en cualquiera de sus variantes para su auto-localización y junto con sensores giroscópicos y acelerómetros, introducir los datos precisos en el sistema de autopiloto. Básicamente por esta vía, tanto RPAS comerciales como militares, estos últimos con alguna dificultad añadida, pueden ser neutralizados por una anulación de este sistema e incluso pueden ser manipulados por un sistema defensivo para recuperarlos o para expulsarlos de un área controlada.

Sin embargo, y dado que este es posiblemente, el mejor método para neutralizar un RPAS, se han desarrollado en DARPA, nuevos sistemas de navegación inercial de precisión (PINS II), a través de interferómetros atómicos que controlan los estados cuánticos de las capas más exteriores de átomo. Este avanzado sistema permite medir con ultra-precisión, las fuerzas que actúan sobre la materia, incluidos acelerómetros de alta precisión y giróscopos atómicos. Este sistema se ha probado a finales de 2014 y se ha obtenido una precisión, tras 18 horas del 99,87 % respecto a un GPS de precisión. Dicho sistema puede ser utilizado en sistemas no tripulados, aéreos, terrestres o marinos, incluidos sistemas subacuáticos y misiles.

Como única desventaja por el momento, su tamaño y peso. Solo permite ser utilizado en grandes sistemas por sus casi 20 litros de volumen. En su favor, no depende de la tecnología de satélites para posicionar el sistema, y no pude ser interferido de forma alguna, siendo el sistema autónomo en su desplazamiento y solo neutralizable de forma física.

En resumen, las actuales infraestructuras de comunicación, de grandes sistemas no tripulados (con excepción de sistemas bajo SATCOM o COMSATCOM y comunicaciones ópticas), son propensas a una enorme redundancia de esfuerzos para protegerlas, carece de inter-operatividad y resulta posible inhibir la distribución de los datos del sistema no tripulado hacia las estaciones terrestres.

Obviamente esto resulta tanto más sencillo, cuanto más reducimos el nivel tecnológico y coste, hasta llegar a los sistemas de uso civil o industrial (profesional).

En la actualidad, se están desarrollando sistemas de comunicaciones OV-1 y C4, con mejoras muy importantes en las infraestructuras de co-

municaciones, con sistemas multiplexados, multicanal y multinivel para la transferencia de la información. Estos sistemas, dificultarán los accesos a los *routers* la neutralización simultánea de los canales de comunicación a varios niveles, protegiendo de *jammers* y ciberataques.

5.2.3 Sistemas de propulsión

Existen múltiples sistemas de propulsión que son incorporados por los contratistas para la continua mejora de prestaciones de sus sistemas, más autonomía, velocidad, empuje/potencia y reducción de la huella térmica, acústica y electromagnética. Pueden dividirse en los siguientes grupos:

- Propulsión eléctrica. Los enormes avances en el desarrollo de motores eléctricos de bajo consumo y altas prestaciones, así como en las «pilas de combustible» (hidrógeno y alcohol directo), han permitido que este método de propulsión sea el más difundido entre los RPAS. Principalmente para uso civil mediante baterías recargables. Desde sistemas con multi-rotores, helicópteros y aviones con impulsores en cola, en el morro y en las alas, este método de propulsión resulta el más silencioso, aunque limita sensiblemente el *payload* y obliga a una elevada sustentación por la baja velocidad de desplazamiento. Esta tecnología podría evaluarse a nivel de detección y neutralización como:
    - Baja velocidad de desplazamiento. Objetivo fácil de abatir o mantener dentro de un campo RF, electromagnético para neutralizar sus sistemas de comunicaciones.
    - Bajo *payload*. Esto dificulta llevar sistemas de armas o cargas explosivas.
    - Elevada huella electromagnética. Fácil detección mediante la huella electromagnética inducida por sus motores eléctricos y sistemas de alimentación.
    - Huella acústica. No producen más ruido que los RPAS con motores de combustión, sin embargo, el ruido que producen resulta peculiar y fácilmente diferenciable incluso en ambientes urbanos, mediante sistemas de detección apropiados.
    - Sensibilidad EMP. Resultan muy vulnerables ante potentes sistemas generadores de impulsos electromagnéticos, tanto de acción directa como mediante microondas. Estos sistemas inducen picos de alta tensión en los sistemas eléctricos del RPAS, que a lo sumo podrá proteger de forma básica en sus sistemas de comunicaciones, pero resulta imposible proteger sus motores sin añadir una masa

desproporcionada al RPAS. Esto les hace totalmente vulnerables a este sistema de neutralización.

- Propulsión por motores de combustión. Comercialmente su uso se aplica mayormente a RPAS de aplicación militar. Motores de dos tiempos: tecnología obsoleta pero muy difundida por su sencillez y bajo coste para la fabricación de motores de pequeño tamaño con aplicaciones aeronáuticas. Estos motores producen una curva de par muy brusca y tienen un consumo superior a otras tecnologías más modernas. Mejoran sustancialmente el *payload* del RPAS con relación a la propulsión eléctrica y tienen velocidades de desplazamiento notablemente más altas. Motores de 4 tiempos: tecnología más moderna, mejor rendimiento y curva de pares más adaptable. Menos consumo, menor ruido y más sofisticada sonorización y control a distancia de los parámetros físicos del motor. Esta tecnología podría evaluarse a nivel de detección y neutralización como:
    - Huella acústica elevada. El nivel de ruido que producen estos motores resulta elevado y fácil de detectar en campo abierto. Sin embargo, el perfil de su onda acústica se mimetiza sensiblemente en ambientes urbanos ruidosos, siendo compleja su detección.
    - Huella térmica elevada. Como resulta obvio, tanto el propio motor como el sistema de escape y colector, producen una huella térmica que puede ser detectable a distancias importantes, pero siempre dentro del campo visual.
    - Baja huella electromagnética. Resulta muy difícil detectar su huella electromagnética. Solo sus sistemas de elevadores de tensión para las bujías pueden marcar algo dicha huella, pero resulta muy fácil apantallarlo y actualmente ya se hace en RPAS de uso militar.
    - Sensibilidad al EMP. Estos sistemas de propulsión pueden neutralizarse mediante un potente EMP. Dicho sistema induce un pico de tensión que daña los sistemas eléctricos que alimentan el motor, parando la fase de combustión del mismo. Sin embargo, comparativamente con la tecnología de propulsión eléctrica, se precia mucha más energía para neutralizarlo.
    - Techo de vuelo. Los motores de combustión, como los mencionados, tienen una clara limitación en sus techos de vuelo (pérdidas de potencia por falta de oxígeno), que les hace más fácilmente detectables que otros RPAS que utilizan motores eléctricos con plantas de potencia de hidrógeno para vuelo a gran altitud, además de los que utilizan turbinas como tecnología de propulsión.

- Tecnología de turbinas de reacción. Este método resulta mucho más costoso que cualquier otro de los mencionados y reduce enormemente el número de plataformas que hacen uso de él. Como ventajas, su techo de vuelo, aceleración, velocidad de vuelo, comportamiento dinámico, autonomía y *payload*. Como desventajas, el nivel de ruido, tamaño, coste y mantenimiento.
  - Huella acústica elevada. El nivel de ruido que producen estos motores resulta elevado y fácil de detectar en campo abierto y zona urbana, aunque su vuelo a baja cota, debido a su alta velocidad y tamaño no le hacen ser operativo en ambientes urbanos.
  - Huella térmica elevada. Producen una huella térmica que puede ser detectable a distancias importantes.
  - Baja huella electromagnética. Reducida huella electromagnética. Las tecnologías desarrolladas para los aviones de combate y de espionaje, son aplicadas en estos RPAS.
  - Sensibilidad al EMP. Son claramente sensibles a los EMP y microondas, sin embargo, su zona de vuelo, tan alejada del suelo, les deja fuera del rango de acción de dichos sistemas.

5.3 Sistemas no tripulados, como armas

La teoría del dominio de las armas aéreas, no es algo nuevo, pero hasta la fecha de su primera aplicación, quedaba limitado a unos pocos por la tecnología necesaria y la defensa aérea enemiga (SEAD), donde los objetivos pueden ser claramente identificados y perseguidos con radares.

Hasta la fecha, los sistemas que se incluían en este apartado, eran básicamente misiles y bombas o municiones dirigidas. A lo sumo, misiles de ataque de precisión, con cámaras de control y dirección pero que precisaban de marcadores IR.

Sin embargo, actualmente se están desarrollando sistemas de armas mediante RPAS, como arma estándar o como pequeñas armas fungibles, equipados con sensores de imagen, como los LOCAAS (*Low Cost Autonomous Attack System*) y que operan como enjambres de «municiones inteligentes». Los LOCAAS pueden ser dirigidos o pueden buscar de forma autónoma y destruir objetivos móviles o estáticos, limpiando zonas de combate. Las mejoras realizadas en estos sistemas, permiten reconducir o reasignar objetivos durante la misión, pero básicamente

son autónomos. Integran los LOCAAS en un RPAS de mayor tamaño, que puede ser un misil crucero SMACM o similar, con hasta 8 unidades LOCAAS, capaces de perseguir blancos fijos y móviles.

5.3.1 Enjambres de RPAS

Es necesario considerar la posibilidad de que, dados los enormes avances realizados en sistemas RPAS civiles los avances tecnológicos se encaminan a permitir que los sistemas autónomos se relacionen entre sí, estos puedan adoptar una coordinación de escuadrón o enjambre que dificulte exponencialmente las posibilidades de neutralización y multipliquen las capacidades para producir daños a personas o instalaciones.

Debe considerarse que un RPAS de 3.000 € puede llevar 1 kg de explosivo, si este sistema puede interrelacionarse con «n» sistemas más, para coordinar un ataque, los daños pueden ser muy importantes y los sistemas de defensa, tanto por detección como por neutralización tienen que estar preparados para este tipo de amenazas.

En este sentido hay multitud de iniciativas de I+D+i enfocadas a que los RPAS puedan trabajar «en equipo» así como con otros sistemas ya sean terrestres o marítimos generando enjambres de UXV.

Dentro del campo civil y en fase final de pruebas, el MIT, ha desarrollado algoritmos matemáticos para establecer una coordinación entre múltiples RPAS con un objetivo común. De forma totalmente autónoma. El algoritmo denominado Dec-POMPDPs, permite que sistemas autónomos puedan realizar acciones conjuntas, pero también permite que un único RPAS, reciba información de la localización de su objetivo y de forma autónoma elija su recorrido, modificándolo en tiempo real dependiendo de cuestiones como, fenómenos climatológicos, detección de amenazas, tráfico excesivo, etc.

En el ámbito militar instituciones como DARPA y la ONR están desarrollando programas de I+D+i encaminados a formar *swarms* de sistemas no tripulados.

Tanto dentro del campo civil, pero más aún en el militar, los sistemas anti-RPAS deberán estar preparados para enfrentarse a amenazas altamente coordinadas de grupos de RPAS que por sí mismos son armas, no portadores de armas.

5.4 Tipología de la amenaza

5.4.1 Actividades molestas

El uso ilegal menos peligroso de un RPAS es la interferencia con el público en general. Las personas tienen derecho a no ser molestadas en su ámbito personal dentro o fuera de sus propiedades. Este derecho está recogido en el derecho civil. Una violación más grave es la intrusión de un RPAS en la propiedad de una persona, este caso afecta no solo al derecho civil, sino también al penal.

Estudios recientes han demostrado que el vuelo cercano de un RPAS puede producir stress en personas y animales. Por otra parte, los drones pueden provocar miedo o afectar negativamente a la percepción de un individuo en relación a su propia seguridad.

5.4.2 Interferencia del espacio aéreo

Los RPAS presentan una amenaza real para la seguridad del espacio aéreo. A día de hoy ya se han registrado decenas de informes de accidentes entre aviones y RPAS operados ilegalmente en las cercanías de aeropuertos de todo el mundo

Además de interferir con las operaciones de aviación normales, los RPAS también han producido accidentes con helicópteros de salvamento, aviones de extinción de incendios, entre otros.

Cualquier RPAS en el aire crea una amenaza de colisión con aeronaves y puede afectar negativamente a las operaciones normales y de emergencia de la aviación. Es concebible que terroristas o criminales podrían emplear RPAS en sus operaciones ilegales o para interrumpir las labores de la policía, aduanas, bomberos u otros servicios.

5.4.3 Monitorización

Una de las actividades ilícitas más frecuente y que constituye una importante preocupación entre el público en general, las empresas y los responsables de la seguridad es la monitorización sigilosa y anónima que puede realizarse empleando un sistema no tripulado.

Los particulares y sobre todo los personajes públicos, pero también las empresas pueden ser monitorizados, grabados o fotografiados en sus actividades privadas. El material obtenido puede ser utilizado posteriormente con fines ilícitos en diversas actividades delictivas, incluido el espionaje industrial.

5.4.3.1 Vigilancia

Con la disponibilidad actual de RPAS para el ocio o para actividades civiles, altamente automatizados, capaces no solo de grabar sino también de seguir de forma autónoma a un sujeto, actualmente cualquiera puede disponer de una plataforma de vigilancia aérea con cámaras de alta resolución. Cada vez son más los casos de personas que han denunciado que han sido vigilados, u observados, ellas mismas, sus familiares o sus propiedades.

Aunque esta actividad es ilegal, las leyes actuales no están adaptadas aun a esta nueva situación y además es muy difícil probar o demostrar dichas acciones.

5.4.3.2 Reconocimiento

El reconocimiento es un paso más en la actividad de vigilancia e implica la recogida de información de personas o cosas que puede ser sensible y que puede ser utilizada con fines ilícitos.

Entran dentro de estas actividades, el espionaje industrial y las actividades de delincuentes o terroristas recogiendo información sobre las actividades de personas, de agentes de vigilancia e incluso de la policía y otros cuerpos de seguridad del estado, asimismo de instalaciones, empresas o de edificios oficiales e infraestructuras críticas.

En el ámbito militar estas actividades son fundamentales para disponer de información de inteligencia del enemigo y sus unidades o instalaciones.

En resumen, los RPAS tienen la capacidad de realizar labores tanto de vigilancia como de reconocimiento. Tales acciones ilícitas de monitorización pueden permitir a criminales o terroristas evaluar vulnerabilidades en infraestructuras críticas, edificios oficiales, así como de empresas y también de los propios ciudadanos.

5.4.4 Amenaza cinética / kamikaze

Incluso sin armamento, un RPAS es capaz de causar daños o lesiones a las personas o a las propiedades debido a las altas velocidades que son capaces de alcanzar, especialmente los de ala fija, estos sistemas alcanzan con relativa facilidad velocidades superiores a los 70 Km/h lo que supone no solo un riesgo sino también una posible amenaza.

Mientras que muchos accidentes de RPAS son probablemente casuales, existe el riesgo de que también puedan ser utilizados de forma ilícita contra personas o propiedades con el ánimo de causar daños.

5.4.5 Carga útil. Tráfico ilegal, contrabando

Los RPAS también pueden ser utilizados como vehículo de transporte para el contrabando y el tráfico ilegal. El uso de estas plataformas permite a terroristas o delincuentes eludir las barreras de seguridad tradicionales tales como vallas, paredes o muros, así como sistemas de vigilancia fronteriza más modernos como pueden ser radares, sistemas EO/IR…

La dificultad que actualmente existe a la hora de detectar a estos sistemas provoca que sean empleados en intrusión recintos altamente custodiados como los casos de utilización de RPAS en prisiones para suministrar drogas, teléfonos móviles, e incluso armas, así como el empleo por parte de narcotraficantes y contrabandistas de estos sistemas en áreas fronterizas como medio de transporte de diferentes mercancías.

Estos usos están generando nuevos escenarios para las unidades de vigilancia fronteriza así como los cuerpos de aduanas generando en estos nuevos procedimientos y metodologías para combatir esta nueva forma de delincuencia.

5.4.6 UAS armados

El uso de RPAS como portadores de armas, explosivos, diseminadores de sustancias nocivas o agentes biológico e incluso nucleares es un enorme riesgo que está provocando una gran discusión entre los expertos.

Una de las más importantes dudas es como combatir este tipo de amenazas, dado que su destrucción podría provocar la activación de los dispositivos que porta. Cualquier sistema anti-drone deberá tener en cuenta este riesgo y deberá implementar sistemas que permitan detectar o prever este hecho durante la toma de decisiones.

5.4.6.1 Armas letales y no letales

Aunque los sistemas no letales no suelen asociarse con actividades criminales, sino más bien con las policiales y de fuerzas de seguridad, existen ya RPAS que integran armas no letales.

La integración de sistemas no letales como lanzadores de balas de goma, gases lacrimógenos o sistemas TASER ya está en marcha. En marzo de 2014, la compañía americana CHAOTIC MOON integró un TASER de 80.000 V en un RPAS y realizó una demostración pública disparándolo sobre una persona. El sistema denominado CUPID (*Chaotic Unmanned Personal Intercept Drone*) fue controlado por medio de un teléfono inteligente. El sistema está actualmente en desarrollo para añadirle mayores capacidades.

Naturalmente, no es descabellado especular sobre la utilización de sistemas similares por delincuentes o terroristas quienes podrían acceder fácilmente a estos sistemas por vía comercial o incluso por fabricación propia.

Otro tanto podría decirse de la integración de armas letales como pistolas u otras armas de fuego, incluso pequeños misiles, aunque estas integraciones requieren un conocimiento tecnológico mayor y acceso a ese tipo de armamento.

Evidentemente, grupos terroristas de nivel internacional pueden tener acceso a dichas tecnologías por lo que este tipo de amenaza tendrá que ser tenida en cuenta.

5.4.6.2 IED´S, EXPLOSIVOS

El uso de RPAS como un sistema portador de artefactos explosivos improvisados (IED), dispositivos incendiarios, etc., es uno de los riesgos más importantes. En los últimos años, los grupos terroristas han demostrado gran capacidad en la elaboración rudimentaria de dispositivos explosivos operados a distancia. La idea de integrar este tipo de dispositivos en RPAS es algo evidente y ya se han dado varios casos en el mundo, ejemplo de dicha utilización.

5.4.6.3 ATAQUES NBQR

Lo mismo puede decirse de la integración de diseminadores o aerosoles de sustancias químicas, biológicas, radiológicos y nucleares.

Estos sistemas pueden causar bajas masivas sin la necesidad de un vuelo de precisión y tienen una dificultad añadida a la hora de su neutralización. Dada su naturaleza, su destrucción podría provocar el efecto deseado por el terrorista que la utiliza.

5.4.6.4 Ataques electrónicos

Particularmente novedosa es la utilización de RPAS para cometer un ataque electrónico o robo electrónico.

El RPAS «Snoopy» de la empresa SensePost puede equiparse para «pinchar» digitalmente la señal de un teléfono inteligente y disponer de acceso a la información personal contenida en el dispositivo. Cualquier dispositivo con Wi-Fi puede ser vulnerable al sistema «Snoopy». El sistema es capaz de suplantar una red Wi-Fi de confianza e incluso rastrear la ubicación del teléfono.

Evidentemente este tipo de tecnologías resulta de interés para delincuentes que podrían utilizarlo para el robo de identidad, el chantaje, el espionaje corporativo, o cualquier otra actividad ilícita.

SOPT

SISTEMA DE OBSERVACIÓN Y PROSPECTIVA TECNOLÓGICA

6 CONCEPTO DE SISTEMAS ANTI-RPAS

6 CONCEPTO DE SISTEMAS ANTI-DRONE

En la figura inferior puede observarse puede observarse la arquitectura conceptual de un sistema anti-drones. Es evidente la similitud con un sistema anti-aéreo convencional. La diferencia con este tipo de sistemas se encuentra en las distintas características tanto de los sensores y los efectores o sistemas de armas.

En los párrafos siguientes se analizarán con detalle las tecnologías aplicables a ambos subsistemas.

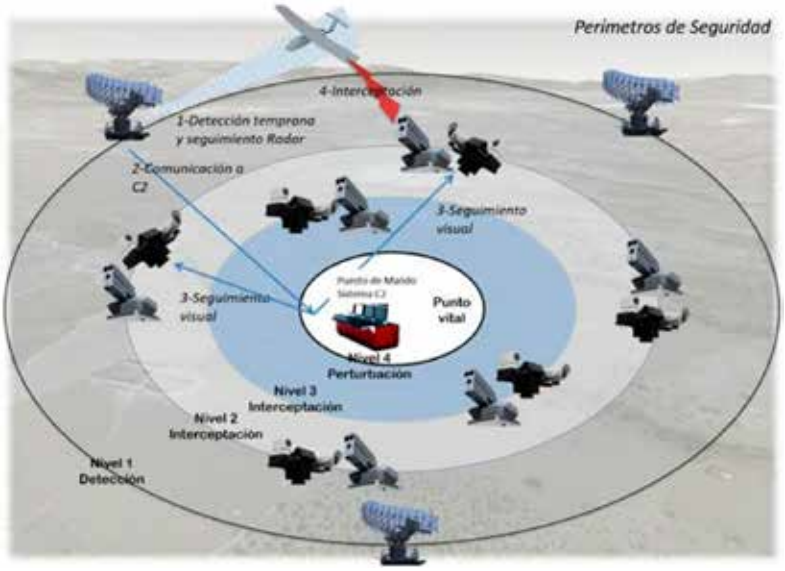


Ilustración 6.1 Concepto de Sistema Anti-RPAS. (Fuente: DGAM)

SOPT

SISTEMA DE OBSERVACIÓN Y PROSPECTIVA TECNOLÓGICA

7 TECNOLOGÍAS PARA LA DETECCIÓN

7 TECNOLOGÍAS PARA LA DETECCIÓN

Para determinar las tecnologías posibles, utilizables para la detección de estos sistemas, partimos de los fenómenos físicos siguientes:

- Huella acústica.
- Huella térmica (radiación térmica).
- Sistemas de visión artificial con reconocimiento combinado.
- Reflexión por radar.
- Campo electromagnético generado (por los sistemas de comunicaciones o inducido por sus motores eléctricos).
- Reflexión de fotones.

Según estos fenómenos físicos y bajo la restricción de tecnologías disponibles, los métodos de detección podrían ser:

7.1 Huella acústica

Las tecnologías actuales de detección de la huella acústica del RPAS, pasan por un conocimiento de la firma acústica, según los tipos de tecnología que lo generan. Para ello se precisan de extensos estudios y ensayos que permitan obtener dichas huellas acústicas, y complejos algoritmos que permiten detectar de forma inmediata el sistema. Estos sistemas de detección trabajan mediante una matriz de sensores, distribuida específicamente para cubrir un área muy concreta, o en los sistemas más avanzados se utilizan sensores direccionales capaces de orientarse en la dirección de máxima intensidad de la onda y que permiten detectar el sistema a mayor distancia. La primera configuración está dirigida a proteger zonas urbanas, áreas de uso civil, la segunda configuración está dirigida a usos militares y zonas de operaciones.

Las líneas de armónicos generados por los RPAS tienden a estar inmóviles, así que la dirección constante permite estimar el tiempo de llegada. Por otro lado, se puede determinar con claridad si el RPAS es de propulsión eléctrica o de combustión.

Tras un número limitado de pruebas en las cuales los RPAS volaron a velocidades constantes directamente sobre la dirección del sensor, las elevaciones fueron estimadas en CPA con un error menor del 10 %, y las RPM de la hélice fueron estimadas con un error menor del 2 %.

Ventajas e inconvenientes de ambas opciones:

- Matriz de sensores omnidireccionales: (ventajas)
  - Coste muy reducido.
  - Facilidad de instalación y mantenimiento.
- Matriz de sensores omnidireccionales: (desventajas)
  - Dificultad para determinar el tipo exacto de RPAS. Precisa de una extensa biblioteca de firma/huella acústica.
  - Enmascaramiento de señal debido a un ataque en grupo. Imposibilidad de triangulación para localización.
  - Complejidad tecnológica para eliminar armónicos producidos por el ruido urbano y fenómenos climatológicos (viento, lluvia, eléctricos).
- Sensores unidireccionales (espectro ultrasónico): (ventajas)
  - Mayor facilidad para eliminar armónicos producidos por ruido ambiente.
  - Mayor inmunidad a un ataque en grupo.
  - El sistema puede ser embarcado (vehículo).
  - Permite detectar un sistema fuera de áreas concretas, es decir, los sensores son capaces de detectar la amenaza desde su campo «visual» direccional.
  - Apropiado como apoyo para detectar sistemas tácticos, determina con facilidad el sistema de propulsión y dirección de puntería para un sistema de bloqueo RF.
- Sensores unidireccionales (espectro ultrasónico): (desventajas)
  - Elevado coste con relación al sistema estático.
  - Dificultad para determinar el tipo exacto de RPAS. Precisa de una extensa biblioteca de firma/huella acústica.

Básicamente los sensores acústicos omnidireccionales, con volumen de vigilancia semiesférico, alcanzan por unidad distancias fiables (error <5 %) del orden de 100 m de radio y con capacidad para clasificarlo se-

gún su firma acústica a unos 70 m. Por otro lado, los direccionales, con el mismo porcentaje de error, llegan hasta los 500 m, pero tienen como inconveniente que el volumen de detección es notablemente inferior debido a su direccionalidad. Datos, siempre en condiciones de armónicos bajas, baja contaminación acústica. En caso de zonas urbanas con alta contaminación acústica (climatológica, tráfico, acumulación de gente, etc...), el sistema solo detectará en una semiesfera de 25 m de radio (datos obtenido por experiencias prácticas y no por datos comerciales).

7.2 Huella térmica, sistemas de reconocimiento por imagen, reflexión de fotones

Pueden integrarse dentro de este grupo, estas tres tecnologías basadas en diferentes fenómenos físicos, pero que guardan estrecha relación en cuanto al tipo o tipos de sensores y cámaras utilizados. La combinación de estos sistemas, reduce el porcentaje de errores y permite detectar diferentes tipos de RPAS, dependiendo de su tamaño, sistema de propulsión o área de su sección vertical.

El software que utilizan los sistemas de reconocimiento por imagen, realizan constantes avances, no solo en gran medida debidos a la mejora de los sensores de las cámaras, sino también a las capacidades integradas de computación, para que en un breve espacio de tiempo, el sistema sea capaz de realizar complejos cálculos que puedan determinar el tipo de amenaza, localización, trayectoria y distancia.

Según el tipo de sensor:

- Imagen visible (pasiva). Rangos de NIR, ultravioleta y visible.
    - Favorable: sistema de bajo coste, muy difundido en el mercado dentro de equipos de seguridad con detección automática mediante variación de la señal espectral correspondiente memorizada a intervalos de tiempo y definición de contornos de proyección.
    - Desfavorable: dependencia de la iluminación exterior, durante la noche precisa de iluminación auxiliar, dificultades para la detección bajo contraste cuando se ilumina artificialmente, también sufre restricciones de uso ante amenazas en grupo. Fallos de detección ante iluminación frontal por saturación de los sensores de la cámara (deslumbramiento). No detecta con niebla densa.

- Imagen térmica (pasiva). Rangos SWIR, MWIR y LWIR.
  - Favorable: solamente detecta el sistema que tiene huella térmica y no se ve afectado por el entorno, detecta incluso mejor en ausencia de iluminación (noche), baja sensibilidad a los fenómenos climatológicos (nieblas, lluvia intensa).
  - Desfavorable: La huella térmica de los RPAS pequeños, civiles multi-rotor, eléctricos en general, resulta muy reducida y por tanto difícil de detectar bajo el punto de vista de la sensibilidad del sistema. Obviamente los planeadores son indetectables por este método.
    Estos sensores, carecen de capacidades fiables para reconocer adecuadamente la trayectoria del RPAS, sobre todo cuando este se dirige directamente hacia el sensor. Para ello resulta conveniente la combinación con un sistema LIDAR (*Light Detection and Ranging o Laser Detection and Ranging*). Este sistema permite obtener una nube de puntos del espacio que se escanea mediante un láser que efectúa un barrido longitudinal y transversal. La resolución del perfil de la imagen no es muy apropiada para el reconocimiento de tipos de RPAS, pero sí permite conocer su velocidad, trayectoria y distancia. Complementario a los sensores de imagen pasivos resulta eficiente. Baste como ejemplo que puede detectar la velocidad del RPAS en 0,3 s.
  - Desfavorable: Nunca debe olvidarse que existen métodos para evitar una buena parte de la reflexión del haz láser sobre el cuerpo del RPAS, aunque no impide detectarlo, sí dificulta reconocer su velocidad y trayectoria (siempre y cuando se dirija directamente hacia el sensor, movimiento transversal y vertical no producen ese problema). Tampoco debemos olvidar, que el sistema LIDAR o cualquiera de sus variantes, son muy sensibles a fenómenos climatológicos como el polvo en suspensión, niebla, lluvia intensa y humo. Además, resulta un sistema costoso como para generalizar su uso, tanto por equipos como por sus sistemas de control y mantenimiento.

7.3 Detección por emision de RF

Los RPAS disponen de múltiples sistemas de comunicaciones, como ya se ha explicado extensamente en apartados anteriores. Dichos sistemas establecen una comunicación, multi-canal y/o multi-frecuencia, dependiendo de la tecnología del sistema, complejidad y coste, que puede ser detectada

barriendo un amplio espectro de frecuencias mediante escáner y un conjunto de antenas que pueda permitir calcular su localización y trayectoria. Su funcionamiento básicamente y salvando ciertas distancias, es muy similar a los sensores acústicos y la distribución de antenas se realiza también de forma similar, para establecer un área de vigilancia específica. Por otro lado, y mediante sistema generadores de señales, se puede aislar al RPAS de su centro de control e incluso se puede realizar un ciberataque contra el sistema, para aquellos sistemas no tripulados con redes de comunicaciones avanzadas.

Dentro de este tipo de tecnologías, podemos englobar sistemas específicos para:

- Detección de sistemas GPS.
- Detección de RF de comunicaciones.
- Detección de comunicaciones SATCOM equivalentes.
- Detección de sistemas de radar embarcados.

Existen en el mercado, dispositivos que combinan, algunos o incluso todos los sensores bajo un mismo equipo, con el objetivo de disminuir el rango de incertidumbre y que el porcentaje de error en la detección se reduzca, en lo posible.

Estos sistemas, para poder localizar un RPAS y determinar con un mínimo de fiabilidad su trayectoria, precisan de tres antenas/sistemas que, formando un triángulo, determinan el área vigilada.

Este tipo de tecnologías, de forma resumida, presenta las siguientes ventajas y desventajas:

- Ventajas: reducido coste de adquisición y mantenimiento, fácil instalación, permite utilizar unidades móviles para zonas de operaciones, todos los RPAS transmiten señales de RF.
- Desventajas: no puede localizar RPAS que no tengan activados los sistemas de comunicaciones, dificultad para detectar RPAS con capacidad cognitiva fuera del grupo dado que no necesitan comunicaciones con centros de control, ni entre ellos para cumplir con su objetivo. Recordemos de apartados anteriores de este documento, que los sistemas inerciales atómicos permiten no utilizar GPS y tras seleccionar objetivo el sistema es totalmente autónomo y además con capacidad propia para modificar trayectorias/velocidades, según necesidad. Esto impide la detección mediante este tipo de sensores.

7.4 Detección por emision magnética inducida y electromagnética

Podemos dividir en dos grupos los sensores que pueden incluirse en este apartado. Por un lado, los sensores que pueden detectar la inducción electromagnética que producen los motores eléctricos del RPAS y por otro lado los sensores que detectan superficies metálicas.

El alcance de estos tipos de sensores es muy reducido, inferior a 50 metros.

Inducción electromagnética, corrientes de Eddy & Foucault:

- Ventajas: fácil detección de RPAS con potentes motores eléctricos. Insensible a fenómenos climatológicos adversos, con excepción de descargas eléctricas.
- Desventajas: la mayor parte de los RPAS utilizan motores de baja potencia, con una generación electromagnética inducida baja o muy baja que solo permitirá una detección a corta distancia. Los sistemas son costosos y pueden sufrir interferencias por parte de equipos eléctricos como transformadores, líneas de alta tensión impidiendo el uso eficiente en zonas urbanas.

Inducción magnética:

- Ventajas: fácil detección de RPAS con superficies metálicas grandes. Insensible a fenómenos climatológicos.
- Desventajas: la mayor parte de los RPAS no tienen superficies metálicas grandes. Este sistema también resulta interferido por entornos urbanos con materiales metálicos próximos o dentro del área de vigilancia.

7.5 Detección mediante radar

Este pasa por ser el sistema de vigilancia más generalizado y que goza de alta eficiencia frente a RPAS de tamaño medio o que tenga cierta similitud con la sección de una aeronave convencional. Sin embargo, no resultan del todo eficientes con la mayor parte de los RPAS, debido a que su tamaño es muy reducido, a que su sección o perfil de reflexión del impulso del radar es excepcionalmente pequeña e incluso en algunos tipos de RPAS carece de fuselaje (*quad-hexa-octocopter*). Por otro lado, tampoco puede identificar el tipo de amenaza.

- Únicamente se muestra eficaz por sí mismo, sin apoyo o combinación con otras tecnologías, para la detección de sistemas de cierto tamaño (Predator, Global Hawk, etc.).
- Ventajas: gran movilidad del sistema, baja sensibilidad ante fenómenos climatológicos muy adversos, robustez de los sistemas, total integración en redes globales de defensa, muy buena capacidad para obtener velocidades y trayectorias, radio de alcance muy elevado.
- Desventajas: incapacidad para reconocer los perfiles de los RPAS más populares debido a su pequeño tamaño y carencia de fuselaje. Dificultades de detección durante el vuelo a pocos metros del suelo. Dificultad para detectar RPAS tipo «planeador» construidos con materiales naturales orgánicos (madera, telas, etc.), similar a aeromodelos tradicionales.

7.6 Conclusiones

De forma general, pueden concluirse aquí con las tecnologías de detección, descritas y evaluadas por separado. Sin embargo, debemos indicar que la detección de este tipo de sistemas pasa por una acción combinada, que no solo dependerá de los modelos de RPAS que pretendemos detectar, sino muy determinantemente del entorno.

SOPT

SISTEMA DE OBSERVACIÓN Y PROSPECTIVA TECNOLÓGICA

8 SISTEMAS DE MITIGACIÓN Y/O NEUTRALIZACIÓN

8 SISTEMAS DE MITIGACIÓN Y/O NEUTRALIZACIÓN

Los RPAS, son sistemas altamente expuestos.

I. Por un lado, podemos englobar los componentes que forman «el sistema base». Dicho sistema, permite las comunicaciones internas entre los diferentes componentes, controla los sensores, la aviónica de navegación y de comunicaciones. Podría considerarse, comparativamente con un PC, como el sistema operativo, sobre el que se soportan todas las aplicaciones y se controlan todos los periféricos (en este caso, sistemas de armas, orientación de cámaras, etc.).
II. El grupo sensorial del RPAS. En este, englobamos todos los sistemas de captación de información del sistema, cámaras, sensores INS, GPS, radar, etc.
III. Aviónica. Este tercer grupo incluye la aviónica, quien procesa las señales que recibe del grupo II, a través del grupo I y que posteriormente al procesado de las mismas, utiliza de nuevo al grupo I para controlar servosistemas propios de la navegación, alerones, timones de profundidad, potencia de empuje, *flaps, spoilers* y *slats*.
IV. Último grupo, que incluye los sistemas de comunicaciones externos, siempre inalámbricos y que pueden ser de dos tipos: comunicación directa y comunicación vía satélite (SATCOM).

Los flujos de información, hacia el exterior, son los más vulnerables. Resulta muy difícil y extremadamente costoso, blindar las «puertas de acceso» del sistema, a través de las cuales:

- Trasmite los datos de los sensores embarcados.
- Comunica bidireccionalmente el sistema base y el sistema de navegación.

Por tanto, estas comunicaciones pueden considerarse como vulnerables.

Nunca debemos olvidar, que ya se desarrollan RPAS de aplicación militar (aún experimentales), cuyos enlaces de comunicaciones con el exterior

son casi inexistentes, gozando de una gran autonomía respecto al centro de mando y control. Esto dificulta mucho su detección y más aún su neutralización (ej.: RQ 170). Aunque, como este particular caso, un virus *keylogging*, introducido en territorio USA, en el *software* cognitivo y por tanto con acceso a la aviónica, fue suficiente para secuestrarlo con absoluta facilidad y sin daño alguno para la unidad.

8.1 Metodos de ataque a un sistema RPAS

8.1.1 Solapamiento de la señal gps. Gps-spoofing

Un ataque GPS *spoofing*, implica una actuación indirecta sobre los sistemas de navegación del RPAS y por tanto se podría redirigir la aeronave hasta el lugar donde nos interese, bien fuera de zonas de seguridad, provocar su autodestrucción o llevarla a una zona donde pueda ser recuperable para su análisis.

Para esto, la señal GPS, es sobrepuesta por una señal *GPS-spoofed* proveniente de un transmisor local (con cierta proximidad para solapar con garantías la señal original). La señal *GPS-spoofed* simula la señal GPS-original llevando al RPAS a un cálculo del sistema de navegación erróneo que puede desembocar en un «secuestro» de la unidad o en su autodestrucción. Este método de ataque resulta muy válido para las intrusiones en grupo, principalmente de unidades pequeñas.

Para evitar esto, se están validando actualmente sistemas inerciales de vuelo, que solo dependen de la señal GPS antes de adentrarse en zona de operaciones.

8.1.2 Derribo directo por sistema antiaéreo convencional

Medida drástica y con posibles daños colaterales si analizamos el apartado de detección, en el cual se refleja que actualmente no existe un sistema capaz de detectar los RPAS (sobre todo pequeños) a una distancia de seguridad suficiente como para este tipo de acciones, y menos aún en zona urbana.

Igualmente, los sistemas pasarían por los habituales. Un grupo de detección combinado, radares, sistemas de detección acústica/RF/visual, enlazada al GCS para la toma de decisión sobre el uso de unidades móviles antiaéreas:

- Sistemas de calibre 5,56–12,7 mm, 20-57 mm. Estos sistemas carecen de precisión ante unidades RPAS de pequeño tamaño y rangos de tiempo y espacio de reacción muy reducidos.
- Sistemas GBAD, con munición explosiva. Precisan de menor número de disparos para dañar el sistema, pero los daños colaterales son superiores aún.
- Misiles tierra-aire. La OTAN SG-170, acepta como posible el derribar un sistema LSSRPAS mediante este tipo de armas, con un seguimiento de blanco automático y continuo. Sin embargo, el problema se produce en la dificultad de detectar y seguir un pequeño sistema RPAS, además del enorme daño colateral que este tipo de medidas podría producir.

8.1.3 Derribo mediante armas láser

Esta tecnología para el derribo de un RPAS, aparentemente parece de las más adecuadas. Existen varias opciones de sistemas dentro de esta tecnología, pero obviamente todos ellos pasan por una visión directa del objetivo y un muy preciso seguimiento del mismo durante el rango de tiempo preciso por el haz para producir el daño esperado.

Podemos dividirlos en los siguientes grupos, dependiendo del objetivo buscado:

- Objetivo de daño sensorial. Para ello se utilizan láser de potencia media, que apantallan los sistemas ópticos y causan daño a algunos tipos de sensores. Como indicamos antes, el objetivo debe estar a la vista, debe mantenerse «marcado» durante el tiempo necesario (depende de la potencia del sistema y de las protecciones específicas del RPAS), y además tiene que estar en la banda de actuación del sensor. Solo en este caso sufriría daños el sensor. Resulta lógico pensar que solo los RPAS que utilizan el sistema óptico (térmico, IR, ultravioleta, etc.), pueden verse afectados por este sistema, el resto no tendría consecuencias en la navegación, solo en la captación de datos.
- Objetivo de daño directo. Derribo. En esta categoría solo podríamos incluir los láser de pulso de alta potencia.

Los láseres de alta potencia, son capaces de derribar un sistema, cuando se cumple que:

- El RPAS disponga de un fuselaje que pueda ser dañado. Muchos RPAS (LSS) carecen de fuselaje, teniendo una sencilla estructura a la vista

fabricada de aluminio 7075T6 o de RTM con fibra de carbono. Este tipo de RPAS difícilmente se dañarán estructuralmente con el láser, sí podría ser dañada la óptica, antenas de comunicaciones.

- El sistema de puntería del láser debe mantener fijado el blanco el tiempo necesario para causarle daño. Dicho tiempo depende del material del objetivo (RPAS) y de la potencia del láser. En cualquier caso, un láser de 10 kW puede derribar un avión manteniendo el haz fijado durante 7s, sin embargo, un RPAS carecemos de datos reales de eficiencia, pero todo apunta a errores y tiempos de acción más elevados debido a la enorme dificultad de mantener el láser fijado sobre el objetivo, por los problemas de detección que ya hemos comentado en apartados anteriores, así como la posibilidad de que el sistema carezca de fuselaje.

Además, se ha de considerar la opción de un ataque en grupo. Para ello se precisa de un láser con tiempo de acción muy reducido, del orden de 3s como máximo, y para esto nos vemos obligados a utilizar láser del tipo HEL o THEL con un mínimo de 30 kW. Aun así, el problema de la puntería sigue siendo crucial.

Por ello un láser de estas características, resulta apropiado para dañar, incluso a distancias superiores a 2 km, sistemas aéreos como:

- Misiles.
- Aviones.
- Cohetes (misil sin control de dirección).
- UAS >15 kg.

Debemos añadir a las desventajas, que esta tecnología resulta sensible a la limpieza de la atmósfera, polvo en suspensión, niebla espesa o lluvia intensa, las cuales producen una reducción muy sensible de la energía eficaz del haz en el objetivo.

Los sistemas láser de alta potencia HEL, actualmente resultan muy compactos mediante los sistemas de fibra. Objetivamente se alcanzan potencias suficientes para derribar una aeronave con climatología adecuada y tiempos de acción inferiores o iguales a 5s.

Si se precisan potencias superiores, para evitar interferencias atmosféricas debidas a la niebla, polvo en suspensión o lluvia intensa, o bien por necesidades de tiempo de acción sobre el objetivo, por ejemplo, para poder derribar un cohete, o un proyectil de artillería, se precisan sistemas de mayor potencia, basados en generadores químicos, de alto coste y

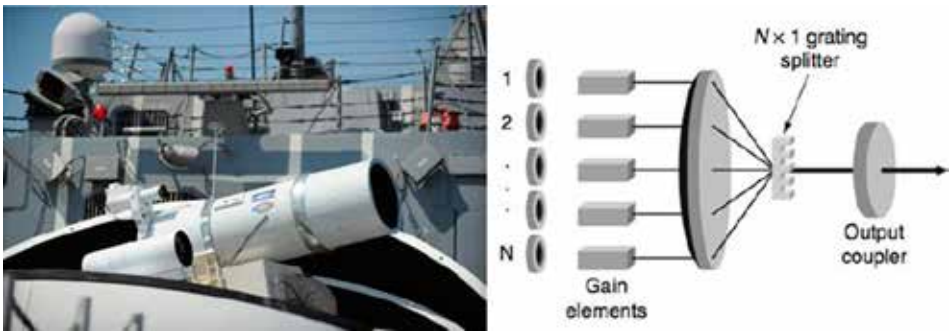


Ilustración 8-1. Sistema embarcado para uso naval de 15 kW máximo y RMS de 10 kW. (Fuente: VER)

tamaño, pero de enorme eficiencia, los denominados, sistemas THEL (*Tactical High Energy Laser*).

8.1.4 Contramedidas electrónicas

Dentro de este grupo podemos englobar los sistemas de contramedidas electrónicas (ECM), los haces de microondas de alta potencia (HPM) y los sistemas de armas por impulsos electromagnéticos de alta energía (HPEW).

8.1.4.1 Sistemas ECM

Los sistemas ECM tienen como objetivo, interferir, apantallar o sustituir, las señales de RF de enlace entre el centro de control, los satélites GPS y el RPAS. Las frecuencias que deben generarse pueden oscilar de unos escasos 10 kHz a varios GHz. Y los niveles de potencia deben ser enormes, para poder solapar la señal original, siendo de hasta varios gigavatios.

Los sistemas susceptibles a esta tecnología, serían la aviónica, los enlaces de datos con el centro de control, el radar del SAR/GMTI, telefonía móvil comercial, radios móviles FM/AM, y sistemas GPS.

El objetivo de actuar contra el radar, es prevenir la recepción o transmisión de datos de forma correcta. Esto impedirá al sistema base y a la aviónica continuar con su misión de forma exitosa.

Se puede utilizar las contramedidas en banda de comunicaciones para interferir las comunicaciones y a su vez enlazarse al sistema base para realizar un ciberataque, como se ha descrito anteriormente. Esto permi-

tiría hasta «secuestrar» el sistema, pasando por la posibilidad de simplemente desviarlo y siendo una medida excelente para neutralizar un ataque en grupo. Esta tecnología está clasificada.

ECM sobre el GPS. Mediante esta tecnología se puede actuar haciendo un ataque *spoofing* (engaño). También descrito con anterioridad. Este método permite anular la señal del GPS y a su vez, enviarle al receptor del RPAS información manipulada para que no pueda finalizar con éxito su misión. Resulta de un alto grado de complejidad, sin embargo, también permite actuar sobre un alto número de RPAS simultáneamente, evitando ataques en grupo.

8.1.4.2 Sistemas HPM

Los sistemas de microondas de alta potencia, direccionales, buscan destruir un sistema mediante dos acciones. Por un lado, una súbita generación de calor, que dependerá del material del objetivo (UAS) y por otro lado producir mediante inducción una descarga eléctrica de alta tensión y fuerte intensidad, en los circuitos eléctricos y electrónicos del objetivo (UAS).

A diferencia de un láser, la energía está menos concentrada por unidad de área y por ello para producir un daño inmediato se precisa de una generación de energía enorme. Un haz de microondas para este objetivo, podría tener un diámetro de 500 mm a 1.000 mm, siendo mucho más sencillo acertar en el objetivo, además, el tiempo de acción sobre el objetivo es de menos de 1s, pudiendo modificar su dirección hacia otro objetivo con rapidez.

Para cumplir con esto, y siempre a distancias inferiores o iguales a 500 m, se precisaría de sistemas con potencias generadas de 3 a 5 MW, con pulsos en ciclos de 3 Hz a 1 Hz y a su respectiva frecuencia en GHz, respectivamente. Para ello se precisa de complejos sistemas direccionales y refrigerados, con potentes moduladores finales klystrom de unos 450 MeV, como etapa final tras su correspondiente ciclotrón. Dicho sistema podría inducir pulsos en el sistema eléctrico del RPAS, de unos 180 kV, produciendo su destrucción eléctrica/electrónica interna, inmediata.

8.1.4.3 Sistemas HPEW

Estos sistemas, se basan en la generación de un potente impulso electromagnético, con una baja direccionalidad. Su ángulo de apertura está entorno a los 30º.

Por un lado, esto puede ser considerado como una desventaja, porque para poder inducir un sistema, deberá de estar a corta distancia. De lo contrario la energía que recibirá será muy baja y la necesaria para producirla, muy elevada. Es decir, el sistema es poco o muy poco eficiente. Sin embargo, por otro lado, este sistema a corta distancia, con un pulso, puede anular múltiples sistemas no tripulados debido al área barrida y no genera calor como las microondas en el objetivo, en caso de tener agua, como cualquier ser vivo. Por tanto, resulta mucho menos dañino para personas o animales que un haz de microondas.

Sin embargo, el principal inconveniente de estos sistemas, pasa porque su desarrollo y fabricación resulta muy costoso y se precisa de una gran cantidad de energía para cada pulso generado. Esto limita enormemente la portabilidad del sistema, así mismo los sistemas de muy alta potencia de esta tecnología, son considerados armas estratégicas.

SOPT

SISTEMA DE OBSERVACIÓN Y PROSPECTIVA TECNOLÓGICA

9 SISTEMAS ANTI-RPAS. PRODUCTOS Y PROYECTOS EN EL MERCADO

9 SISTEMAS ANTI-RPAS. PRODUCTOS Y PROYECTOS EN EL MERCADO

Se incluyen en este epígrafe una lista de productos existentes en el mercado o al menos publicitados como sistemas ya desarrollados.

Para su mejor compresión se han agrupado en:

- Sistemas de detección/identificación.
- Sistemas de mitigación/denegación, en los que se incluyen tanto sistemas destructivos como no destructivos.

9.1 Sistemas de detección / identificación

9.1.1 Anti RPAS Defense System (AUDS)

EMPRESA: LITEYE SYSTEMS INC.

PAIS: UK.

DESCRIPCIÓN: AUDS está diseñado para interferir y/o neutralizar vehículos aéreos no tripulados (RPAS) cuyas acciones puedan ser consideradas potencialmente maliciosas. El sistema AUDS combina detección y clasificación de objetivos mediante radar de barrido electrónico, seguimiento electro-óptico (EO) y capacidad de inhibición de radiofrecuencia direccional en tres bandas de RF independientes.

El sistema AUDS ha sido desarrollado por tres empresas británicas: BLIGHTER SURVEILLANCE SYSTEMS que aporta el radar A400, capaz de detectar pequeños RPAS en cualquier condición meteorológica, 24 horas al día. CHESS DYNAMICS, aporta la cámara EO/IR con seguimiento de video, capaz de rastrear el RPAS y, en combinación con la información proporcionada por el radar, es capaz de clasificar el objetivo. En estas condiciones el operador es capaz de tomar una decisión informada y oportuna en tiempo usando el inhibidor ECS de la empresa ENTERPRISE

CONTROL SYSTEMS. Este inhibidor RF puede interferir selectivamente los canales C2 del RPAS interrumpiendo su misión.

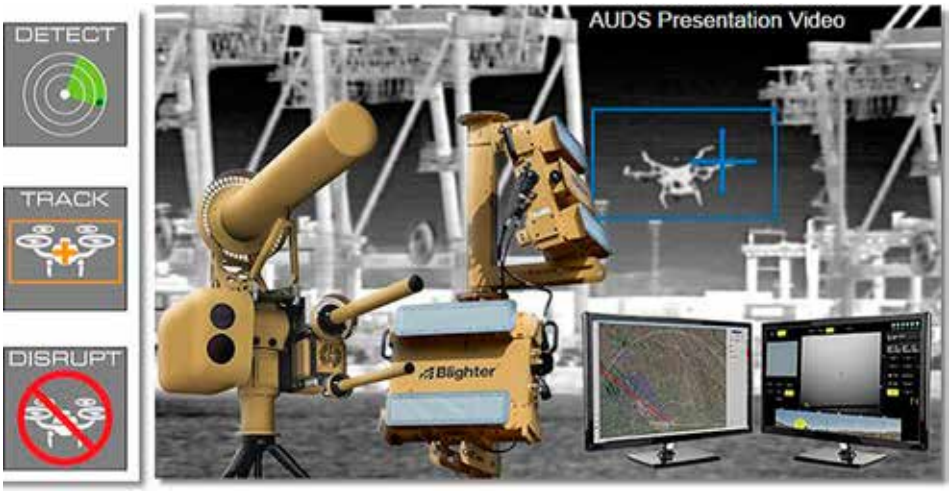


Ilustración 9-1. Sistema AUDS. (Fuente: Blighter)

Características técnicas

Radar de Seguridad Aérea Blighter A400.

- 90° o 180° HFOV; 10° o 20° VFOV (±40° con *hardware* añadido).
- Radar Doppler de onda continua y frecuencia modulada (FMCW) E-scan; Banda Ku («ideal para la detección de pequeñas estructuras como las que se utilizan en la construcción de RPAS»).
- Alcances máximos: micro - 2 km, mini - 3 km, *small* y mayores - 8 km.
- Tiempo de escaneado mínimo: ≈ 90° por segundo.
- Tamaño mínimo de blanco: RCS = 0,01 m^2.
- Tasa de alarmas falsas (FAR): 1 por día.
- «Capaz de detectar pequeños RPAS en todas las condiciones climáticas las 24 horas del día».

Chess Dynamics (UK).

- Cámara IR – Gen3 Cooled 0.33 MP, 3-5 µm (MWIR).
- Cámara EO – color HD 2.3 MP, zoom óptico x30, zoom digital x12, auto-focus.
- Tecnología video tracking.
- «Capaz de rastrear el RPAS y, combinado con información de radar, clasificar el objetivo».

Enterprise Control Systems (UK).

- Inhibidor RF inteligente interfiere canales C2.
- GPS L1, 915 MHz ISM, y 2.4 GHz ISM (el *software* define las bandas de frecuencia).
- Alcance: 1-2 km.

9.1.2 Tactical Counter-UAS Technology (TCUT)

EMPRESA: SRC INC.

PAIS: USA.

DESCRIPCIÓN:

- RADAR AN/TPQ-50 con *software* de vigilancia aérea LSTAR.
  - Banda L, alcance máximo: 10 km, 0°-30° elevación, 360° azimut.
  - *Tracking* simultáneo de múltiples objetivos en 3D.
  - Diseñado para detectar y alertar de lanzadores RAM.
  - El software de LSTAR permite la detección de «objetivos a baja altitud, de vuelo lento, con baja huella radar como ultraligeros, parapentes o alas delta».
- AN/ULQ-35 CREW Duke system.
  - Utiliza EW *jamming* para neutralizar IED controlados remotamente.
  - Soporta actualizaciones de programación para adaptarse a la evolución de las amenazas.
- Cámara EO/IR.
- Toma de decisión basado en reglas.
- Detecta, rastrea, ofrece identificación visual y electrónica, y ofrece capacidades de denegación electrónica.
- SCEPTRE C-UAS System.
  - En colaboración con el US ARMY para desarrollar capacidades para una solución completa.
  - Añade municiones letales miniatura al sistema TCUT.
- RADAR SR HAWK (V)3 MULTI-MISION.
  - Pequeño y ligero, de bajo coste y baja potencia.
  - 360°.
  - Puede integrar cámara y GPS.

- Todo tiempo.
- Baja tasa de falsas alarmas.

9.1.3 Harrier Drone Surveillance Radar DSR-200

EMPRESA: DETECT INC.

PAIS: USA.

DESCRIPCIÓN:

- RADAR Doppler en bandas S o X.
- Basado en tecnología de radar aviar; optimizado para objetivos pequeños.
- Dispone de un sistema de aprendizaje para la clasificación basada en cerca de 50 etiquetas de datos (por ejemplo, tamaño, velocidad, rumbo, hora, fecha, solo/enjambre, etc.).
- Rechazo automático de falsos positivos (aves).
- Sistema más sensible disponible para la detección, seguimiento y la interdicción de RPAS.
- Proporciona una notificación visual y sonora.
- Compatible con otros sistemas de seguridad y visualización.
- Personalizable con opciones de observación térmicas y de vídeo.

Ilustración 9-2. Sistema HARRIER DRONE. (Fuente: Detect-inc)

9.1.4 Beam 200

EMPRESA: TORREY PINES LOGIC INC.

PAIS: USA.

DESCRIPCIÓN:

- Sistema óptico de escaneado activo en busca de objetivos que realizan actividades de vigilancia.
- Sistema óptico activo que busca retro-reflexiones desde la óptica.
- Detecta cámaras y telescopios.
- El tamaño mínimo de detección es desconocido, aunque no sería capaz de detectar una cámara de un teléfono celular.
- Banda espectral: desconocida.
    - «Imágenes multi-espectrales para determinación de objetivos».
    - Probablemente se trata de iluminación láser NIR.
- Alcance máximo: 1 km.
- Elevación: -30° a +90°. Azimut: 360°.
- Tiempo de escaneado desconocido. Podría ser de 60/seg.

Ilustración 9-3. Sistema BEAM 200. (Fuente: TPLOGIC)

9.1.5 Narcissus Optical Augmentation System / Banshee

EMPRESA: IEC INFRARED SYSTEMS INC.

PAIS: USA.

DESCRIPCIÓN:

Sistema óptico de escaneado activo en busca de retro-reflexiones desde ópticas multi-capa como telescopios, binoculares o cámaras.

- La detección activa la cámara EO/IR de largo alcance para la clasificación y la geolocalización del objetivo.
- Alcance máximo y campo de visión son desconocidos.
- Tamaño mínimo de detección desconocido.

BANSHEE

Cámara térmica no refrigerada LWIR 360° «todo tiempo».

- Detección humana a 300 m, detección de vehículos a 600 m.
- Cámara de identificación de la amenaza: IEC Werewolf.
- Incluye foco de 12 millones de Candelas, puntero láser, y LRAD.

Ilustración 9-4. Sistema NARCISSUS. (Fuente: IEC)

9.1.6 Dronetracker

EMPRESA: DEDRONE GMBH.

PAIS: ALEMANIA.

DESCRIPCIÓN:

Imagen pasiva visible, acústica, ultrasonidos y detección de movimiento por vídeo (VMD).

- Detección fiable a menos de 100 m.
- Clasificación a 70 m.
- Detección día/noche; completamente independiente de la emisión de ruido.
- Varios *dronetrackers* pueden interactuar y ofrecer un mayor alcance.
- La comparación está automatizada contra una base de datos centralizada.
- Conexión inalámbrica.
- No incluye dispositivos de mitigación.

9.1.7 Droneshield

EMPRESA: DRONESHIELD INC.

PAIS: USA.

DESCRIPCIÓN:

Mediciones de micrófono con procesamiento de señal determinan la presencia de un RPAS basado en su firma acústica parasitaria.

- Omnidireccional: 300° FOV, corto alcance.
- Plato parabólico: 30° FOV, alcance extendido.
- El alcance máximo depende de muchos factores (tipo de RPAS, ambiente de ruido, plato vs. omnidireccional, etc.).
- Ejemplo: DJI Phantom, en medio ambiente urbano.
    - Omnidireccional: aproximadamente 150 m.
    - Plato parabólico: aproximadamente 1 km.

La identificación y clasificación se basan en el contenido acústico espectral y su coincidencia con una entrada de la base de datos.

- La base de datos se actualiza trimestralmente.

9.1.8 Drone-Detector

EMPRESA: ORELIA

PAIS: FRANCIA.

DESCRIPCIÓN:

Micrófono de detección de la firma acústica generada por RPAS con propulsión eléctrica y hélice.

- RPASs de ala fija o rotatoria.
- Instalación recomendada en una superficie plana que refleje el sonido a 3 m de altura.
- Mayor alcance cuando el ruido de fondo es inferior a 40 dB.
- Conexión ethernet para datos y potencia.
- Conexión para sistema de alarma.

9.1.9 Drone Detection and Defeat Technology (D3T)

EMPRESA: CELLANTENNA.

PAIS: USA.

DESCRIPCIÓN:

- Emisión RF de señales de control y vídeo.
- Alcance max.: 1-2 km. Distancia de separación, 300 m.
- Las antenas se despliegan en el interior y en los límites a proteger formando una «burbuja» de protección, no afectando a los sistemas en el exterior.
    - No interfiere con la comunicación de RF.
    - Escalable a grandes áreas.
- La señal se procesa para determinar el tipo de sistema de control de vuelo.
- Contramedidas electrónicas:
    - Toma del control del objetivo (control total, aterrizaje repentino, envío de vuelta a su origen, etc.).
    - Empobrecer la precisión del GPS.
    - Despliegue simultáneo de múltiples contramedidas.
    - Otras técnicas propias.

9.1.10 Basic Drone Detection System

EMPRESA: DOMESTIC DRONE COUNTERMEASURES (DDC).

PAIS: USA.

DESCRIPCIÓN:

Red de dispositivos de emisión de radiofrecuencia que triangulan receptores desconocidos dentro de una malla de sensores.

- Detección de transmisores de RF en el rango de 1 MHz - 6,8 GHz.
- Ignora la lista de transmisiones manuales conocidas.
- Cobertura ampliable añadiendo notas de sensores.
- Cada nodo puede detectar en un entorno de 15 m en todas direcciones.

9.2 Sistemas de mitigación / neutralización

9.2.1 Skyshield air Defense System

EMPRESA: RHEINMETALL.

PAIS: ALEMANIA.

DESCRIPCIÓN:

Láser de alta potencia (HEL) que utiliza la tecnología de haz de superposición

- Alcance Max.: 3 km.
- Demostración 2013.
    - «El sistema SKYSHIELD se enfrentó con éxito a un enjambre de drones propulsados por *jet* en formación en línea, empleando un efector HEL».
    - «Demostró su capacidad de destrucción de RPAS en despegue vertical».
    - Un radar detecta e identifica los objetivos, a continuación, se realiza el seguimiento por el sistema HEL.

Ilustración 9-5. Sistema SKYSHIELD 20 kW HEL effector «Mobile Effector Container L». (Fuente: RHEINMETALL)

Ilustración 9-6. De izquierda a derecha: 5 kW HEL effector «Mobile Effector Wheel XX», 1 kW HEL effector «Mobile HEL Effector Track V», 20 kW HEL effector «Mobile Effector Container L». (Fuente: RHEINMETALL)

9.2.2 Vigilant Eagle

EMPRESA: RAYTHEON.

PAIS: USA.

DESCRIPCIÓN:

El 14 de junio 2005 Raytheon anunció un nuevo sistema que utiliza la tecnología de microondas de alta potencia para proteger a los aviones comerciales del ataque de misiles portátiles (MANPADS) en zonas aeroportuarias.

- El sistema ilumina el cuerpo del misil con energía electromagnética adaptada para desviar su trayectoria.
- Raytheon empezó a trabajar en este sistema en 1997.
- En el año 2006, obtuvo un contrato de $ 4,1M para demostrar su idoneidad en un entorno civil.
- El sistema se compone de 3 componentes principales:
  - Subsistema de detección y seguimiento (MDT). Un sistema de sensores pasivos de infrarrojos distribuido sobre torres de telefonía o edificios cubre el espacio de detección requerido.
  - Subsistema de mando y control (C2). Proporciona comandos que apuntan al misil y se conecta a la seguridad del aeropuerto; determina el punto de lanzamiento del misil.
  - Subsistema *Active Electronically Scanned Array* (AESA). Los campos electromagnéticos creados están dentro de los estándares (OSHA) administración de seguridad y salud ocupacional en cuanto a los límites de exposición personal.

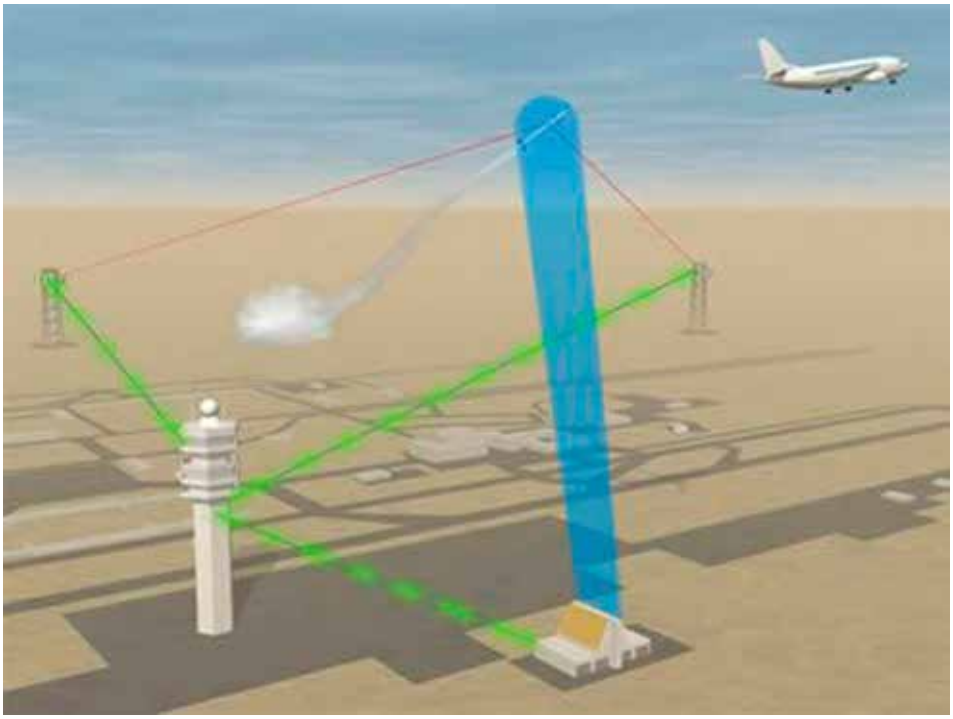


Ilustración 9-7. Sistema Vigilant Eagle. (Fuente: RAYTHEON)

9.2.3 Green Laser Optical Warner (GLOW)

EMPRESA: THALES GROUP.

PAIS: FRANCIA.

DESCRIPCIÓN:

Sistema láser integrable en fusil de asalto. Cuando se activa emite una intensa luz verde como advertencia.

Permite seleccionar:

- Haz estrecho (largo alcance). Diámetro: 0,5 m a 50 m.
- Haz ancho (corta distancia).

9.2.4 Common Infrared Countermeasures (CIRCM)

EMPRESA: NORTHROP GRUMMAN.

PAIS: USA.

DESCRIPCIÓN:

Diseñado específicamente para proteger aeronaves, tanto de ala rotatoria como de ala fija, del ataque de misiles IR.

Utiliza un compacto *pointer/tracker* ECLIPSE, un procesador COTS ligera y tecnología avanzada *Quantum Cascade Laser* (QCL) para una mayor fiabilidad y escalabilidad.

El sistema detecta el misil, rechazando falsas alarmas, dispone de sistema de señales de interferencia infrarroja para la localización de misiles, y emite rayos infrarrojos de alta energía para anular el *seeker* del misil.

9.2.5 Drone Civil Anti-Drone

EMPRESA: MALOU TECH.

PAIS: FRANCIA.

DESCRIPCIÓN:

Utiliza un drone que dispone de una red para interceptar el drone malicioso.

El anti-drone es dirigido por un piloto.

Ilustración 9-8. Sistema DRONE CIVIL ANTI-DRONE. (Fuente: Malou Tech)

9.2.6 Falcon Shield Counter RPAS System

EMPRESA: SELEX ES.

PAIS: ITALIA.

DESCRIPCIÓN:

Falcon Shield emplea sistemas pasivos de vigilancia electrónica y sensores electro-ópticos, combinados con radares específicos para proporcionar una detección integrado de la amenaza, la identificación y seguimiento en entornos que van desde de zonas amplias a entornos urbanos.

Incorpora efectores con capacidad de tomar el control y/o interrumpir la gestión de RF, o la negación o/y eliminación de la amenaza. En consecuencia, el potencial de efectos colaterales no deseados se minimiza en gran medida. El sistema se puede complementar con la integración de otros efectores cinéticos adicionales.

9.2.7 Anti-Drone

EMPRESA: PRIME CONSULTING & TECHNOLOGIES.

PAIS: DINAMARCA.

DESCRIPCIÓN:

Se trata de un sistema de protección perimetral para la detección de intrusiones en un perímetro definido. Además, permite la identificación

y seguimiento de todo tipo de vehículos aéreos no tripulados (RPAS) y dispone de contra-medidas para neutralizar drones o sus medios de control.

El componente principal del sistema es el radar de vigilancia Harrier de la empresa Detect, que ayuda a identificar y realizar un seguimiento de drones de cualquier tipo, que cruzan un perímetro definido. Este radar de vigilancia está disponible en configuraciones de montaje fijo y/o remolque.

Puede integrar distintos efectores como LRAD y/o *jammers*.

- Área de cobertura: 360°.
- Detección de RPAS hasta 16 km.
- Clasificación del tipo de drone clasificación (UAV, RPAS, aviones de RC, helicópteros, multicopteros, etc.).
- Detección de los «no drones» (aves) y eliminación de falsas alarmas.
- Funcionamiento automático con perímetros de intrusión y zonas de alerta programables por el usuario.
- Alarmas audibles y visuales de intrusión (con notificación opcional por correo electrónico o SMS).
- *Tracking* en tiempo real.
- Identificación de cada objetivo por tamaño, velocidad, posición y rumbo.
- Mando a distancia para múltiples usuarios.
- Visualización en tiempo real en dispositivos móviles e inalámbricos (teléfonos inteligentes, tabletas, etc.).
- Integración con cámara panorámica y mapas específicos del perímetro y con tecnologías de cartografía móvil.
- Integración con otros sistemas de protección perimetral, cámaras de vídeo, cámaras térmicas, dispositivos acústicos de largo alcance (LRAD), emisores de interferencias (*jammers*), etc.
- Compatibilidad con otros sistemas de visualización y de seguridad.
- Configuraciones de instalación de montaje y remolque fijos.

9.2.8 Counter-RPAS System

EMPRESA: AIRBUS DEFENSE & SPACE.

PAIS: EUROPE.

DESCRIPCIÓN (extracto de nota de prensa):

Airbus Defence & Space ha desarrollado un sistema anti-RPAS que detecta intrusiones ilícitas de vehículos aéreos no tripulados (RPAS) sobre

áreas críticas a distancias largas y ofrece contramedidas electrónicas, minimizando el riesgo de daños colaterales.

El sistema ofrece una muy alta eficacia mediante la combinación de datos de los sensores de diferentes fuentes con la última fusión de datos, análisis de señales y tecnologías de interferencia. Utiliza radares operacionales, cámaras infrarrojas y radiogoniómetros para identificar el avión no tripulado y evaluar su potencial amenaza a distancias de entre 5 y 10 kilómetros. Con base en una extensa biblioteca de amenazas y análisis en tiempo real de señales de control a continuación, un *jammer* interrumpe el enlace entre el avión no tripulado y el piloto y/o su navegación.

Además, el radiogoniómetro rastrea la posición del piloto que posteriormente puede ser localizado. Gracias a la tecnología de *Smart Responsive Jamming Technology* de Airbus, las señales de interferencia solo bloquean las frecuencias relevantes utilizadas para operar el avión no tripulado, mientras que otras frecuencias en la zona permanecen operativas. Dado que la tecnología de interferencia contiene capacidades de recepción y transmisión versátiles, puede utilizarse también otras medidas más sofisticadas como la clasificación del control remoto y la suplantación de GPS. Esto permite un *jamming* eficaz y específico, así como tomar el control del RPAS.

El sistema de *Counter*-RPAS ha sido ampliamente probado por Airbus. Dependiendo de la configuración requerida, un sistema operativo estaría disponible a partir de mediados de 2016.

9.2.9 Drone Guard

EMPRESA: ELTA SYSTEMS LTD. (IAI).

PAIS: ISRAEL.

DESCRIPCIÓN (extracto de nota de prensa):

Israel Aerospace Industries (IAI) ha presentado su sistema Drone Guard para la detección de aviones no tripulados, su identificación e interrupción de vuelo durante la Exposición de Defensa (ADEX) que se celebró en Seul en octubre 2015.

Para afrontar este reto emergente, IAI y su filial ELTA Systems Ltd., ofrece radares tridimensionales (3D) y sensores electro-ópticos (EO) especial-

mente adaptados para la detección e identificación, así como sistemas de interferencia para interrumpir el vuelo avión no tripulado.

Para detectar drones con baja firma, que vuelan a baja cota y baja velocidad, ELTA ha adaptado sus radares 3D: ELM-2026D, ELM-2026B y ELM-2026BF para corto (10 km), medio (15 km) y largo alcance (20 km) respectivamente, con algoritmos especiales de detección y seguimiento de aviones no tripulados, así como su adaptación con sensores EO para la identificación visual del objetivo.

Con el fin de interrumpir el vuelo del RPAS hostil, ELTA ha desarrollado sistemas de interferencia avanzados que pueden ser utilizados en conjunto con sus sensores de detección e identificación, o como un sistema independiente. El sistema interrumpe el vuelo del avión no tripulado y puede, o bien hacer que vuelva a su punto de origen (función «Regreso a casa») o que se apague y haga un aterrizaje forzoso.

El sistema ha sido ampliamente probado con éxito contra una variedad de diferentes aviones y escenarios, incluyendo múltiples penetraciones o ataques simultáneos con aviones no tripulados.

9.2.10 High Energy Laser Weapon Systems

EMPRESA: MBDA.

PAIS: ALEMANIA.

DESCRIPCIÓN:

Los mini RPAS representan un nuevo tipo de amenaza que exige la consideración de nuevas soluciones, más allá de los efectores convencionales. Incidentes recientes han visto como estos mini aviones teledirigidos interrumpen importantes eventos o vuelan sobre lugares protegidos. Los sistemas de armas láser de alta precisión y escalables podrían proteger estos grandes eventos y las infraestructuras críticas y cerrar la brecha de capacidad actualmente existente.

Los éxitos de MBDA en tecnología han dado lugar al desarrollo de un demostrador de arma láser de alta energía. Desde 2008 MBDA Deutschland ha desarrollado y probado con éxito un arma láser de alta energía contra una amplia gama de amenazas, incluyendo objetivos altamente dinámicos y maniobrables como mini-RPAS. Su completa funcionalidad ha sido probada en una serie de demostraciones y pruebas desde la

adquisición y seguimiento de objetivos, y su destrucción a distancias de hasta 2 km.

En sus estudios de sistemas, MBDA está examinando opciones de armamento láser para aplicaciones navales y aéreas, así como conceptos móviles terrestres con capacidades de más de 100 kW, cobertura de 360 grados y arquitectura de sistema abierta para la protección próxima y alcance intermedio contra micro vehículos aéreos no tripulados y objetivos RAM (cohetes y morteros).

CARATERÍSTICAS:

El demostrador de MBDA Deutschland es un *tracker* multi-etapa altamente preciso junto a un efector láser que superpone numerosas fuentes de láser en un único haz utilizando el principio de acoplamiento geométrico. Este enfoque hace posible combatir objetivos pequeños, de gran agilidad de forma fiable con un solo efector láser.

Sus características fundamentales son:

- Ultra-alta densidad en un único efector.
- Seguimiento fino extremadamente preciso y control múlti-etapa.
- Capacidad probada del sistema para atacar objetivos de gran agilidad.

Ilustración 9-9 HIGH ENERGY LASER WEAPON SYSTEMS. (Fuente: MBDA)

9.2.11 Iron Beam

EMPRESA: RAFAEL ADVANCED DEFENSE SYSTEM.

PAIS: ISRAEL

DESCRIPCIÓN (extracto de nota de prensa):

Rafael Advanced Defense Systems presentó su sistema láser de alta energía (HEL) IRON BEAM en la Exposición Internacional Aeroespacial y de Defensa en Seul (Korea) (ADEX 2015).

El sistema de corto alcance contra cohetes y morteros (C-RAM) y contra vehículos aéreos no tripulados (C-RPAS) fue el centro de atención en el stand de Rafael en el evento celebrado del 20 al 25 de octubre.

Ya presentado en el Salón Aeronáutico de Singapur en 2014, el IRON BEAM es un sistema móvil terrestre que comprende un radar de defensa aérea, una unidad de mando y control (C2), y dos sistemas láser HEL. El sistema puede ser configurado en contenedores de transporte ISO para el montaje en un lugar fijo o en un camión o vehículo blindado, dependiendo de los requerimientos del cliente.

El radar de defensa aérea adquiere primero el proyectil o el RPAS tras lo cual una cámara térmica se hace cargo del seguimiento. Finalmente, dos sistemas láser (HEL) lo atacan simultáneamente hasta su destrucción.

De acuerdo con Rafael, los láseres se enfocan en un área de aproximadamente el tamaño de una moneda, destruyendo el objetivo en un rango de unos 2 km. La compañía se ha negado a divulgar los niveles de potencia específicos para los HEL, excepto para decir que están trabajando actualmente con «decenas de kilovatios», pero espera para pasar a los «cientos de kilovatios» en el futuro. Rafael no produce los láseres, sino que le son provistos por suministradores no revelados.

En declaraciones durante la presentación de Iron Beam, un responsable de la compañía dijo que las pruebas realizadas hasta esa fecha habían producido «una muy buena» tasa de éxito. Una de las principales ventajas del sistema más de sus competidores es que, al tratarse de un láser, puede realizar un número ilimitado de disparos.

Mientras que el IRON BEAM aún no ha sido adoptado por la Fuerza de Defensa de Israel (IDF), podría adaptarse fácilmente en el sistema de defensa multi-capa de Israel con varios niveles que incluyen Iron Dome, David´s Sling y Arrow3.

SOPT

SISTEMA DE OBSERVACIÓN Y PROSPECTIVA TECNOLÓGICA

10 CONCLUSIONES

10 CONCLUSIONES

La detección previa y la neutralización de sistemas autónomos, aéreos, terrestres y marinos, es uno de los grandes problemas de seguridad que lejos de solucionarse, van acrecentándose por el rápido desarrollo de estos sistemas y su enorme popularidad en el uso civil.

No existe un sistema de control, que sea común para la gran variedad de vehículos autónomos que ofrece el mercado.

Para definir un sistema de detección y de neutralización deben considerarse las siguientes premisas, para cada uno:

- Localización. Implica considerar el área a proteger, las condiciones de su entorno (muros, vallado, edificios colindantes, calles, edificios públicos, etc...).
- ¿Qué protegemos? Un buen análisis de prioridades, resulta crítico para poder reducir las innumerables variables, que impedirán definir un sistema capaz de solucionar todos los problemas con cualquier tipo de amenaza.
- Determinación de los daños colaterales. Se debe considerar, según el grado de protección y la importancia del edificio/área protegida, qué daños colaterales máximos pueden permitirse. La razón de este análisis, se debe a que todos los sistemas con cierta eficacia en la neutralización de los RPAS (también sistemas terrestres o marinos), pueden producir daños en su entorno. Ej.; un sistema de microondas de alta potencia, produciría un aumento de temperatura vital, a una persona en una fracción de segundo, luego no parece muy conveniente, para proteger una zona urbana con posibilidad de disparar a sistemas autónomos que puedan volar muy bajo. Un láser HEL, sucedería lo mismo. Sin embargo, si desean proteger unas instalaciones militares, centrales nucleares o áreas estratégicas, estos sistemas combinados con otras soluciones, pueden aportar una gran eficiencia.
- Qué tipos de RPAS queremos detectar y neutralizar. Como se ha explicado anteriormente, este punto es obligado para definir el sistema de

protección adecuado. Un RPAS, eléctrico, de 6 motores y despegue vertical, no se puede detectar con los mismos equipos que un Predator o sistema de mayor tamaño. Un pequeño RPAS civil es mucho más mimético que el militar y por tanto más difícil de detectar, que no de derribar. La elección de la amenaza a detectar y neutralizar, resultaría de una selección partiendo de su velocidad, tipo de vuelo, perfil de su sección, tipo de propulsión y *payload*.

Una vez acotados cada uno de estos puntos, se puede pasar a definir la configuración del sistema de detección más apropiado, así como el de neutralización.

Pero, de forma muy resumida se pueden dividir en tres grandes grupos tanto los sistemas de detección como de neutralización, dependiendo del primer punto de las premisas descritas anteriormente;

I. Protección de zonas de transito civil.
II. Protección de zonas militares.
III. Zonas de operaciones.

I. Protección de zonas de transito civil

- Detección: resultan apropiados, sistemas combinados de sensores acústicos, sensores térmicos/IR/detectores de comunicaciones RF y GPS.
- Neutralización: equipos *jammer* dirigidos por sistemas de puntería, sistemas de apantallamiento de señales de actividad continua. Es decir, apantallar señal de GPS, RF dentro de un área concreta con sección de media esfera. Este volumen quedaría permanentemente bloqueado a casi la totalidad de los sistemas comerciales. Y en el mejor de los casos, con capacidad para un ataque cibernético a los sistemas intrusos, muy útil en caso de ataques en grupo. Solo los sistemas que disponen de muy alta tecnología, con navegadores inerciales y sistemas cognitivos podrían acceder a esa zona con éxito en su misión.

II. Protección de zonas militares y estratégicas

- Detección: estas zonas permiten una mayor «contundencia» en los equipos de detección, siendo conveniente la utilización de sistemas combinados de diferentes tecnologías y situados en capas o niveles con prealertas que permitan identificar y preparar un ataque sobre el

sistema que realiza la intrusión. Utilizar en alertas previas, sistemas acústicos, radares específicos, visión térmica/IR con reconocimiento computerizado, y equipos de detección de transmisiones de RF. Todo ello monitorizado desde un centro de control.

- Neutralización: como en el caso anterior, la contundencia puede y debe ser superior en la acción a la permisible en zonas de uso o acceso civil. Sin embargo, debe existir contención, al ser normalmente, lugares ubicados dentro del país propio y fuera de zonas de conflicto. Se utilizan todos los sistemas indicados en el punto referido a zonas de uso civil, pero de forma gradual y tras la identificación de la amenaza. Sin embargo y muy a diferencia de la configuración para uso civil, se precisa de un sistema de defensa capaz de derribar físicamente la amenaza, como última medida de protección. Para esto, un sistema de microondas de alta energía y láser combinados con un sistema de puntería automático sería muy adecuado. El láser puede actuar de forma general y las microondas cuando las condiciones climatológicas no permitan la eficiencia necesaria al sistema láser (niebla espesa, humo, polvo en suspensión, lluvia intensa).

III. Protección en zona de operaciones

- Detección: en estas zonas, no caben errores debido al enorme porcentaje de riesgo de que la intrusión sea un ataque a instalaciones, buques, etc. Como en el caso del punto II, la distribución en niveles o capas de los sistemas de detección, resulta obligada, máxime en zonas de terreno abruptas.
- Neutralización: sistemas *jammer* con capacidad para un ciberataque como primera medida, láser y microondas de alta energía bajo sistemas de puntería automáticos y unidades tradicionales antiaéreas, estas últimas con munición apropiada para este tipo de amenaza. Debe considerarse que el presente estudio indica de forma general el ataque por sistemas autónomos, pero el análisis de detección y neutralización se dirige a sistemas aéreos. Obviamente un sistema autónomo subacuático no puede ser neutralizado con los mismos sistemas que un RPAS.

No debe olvidarse, que el continuo desarrollo de sistemas autónomos, implica permanentes retos dentro del campo de protección. Sistemas relativamente nuevos, como los micro-UAS como el Hummingbird de DARPA, resultan muy difíciles de neutralizar, tienen total capacidad para el desplazamiento dentro de edificios y en el exterior, despegue y aterri-

zaje verticales, vuelo estacionario, y absoluta semejanza con un colibrí. Dispone de avanzados sistemas de encriptación de comunicaciones y sistemas multicanal. Siendo este solo un ejemplo. Otros sistemas como la Gaviota de Festo, SmartBird, carecen de huella térmica, carece casi en su totalidad de metales, no hace ruido, y su similitud con una gaviota en vuelo, es sorprendente. Incluso capaz de volar en interiores.

Por otro lado, aparecen nuevos sistemas con capacidades cognitivas siendo posible establecer relaciones entre unidades independientes o grupos, además de disponiendo de capacidades para el vuelo autónomo sin precisar comunicaciones con el centro de mando y control.

Tampoco debemos dejar fuera de estos nuevos desarrollos los RPAS como Switchblade, un sistema con carga explosiva que actúa como un arma, con 10 km de alcance y 2,5 kg de masa.

Todos estos nuevos sistemas, y otros en fase de desarrollo, ofrecen nuevas capacidades a los usuarios, pero también resultan mucho más difíciles de detectar y neutralizar.

SOPT

SISTEMA DE OBSERVACIÓN Y PROSPECTIVA TECNOLÓGICA

11 ANEXOS

11 ANEXOS

11.1 Acrónimos

ADEX	Aerospace & Defense Exhibition (Seul)
AESA	Active Electronically Scanned Array
AGL	Above Ground Level
AM	Amplitud Modulada
APC	Área de Planificación y Control
AUDS	Anti RPAS Defense System
BD	Business Development
BLOS	Beyond Line of Sight
C4ISR	Command Control Communications Computing Intelligence Surveillance & Reconnaissance
COINCIDENTE	Cooperación en Investigación Científica y Desarrollo en Tecnologías Estratégicas
COMSATCOM	Commercial Satellite Communications
COTS	Commercial Off The Shelf
C-RAM	Counter Rocket, Artillery & Mortar
C-RPAS	Counter RPAS
CUPID	Chaotic Unmanned Personal Intercept Drone
DARPA	Defense Advanced Research Projects Agency
DGAM	Dirección General de Armamento y Material
DIGAM	Director General de Armamento y Material
DISA	Defense Information Systems Agency
DISN	Defense Information Systems Network
DoD	Department of Defense
DVD	Digital Versatile Disc
ECM	Electronic Counter Measures
EA	Ejército del Aire
EDA	European Defence Agency
EMACON	Estado Mayor Conjunto
EMP	Electro-Magnetic Pulse
EO	Electro-Óptico

ET	Ejército de Tierra
ETID	Estrategia de Tecnología e Innovación para la Defensa
EW	Electronic Warfare
FAS	Fuerzas Armadas
FAR	False Alarm Rate
FM	Frecuencia Modulada
FMCW	Frequency Modulated Continuous Wave
FMV	Full Motion Video
FP	Frame Programme
FOV	Field of View
FW	Fixed Wing
GAIL	Grupo de Artillería de Información y Localización
GBAD	Ground-Based Air Defense
GBS	Global Broadcast Service
GCS	Ground Control System
GMTI	Ground Moving Target Indicator
GPS	Global Positioning System
HALE	High Altitude Long Endurance
HC	Helicopter
HD	High Definition
HEL	High Energy Laser
HFOV	Horizontal Field of View
HPEW	High Power Electromagnetic Weapon
HPM	High-Power Microwave
IDF	Israel Defense Forces
IED	Improvised Explosive Device
INS	Inertial Navigation System
INTA	Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial
IR	Infra-red
ISM	Industrial, Scientific and Medical
ISR	Intelligent Systems Research
ISO	International Standards Organization
ITM	Instituto Tecnológico de la Marañosa
JCGRPAS	Joint Capability Group on Unmanned Aerial Vehicles
LIDAR	Light or Laser Detection and Ranging
LOCAAS	Low Cost Autonomous Attack System
LOS	Line of Sight
LRAD	Long Range Acoustic Device
LRQA	Lloyd Register Quality Assurance
LSS	Low, Slow and Small

LWIR	Long-wavelength infrared
MACA	Mando de Artillería de Campaña
MALE	Medium Altitude Long Endurance
MANPADS	Man-portable air-defense system
MDE	Ministerio de Defensa de España
MILSATCOM	Military Satellite Communications
MIMO	Multiple-Input, Multiple-Output
MINISDEF	Ministerio de Defensa
MR	Multi-rotor
MSL	Mean Sea Level
MTOW	Maximum Take Off Weight
MWIR	Mid-wavelength infrared
OTAN	North Atlantic Treaty Organization
NBQR	Nuclear-Biológico-Químico-Radiológico
NIR	Near Infra-red
NOTAM	Notice to Airmen
N/R	No Referenciado
OPCPA	Optical Parametric Chirped Pulse Amplification
OSHA	Occupational Safety and Health Administration
PASI	Plataforma Autónoma Sensorizada de Inteligencia
POMPDP	Partially Observable Markov Decision Process
QC	Quadcopter
RACA	Regimiento de Artillería de Campaña
RAM	Rocket, Artillery & Mortar
RCS	Radar Cross-Section
RF	Radio-Frecuencia
RMS	Root Mean Square
RTM	Resin Transfer Moulding
RPAS	Remotely Piloted Aircraft System
RPM	Revoluciones por minuto
SAR	Synthetic Aperture Radar
SATCOM	Satellite Communications
SDGPLATIN	Subdirección General de Planificación Tecnología e Innovación
SEAD	Suppression of Enemy Air Defenses
SMACM	Surveilling Miniature Attack Cruise Missile
SIVA	Sistema Integrado de Vigilancia Aérea
SOPT	Sistema de Observación y Prospectiva Tecnológica
SPECS	Specifications
SWIR	Short-wavelength infra-red

TCUT	Tactical Counter-UAS Technology
THEL	Tactical High Energy Laser
UAS	Unmanned Aerial System
RPAS	Unmanned Aerial Vehicle
UCAV	Unmanned Combat Aerial Vehicle
UFO	UHF Follow-on
UME	Unidad Militar de Emergencia
UVDS	Unified Video Dissemination System
VFOV	Vertical Field of View
VMD	Video Motion Detection
VTOL	Vertical Take-Off and Landing
ZOTER	Zona Temporalmente Restringida para la Operación de RPAS
ZOUAS	Zona Operación UAS

11.2 Referencias

11.2.1 Imágenes

Imagen 1-1. Evolución mercado RPAS. (Fuente: EDA) 21
Imagen 3-1. Pista de RPAS. (Fuente: DGAM) 36
Imagen 3-2. Instalaciones campo de vuelo CV-1. (Fuente: DGAM). 37
Imagen 3-3. Sistema BLACKHORNET. (Fuente: DGAM)..... 40
Imagen 3-4. Sistema BLACKHORNET completo. (Fuente: Proxdynamics) 43
Imagen 3-5. Imagen tomada desde BLACKHORNET. (Fuente: Proxdynamics)..... 43
Imagen 3-6. Sistema HUGGIN X-1. (Fuente: E&Q) 45
Imagen 3-7. Imagen tomada desde el sistema HUGINN-X1 en vuelo (FUENTE: E&Q)..... 46
Imagen 3-8. Sistema IRIS 4. (Fuente: DGAM)..... 47
Imagen 3-9. Sistema IRIS 4 y GCS. (Fuente: DGAM) 48
Imagen 3-10. Sistema inspección de torre. (Fuente: SOTICOL)..... 50
Imagen 3-11. Navegación indoor. (Fuente: SOTICOL)..... 51
Imagen 3-12. Navegación indoor. (Fuente: SOTICOL)..... 52
Imagen 3-13. Sistema de localización de obstáculos. (Fuente: SOTICOL) 52
Imagen 3-14. Sistema de SOTICOL en vuelo indoor. (Fuente: DGAM) 53
Imagen 3-15. Sistema SHEPHERD MIL en vuelo. (Fuente: EXPAL). 54
Imagen 3-16. Sistema SHEPHERD MIL en despegue. (Fuente: DGAM)..... 54
Imagen 3-17. Sistema ALCOTAN. (Fuente: USOL) 56
Imagen 3-18. Sistema ALCOTAN en despegue. (Fuente: DGAM) ... 56
Imagen 3-19. Desde sistema ALCOTAN. (Fuente: DGAM) 57
Imagen 3-20. Sistema SX8 en vuelo. (Fuente: SERTEC) 58
Imagen 3-21. Sistema SX8 y GCS. (Fuente: DGAM)..... 59

Imagen 3-22. Sistema DRONEQUASAR con sistemas GCS. (Fuente: Dronetools) 60
Imagen 3-23. Sistema GEODRONE. (Fuente: CONYCA) 62
Imagen 3-24. Sistema GEODRONE. (Fuente: DGAM) 62
Imagen 3-25. Sistema ARACNOCOPTER. (Fuente: DGAM) 63
Imagen 3-26. Sistema ARACNOCOPTER bajo campana de agua. (Fuente: DGAM) 64
Imagen 3-27. Sistema ARACNOCOPTER en vuelo. (Fuente: DGAM) 65
Imagen 3-28. Sistema ALTEA-EKO. (Fuente: FLIGHTECH 67
Imagen 3-29. Sistema SNIPER. (Fuente: DGAM) 69
Imagen 3-30. Sistema MANTIS. (Fuente: INDRA) 71
Imagen 3-31. Sistema MANTIS. (Fuente: INDRA) 71
Imagen 3-32. Sistema RW5 VULTUR. (Fuente: DGAM) 73
Imagen 3-33. Sistema ORBITER 2. (Fuente: DGAM) 74
Imagen 3-34. Sistema MICRO B. (Fuente: DGAM) 76
Imagen 3-35. Sistema MICRO B. (Fuente: DGAM) 77
Imagen 3-36. Sistema SPYLITE. (Fuente: DGAM) 79
Imagen 3-37. Sistema FULMAR. (Fuente: DGAM) 81
Imagen 3-38. Sistema FULMAR. (Fuente: DGAM) 81

11.2.2 Tablas

Tabla 1-1. Clasificación OTAN RPAS. (Fuente: DGAM) 17

Tabla 1-2. Previsión de mercado de RPAS. (Fuente: EDA)..... 18

Tabla 1-3. Beneficio en el sector de los RPAS por ámbito de uso. (Fuente: ABI Research)..... 20

Tabla 1-4. Evolución proyectos relacionados con los RPAS y los diferentes programas en las últimas convocatorias del programa marco. (Fuente: DGAM)..... 23

Tabla 1-5. Comparativa participación española proyecto RPAS en programas marco. (Fuente: DGAM) 23

Tabla 3-1. Características IRIS4. (Fuente: TRIEDRO)..... 48

Tabla 3-2. Características SHEPHERD MIL. (Fuente: EXPAL)..... 55

Tabla 3-3. Características Sistema ALCOTAN. (Fuente: USOL)..... 57

Tabla 3 4. Características SX8. (Fuente: SERTEC)..... 59

Tabla 3-5. Características DRONEQUASAR. (Fuente: DRONETOOLS) 61

Tabla 3-6. Características GEODRONE. (Fuente CONYCA) 63

Tabla 3-7. Características ARANOCOPTER. (Fuente: ARBOREA)... 66

Tabla 3-8. Características ALTEA-EKO. (Fuente FLIGHTECH)..... 68

Tabla 3-9. Características SNIPER. (Fuente: ALPHA UNMANNED). 70

Tabla 3-10. Características MANTIS. (Fuente: INDRA) 72

Tabla 3-11. Características RW5 VULTUR. (Fuente: INDA)..... 73

Tabla 3-12. Características ORBITER 2. (Fuente: AERONAUTICS) . 75

Tabla 3-13. Características Micro-B. (Fuente: TRIEDRO) 77

Tabla 3-14. Características SPYLITE. (Fuente: TRIEDRO) 80

Tabla 3-15. Características FULMAR. (Fuente: THALES)..... 82

Tabla 3-16. Sistemas jornada lunes. (Fuente: DGAM)..... 82

Tabla 3 17. Sistemas jornada martes. (Fuente: DGAM) 83

Tabla 3 18. Sistemas jornadas miércoles y jueves. (Fuente: DGAM) 84

Tabla 4-1. Sistemas participantes Ronda. (Fuente: DGAM)..... 99

Tabla 4-2. Características sistema RAVEN. (Fuente: DGAM)..... 100

Tabla 4-3. Programación vuelos jornada 13 de mayo. (Fuente: DGAM)..... 106

11.2.3 Ilustraciones

Ilustración 2-1. Esquema temporal proyecto RAPAZ. (Fuente DGAM) 31
Ilustración 2-2. Evolución empresas participantes. (Fuente DGAM) 32
Ilustración 3-1. ZOUAS y ZOTER establecidas. (Fuente: DGAM) 39
Ilustración 3-2. Esquema circuito C-0. (Fuente DGAM) 83
Ilustración 3-3. Esquema circuito C-1. (Fuente DGAM) 83
Ilustración 3-4. Esquema circuito C-3 PLUS. (Fuente DGAM) 84
Ilustración 3-5. Esquema circuito C-2. (Fuente DGAM) 84
Ilustración 3-6. Esquema circuito C-3. (Fuente DGAM) 85
Ilustración 4-1. Calendario operación. (Fuente: DGAM) 95
Ilustración 4-2. Localización área Ronda. (Fuente: DGAM) 97
Ilustración 4-3. Plano circuito 101 Km de Ronda. (Fuente: DGAM). 98
Ilustración 4-4. Arquitectura de comunicaciones. (Fuente: DGAM). 101
Ilustración 4-5. Arquitectura de comunicaciones alternativa. (Fuente: DGAM) 102
Ilustración 4-6. Zonas de operación de los sistemas participantes. (Fuente: DGAM) 103
Ilustración 4-7. Zona de trabajo RAPAZ-0A. (Fuente: DGAM) 104
Ilustración 4-8. Zona de trabajo RAPAZ-0B. (Fuente: DGAM) 105
Ilustración 4-9. Distribución sistemas RPAS. (Fuente: DGAM) 107
Ilustración 4-10. Reprogramación de la operación. (Fuente: DGAM) 108
Ilustración 4-11. Programación vuelos día de operación. (Fuente: DGAM) 110
Ilustración 6-1 Concepto de Sistema Anti-RPAS. (Fuente: DGAM). 133
Ilustración 8-1. Sistema embarcado para uso naval de 15 kW máximo y RMS de 10 kW. (Fuente: VER) 151
Ilustración 9-1. Sistema AUDS. (Fuente: Blighter) 158
Ilustración 9-2. Sistema HARRIER DRONE. (Fuente: Detect-inc) 160
Ilustración 9-3. Sistema BEAM 200. (Fuente: TPLOGIC) 161

Ilustración 9-4. Sistema NARCISSUS. (Fuente: IEC) 162

Ilustración 9-5. Sistema SKYSHIELD 20 kW HEL effector «Mobile Effector Container L». (Fuente: RHEINMETALL)..... 166

Ilustración 9-6. De izquierda a derecha: 5 kW HEL effector «Mobile Effector Wheel XX», 1 kW HEL effector «Mobile HEL Effector Track V», 20 kW HEL effector «Mobile Effector Container L». (Fuente: RHEINMETALL) 166

Ilustración 9-7. Sistema Vigilant Eagle. (Fuente: RAYTHEON)..... 167

Ilustración 9-8. Sistema DRONE CIVIL ANTI-DRONE. (Fuente: Malou Tech) 169

Ilustración 9-9 HIGH ENERGY LASER WEAPON SYSTEMS. (Fuente: MBDA)..... 173

PUBLICACIONES
Pd
DE DEFENSA

GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE DEFENSA

SECRETARÍA
GENERAL
TÉCNICA

SUBDIRECCIÓN GENERAL
DE PUBLICACIONES
Y PATRIMONIO CULTURAL