



**Universidad  
Zaragoza**

## **Trabajo Fin de Grado**

Estudio sobre la incidencia de la incorporación de  
soluciones robóticas actuales en las capacidades de  
las Unidades de Zapadores

Autor

**CAC Javier Alvir Prieto**

Directores

Director académico: Dr. Danilo Tardioli

Director militar: Cap. Rodrigo Melchor García Illescas

Centro Universitario de la Defensa-Academia General Militar

Año 2018

**PÁGINA  
INTENCIONADAMENTE  
EN BLANCO**

## Resumen

Con el constante crecimiento tecnológico, las Fuerzas Armadas deben adaptar las tecnologías punteras e integrarlas en sus plantillas con la finalidad de mejorar sus materiales y capacidades. Con la vista puesta en la remodelación de la estructura del Ejército de Tierra, se prevé que las brigadas del año 2035 estén dotadas de medios tecnológicos más eficientes.

El presente Trabajo de Fin de Grado trata de sumarse al estudio del Ejército de cara a las tecnologías que pueden apoyar a las Unidades de Ingenieros, concretamente a las Unidades de Zapadores, en el ámbito de armamento y logística.

El documento desarrolla una investigación sobre los Vehículos Aéreos Controlados a Distancia (RPAS) que tienen en dotación las Fuerzas Armadas. Por consiguiente, se han establecido los cometidos que deberían adoptar los RPAS en las Unidades de Ingenieros y los trabajos complementarios que pueden llevar a cabo.

A pesar de que existen dos tipos diferentes de RPAS, los de ala fija o los de ala rotaria, se hace especial hincapié en los de ala fija, pues son los que se utilizan más frecuentemente en las operaciones de mantenimiento de paz por las Unidades de Zapadores. Los RPAS realizan diferentes cometidos, asignándose a cada modelo unas tareas específicas de acuerdo a sus características: vuelos espías, búsqueda de objetivos, proporcionar información de seguridad a convoyes, reconocimiento y vigilancia de zonas características, edificios, etcétera.

En esta investigación, se ha contado con el apoyo de diversos organismos con la finalidad de contrastar la información publicada, como la proporcionada por la Agencia Estatal de Seguridad Aérea y la Organización de Aviación Civil Internacional, lecciones aprendidas de diferentes ejércitos, así como con los datos recabados de entrevistas a personal experto que trabaja con estos robots, como son las secciones de RPAS de la Compañía de Inteligencia de la Brigada "Rey Alfonso XIII" II de La Legión o personal integrado en el Proyecto Rapaz para la evaluación de RPAS del Ejército de Tierra, entre otros. Con todo ello, se han detectado las debilidades y problemas más frecuentes en los RPAS. En concreto, se ha determinado que el principal escollo es la autonomía de los dispositivos.

Con el objetivo de mitigar este problema, se ha realizado un estudio para la sustitución del actual sistema de propulsión eléctrico del RPAS RQ-11B RAVEN por un sistema híbrido de hidrógeno y pilas de combustible con batería de litio-ion en tampón que le proporcionaría una autonomía alrededor de tres horas, que supondría un aumento 100% sobre la que dispone en la actualidad. Además, se conseguiría reducir el peso total del dispositivo.

Con estos resultados, que mejorarían sensiblemente la autonomía del RPAS, se pretende asesorar al mando demostrando que la incorporación de las nuevas tecnologías es de vital importancia ya que podría evitar exponer a nuestros soldados a situaciones de incertidumbre, reduciendo así el número de bajas propias.

## Abstract

As the technology advances constantly, Armed Forces may adapt newest technologies and integrate them into their templates. Doing this, they will improve their materials and capabilities. The Army aims to remodel its structure and it is expected that its Brigades will be equipped by 2035 with more efficient technological materials.

This paper aims to support Army studies in technology for Engineers Units. It focuses on weapons and material logistics for Combat Engineers Units.

Although there are two different types of RPAS, fixed-wing or rotary-wing, special emphasis is placed on fixed-wing RPAS, since they are the most frequently used in peacekeeping operations by sappers. The RPAS perform different tasks, assigning to each model specific tasks according to their characteristics: spy flights, search for objectives, provide security information to convoys, reconnaissance and surveillance of characteristic areas, buildings, and so on.

This investigation has had the support of various agencies in order to contrast published information, such as that provided by the State Agency for Air Safety and the International Civil Aviation Organization, lessons learned from different armies, as well as with the data collected from interviews with expert personnel working with these robots, such as the RPAS platoons of the Intelligence Coy of the "Rey Alfonso XIII" II Brigade of La Legion or personnel working in the Raptor Project for the evaluation of RPAS of the Army, among others. With all this, the most frequent weaknesses and problems in the RPAS have been detected. In particular, it has been determined that the main obstacle is the autonomy of the devices.

In order to mitigate this problem, a study has been carried out for the replacement of the current electric propulsion system of the RPAS RQ-11B RAVEN by a hybrid system of hydrogen and fuel cells with a lithium-ion battery in buffer that would provide it with around 3 hours autonomy. This would increase a 100% over current autonomy. In addition, it would be possible to reduce the total weight of the device.

With these results, which would significantly improve the autonomy of the RPAS, it is intended to advise the command and control, demonstrating that the incorporation of new technologies has a huge importance as it could avoid exposing our soldiers to situations of uncertainty, thus reducing the number of casualties.

## Agradecimientos

Antes de comenzar quiero agradecer la ayuda prestada, la colaboración y el esfuerzo de todas aquellas personas que han colaborado en el trabajo:

A mi director académico, Danilo Tardioli, por su asesoramiento, trabajo y apoyo durante todo el trabajo.

A mi director militar y jefe de la 1ª Compañía del Batallón de Zapadores de La Legión, Rodrigo Melchor García Illescas, por su completa disponibilidad en todo momento.

A los cuadros de mando de la BRILEG por la excepcional acogida y trato inmejorable durante el periodo de las Prácticas externas.

A la Compañía de Inteligencia por su constante participación y apoyo al desarrollo del documento a la hora de resolver cualquier duda que se presentase.

A mi familia, por su ayuda, sugerencias, ideas y contactos que me han facilitado a la hora de la obtención de información y otros puntos de vista.

De manera especial a mi esposa por su apoyo incondicional que me brinda en cada momento de cara a afrontar todos los retos que se han presentado a lo largo de este trabajo.

Finalmente, a todos los amigos o terceras personas que directa o indirectamente han colaborado en este proyecto de manera desinteresada, especialmente al Soldado Álvaro Rodríguez Vegue.

A todos muchas gracias.

**PÁGINA  
INTENCIONADAMENTE  
EN BLANCO**

# Índice

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Índice de ilustraciones</b> .....  | <b>ix</b> |
| <b>Índice de tablas</b> .....   | <b>ix</b> |
| <b>Lista de Acrónimos</b> .....   | <b>xi</b> |
| <b>Capítulo 1. Introducción</b> .....   | <b>1</b>  |
| 1.1 Estructura del Trabajo.....   | 1         |
| 1.2. Motivación.....  | 2         |
| 1.3. Objetivos.....   | 2         |
| 1.4. Alcance del proyecto.....  | 2         |
| <b>Capítulo 2. Las Unidades de Zapadores</b> .....                                      | <b>3</b>  |
| 2.1. Concepto general.....  | 3         |
| 2.2. Organización y capacidades.....  | 4         |
| 2.3. Cometidos y misiones.....  | 5         |
| <b>Capítulo 3. Los RPAS en el Ejército de Tierra</b> .....                              | <b>7</b>  |
| 3.1. Características de los RPAS.....   | 8         |
| 3.2. Limitaciones y servidumbres.....   | 10        |
| 3.3. RPAS actuales a nivel nacional.....  | 11        |
| <b>Capítulo 4. Los RPAS frente a las necesidades de las Unidades de Zapadores</b> ..... | <b>14</b> |
| 4.1. Empleo de RPAS en las Unidades de Zapadores.....                                   | 14        |
| 4.2. Tareas complementarias.....  | 16        |
| 4.3. Líneas futuras de los RPAS.....  | 17        |
| <b>Capítulo 5. Mejora de la autonomía del RQ-11B RAVEN</b> .....                        | <b>19</b> |
| 5.1. El RQ-11B RAVEN.....   | 19        |
| 5.2. Sistema de propulsión del RQ-11B RAVEN.....  | 20        |
| 5.3. El sistema HYCOGEN.....  | 21        |
| 5.4. Estudio técnico de la incorporación del sistema HYCOGEN.....                       | 25        |
| 5.5. Plazos de tiempo.....  | 26        |

|   |           |
|---|-----------|
| 5.6. Estudio de costes .....  | 26        |
| .....   | 27        |
| 5.7. Resultados del análisis .....  | 27        |
| <b>Capítulo 6. Conclusiones.....</b>  | <b>29</b> |
| <b>Bibliografía .....</b>   | <b>31</b> |
| <b>Anexos .....</b>   | <b>33</b> |
| Anexo I: Composición de las Unidades.....   | 34        |
| Anexo II. Texto de la encuesta sobre el RQ-11B RAVEN .....                              | 36        |
| Anexo III: Resultados de las encuestas RQ-11B RAVEN .....                               | 38        |
| Anexo IV: Matriz de priorización de problemas .....                                     | 41        |
| Anexo V. Análisis PERT de la innovación .....   | 42        |
| Anexo VI. Análisis de las baterías Li-Polímero .....                                    | 43        |
| Anexo VII: Estudio comparativo de costes operativos: baterías actuales vs HYCOGEN ..... | 44        |



## Índice de ilustraciones

|  |    |
|--|----|
| Ilustración 1. Unidades de Zapadores realizando instrucción EOR/EOD. Fuente: RING 1 (Regimiento de Ingenieros número 1).....                               | 4  |
| Ilustración 2. RQ-11B Raven. Fuente: Naverdrone .....  | 8  |
| Ilustración 3. Searcher MKII-J. Fuente: Naverdrone .....   | 8  |
| Ilustración 4. Clasificación de la Organización del Tratado Atlántico Norte (OTAN) de los UAV. Fuente: Dirección General de Armamento (DGAM).....          | 9  |
| Ilustración 5. Sistema PD-100 Black Hornet. Fuente: DGAM. ....   | 12 |
| Ilustración 6. MicroB. Fuente: Bluebird.....   | 12 |
| Ilustración 7. HUGINN – X1. Fuente: Sky-Watch .....  | 12 |
| Ilustración 8. Iriscopter 4. Fuente: Triedro.....  | 13 |
| Ilustración 9. RQ-11B RAVEN. Fuente: Elaboración propia. ....  | 13 |
| Ilustración 10. FULMAR dispuesto para el despegue. Fuente: DGAM. ....  | 13 |
| Ilustración 11. Funcionamiento y componentes de la pila PEM. Fuente: Wikipedia. ...  | 22 |
| Ilustración 12. Sistema HYCOGEN para el RQ-11B RAVEN. Fuente: Jalvasub Engineering.....  | 23 |
| Ilustración 13. Pila ULPHE-PEM FUEL CELL. Fuente: Jalvasub Engineering. ....   | 25 |
| Ilustración 14. Cartucho "METALIQ". Fuente: Jalvasub Engineering.....  | 25 |
| Ilustración 15. Orgánica División "Castillejos". Fuente: “ <a href="http://www.ejercito.mde.es">http://www.ejercito.mde.es</a> ”                           | 34 |
| Ilustración 16. Orgánica Brigada "Rey Alfonso XIII" II de La Legión. Fuente: “ <a href="http://www.ejercito.mde.es">http://www.ejercito.mde.es</a> ” ..... | 35 |
| Ilustración 17. Batería Li-Polímero del Raven. Fuente: Manual operador “RQ-11B RAVEN” de Junio de 2012 .....   | 43 |

## Índice de tablas

|  |    |
|--|----|
| Tabla 1. Características RQ-11B RAVEN. Fuente: Manual operador “RQ-11B RAVEN” de Junio de 2012. ....                         | 20 |
| Tabla 2. Características de la batería recargable Li- Polímero. Fuente: Manual operador "RQ-11B RAVEN" de Junio de 2012..... | 21 |
| Tabla 3. Análisis DAFO del sistema HYCOGEN. Fuente: Elaboración propia. ....   | 24 |
| Tabla 4. Costes operativos del sistema actual RQ-11B RAVEN. Fuente: Elaboración propia.....                                  | 27 |
| Tabla 5. Costes operativos del sistema HYCOGEN. Fuente: Elaboración propia.....  | 27 |
| Tabla 6. Composición de las Unidades. Fuente: Elaboración propia.....  | 34 |
| Tabla 7. Análisis PERT de la innovación. Fuente: Elaboración propia. ....  | 42 |

**PÁGINA  
INTENCIONADAMENTE  
EN BLANCO**

## Lista de Acrónimos

|             |   |
|-------------|---|
| BDA         | Battle Damage Assesment   |
| BRIEX       | Brigada Experimental  |
| BRILEG      | Brigada “Rey Alfonso XIII” II de la Legión                          |
| CIFAS       | Centro de Inteligencia de las Fuerzas Armadas                       |
| CMAS        | Campo de Minas  |
| CUMA        | Cuadro de Mando   |
| DGAM        | Dirección General de Armamento y Material                           |
| ET          | Ejército de Tierra  |
| EM          | Estado Mayor  |
| EOD         | Explosive Ordnance Disposal   |
| EOR         | Explosive Ordnance Reconnaissance                                   |
| ET          | Ejército de Tierra  |
| FAS         | Fuerzas Armadas Españolas   |
| IED         | Improvised Explosive Device   |
| IMINT       | Inteligencia de Imágenes  |
| ISR         | Inteligencia, Vigilancia y Reconocimiento                           |
| ISTAR       | Inteligencia, Vigilancia, Adquisición de objetivos y Reconocimiento |
| JEME        | Jefe de Estado Mayor del Ejército                                   |
| OTAN        | Organización del Tratado Atlántico Norte                            |
| RING 1      | Regimiento de Ingenieros 1  |
| RPAS        | Sistema Aéreo Tripulado de Forma Remota                             |
| TFG         | Trabajo de Fin de Grado   |
| TO          | Teatro de Operaciones   |
| UAV         | Unmanned aerial vehicle (Vehículo aéreo no tripulado)               |
| UESP        | Unidad de Especialidades  |
| ULPHE-PEMFC | Ultra Light Platinum High Energy – PEM Fuel Cell                    |
| UNED        | Universidad Nacional de Educación a Distancia                       |

|     |   |
|-----|---|
| UXO | Unexploded ordnance (Artefacto explosivo no explosionado) |
| UZ  | Unidad de Zapadores                                       |

# Capítulo 1. Introducción

Recientemente han aparecido multitud de programas y estudios de tecnología robótica aptas, como el Técnico Avanzado en Drones de Aplicación Militar o los acuerdos con General Atomics<sup>1</sup>, para mejorar las capacidades de diferentes elementos en el ámbito militar. En el presente Trabajo de Fin de Grado (TFG), se realiza un estudio sobre la incidencia que supone su incorporación al arma de Ingenieros, concretamente de las Unidades de Zapadores (UZ).

Gracias a estos programas, el Ejército de Tierra (ET) ha encontrado en los avances tecnológicos una excelente oportunidad para mejorar los medios de los que dispone y favorecer así sus capacidades. La mejora de los equipos lleva consigo multitud de ventajas, como son, entre otras, la reducción de los tiempos de ejecución para la realización de cometidos o la obtención de información de alta calidad en tiempo real, cuyo objetivo final es la reducción de riesgos para nuestros soldados.

Este estudio refleja las mejoras que los equipos relacionados con las UZ pueden llevar a cabo una vez integradas las nuevas tecnologías a su plantilla. Los avances más significativos y que mayor repercusión tienen, son los aportados por los Sistemas Aéreos Tripulados de forma remota (RPAS) y por los robots de desactivación de explosivos. En el documento, se hace especial hincapié en los RPAS debido a que la información que pueden aportar al jefe para el desarrollo de la misión resulta extremadamente valiosa.

Los RPAS se subdividen en dos tipos diferentes: los de ala fija y los de ala rotatoria. En el primero de éstos se emplea para facilitar la labor de las UZ, mientras que los de ala rotatoria lo hacen en las Unidades de Especialidades (UESP) del arma de Ingenieros. Por consiguiente, el presente trabajo se focalizará en el primero de estos grupos: los RPAS de ala fija.

Pese al salto cualitativo que ha experimentado la tecnología, los Aviones No Tripulados (UAV) presentan debilidades que se deben ir mejorando. El principal obstáculo a superar es su limitada autonomía. Por ello, es imprescindible la mejora de este aspecto ya que de tener una autonomía suficiente puede depender el éxito de la misión. Por esta circunstancia, se va proponer una solución para mejorar la autonomía del RPAS más empleado en las UZ: el RQ-11B RAVEN. El objetivo es sustituir el actual sistema de propulsión eléctrico por un sistema híbrido de hidrógeno y una pila de combustible con batería de litio-ion en tampón con el fin de ampliar notablemente su autonomía.

## 1.1 Estructura del Trabajo

El documento se divide en cinco capítulos y las conclusiones. En este primero, se define la estructura del trabajo y la motivación del mismo, dando a conocer la idea, los objetivos y el alcance del proyecto. A continuación, el segundo capítulo trata acerca de los conceptos básicos de las unidades en las que se centra el trabajo; dentro de las múltiples tareas que realizan las Unidades de Ingenieros, este documento se centra únicamente en aquellas que realizan las UZ. En el tercer capítulo, se hace mención a los RPAS que tienen en plantilla el ET.

---

<sup>1</sup> Compañía puntera en el desarrollo de drones militares.

En el cuarto capítulo se tratan los trabajos que se asignan a los RPAS con el fin de facilitar la misión de los Zapadores, las tareas complementarias y las líneas futuras que se prevén en este campo. En el quinto, se llevará a cabo la propuesta de mejora de la principal limitación de los RPAS: la autonomía.

Para concluir, se aportarán las conclusiones que genere el desarrollo del documento. La idea es permitir al lector tener conocimiento de las posibilidades de trabajo que ofrecen las nuevas tecnologías a través de su incorporación a las UZ, e incentivar que las debilidades de los RPAS se vayan mitigando con el avance tecnológico.

## 1.2. Motivación

El campo de la tecnología robótica se encuentra en pleno crecimiento. El Estado Mayor (EM), a través del Jefe de Estado Mayor del Ejército (JEME)<sup>2</sup>, trabaja de manera conjunta con un número significativo de empresas ya que tiene muchas esperanzas depositadas en este campo. El horizonte del ET está enfocado en el año 2035. Los proyectos que se desarrollen hasta esa fecha, irán dedicados a una ambiciosa modernización de la tecnología robótica que será la base principal de las futuras brigadas.

La motivación de este trabajo consiste en tratar de informar al lector acerca de los sistemas tecnológicos robóticos de que dispone el ET, dando a conocer tanto las limitaciones y servidumbres, como las ventajas e inconvenientes del uso de los RPAS.

## 1.3. Objetivos

El objetivo del TFG es realizar un estudio exhaustivo sobre la incidencia en las capacidades de apoyo al combate que pudiera suponer la inclusión de determinadas plataformas robotizadas en las UZ, identificando las capacidades y limitaciones que sufren los RPAS con la finalidad de mejorarlas.

El avance tecnológico nos lleva a buscar la mejora constante de los aspectos más vulnerables de nuestro equipo y material. De acuerdo con esto, se presenta un método para mejorar la autonomía de los RPAS, incorporando un nuevo sistema de propulsión al RQ-11B RAVEN.

## 1.4. Alcance del proyecto

La investigación del trabajo que se ha realizado en la Brigada “Rey Alfonso XIII” II de la Legión (BRILEG), se puede extender a todas las Unidades del ET, puesto que esta brigada es la encargada de experimentar las nuevas tecnologías con el propósito de formar las nuevas brigadas del año 2035. Este documento, donde se abordan las necesidades tecnológicas que facilitan el trabajo de las Unidades de Ingenieros respecto a sus actuales cometidos, afecta a todos los Regimientos y Batallones de Zapadores y a las Unidades de Desactivación del ET. Con ello, se afronta el estudio de las necesidades más relevantes a corto plazo y qué mecanismos logísticos debe activar el ET para adquirirlos.

---

<sup>2</sup> General de Ejército Don Francisco Javier Varela Salas.

## Capítulo 2. Las Unidades de Zapadores

En este apartado se pretenden mostrar los aspectos esenciales, la distribución, la organización y los cometidos de las Unidades de Zapadores con la finalidad de ofrecer una visión global.

### 2.1. Concepto general

El arma de Ingenieros está conformada por Unidades de Zapadores y Unidades de Especialidades<sup>3</sup>. Según la doctrina<sup>4</sup>, Ingenieros es el arma del trabajo técnico y especializado, mientras que las principales características son la flexibilidad en la organización y la coordinación técnica.

El primer pilar del arma de Ingenieros son las Unidades de Zapadores. Estas son las encargadas de ofrecer apoyo al combate. Las misiones que se le pueden asignar van enfocadas al apoyo a la movilidad, contra movilidad y protección. Como consecuencia, la ejecución de los cometidos de estas unidades facilita sus movimientos en todo el Teatro de Operaciones (TO), tanto a vanguardia como a retaguardia, favoreciendo la maniobra propia y dificultando la del enemigo<sup>5</sup>.

El segundo pilar son las Unidades de Especialidades, que son aquellas enfocadas al Apoyo General de Ingenieros. Estas unidades contribuyen a mantener la capacidad de combate de las fuerzas propias realizando cuantas actividades atañen a la reparación, construcción o destrucción de infraestructuras de comunicación en todo el TO. Los cometidos del Apoyo General de Ingenieros son, entre otras el mantenimiento o restauración de líneas de comunicación y ferrocarriles, la construcción de infraestructura vertical o el apoyo a operaciones en zona de agua.

La actuación de las Unidades de Ingenieros es fundamental con el fin de facilitar el movimiento de los ejércitos propios o aliados. Estas actuaciones reflejan la importancia que tienen los Ingenieros tanto en territorio nacional como en el internacional.

El Ejército Español debe estar preparado e instruido para solventar todas estas dificultades, como por ejemplo la denominada “guerra híbrida”. Un término que identifica un nuevo tipo de guerra que ha aparecido en el siglo XXI. La “guerra híbrida” está caracterizada por una guerra asimétrica, donde existe una diferencia abismal en los recursos militares de las fuerzas enfrentadas.

A consecuencia de este tipo de guerra, es necesario que la instrucción que reciben los soldados se actualice en función del marco de operaciones donde se realice la misión. Es evidente que se necesita una mejora de la coordinación de las capacidades actuales y la aparición de estrategias flexibles para responder a las nuevas amenazas. Estas consisten en una combinación de medios convencionales, irregulares, terroristas, criminales en cualquier

<sup>3</sup> El 17 de Abril de 1711, el Rey Felipe V por un Real Decreto creó el Cuerpo de Ingenieros.

<sup>4</sup> MANDO DE ADIESTRAMIENTO Y DOCTRINA, Batallón de Zapadores, OR4-402, Granada, 2005.

<sup>5</sup> MANDO DE ADIESTRAMIENTO Y DOCTRINA, Ingenieros de las fuerzas terrestres, PD3-316.

área geográfica. Como consecuencia, han aumentado el número de operaciones militares desarrolladas en países como Irak, Afganistán, Siria, etc.

La principal amenaza en las operaciones en el exterior que recae sobre las UZ, son los denominados artefactos de circunstancias o improvisados, conocidos como Improvised Explosive Devide (IED). El IED está considerado como el método de ataque enemigo más eficaz para causar bajas en el TO.

A consecuencia de esto, los Ingenieros se constituyen “ad hoc” sobre la base de los Núcleos de Ingenieros, los cuales cumplen cometidos enfocados a la desactivación o neutralización de dichos artefactos. Cabe destacar dos procesos: Explosive Ordnance Reconnaissance (EOR), encaminado al reconocimiento de Artefactos explosivos no Explosionados (unexploded ordnance, UXO), y Explosive Ordnance Disposal (EOD), enfocado a la desactivación, detección o destrucción del artefacto. El adiestramiento e instrucción de estos equipos se realiza de forma independiente, con una rutina totalmente distinta.



**Ilustración 1. Unidades de Zapadores realizando instrucción EOR/EOD<sup>6</sup>.  
Fuente: RING 1 (Regimiento de Ingenieros número 1)**

La información que aportan estos núcleos es esencial y sirve de apoyo a las Unidades de inteligencia. La recopilación de información a través de reconocimientos y despliegues proporciona una visión global desde vanguardia. La evolución de la tecnología ha facilitado dicho trabajo gracias a los drones incorporados en las Fuerzas Armadas (FAS) que proporcionan imágenes o vídeos en directo del área que se encuentran sobrevolando.

## 2.2. Organización y capacidades

El Regimiento de Zapadores tiene la capacidad de constituir una Jefatura de Ingenieros de División con la finalidad de organizar y ejecutar las operaciones de combate de los Ingenieros. Así mismo, puede llegar a proporcionar apoyo específico de Ingenieros a una Unidad de entidad División (gran unidad formada por varias brigadas o regimientos)<sup>7</sup>. Hoy en día, existen cinco Regimientos de Zapadores repartidos en Burgos, Salamanca, Zaragoza, Ceuta y Melilla.

<sup>6</sup> Disponible en <http://www.ejercito.mde.es/noticias/2011/10/1156.html>

<sup>7</sup> Ver Anexo I.



Como explica el Departamento de Ciencia Militar en Táctica y Logística de Ingenieros [1]:

*“El Batallón de Zapadores responde directamente a las necesidades nacidas de la maniobra en su aspecto táctico y aquellas en que es aconsejable su ejecución por unidades con capacidad de combate. Cuando la urgencia lo requiera, asumirá con sus procedimientos, aunque en forma transitoria y expedita, cualquier trabajo derivado de las actividades encomendadas a las unidades de especialidades.”.*

Según doctrina<sup>8</sup>, el Batallón de Zapadores de una brigada se compone de dos Compañías de Zapadores, una Compañía de Apoyo y una Compañía de Plana Mayor y Servicios. La Compañía de Zapadores se conforma de tres Secciones de Zapadores, una Sección de Apoyo, el Mando y la Plana Mayor de Mando. Los medios de los que disponen las diferentes compañías son heterogéneos, como es el caso de la distribución de equipos de excavación, transporte o retroexcavadoras a las Compañías ligeras y ligero protegidas. Bajando a nivel compañía, esta puede realizar trabajos de forma autónoma con la contribución de sus secciones de una manera simultánea.

### 2.3. Cometidos y misiones

Las UZ, en el caso de ejecución de operaciones de combate, van encuadradas en organizaciones operativas, ya sean Grandes Unidades o tipo Agrupamientos Tácticos. Cabe la posibilidad de que los Zapadores tengan que combatir como arma de Infantería, pues tienen la capacidad de actuar como unidad de maniobra [2] teniendo en cuenta su organización, instrucción y adiestramiento, gracias a las técnicas, tácticas y procedimientos del trabajo.

Los cometidos fundamentales de los Zapadores son: paso de cortaduras, acciones contra obstáculos, gestión de amenaza explosiva, limpieza de rutas, reconocimiento de Ingenieros, creación de obstáculos, apoyo a despejar campos de tiro, apoyo al enmascaramiento y decepción no electrónica, eliminación de artefactos explosivos y otras encaminadas al apoyo general de ingenieros [3].

Por otra parte, una de las actividades que está experimentando un constante crecimiento en misiones en el exterior, es el análisis geoespacial del terreno y los reconocimientos específicos de ingenieros: reconocimiento de áreas, itinerarios, poblados, puntos sensibles<sup>9</sup>, cursos fluviales, etc. Cualquier misión de las UZ parte de un conocimiento previo de la situación tales como datos históricos de IED, últimas tendencias enemigas, etc.

Por ello, el Ejército está barajando aumentar el número de dispositivos robóticos (RPAS), ya sean de ala fija o de ala rotatoria. Dotar a las UZ de un mayor número de drones supondría una mejora sustancial en la gestión de imágenes o video en directo. Tener conocimiento de sus técnicas, tácticas y procedimientos que emplea el enemigo, ofrece la posibilidad de adelantarse a sus posibles movimientos, dejando en una situación provechosa a las fuerzas propias.

<sup>8</sup> MANDO DE ADIESTRAMIENTO Y DOCTRINA, *Batallón de Zapadores*, OR4-402, Granada, 2005.

<sup>9</sup> Zona específica de terreno donde se considera que la probabilidad tener contacto con el enemigo, emboscada, posibilidad de IED, o circunstancias similares, es elevada.

A pesar de las debilidades o carencias que presentan los RPAS en términos de autonomía, su empleo puede llegar a ser imprescindible para el éxito de las operaciones. La aportación de información e inteligencia que genera este tipo de vehículos aéreos ha sido determinante en las misiones en el extranjero. Las misiones militares internacionales de mantenimiento de paz en las que se ha visto inmersa la BRILEG se han desarrollado en Kosovo, Bosnia- Herzegovina, Albania, Macedonia, Irak, Líbano, Congo y Afganistán. El empleo de los RPAS en algunas de estas misiones como por ejemplo en Afganistán, ha sido providencial para proteger la vida de nuestros legionarios.

## Capítulo 3. Los RPAS en el Ejército de Tierra

Con el objetivo de sentar las bases de las nuevas brigadas 2035, se ha puesto en marcha un proyecto de reestructuración orgánica del ET. Los cimientos de estas brigadas estarán compuestos por una base tecnológica que permita reducir el número de soldados. La finalidad de dotar a las unidades de tecnología robótica es la disposición de obtener una mayor potencia de combate.

La fase de experimentación de las nuevas brigadas finalizará en 2019. La columna vertebral de este proyecto será la plena integración de los RPAS en el ET. Para ello, las unidades ya cuentan con modelos como el RQ-11B RAVEN. Hoy en día, el RAVEN abarca actividades de seguimiento de la situación estratégica en las áreas de interés de inteligencia, como son la vigilancia y seguridad en las fronteras, así como actividades rutinarias de observación sistemática en las áreas de interés nacional para contribuir a cubrir las necesidades de inteligencia militar nacionales en el Plan Conjunto de Inteligencia Militar. El uso adecuado y lícito de la robótica refuerza las capacidades técnicas, científicas y humanas de cara a complementar las acciones de las FAS.

Los drones<sup>10</sup> se han convertido en un elemento esencial de apoyo al mando y, a consecuencia de ello, el EM considera imprescindible la actualización de esta maquinaria. Por ello, la posibilidad de disponer de unidades específicas de UAV supone un enorme salto cualitativo en cuanto a la capacidad de inteligencia de imágenes (IMINT), uno de los medios de obtención de información del Centro de Inteligencia de las Fuerzas Armadas (CIFAS). El CIFAS se encarga de obtener, elaborar y difundir inteligencia de imágenes procedentes de cualquier tipo de plataforma aeroespacial.

La inteligencia en el arma de Ingenieros es fundamental. La clave es que la información obtenida llegue en el momento oportuno y de la forma adecuada. A día de hoy, el método más rápido y eficaz para la transmisión de dicha información es el empleo de los RPAS. En la última década, la información aportada por estos robots ha evitado cientos de incidencias. Los sucesos de mayor relevancia han sido relacionados con incidentes de bombas caseras. Estos IED son la causa más frecuente de las bajas en misiones en el extranjero.

En las misiones internacionales, ya sea combate convencional como combate en población, la certera evaluación de la situación del enemigo (respecto a sus despliegues, medios disponibles, etc.) a través de la información que se pueda recopilar sobre el adversario es determinante. Al igual que ha ocurrido históricamente con otras armas, conforme a su uso en el campo de batalla, surgen consideraciones éticas, legales y estratégicas sobre su utilización.

---

<sup>10</sup> Traducido literalmente como <<zángano>>, nombre con que se designa en aeronáutica a los vehículos aéreos no tripulados, generalmente de uso militar.

Los RPAS realizan actividades o misiones tan variadas que van desde el transporte de materiales de diferente índole como la Clase I<sup>11</sup>, hasta ataques sorpresa, especialmente realizados por los denominados vehículos aéreos no tripulados de combate, denominados comúnmente como UCAV (Unmanned Combat Air Vehicle)<sup>12</sup>. De hecho, la Unidad Militar de Emergencias emplea los RPAS con el fin de facilitar la búsqueda y rescate en casos de catástrofe, ya sea en terreno montañoso como en inundaciones.

La misión de Afganistán en 2008, fue la primera en el empleo de drones para tareas de vigilancia y seguridad. Los primeros modelos operativos fueron el RQ-11B RAVEN (*Ver ilustración 2*) y el Searcher MKII-J (*Ver ilustración 3*), basados en tecnología israelí y norteamericana respectivamente.



Ilustración 2. RQ-11B Raven. Fuente: Naverdrone



Ilustración 3. Searcher MKII-J. Fuente: Naverdrone

### 3.1. Características de los RPAS

Los RPAS satisfacen un amplio abanico de necesidades, siendo un elemento clave dentro del desarrollo del proceso de Inteligencia, Vigilancia, Adquisición de objetivos y Reconocimiento (ISTAR). Con la finalidad de cumplimentar de forma exitosa cada una de sus misiones, los RPAS del ET presentan las siguientes características y funcionalidades:

- Posibilidad de incorporar sistemas armados. El Ejército puede estudiar la incorporación de misiles aire-tierra a las plataformas de ala fija de los RPAS que tiene en plantilla.
- Se reduce el riesgo de captura de personal militar como de bajas de seres humanos, pues el control de la máquina se efectúa a distancia.
- Empleo de múltiples sensores que ofrecen una capacidad instantánea de emisión de imágenes o videos, permitiendo localizar áreas u objetivos, facilitando sus

<sup>11</sup> Los recursos logísticos se dividen en nueve tipos de clase distintos. Clase I: Abastecimiento, Clase II: Vestuario y equipo, Clase III: Carburantes, Clase IV: Materiales de construcción, Clase V: Munición y explosivos, Clase VI: Cooperativa, Clase VII: Armamento material y animales, Clase VIII: Sanidad, Clase IX: Piezas de repuesto.

<sup>12</sup> Disponible en: [https://www.clarin.com/mundo/otan-muestra-ataque-drones-mato-decenas-talibanes\\_0\\_0L371YrM.html](https://www.clarin.com/mundo/otan-muestra-ataque-drones-mato-decenas-talibanes_0_0L371YrM.html)

coordenadas o señalizándolos, si es preciso, con láser, infrarrojos o dispositivos similares.

- Coste económico considerablemente inferior que los aviones tripulados.
- Ofrecen una eficiente flexibilidad y factor sorpresa frente a la acción del enemigo.
- Dotan de una perspectiva realista que facilita la acción del mando.
- El empleo, la altitud de vuelo y el radio de misión depende de la clase de UAV que se disponga y del cometido que va a desarrollar.

| CLASIFICACIÓN UAV OTAN |                                       |                    |                          |                   |
|------------------------|---------------------------------------|--------------------|--------------------------|-------------------|
| Clase (MTOW)           | Categoría                             | Empleo             | Altitud de operación AGL | Radio de Misión   |
| CLASE I<br>≤ 150 Kg    | MICRO<br>< 2 Kg                       | Táctico, (Sección) | Hasta 200 pies           | 5 Km (LOS)        |
|                        | MINI 2-20 Kg                          | Táctico (Compañía) | Hasta 1.000 pies         | 25 Km (LOS)       |
|                        | LIGEROS > 20 Kg                       | Táctico (Batallón) | Hasta 1.200 pies         | 50 Km (LOS)       |
| CLASE II<br>≤ 600 Kg   | TÁCTICO                               | Táctico (Brigada)  | Hasta 10.000 pies        | 200 Km (LOS)      |
| CLASE III<br>> 600 Kg  | MALE (Medium Altitude Long Endurance) | Operacional        | Hasta 45.000 pies        | Sin Límite (BLOS) |
|                        | HALE (High Altitude Long Endurance)   | Estratégico        | Hasta 65.000 pies        | Sin Límite (BLOS) |
|                        | Combate                               | Estratégico        | Hasta 65.000 pies        | Sin límite (BLOS) |

**Ilustración 4. Clasificación de la Organización del Tratado Atlántico Norte (OTAN) de los UAV. Fuente: Dirección General de Armamento (DGAM).**

La evolución de los UAV está llegando también a las Unidades de Zapadores de una forma crucial e imprescindible, pues garantiza la mejora respecto a las capacidades de reconocimiento, vigilancia e inteligencia. Cabe destacar dos sistemas:

- Sistema Gorgon Stare (denominado *Wide-Area Surveillance Sensor System*). Dicho sistema fue probado en el UAV estadounidense *“General Atomics MQ-9 Reaper”*. Esta aplicación sirve como asesor técnico de las capacidades IMINT.
- Sistema Astamids. Sistema que se incorpora a los drones para el reconocimiento remoto y detección de Campos de Minas (CMAS).

Éstas son las dos innovaciones tecnológicas aplicadas a los RPAS que mejores resultados han obtenido. Cabe destacar que el sistema *“Astamids”* es capaz de detectar y localizar obstáculos y CMAS tanto en superficie como recientemente enterrados. La capacidad que ofrece este sistema evita muchos de los incidentes provocados por las nuevas amenazas como los IED, por lo que se considera esencial para el reconocimiento, vigilancia y acompañamiento de convoyes militares.

## 3.2. Limitaciones y servidumbres

El desarrollo del presente apartado ha sido cumplimentado con la ayuda de la Compañía de Inteligencia de la BRILEG, especialmente la sección de RPAS, dedicada exclusivamente al empleo de dichos robots. Así mismo, han contribuido diversos Cuadros de Mando (CUMA) de diferentes secciones de inteligencia del Cuartel General de la BRILEG, el Centro Nacional de Desminado, y personal experto en la materia destinado en la Escuela de Técnicas Aeronáuticas del Ejército del Aire. Además, se ha realizado una encuesta enfocada a los problemas que han sido detectados en el empleo de los RPAS (*Anexo II y III*). Concretamente, las preguntas: *“Ventajas y desventajas del empleo del RQ-11B RAVEN”* y *“Si se le diera la opción de mejorar algún aspecto del UAV de estudio, ¿Cuál sería?”*, aportan información extra por parte de personal experto de acuerdo a cumplimentar el presente apartado.

Podemos dividir en tres bloques las limitaciones y servidumbres: operativas, meteorológicas y técnicas.

- Operativas.
  - Necesidad de realizar un estricto control del espacio aéreo, para evitar colisiones.
  - Limitación de empleo en zonas boscosas o urbanas.
  - Disponibilidad de zonas de despegue y aterrizaje.
  - Vulnerabilidad a las defensas antiaéreas enemigas.
- Meteorológicas.
  - Dificultad o imposibilidad de su uso en condiciones meteorológicas adversas (viento, lluvia, niebla, etc.).
  - Influencia de temperaturas extremas que repercuten a los sistemas integrados del RPAS.
- Técnicas.
  - Limitación de autonomía de vuelo.
  - Limitación de techo y alcance.
  - Necesidad de formación específica de los operadores.
  - Baja velocidad crucero.
  - Influencia de las interferencias electromagnéticas, provocadas por los sistemas civiles y militares de transmisión y/o sistemas de inhibidores de frecuencia.

Para determinar la repercusión que tienen las limitaciones y servidumbres, de acuerdo con las lecciones aprendidas y experiencia desde el punto de vista táctico, logístico, de instrucción y adiestramiento, sobre todo, los aspectos operativos en Zona de Operaciones, se ha realizado una matriz de priorización de problemas (*Anexo IV*) con la finalidad de clasificar y determinar cuál es la principal limitación del RQ 11B RAVEN.

En primer lugar, la meteorología afectará de forma directa y crucial en la ejecución del despegue del RPAS, la estabilidad en vuelo y en el aterrizaje. Es por ello necesario que la puesta en marcha del mismo, cuente con estaciones meteorológicas de superficie que

proporcionen datos que permitan confirmar la viabilidad del lanzamiento y recuperación del vehículo. Una meteorología adversa, como por ejemplo lluvias intensas o excesivos cambios de la dirección del viento, ocasiona una enorme desventaja debido a que imposibilitan el uso del RQ-11B RAVEN.

Por otra parte, el techo y el limitado alcance de comunicación suponen una gran deficiencia de cara a los cometidos que se pueden asignar al RPAS. Este factor afecta a todas las unidades del TO, y es considerado, por la sección de RPAS del ET, al igual que la autonomía limitada, de vital importancia para la cumplir las misiones que conciernen a las UZ. Esta debilidad ha sido mitigada con el denominado “vuelo relé” que se realiza utilizando dos aeronaves de modo que una de ellas mantiene la comunicación con la estación de control en tierra y ejerce de relé con la segunda, duplicando así el alcance en vuelo.

Sin embargo, la principal debilidad de los RPAS está asociada a la autonomía. El tiempo durante el que un RPAS es capaz de mantenerse en vuelo representa un factor primordial para recoger información sobre despliegues, actitud del enemigo, reconocimiento del terreno, etc. Los RPAS son imprescindibles para poder realizar misiones ISTAR. El factor clave para la realización de estos cometidos es la capacidad de permanecer largos periodos en el aire adquiriendo información. Para mejorar esta característica es necesario modernizar la aerodinámica del vehículo aéreo, reducir su peso y desarrollar el sistema de propulsión. La capacidad de mantenerse en vuelo durante periodos de tres-cuatro horas puede llegar a tener una repercusión esencial en el éxito de cada misión u operación.

El Ejército pretende mitigar estas debilidades en el periodo de reestructuración orgánica que finalizará en el año 2035. La Brigada Experimental (BRIEX) cuya responsabilidad recae en la BRILEG, será la unidad encargada de verificar si las tecnologías recibidas acaban con estos trascendentales problemas, concretamente con el de la autonomía. Aprovechando el periodo de experimentación, se pretende ofrecer una posibilidad para que la autonomía en vuelo de los RPAS que dispone a nivel nacional el Ejército Español aumente en un 100% su capacidad actual.

### 3.3. RPAS actuales a nivel nacional

El presente apartado está enfocado a describir aquellos UAV que, teniendo en cuenta sus características y funcionalidades, pueden trabajar conjuntamente con las UZ. Los RPAS a disposición de las FAS y aquellos RPAS que tienen opción de ser adquiridos en el marco del proyecto RPAZ<sup>13</sup> se pueden dividir en tres pilares, todos ellos caracterizados por ser de CLASE I (RPAS menores de 150 Kg), según la clasificación OTAN de los UAV.

El primer pilar lo conforman los RPAS tipo Micro.

- PD-100 Black Hornet. En la actualidad, es el sistema UAV más pequeño del mundo, siendo empleado por diferentes países de la OTAN en Operaciones en el exterior. Es un RPAS de ala rotatoria (tipo helicóptero), que tienes dos versiones: la versión

<sup>13</sup> Consiste en el estudio operativo y su pertinente evaluación sobre los RPAS Clase I disponibles en el sector industrial nacional.

diurna con una cámara reflex incorporada y la versión nocturna, que incorpora un sensor infrarrojo con capacidad de reconocimiento térmico o nocturno. El PD-100 Black Hornet es utilizado en combate en población para tener una visión de las calles e inmediaciones de los edificios, incluso para determinar la situación dentro de las construcciones e informar de la misma. La incorporación de esta tecnología ha supuesto un gran salto debido a que el ET no disponía de ningún sistema similar que se adaptase a cualquier especialidad fundamental para objetivos concretos. (Ver *Ilustración 5*)

- **Microb.** Es un dron de ala fija que ofrece prestaciones similares a los UAV tipo Mini. El RPAS tiene un alcance de diez kilómetros y una autonomía de dos horas. Es utilizado tanto en TO como en territorio nacional en catástrofes forestales, inundaciones, búsqueda y rescate. Este sistema facilita las labores de reconocimientos de puntos vulnerables. Entre sus componentes cabe destacar que tiene integrado un paracaídas para su recuperación. (Ver *Ilustración 6*)
- **Huginn – X1.** El sistema se considera de tipo Micro, pues su peso es inferior a 2 Kg, y se caracteriza por ser de ala rotatoria (tipo helicóptero) y su empleo es de corto alcance. El Huginn- X1, en potestad de la Fuerza de Infantería de Marina, se diseñó para dar apoyo a unidades de reconocimiento, potenciando la detección de amenazas y vigilancia. La autonomía y la potencia, como en la mayoría de RPAS, son sus debilidades más destacadas. Este sistema satisface los reconocimientos discretos de zonas en las que se va a fortificar, reduciendo así la posibilidad de que el enemigo ocupe, trampee o mine la zona antes de iniciar los trabajos. (Ver *Ilustración 7*)



**Ilustración 5. Sistema PD-100 Black Hornet.**  
Fuente: DGAM.



**Ilustración 6. MicroB.** Fuente: Bluebird



**Ilustración 5. HUGINN – X1.** Fuente: Sky-Watch

El segundo pilar lo conforman los sistemas RPAS de tipo MINI.



- Iriscopter 4. Este RPAS se caracteriza por ser un robot de ala rotatoria (multirroto). Este dispositivo dispone de la capacidad ISTAR. Una de sus principales características es la estabilidad tanto en el manejo en vuelo como en el aterrizaje. El Iriscopter 4 es considerado por los evaluadores del Proyecto RAPAZ como el RPAS idóneo para una observación estática. (Ver Ilustración 8)
- RQ-11B RAVEN. Este RPAS de ala fija está disponible en diferentes unidades del ET. El sistema RAVEN transmite imágenes y video en directo, proporcionando información de localización de control de tierra y RVT. Es considerado por expertos como el idóneo para ser empleado por los Zapadores. Hoy en día, todas las unidades desplegadas en el exterior utilizan este RPAS para facilitar la misión encomendada, ya sea en escolta de convoyes, reconocimientos, etc. El empleo de este robot es esencial de cara a proporcionar al mando información en directo y de primera mano. (Ver Ilustración 9)



Ilustración 6. Iriscopter 4. Fuente: Triedro.



Ilustración 7. RQ-11B RAVEN. Fuente: Elaboración propia.

El tercer pilar lo conforman los RPAS tipo Small.

- FULMAR<sup>14</sup>. El sistema diseñado por Thales España fue adquirido por el ET a finales del 2017. El FULMAR se caracteriza por ser un robot de ala fija. El RPAS será utilizado primordialmente para labores de Inteligencia, Vigilancia y Reconocimiento (ISR), complementando así a las unidades de Inteligencia de la Brigada, facilitando el despliegue y el movimiento de las Unidades. La Brigada de La Legión recibirá el sistema para la futura Brigada 2035. (Ver Ilustración 10)



Ilustración 8. FULMAR dispuesto para el despegue. Fuente: DGAM.

<sup>14</sup> "Defensa adquiere el RPAS Fulmar de Thales para el Ejército de Tierra". Disponible en: <http://www.infodefensa.com/es/2017/11/14/noticia-defensa-adquiere-fulmar-ejercito-tierra.html>

## Capítulo 4. Los RPAS frente a las necesidades de las Unidades de Zapadores

En este bloque se van a exponer los cometidos que hasta día de hoy se han asignado a los RPAS en las Unidades de Zapadores y los trabajos complementarios. De esta manera se puede decidir qué tipo de RPAS es el idóneo para realizar según qué cometidos. Las nuevas tecnologías afrontan el reto de cubrir las necesidades que satisfagan a los Zapadores.

Más adelante, se establecerán las líneas futuras de los tres diferentes tipos de clases de UAV.

### 4.1. Empleo de RPAS en las Unidades de Zapadores

El empleo de drones en el Ejército está fuertemente relacionado con la clase de Unidad Militar a la que presta sus servicios, al arma fundamental que lo utiliza y el tipo de empleo para el que es usado. El hilo común que une a los RPAS con sus diversos cometidos es que todos aquellos trabajos que desarrollan están basados en la obtención de información, ya sea para transformarla posteriormente en inteligencia u otros. Según el empleo táctico de las Unidades RPAS [2]:

*“Las misiones militares usuales para las unidades de RPAS responden al objetivo de obtener información para la inteligencia, vigilancia, reconocimiento, adquisición de objetivos y evaluación de efectos del combate (BDA, Battle Damage Assessment). Hay que añadir su empleo como relé de comunicaciones, guerra electrónica, corrección y ajuste del tiro, inteligencia de trabajos geográficos o misiones en las que se empleen armamento y/o municiones, además de aquellas vinculadas a la protección de la fuerza como medio de reconocimiento y seguridad.”*

Evidentemente, dependiendo de la unidad y de la misión, el RPAS tendrá dedicación exclusiva a la realización de un cometido o varios. Con el objetivo de tener conocimiento de primera mano de los cometidos y trabajos asignados a los RPAS en las diferentes Unidades del ET, se ha realizado una encuesta (Anexo II y Anexo III) tanto a personal experto en la materia como a CUMA que han empleado estos drones en múltiples puestos tácticos. De manera más específica, la encuesta aporta información relevante en las respuestas a las preguntas: “¿Qué RPAS tienen la posibilidad de ofrecer apoyo a su Unidad?”, “¿Qué cometidos se le asignan?” y “¿Qué trabajos complementarios pueden dar los RPAS de cara a su Especialidad Fundamental?”. Cabe destacar que la encuesta va enfocada a los RPAS de ala fija, pues son éstos los que se emplean en la actualidad las UZ<sup>15</sup>.

El resultado de la encuesta es muy diverso. Las capacidades y funcionalidades que ofrece cada RPAS son diferentes, y cada dron puede realizar un tipo de trabajo distinto. Los

---

<sup>15</sup> Los RPAS de ala fija ofrecen apoyo a las Unidades de Zapadores; por el contrario, los RPAS de ala rotatoria apoyan principalmente a las Unidades de Especialidades del arma de Ingenieros.

resultados que se han obtenido de las encuestas reflejan que los cometidos que contribuyen en mayor beneficio a los RPAS son los siguientes:

- Acciones encubiertas.
- Entidad, localización y actividad de elementos hostiles (fuerzas enemigas, masas de población, elementos propios, etc.).
- Corrección y ajuste del fuego de armas colectivas.
- Ataque.
- Espionaje.
- Recolección de información y seguridad en misiones de reconocimiento.
- Inteligencia.
- Reconocimiento.
- Localizar material o amenazas NBQ<sup>16</sup> y vigilar las posibles áreas afectadas, minimizando así la exposición innecesaria de personal.
- Escolta de convoyes.
- Señalamiento de objetivos mediante láser infrarrojo.
- Localización de indicios de actividad hostil (huellas, trabajos de fortificación, etc.).
- Confirmación de la amenaza de informaciones obtenidas por otros procedimientos.
- Transporte de material.
- Vigilancia de infraestructuras lineales (gaseoductos, oleoductos).
- Vigilancia de fronteras.

Cabe destacar que una de las misiones que más fuerza está cogiendo en Unidades de Operaciones Especiales, es el señalamiento de objetivos mediante láser infrarrojo. Los designadores láser han sido utilizados en aviones, vehículos terrestres o en dispositivos de mano. El nuevo método para el señalamiento de objetivos debe estar implementado en RPAS de ala rotatoria (multirrotor), pues la estabilidad de este tipo de drones es superior a los de ala fija. Actualmente, el Ejército Español está realizando la investigación correspondiente para verificar la utilidad de este método en los UAV. Gracias a esta aplicación, se podría evitar exponer a los soldados a la vista del enemigo, reduciendo así el riesgo de ser capturados.

Este innovador método supone una garantía en las técnicas, tácticas, procedimientos y conductas de las aperturas de brechas. Una de las claves del éxito en una acción de apertura de brechas es la correcta señalización del punto exacto donde se va a realizar. Utilizando el señalamiento de objetivos mediante láser infrarrojo, además de obtener una visión del terreno más amplia, se garantizaría la correcta colocación de explosivos en el campo de minas y el correspondiente paso de escalón a vanguardia de las Unidades de Maniobra<sup>17</sup>.

A pesar de ser una mejora sustancial, esto supone un aumento en el consumo de la batería, lo que se traduce en un descenso de la autonomía del vehículo. La carga de pago

---

<sup>16</sup> Amenaza Nuclear, Biológica o Química.

<sup>17</sup> Se llama "*paso de escalón*" a aquel movimiento que realiza una Gran Unidad para responsabilizarse de los cometidos y misiones que tiene la Unidad que va a ser superada. En el caso que este movimiento se realice por una Pequeña Unidad se denominada Paso de Línea.

(*payload*) del sistema señalador de objetivos con láser infrarrojo supone la reducción de un 20% de autonomía total del RPAS.

## 4.2. Tareas complementarias

Los drones en general pueden abarcar un amplio abanico de posibilidades de trabajos en función de sus características. Si este aspecto lo llevamos al ámbito militar, es obvio determinar que existe una larga lista de trabajos que pueden realizar los RPAS. Dentro de las UZ, el apoyo tecnológico que se proporcione desde plataformas robotizadas conlleva la mejora sustancial de sus complejos trabajos. Las funcionalidades y características que proporcionan los RPAS de ala fija y los de ala rotatoria son completamente distintos. Con lo cual, cada uno está diseñado para el apoyo a un tipo de trabajos u otros.

A pesar de quedar fuera del ámbito del trabajo, es de recibo mencionar los trabajos complementarios que pueden llevar a cabo los RPAS de ala rotatoria (empleados en las UESP), pues su constante evolución puede llegar a acarrear su empleo en las UZ. A día de hoy, la única UZ que dispone un único modelo RPAS de ala rotatoria en dotación (*Huginn X1*) es la Compañía de Localización y Adquisición de Objetivos, más conocida como Compañía de Limpieza de Rutas. Se ha realizado una entrevista al personal operador del RPAS con la finalidad de contrastar la información aportada. Se destaca que el empleo de este tipo de RPAS es inédito en las UZ, por lo que todos los cometidos que van a ser experimentados por el robot, serán informados y extendidos al ET.

A continuación, se relacionan los cometidos que más se han repetido en la encuesta (*Anexo III*) a la pregunta relacionada con los trabajos complementarios que pueden llevarse a cabo con cada uno de estos RPAS:

RPAS de ala rotatoria:

- Búsqueda de indicios en puntos vulnerables.
- Apoyo limitado a la población civil.
- Neutralización de artefactos (depositando carga adosada). Hoy en día, existe un RPAS policial que a través de un solenoide ya ejerce este cometido. Sin embargo, este sistema no ha sido contemplado para su adquisición por parte del ET a corto plazo.
- Reconocimiento de orilla enemiga en tendido de puentes.
- Seguridad en las bases, realizando patrullas en el espacio aéreo (autonomía inferior a 20 minutos).
- Comprobación visual del estado de cargas explosivas cuando éstas no han sido detonadas por causas desconocidas, evitando riesgo del personal frente a una posible explosión tardía.

Entre todos los cometidos que pueden llevar a cabo estos robots, es de especial relevancia el apoyo a la población civil. Para ejercer dicho cometido, la autonomía del vehículo debe ser igual o mayor al itinerario que tiene que recorrer. Por lo que, si disponemos una mayor autonomía en el RPAS, las UZ serán más eficaces y eficientes.

### 4.3. Líneas futuras de los RPAS

En el presente apartado se van a determinar las líneas futuras de los UAV militares. En relación con la clasificación los sistemas RPAS, el programa se divide en las tres diferentes clases de UAV de la OTAN (anteriormente reflejada en la Ilustración 4):

- CLASE I: El ET estudia la necesidad de invertir en las actuales tecnologías, primando la adquisición de los sistemas MINI. La tendencia es la de proporcionar al Ejército de una tecnología puntera, dotándolo de sistemas CLASE I categoría MICRO en un futuro a largo plazo. La adquisición de dichos sistemas otorgará un salto cualitativo a las Unidades de Zapadores respecto a sus principales cometidos de combate en población: reconocimiento de calles y edificaciones, trampeado de puertas y ventanas, etc.
- CLASE II: El actual UAV a disposición del ET es el SEARCHER MKIII, el cual se prevé que cause baja en 2023. El necesario progreso de la CLASE II, pone de manifiesto la exigencia de dotar al Ejército de Sistemas Tácticos RPAS de medio alcance. El servicio del actual SEARCHER MKIII dispone de fecha de caducidad, por lo tanto, se deduce que a largo plazo el ET prevé la adquisición de sistemas de largo alcance. El éxito recae en una prestigiosa y exitosa programación de obtención de sistemas CLASE II.
- CLASE III: El ET, hoy en día, no dispone de ningún UAV de CLASE III. Existen estudios y programas de desarrollo para la incorporación de estos tipos de RPAS al ejército, pero no se han llevado a cabo por el momento. Si hablamos de la necesidad de este sistema enfocado al ET, podemos llegar a la conclusión de que carece de utilidad táctica. Estos sistemas son más apropiados al Ejército del Aire y Armada.

En conclusión, es evidente que la base del futuro está aferrada a la incorporación de la tecnología, pero no a cualquier precio. Las primeras herramientas tecnológicas cubrirán las necesidades primarias y operativas, dando impulso a actividades y programas de desarrollo tecnológico. Estas necesidades primarias implican la mejora de las limitaciones detectadas en los RPAS en dotación del ET. A consecuencia de ello, se requiere una mejora sustancial de capacidades como la autonomía, o la sustitución íntegra de los RPAS actuales. Según el Plan Director de RPAS [6]:

*“Se estima que el horizonte medio permitiría satisfacer de una forma razonable las necesidades operativas, impulsar actividades tecnológicas prioritarias y posicionar la industria en el mercado nacional de tal manera que se refuerce su papel hacia el exterior. En cualquier caso, e independientemente del nivel de financiación que se establezca, se sugiere que el reparto porcentual de inversiones de realice de acuerdo a los siguientes porcentajes: I+D máximo de 10%, Obtención entre 60-70 %, Operación y sostenimiento entre 20-30%”*

Este horizonte a medio-largo plazo pretende sentar las bases de las nuevas Brigadas del año 2035, cubriendo las necesidades primarias operativas. De tal manera que los resultados que vayan surgiendo de cara a la incorporación de las nuevas tecnologías empujen a nuevos desarrollos y programas de I+D. Uno de estos programas está enfocado a mejorar el

RPAS RQ 11-B Raven. Multitud de propuestas han sido presentadas a la Dirección General de Armamento y Material con este fin, implementando nuevos accesorios o mejorando los aspectos de mayor debilidad y repercusión. Sin embargo, hasta día de hoy, no se conseguido un acuerdo táctico con las empresas investigadoras para lograr una posible innovación.

# Capítulo 5. Mejora de la autonomía del RQ-11B RAVEN

El presente capítulo pretende ofrecer un método para mejorar la autonomía de los RPAS. En primer lugar, se analizará el RQ-11B RAVEN, incluyendo su actual sistema de propulsión eléctrico. Posteriormente, se detallará el sistema de propulsión que se propone para cumplir el objetivo. Además, se reflejará el estudio técnico, un análisis de costes operativos, los plazos de entrega y los resultados del análisis.

## 5.1. EL RQ-11B RAVEN

Como se ha comentado en el apartado 3.3, el sistema RAVEN es un RPAS de ala fija de tipo MINI según la clasificación OTAN. El ET empezó a gestar la incorporación de este sistema en 2007 ante la necesidad de proteger a los soldados españoles en el escenario de Afganistán. El contrato supuso una inversión de 3.090.000 euros. El Mando de Apoyo Logístico del Ejército recibió nueve sistemas RAVEN a través de la empresa intermediaria Aelyper. Gradualmente, con la experiencia y los resultados positivos obtenidos con su empleo, se decidió aumentar el número de este tipo de robot con el fin de dotar al mayor número de unidades.

La misión principal del RAVEN es incrementar las capacidades de reconocimiento, vigilancia y adquisición de objetivos de las unidades de maniobra, proporcionando, en tiempo real y desde la tercera dimensión, la información que precise el jefe para fundamentar las decisiones relativas al cumplimiento de la misión y a la protección de la fuerza. Para ello, el RPAS va dotado de cámaras de video e imágenes de alta resolución. Estas cámaras pueden ser de dos tipos: cámaras ópticas o de infrarrojos lo que permite su utilización en ambiente diurno o nocturno. Asimismo, el RQ-11B RAVEN ofrece el servicio de retransmisión en tiempo real de imagen, video y audio de forma cifrada.

En 2017, se modernizó la flota de los RPAS RQ-11B RAVEN que tiene el ET. La principal funcionalidad de la que presume la actualización del sistema es la cámara Gimbal, que permite el seguimiento visual de un objetivo designado por el operador.

Respecto al lanzamiento del sistema, este se realiza a mano. Una vez en el aire, puede ser programado para que realice una ruta o simplemente dirigirse manualmente por control remoto a través de un ordenador portátil, que recibe imágenes en tiempo real.

Los problemas que surgen con este robot van en consonancia con los problemas detectados en todos los RPAS: su limitada autonomía. Teniendo en cuenta que el principal cometido que se asigna al RAVEN es el acompañamiento de convoyes para facilitar las tareas de las UZ, tales como los reconocimientos de puntos sensibles, cruces de caminos, bifurcaciones y reconocimientos de indicios de IED, la autonomía debe ser superior al tiempo estimado para realizar la ruta establecida. En caso contrario, la desventaja que genera el

desconocimiento de los posibles imprevistos puede ser aprovechado por las amenazas híbridas<sup>18</sup>, con el fin de atacar en los momentos y lugares oportunos.

## 5.2. Sistema de propulsión del RQ-11B RAVEN

El objetivo del presente apartado es dar a conocer las características técnicas del sistema de propulsión eléctrico del RQ-11B RAVEN. La finalidad de tener en cuenta estos datos es realizar un estudio teórico para la sustitución del mismo por otro sistema que permita tener una mayor autonomía.

Las características del actual sistema RAVEN se presentan en la Tabla 1.

|                            |                         |
|----------------------------|-------------------------|
| Longitud                   | 0.90 m                  |
| Envergadura                | 1.40 m                  |
| Altitud normal operacional | 150 a 1000 pies         |
| Velocidad crucero          | 30-60 mph               |
| Alcance                    | 10 Km                   |
| Ratio de ascenso           | 800 pies/minuto         |
| Autonomía de vuelo         | 60 a 90 minutos         |
| Planta Motriz              | Eléctrica (Batería)     |
| Batería Li-ion             | 25.2 V (Tensión máxima) |
| Consumo medio en vuelo     | 2,5 A                   |
| Potencia media del motor   | 66.7 W                  |

**Tabla 1. Características RQ-11B RAVEN. Fuente: Manual operador "RQ-11B RAVEN" de Junio de 2012.**

El RAVEN está actualmente propulsado por un motor eléctrico AVEOX 27/26/7-AV, que se alimenta desde una batería recargable de Li-Polímero, NSN: 6140-01-557-1271 con una tensión nominal de 24 V y una carga total de 4 Ah, lo que representa una energía almacenada de 96 Wh que es capaz de proporcionarle un tiempo de vuelo de 60 a 90 minutos.

El análisis realizado sobre las baterías Li-Polímero del RAVEN (*Anexo VI*) aporta las características y la información que se exponen en la tabla 2.

<sup>18</sup> Se denomina amenaza híbrida a aquellas actividades hostiles que combinan métodos convencionales y no convencionales, manteniéndose por debajo del umbral de una guerra declarada oficialmente. Generalmente, tanto la tecnología armamentística como el número de componentes de la amenaza híbrida es significativamente inferior comparada con su contrincante.



|                              |                                      |
|------------------------------|--------------------------------------|
| Tensión nominal              | 24 V                                 |
| Carga total                  | 4 Ah                                 |
| Energía disponible           | 96 Wh                                |
| Peso aproximado              | 0,8 Kg                               |
| Densidad energética en peso  | 120 Wh/Kg                            |
| Capacidad máxima de descarga | 6,5 A durante 30 segundos (despegue) |

**Tabla 2. Características de la batería recargable Li- Polímero. Fuente: Manual operador “RQ-11B RAVEN” de Junio de 2012**

Desde el análisis realizado a las baterías Li-Polímero (Anexo VI) se determina que la vida útil es, en función de su utilización, de unos 500 ciclos de carga y descarga de media (aproximadamente tres años). Considerando en este caso particular una utilización en cada ciclo de 90 min (1,5 h) se puede estimar una vida útil de 900 horas a lo largo de los tres años o, lo que es lo mismo, 300 horas anuales.

La tecnología Li-Polímero ha alcanzado prácticamente su barrera tecnológica. Su fiabilidad es alta pero su densidad energética en peso es baja (120 Wh/Kg) [8]. La autonomía que ofrecen las baterías Li-Polímero es la principal flaqueza de este sistema, es la ya citada de 90 minutos (incluyendo el despegue y el aterrizaje del robot).

Por otro lado, dado que la vida útil de cada batería de Li-Polímero varía en función del número de ciclos de carga y descarga a la que es sometida, pasado un cierto número de ciclos será necesario reemplazar la batería por una nueva, debido a que empieza a perder sus propiedades elementales.

El objetivo de este capítulo es exponer una propuesta de actualización del sistema. Esta mejora pretende aumentar la autonomía del vehículo aéreo de forma radical, intentando mantener el peso y el volumen del robot. Ante estos requerimientos se han propuesto varias alternativas que lamentablemente no han surtido el efecto esperado.

La propuesta de actualización que se aporta en este apartado incorpora una tecnología disruptiva basada en un sistema híbrido de hidrógeno y una pila de combustible con batería de litio-ion en tampón.

### 5.3. El sistema HYCOGEN

Las características que demandan los RPAS giran en torno a una alta fiabilidad, un volumen y peso relativamente bajo, una larga vida útil de sus baterías, un mantenimiento que no implique un coste económico excesivo y una larga autonomía. Como se comentado en el transcurso del documento, dotar de una considerable autonomía a los RPAS es crucial para el devenir de las operaciones. La posibilidad de encontrar una tecnología que conlleve una mejora sustancial de la autonomía del vehículo, sin aumentar el peso del mismo es cuando menos compleja. El sistema HYCOGEN que a continuación se describe, pretende mitigar la debilidad del RQ-11B RAVEN.

La información que a continuación se expone del sistema HYCOGEN ha sido contrastada con la empresa JALVASUB Engineering, con la que se ha realizado un trabajo conjunto con la finalidad de estudiar la posible incorporación del sistema híbrido al RQ-11B RAVEN.

Los sistemas HYCOGEN desarrollados por JALVASUB Engineering mantienen la fiabilidad inherente alcanzada con las pilas de combustible tipo PEM. La pila PEM es un dispositivo electroquímico de conversión de energía similar a una batería. Estas pilas generan continuamente electricidad gracias a una reacción química controlada entre una fuente de combustible (hidrógeno) y el oxígeno procedente del aire. La principal diferencia entre las baterías y las pilas PEM es que las baterías tienen una capacidad limitada de almacenamiento de energía, mientras que la pila PEM está diseñada para permitir el abastecimiento continuo de los reactivos. (Ver ilustración 11)

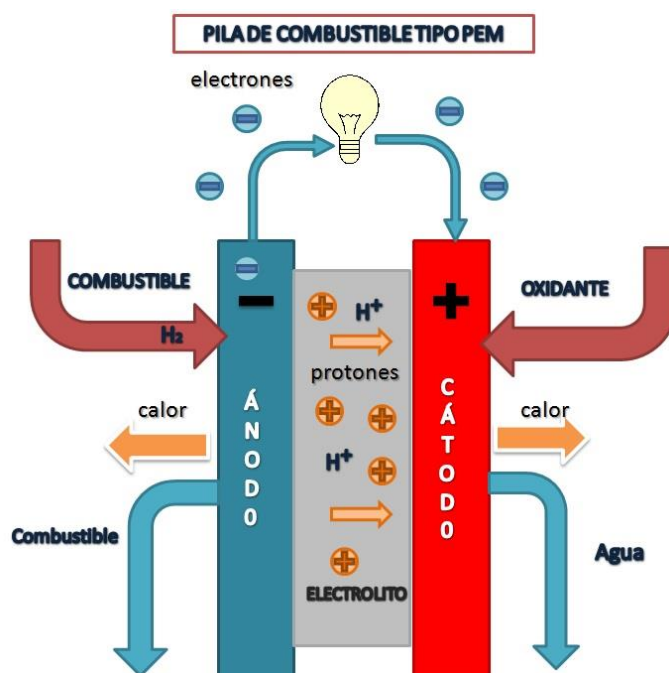


Ilustración 9. Funcionamiento y componentes de la pila PEM. Fuente: Wikipedia.

La placa del electrodo está cubierta por un catalizador con el fin de obtener una eficacia elevada. Generalmente el catalizador está compuesto por celdas de platino lo que incrementa notablemente el coste del sistema.

La primera innovación tecnológica introducida por la solución HYCOGEN es la deposición catalítica del platino mediante una tecnología de electro-spray patentada por la Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED), con lo que se consigue mantener la alta eficiencia de las pilas PEM reduciendo el contenido en platino, lo que repercute en un menor coste.

La segunda, también patentada por la UNED, consiste en la introducción en la pila de placas mono polares duales fabricadas en material ligero, lo que reduce su peso. El resultado es la pila de combustible Ultra Light Platinum High Energy- PEM Fuel Cell (ULPHE – PEMFC) de bajo peso, mayor autonomía y larga vida útil.

Finalmente, la tercera innovación tecnológica está centrada en la fuente de suministro del hidrógeno, que se produce bajo demanda a través de la reacción química de un metal alcalino/alcalinotérreo o sus aleaciones (por ejemplo, Li, Na, K, ó Mg) con agua, mediante un proceso patentado. El metal es encapsulado en un cartucho que se conecta a la pila y que comienza a producir hidrógeno en el momento en el que se alimenta con el agua procedente de un depósito.

Dicho cartucho se denomina “METALIQ”. Una vez agotado, puede remplazarse rápidamente por otro de repuesto sin que se produzca interrupción del servicio; esto es posible gracias a que los sistemas HYCOGEN son sistemas híbridos que incorporan una pequeña batería de Li-ion para absorber los picos de demanda y evitar interrupciones en el suministro de electricidad. La integración de la nueva pila “ULPHE-PEMFC”, sumado al cartucho “METALIQ” permite aumentar de forma considerable la autonomía del RPAS. El escaso mantenimiento requerido, la rapidez de puesta en marcha y la facilidad para soportar demandas puntuales de energía son otras ventajas a tener en cuenta.

El sistema HYCOGEN que se integraría en el RQ-11B RAVEN se muestra en la Ilustración 12:

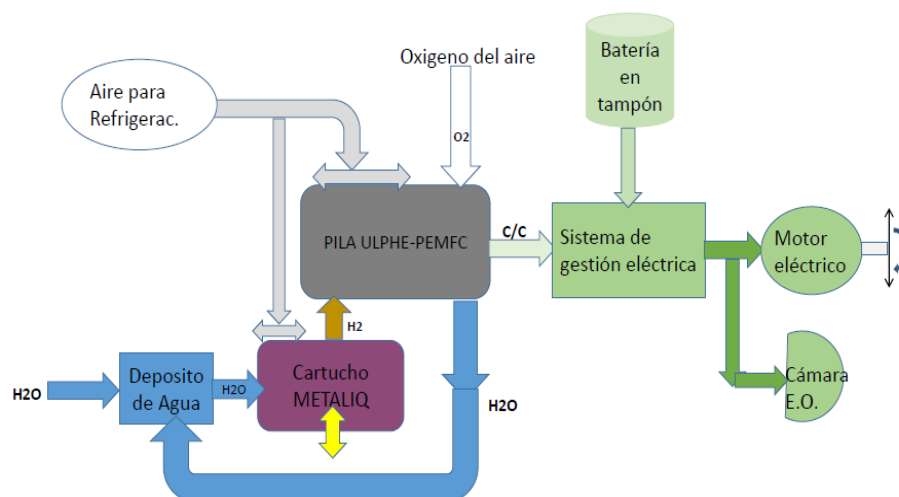


Ilustración 10. Sistema HYCOGEN para el RQ-11B RAVEN. Fuente: Jalvasub Engineering.

A continuación, se expone el análisis DAFO sobre el sistema HYCOGEN con el fin de determinar las fortalezas, debilidades, amenazas y oportunidad que puedan surgir para las FAS:

| FORTALEZAS   | DEBILIDADES  |
|--|--|
| El éxito que supondría esta innovación puede aplicarse a otros robots, como los robots de desactivación de explosivos. | Los sistemas HYCOGEN se encuentran todavía en desarrollo y por tanto no son un producto “Off-the-shelf”, lo que implica la necesidad de financiar el desarrollo y la adaptación del producto a cada proyecto específico. |
| Logística basada en cartuchos desmontables y recargables y en la disponibilidad de agua,                               | Se necesita unos conocimientos previos y técnicos para la recarga de los cartuchos de  |

|  |   |
|--|---|
| fácilmente gestionable tanto en territorio nacional como internacional.  | generación de hidrógeno.  |
| El sistema y sus componentes son altamente modulares, lo que garantiza la adaptación a diferentes aplicaciones.  | La debilidad financiera de <i>startups</i> españolas como JALVASUB Engineering, dificulta la puesta en el mercado de sus productos sin el respaldo financiero del Ministerio de Defensa u otros Organismos. |
| OPORTUNIDADES  | AMENAZAS  |
| La Brigada “Rey Alfonso XIII”, II de la Legión, ha sido designada como Brigada Experimental (BRIEX) 2035, es responsable de ejecutar las actividades de experimentación tecnológica para el diseño de la brigada de ese año. Por lo tanto, se facilitan las tareas para la coordinación de evaluar el sistema HYCOGEN. | La pérdida de capacidad tecnológica e industrial a nivel nacional, debido a la falta de un respaldo financiero útil para determinadas <i>startups</i> tecnológicas.   |
| El crecimiento sostenido de mercados asociados a los RPAS, basados en tecnologías de hidrogeno, superan en prestaciones a los disponen de baterías.  | Al ser una tecnología en desarrollo, es posible que no se cumplan los plazos previstos y que se eleven los costes previstos.  |

**Tabla 3. Análisis DAFO del sistema HYCOGEN. Fuente: Elaboración propia.**

Como se puede apreciar en este análisis, la principal fortaleza es que el éxito de la innovación, además de una mejora sustancial respecto a sistemas actuales, se podría implementar en multitud de otros sistemas que dispone el ET, lo que supone dar una amplia autonomía a todos los RPAS en dotación y a los robots de desactivación de explosivos. Otra gran fortaleza supone la facilidad logística de dicho sistema tanto en España como en el extranjero.

Respecto a las debilidades, uno de los principales problemas reside en que el sistema se encuentra todavía en desarrollo e implica la necesidad de financiar el proyecto, o al menos una gran parte del mismo. Además, se necesitan unos conocimientos técnicos para la sustitución y recarga de los cartuchos. Ello implica, cursos y formación del personal, lo que conlleva un coste adicional a la instalación del sistema.

En cuanto al análisis de este DAFO en los factores externos, destacan la designación de la BRILEG como BRIEX, dotando a ésta de una gran financiación para probar nuevos equipos y materiales, como puede ser el caso del Sistema HYCOGEN. No obstante, existen ciertas amenazas importantes como son el riesgo de que los plazos que se prevén de instalación no se cumplan y eleven de forma considerable los costes previstos.

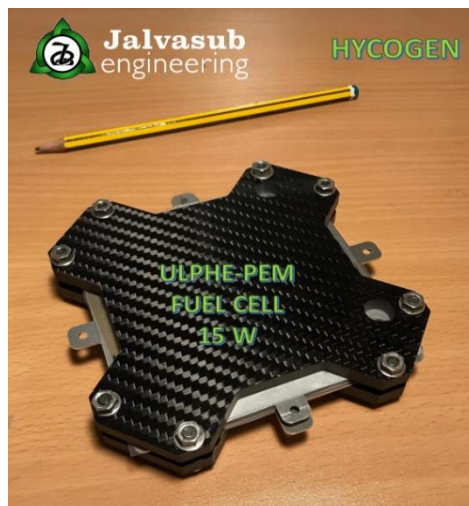
## 5.4. Estudio técnico de la incorporación del sistema HYCOGEN

El estudio que se ha realizado para la incorporación del sistema HYCOGEN ha sido realizado de manera conjunta y simultánea con la empresa JALVASUB ENGINEERING. Como anticipado, el objetivo de dicha incorporación es mejorar notablemente la autonomía del RQ-11B RAVEN.

Para integrar el nuevo sistema, es preciso obtener un volumen de 0,7043 L, debido a que son las dimensiones totales de los componentes que conforman el sistema HYCOGEN (Ver *Ilustración 13 e Ilustración 14*).



**Ilustración 12. Cartucho "METALIQ". Fuente: Jalvasub Engineering.**



**Ilustración 11. Pila ULPHE-PEM FUEL CELL. Fuente: Jalvasub Engineering.**

Con la finalidad de obtener el volumen necesario, se ha realizado una redistribución de los componentes en el interior del fuselaje del RQ-11B RAVEN. Así mismo, se ha de tener en cuenta que el actual espacio que ocupa el compartimento de la batería Li-Polímero podrá ser utilizado para integrar el nuevo sistema. Con todo ello, el volumen total disponible es de 71,6x95,2x90,8 mm (0,6189 L).

A consecuencia de este estudio, se ha concluido que el volumen disponible en el interior del fuselaje del RQ-11B RAVEN no permite la integración de todos los componentes del sistema HYCOGEN. Frente a este dilema, hay dos posibles soluciones: establecer un acuerdo con la empresa productora del RPAS para la modificación del fuselaje o la colocación del cartucho "METALIQ" algún componente en la parte superior del robot.

La incorporación del cartucho es imprescindible puesto que supone una ventaja drástica sobre el sistema actual. Con la adopción de las medidas necesarias para la integración del sistema RAVEN y modificación del espacio disponible del fuselaje, se prevé que se obtenga una autonomía de 270 minutos. La investigación y evaluación de un prototipo de sistema HYCOGEN adaptado a las necesidades del avión, basado en la integración de las tecnologías del hidrógeno y pilas de combustible ha concluido lo siguiente:

- Aporta al sistema de generación de energía completo una densidad de energía gravimétrica de más de 500 Wh/Kg. En comparación con las baterías de Li-Polímero, las pilas propuestas producen una densidad energética muy superior.
- La demanda del mercado creciente de pilas PEM favorece la reducción de los costes de adquisición de este componente. Las pilas de combustible aportan un bajo coste y alta eficiencia.
- El peso total de los componentes del nuevo sistema es de 799,35 gramos, incluyendo el peso del agua que contiene el depósito. Se encuentra dentro del margen disponible de la batería a sustituir que es de 800 gramos.

La incorporación del cartucho “METALIQ” es esencial. La capacidad energética que genera es considerablemente superior al actual y satisface de manera notable la debilidad detectada en los RPAS.

## 5.5. Plazos de tiempo

En este apartado se ha utilizado un análisis PERT para calcular la duración de la posible incorporación de la innovación del RPAS. Para la estimación se ha recurrido a dos integrantes de la empresa JALVASUB Engineering S.L. y a un ingeniero aeronáutico experto en la materia para la confección del análisis. Mientras que el director de programas y ALI en JALVASUB, Ángel Martínez Martínez, igual que el CEO de JALVASUB, el ingeniero naval Juan Álvarez Abad se muestran en una posición optimista y neutra, respectivamente, en el bando opuesto, el ingeniero aeronáutico Álvaro Rodríguez Vegue se muestra pesimista respecto a los plazos que se deberían dar para integrar el nuevo sistema. El desarrollo del análisis queda expuesto en el “Anexo V”.

Una vez calculada la duración del programa basándose en las ponderaciones para cada uno de las tres hipótesis, se estima un tiempo de 22 meses para la completa integración del sistema.

## 5.6. Estudio de costes

En el presente apartado, se expone los costes operativos de los dos diferentes sistemas, con la finalidad de realizar una comparativa entre ambos.

En primer lugar, se ha realizado un estudio sobre el sistema actual del RQ-11B RAVEN (*Anexo VII*). En dicho análisis, se ha concluido que los costes operativos anuales de las baterías del sistema actual son de 1.500 €/año. Teniendo en cuenta las horas estimadas de utilización anual (300 h), el coste operativo energético de cada avión por hora de vuelo resultante sería de 5,00 €/h.

|  | Coste anual                          | Coste ciclo (3 años)                 |
|--|--------------------------------------|--------------------------------------|
| Coste de adquisición                       | 0,00 € (Ya se encuentra en dotación) | 0,00 € (Ya se encuentra en dotación) |
| Baterías (10 unidades)                     | 833,00 €                             | 2.500,00 €                           |
| Cargador universal                         | 667,00 €                             | 2.000,00 €                           |
| Total                                      | 1.500,00 €                           | 4.500,00 €                           |
| Coste operativo energético (300 horas/año) | 5,00 €/h                             | 15,00 €/h                            |

**Tabla 4. Costes operativos del sistema actual RQ-11B RAVEN. Fuente: Elaboración propia**

En el estudio sobre los costes del sistema HYCOGEN integrado en el RQ-11B RAVEN, se ha concluido que las cifras operativas anuales ascienden a un total de 6.268.70 €/año. Teniendo en cuenta las horas estimadas de utilización anual (300 h), el coste operativo energético de cada avión por hora de vuelo resultante sería de 20,89 €/h.

|  | Coste anual              | Coste ciclo (3 años)      |
|--|--------------------------|---------------------------|
| Batería recargable                         | 10,00 €                  | 30,00 €                   |
| Cartuchos (5 unidades)                     | 1.662,50 €               | 4.987,50 €                |
| Recarga/unidad                             | 68,20 €                  | 68,20 €                   |
| Recargas totales                           | 4.596,20 € (67 recargas) | 13.788,6 € (201 recargas) |
| Total                                      | 6.268,70 €               | 18.806,10 €               |
| Coste operativo energético (300 horas/año) | 20,89 €/h                | 62,69 €/h                 |

**Tabla 5. Costes operativos del sistema HYCOGEN. Fuente: Elaboración propia.**

Los costes operativos relacionados con el sistema de energía en base al sistema HYCOGEN resultan unas cuatro veces más altos que los deducidos del sistema con baterías, con tendencia a disminuir la diferencia hasta poder llegar a ser de alrededor de tres veces más altos cuando pueda aplicarse la economía de escala sobre los consumibles.

## 5.7. Resultados del análisis

Una vez finalizado el estudio teórico de la implementación del sistema híbrido en el RPAS, los resultados obtenidos han sido los siguientes:

- Desde el punto de vista técnico la empresa JALVASUB Engineering garantiza que es posible mejorar la autonomía del RQ-11B RAVEN hasta un máximo de 4,5 horas.
- El plazo de tiempo estimado para la integración del sistema es de 22 meses. Los plazos de abastecimiento de estos materiales no están incluidos en este cálculo. Además, la integración de este sistema de realizaría en las dependencias de JALVASUB Engineering.
- Desde el punto de vista de su integración en el interior del avión, no ha sido posible encontrar un volumen suficiente dentro del cuerpo estructural actual donde alojar al sistema. Se hace necesario efectuar alguna modificación en el fuselaje, lo que necesariamente debe contar con la aprobación y el apoyo del fabricante AeroVironment para conservar la certificación. Estos problemas son debidos a las dimensiones de RQ-11B RAVEN, por lo que no se descarta que el sistema pueda ser apto para otros RPAS sin modificación alguna de sus características. Una posible

solución sería colocar algún componente del nuevo sistema en la parte alta del cuerpo principal del RPAS.

A pesar de las vicisitudes, JALVASUB y la BRILEG se han comprometido a realizar una prueba de cara a confirmar las mejoras establecidas. Para ello, se ha confeccionará un compartimento externo al avión que integre el cartucho "METALIQ". Esta prueba será realizada en la Base Álvarez de Sotomayor.

- Los costes operativos relacionados con el sistema de energía en base al sistema HYCOGEN resultan unas cuatro veces más altos que los deducidos del sistema con baterías Li-Polímero, con tendencia a disminuir la diferencia hasta llegar a ser de alrededor de tres veces más altos cuando pueda aplicarse la economía de escala sobre los consumibles.

Frente a este último apunte, se podría llegar a preguntar: "¿De verdad vale la pena realizar tal desembolso económico?". Recordemos que la idea principal del empleo de los RPAS es la reducción del riesgo de pérdidas de vidas, evitando la exposición del personal a zonas con posible amenaza. A consecuencia de este aspecto, "¿Cuánto valor tiene la vida de un soldado?". Desde el Mando y Adiestramiento y Doctrina, se considera que la vida de un soldado del Ejército de Tierra asciende a 300.000€. Si esta pregunta la extrapolamos a la primera potencia mundial, Estados Unidos, la respuesta de Barack Obama<sup>19</sup> es contundente: un soldado norteamericano "vale" como mínimo 500.000 dólares, una víctima afgana inocente 50.000 dólares y 11.000 por cada mutilado o lesionado<sup>20</sup>.

Y estas cifras solo repercuten a la vida de un ser humano. Si nos ceñimos a equipo, vehículos, material el valor en pérdidas aumenta descomunalmente (Ej. La pérdida de un *Leopard 2*<sup>21</sup> se aproxima a 8,5 millones de €<sup>22</sup>).

Con lo cual, realizar un desembolso económico que garantiza un aumento considerable de autonomía sobre un sistema RPAS que ha salvado a miles de soldados en ZO, es crucial.

---

<sup>19</sup> Presidente 44º de los Estados Unidos, ejerció desde 20 de enero de 2009 hasta el 20 de enero de 2017.

<sup>20</sup> Véase en: <https://es.sott.net/article/12809-Un-soldado-norteamericano-vale-mas-que-la-vida-de-civiles-afganos>

<sup>21</sup> Carro de combate empleado generalmente en ZO las unidades de vanguardia.

<sup>22</sup> [http://www.deagel.com/Armored-Vehicles/Leopard-2-A7\\_a000451005.aspx](http://www.deagel.com/Armored-Vehicles/Leopard-2-A7_a000451005.aspx)



## Capítulo 6. Conclusiones

Este trabajo tiene el objetivo de asesorar al mando sobre las posibilidades que ofrecen las nuevas tecnologías para que éstas faciliten la labor de las FAS, concretamente a las Unidades de Zapadores. Tras la investigación llevada a cabo se ha concluido que el Ejército Español posee tecnologías robóticas de elevadas prestaciones. Sin embargo, existen determinadas áreas tan importantes como la de inteligencia, el mando y control que carecen de material tecnológico puntero para el desarrollo de sus cometidos.

Por otra parte, el análisis de los RPAS ha reflejado los trabajos que pueden abarcar, dependiendo de las peculiaridades de los robots, concretamente si son de ala fija o ala rotatoria. Se ha presentado también una jerarquización de los cometidos y capacidades complementarios que pueden realizar los UAV militares. Además, mediante la recopilación de lecciones aprendidas de diferentes CUMA de la BRILEG se ha comprobado la necesidad del empleo de las tecnologías disruptivas en este campo. Gracias a estas entrevistas personales y encuestas se han visto reflejados todos los trabajos actuales y complementarios que pueden realizar los RPAS, y sus principales debilidades. Los problemas de navegación que se producen cuando la climatología es adversa, el alcance, junto con la principal debilidad, la autonomía, son las características que se deben mejorar. En este trabajo se ha presentado una propuesta que pretende aportar una mejora sustancial de este último aspecto. Consiste en un sistema híbrido de hidrógeno y una pila de combustible con batería de litio-ion en tampón que aumenta la autonomía estimada de 90 minutos hasta un máximo de 4,5 horas. El principal problema se debe a que el espacio disponible en el interior del RPAS para la integración del sistema no es suficiente.

A consecuencia de este problema, se concluye que la propuesta no se puede aplicar directamente sobre RPAS RQ-11B RAVEN debido a que se debería modificar el fuselaje del sistema. Asimismo, la correspondiente modificación implicaría la aprobación del fabricante con el fin de conservar la certificación. Si esto no se pudiese llevar a cabo, se puede proponer la colocación de algún elemento del sistema HYCOGEN en la parte superior del RPAS con la finalidad de no modificar el fuselaje del sistema.

Frente a ello, la BRILEG y concretamente el Batallón de Zapadores de La Legión, tienen la intención de continuar en la línea del estudio del aumento de autonomía del RPAS. Como consecuencia, pretenden proponer un TFG que continúe con la evaluación y el estudio de incorporación de RPAS a las UZ, mejorando las limitaciones y servidumbres de los mismos.

Es de vital importancia aprovechar el momento presente en el cual el concepto de "Brigada 2035" se encuentra en desarrollo y experimentándose. La Brigada de La Legión es la responsable de testear y verificar cuantos elementos sean necesarios. El crecimiento tecnológico augura un futuro lleno de incertidumbres. Sin embargo, a pesar de la escasez de recursos económicos para la adquisición de materiales, todas las brigadas del ET deben contar en su plantilla las mejores y óptimas soluciones que la economía permita.



# Bibliografía

## Referencias bibliográficas

- [1] Mando de Adiestramiento y Doctrina. *AGM-CM-013, 4ºEMIEOF CGET-INGENIEROS*. Curso 2017-2018, pp 3-5
- [2] Mando de Ingenieros. *Antiguo reglamento de Ingenieros de Zapadores y Especialidades R-4-0-1*. Apartado 1.7. Mayo 2007
- [3] Mando de Adiestramiento y Doctrina. *ATP – 3.12.1*. Sección 5.
- [4] Mando de Adiestramiento y Doctrina. *PD4-013. Empleo táctico de la Unidad de RPAS*. Marzo 2016, pp 2-1.
- [5] Mando de Adiestramiento y Doctrina. *PD4-013. Empleo táctico de la Unidad de RPAS*. Marzo 2016, pp 2-1.
- [6] D.G.A.M. Ministerio de Defensa. *Plan Director de RPAS*. Febrero 2015, pp 33.
- [7] Universidad Pontificia Bolivariana. *Manual de baterías y acumuladores*. Año 2014. Pp 18-26

## Fuentes consultadas

“Advanced propulsion for small Unmanned Aerial Vehicles, The role of fuel cell-based energy systems for commercial UAV,s”, *Ballard*, Enero 2017

“Doctrina Operaciones especiales”, *Mando de Adiestramiento y Doctrina del Ejército de Tierra*, marzo 2000

“Engineers and Robotization”, *FINABEL*, 2016

“Engineers Field Data, FM 5-34”, *U.S. Department of the army*, Abril 1999

“El futuro conflicto armado”, *Mando de adiestramiento y doctrina*, Noviembre 2012

“Fuel Cells and Other Emerging Manportable, Power Technologies for the NATO Warfighter – Part II: Power Sources for Unmanned Applications”, *STO Technical Report NATO*, Octubre 2014

“NATO Unclassified Allied Tactical Doctrine”, *NATO*, 2016

- “Ingenieros de las Fuerzas Terrestres, PD3-316”, *Mando y Doctrina*, 2016
- “La hora de los Drones”, *Expósito, J.L.*, Revista Española de Defensa, octubre 2015
- “La revolución de la robótica y el conflicto del siglo XXI”. *Singer, Peter W.* Junio 2009
- “Logística aplicada a la Defensa”, *Centro Universitario de la Defensa, Zaragoza*, 2017
- “Manual operador “RQ-11B RAVEN”, *Rev B*, Junio 2012
- “Memorial del arma de Ingenieros”, *Academia de Ingenieros*, nº 63, 2000
- “Noticias destacadas”, *EMAD CIFAS*, 11 de Septiembre de 2018
- “Táctica y logística de Ingenieros, AGM-CM-013”, *Mando de adiestramiento y doctrina*, 2017.
- “Proyecto Rapaz y Tecnologías anti RPAS”, *Dirección General de Armamento y Material*, 2016
- “Sistema de Organización del Ejército (SIOE)”, Estado Mayor del Ejército, Instrucción General 12/11, Diciembre 2011
- “Tendencias Generales, DIDOM IV-13”, Dirección de Investigación, Doctrina, Orgánica y Materiales, 2016

# Anexos

### Anexo I: Composición de las Unidades

| UNIDAD             | MANDO SUPREMO         | COMPOSICIÓN   |
|--------------------|-----------------------|---|
| FAS                | Capitán General (Rey) | Ejército de Tierra, Armada y Ejército del Aire.   |
| Ejército           | General de Ejército   | Cuerpo de Ejército (Tierra, Mar o Aire)   |
| Cuerpo de Ejército | Teniente General      | 2 Divisiones y unidades menores   |
| División           | General de División   | 3-4 Brigadas  |
| Brigada            | General de Brigada    | 3 Regimientos de Infantería, 1 Grupo de Artillería, 1 Unidad de Ingenieros, 1 Unidad de Intendencia |
| Regimiento         | Coronel               | 1-2 Batallones/Banderas/Grupos  |
| Batallón           | Teniente Coronel      | 2-5 Compañías   |
| Compañía           | Capitán               | 2-3 Secciones   |
| Sección            | Teniente              | 2-3 Pelotones   |
| Pelotón            | Sargento              | 2 Escuadras   |

Tabla 6. Composición de las Unidades. Fuente: Elaboración propia.

Ejemplo orgánica:

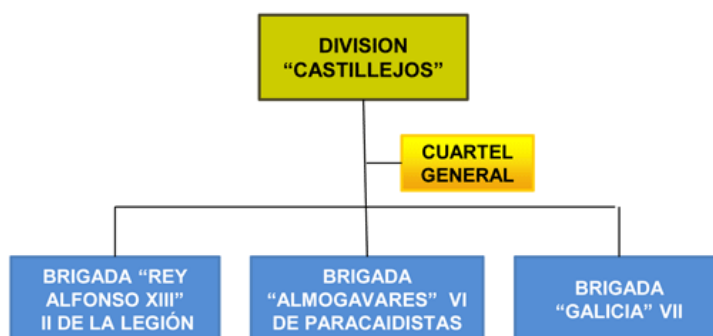


Ilustración 13. Orgánica División "Castillejos". Fuente: "http://www.ejercito.mde.es"

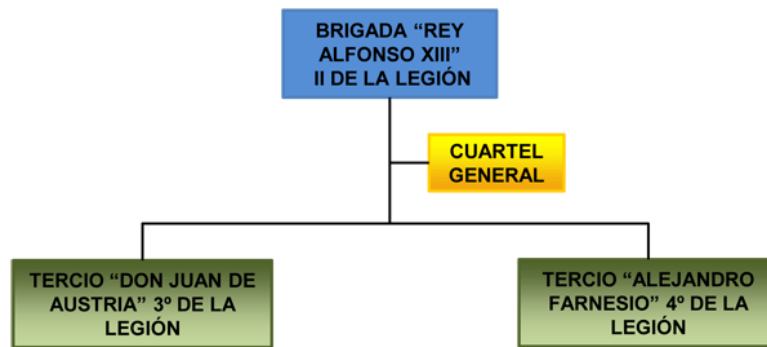


Ilustración 14. Orgánica Brigada "Rey Alfonso XIII" II de La Legión. Fuente: "<http://www.ejercito.mde.es>"

## Anexo II. Texto de la encuesta sobre el RQ-11B RAVEN

Estimado Sr/Sra.

Se presenta el Caballero Alférez Cadete Javier Alvir Prieto, actualmente cursando 5º curso de la Academia General Militar. Me pongo en contacto con usted debido a que me encuentro realizando un Trabajo de Fin de Grado con el fin de obtener el “Grado en Ingeniería de Organización Industrial”, en el marco de la enseñanza militar de formación para la incorporación a la Escala de Oficiales del Cuerpo General del Ejército de Tierra.

El título del trabajo es *“Estudio sobre la incidencia de la incorporación de soluciones robóticas actuales en las capacidades de Unidades de Zapadores”*. Le transmito mi deseo de contar con su experiencia y lecciones aprendidas sobre el tema en cuestión.

En referencia a los RPAS que actualmente tiene en dotación el Ejército de Tierra, los de ala fija son los sistemas robóticos que facilitan las labores y cometidos de las Unidades de Zapadores y por ello me gustaría contar con su experiencia sobre la utilidad de los mismos.

Empleo:

Oficial

Suboficial

Tropa

Puesto Táctico:

¿Su Unidad ha tenido la posibilidad de trabajar con los RPAS adquiridos por el Ejército?

Sí

No

¿Qué RPAS tienen la posibilidad de ofrecer apoyo a su Unidad? ¿Qué cometidos se le asignan?



En referencia a los RPAS en plantilla del Ejército de Tierra, ¿Cuál cree usted que es el idóneo para el empleo de su Unidad? ¿Por qué?

¿Usted cree que es beneficioso el trabajo conjunto entre la Compañía de Inteligencia (respecto al uso de los RPAS) y su Batería/Compañía/Escuadrón? Justifique su respuesta.

¿Qué trabajos complementarios pueden dar los RPAS de cara a su Especialidad Fundamental?

Respecto al UAV RQ-11B RAVEN

Del 0 al 10, ¿Qué nota le pondría usted al sistema respecto a las funcionalidades y medios que proporciona?

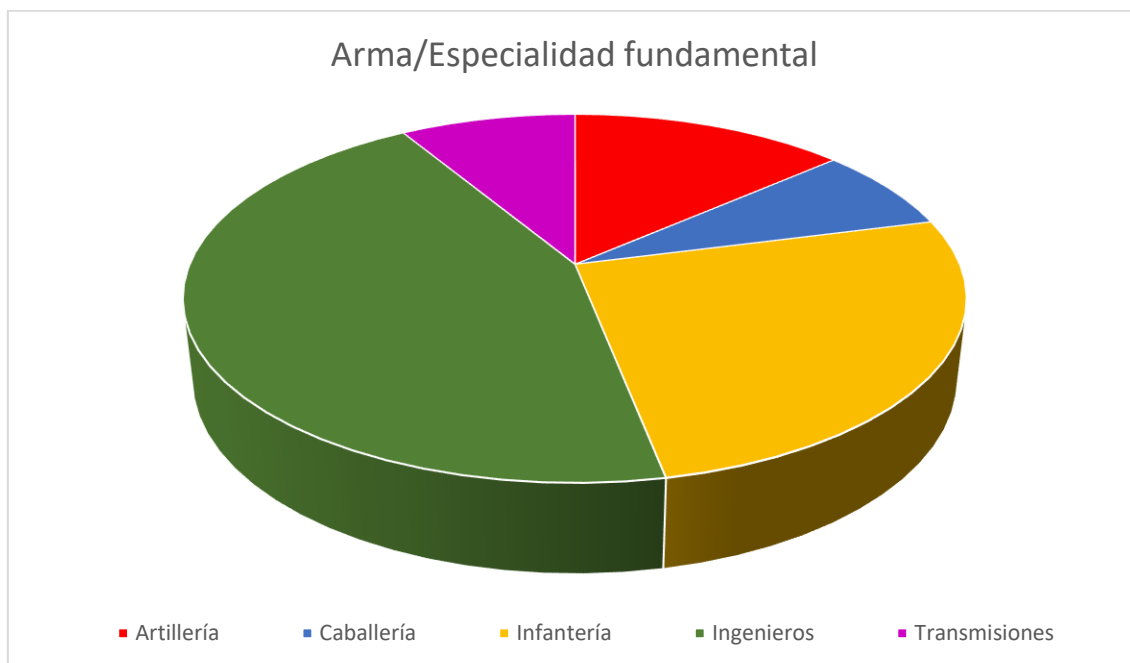
Ofrezca su visión enfocado a las ventajas y desventajas del empleo del RQ-11B RAVEN.

| VENTAJAS | DESVENTAJAS |
|----------|-------------|
|          |             |
|          |             |
|          |             |
|          |             |

Si se le diera la opción de mejorar algún aspecto del UAV de estudio, ¿Cuál sería?

¿Qué aspectos destacaría por encima de sus características?

### Anexo III: Resultados de las encuestas RQ-11B RAVEN



Los participantes en esta encuesta han sido los CUMA jefes de compañía de la BRILEG de las UZ, jefes de sección de las distintas compañías, personal de la compañía de Inteligencia incluyendo oficiales, suboficiales y tropa (especialmente la sección de RPAS), personal del Cuartel General de la Brigada y Plana Mayor de las diferentes Unidades.

El hecho de realizar la encuesta a personal de todas las armas fundamentales, es debido a la integración y empleo previo de los drones a armas fundamentales como artillería, transmisiones o infantería. A consecuencia de ello, los Zapadores pueden aprender de los cometidos que mayor repercusión han aportado a las distintas armas con la finalidad de aplicar dichos beneficios a su arma. Además, es imprescindible aprender de experiencias previas para poder evolucionar.

El número total de encuestas realizadas es 81, de los cuales 36 son Oficiales, 28 Suboficiales y 17 de Tropa. Respecto al puesto táctico del personal que ha realizado la encuesta va desde el soldado encargado de la estación de control de tierra del RQ-11B RAVEN hasta jefes de compañías de las distintas armas fundamentales. Además, el 100% de los entrevistados han trabajado con los RPAS que tiene en plantilla el ET.

#### ¿Qué RPAS tienen la posibilidad de ofrecer apoyo a su Unidad? ¿Qué cometidos se le asignan?

La encuesta ha sido dirigida a diferentes Unidades con la finalidad obtener información variada respecto al uso de los RPAS y la disponibilidad de su empleo. Por lo tanto y

como era de predecir, las respuestas a esta pregunta han sido variadas. Los RPAS que más se han utilizado ordenados de mayor a menor frecuencia son:

- RQ-11B RAVEN.
- Huginn – X1.
- Shepherd – Mil.
- PD-100 Black Hornet.

También es cierto que algunas Unidades han empleado drones civiles a nivel interno para mejorar su instrucción y material respecto al combatiente individual.

Los cometidos que han sido asignados alguna vez o que le pueden ser asignados no discurren de lo expuesto en el Apartado 4.1 y 4.2. Se debe añadir que debido a la amplia variedad de trabajos que ofrece los RPAS respecto a sus posibilidades y funcionalidades, se han reflejado las que mayor importancia le otorgan respecto a la cumplimentación de la misión de los Zapadores.

¿Usted cree que es beneficioso el trabajo conjunto entre la Compañía de Inteligencia (respecto al uso de los RPAS) y su Batería/Compañía/Escuadrón? Justifique su respuesta.

Todos y cada uno de los entrevistados, responden de manera rotundamente que es beneficioso el trabajo conjunto de la Compañía de Inteligencia con las Unidades de nivel Compañía de cada arma. Incluso hacen hincapié en la necesidad de este apoyo debido a la importancia que genera la Inteligencia obtenida para la visión global del que este mandando.

### **Respecto al UAV RQ-11B RAVEN**

La nota que le pondrían al sistema RQ-11B RAVEN ha sido calculada con la media de cada una de las puntuaciones, y la desviación absoluta media.

MEDIA = 7.065

Desviación media= 0.615

VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL EMPLEO DEL RQ-11B RAVEN.

| VENTAJAS   | DESVENTAJAS  |
|--|--|
| Ligero   | Vulnerable   |
| Manejo sencillo  | Inoperable en condiciones de viento                        |
| Lanzamiento manual (no necesita rampa ni pista)  | Vida útil de las baterías                                  |
| Uso extendido (EEUU, Reino Unido...) permite encontrar repuestos más fácilmente y es conocido entre aliados. | Necesidad coordinación espacio aéreo                       |
| Huella térmica escasa  | Baja autonomía   |
| Fácil mantenimiento de primer escalón y reparaciones sencillas   | Necesarios terrenos poco abruptos para manejo del sistema. |
| Visión en tiempo real de la amenaza.   | Empeora la calidad de imagen con lluvia o niebla           |

Si se le diera la opción de mejorar algún aspecto del UAV de estudio, ¿Cuál sería?

Las principales debilidades que se observan en el RPAS RQ-11B RAVEN, y que pueden suscitar debate para una posible mejora, van encaminados a la potencia y autonomía de este sistema. La vida útil de las baterías representa un dilema para la logística militar y la autonomía del RAVEN supone un límite temporal a tener en cuenta para el desarrollo de la misión. Como conclusión de esta pregunta, el factor determinante/limitante del sistema se resume en la autonomía del sistema.

### Anexo IV: Matriz de priorización de problemas

|  | Magnitud<br>¿Cuántas unidades se ven afectadas por el problema?   | Gravedad<br>¿Cuánto daño ocasiona?   | Capacidad<br>¿Qué posibilidades tenemos de solventar el problema? | Beneficio<br>¿Cuánto nos aporta la solución del problema? |
|--|---|--|---|---|
| Criterios  | Nº Unidades afectadas<br>(0 = Ninguna unidad;<br>1= Unidades de Vanguardia;<br>2 = Unidades de Vanguardia y Grueso;<br>3= Todas las Unidades) | Intensidad de daño<br>0-100<br>(Siendo 0 = Nada grave;<br>100 = Muy Grave) | Capacidad de intervención   | Utilidad que aporta la solución                           |
| <b><u>Problema 1</u></b><br>Meteorología<br>(Fuerte viento, lluvia intensa...) | 2   | <b><u>80</u></b>   | Muy baja  | Beneficio medio   |
| <b><u>Problema 2</u></b><br>Formación específica de los operadores             | 1   | 50   | <b><u>Alta</u></b>  | Beneficio medio   |
| <b><u>Problema 3</u></b><br>Autonomía limitada                                 | <b><u>3</u></b>   | <b><u>90</u></b>   | <b><u>Alta</u></b>  | <b><u>Beneficio alto</u></b>                              |
| <b><u>Problema 4</u></b><br>Techo y alcance limitado                           | <b><u>3</u></b>   | 75   | Mediana   | <b><u>Beneficio alto</u></b>                              |
| <b><u>Problema 5</u></b><br>Baja velocidad crucero                             | 0   | 40   | Mediana   | Beneficio bajo  |

## Anexo V. Análisis PERT de la innovación

El tiempo establecido para el análisis de la programación está expresado en meses. Si el resultado de la media ofrece decimales, se aproxima por número entero.

| TAREA   | OPTIMISTA<br>(Ángel) | MÁS<br>PROBABLE<br>(Juan) | PESIMISTA<br>(Álvaro) | MEDIA      |
|---|----------------------|---------------------------|-----------------------|------------|
| Desmontar el sistema de propulsión eléctrico actual                   | 4                    | 4                         | 5                     | 5 (4,16)   |
| Reestructuración espacio disponible en habitáculo de cuerpo delantero | 3                    | 4                         | 4                     | 4 (3,83)   |
| Integración sistema HYCOGEN completo                                  | 9                    | 10                        | 13                    | 11 (10,33) |
| Pruebas de evaluación operativa                                       | 2                    | 2                         | 2                     | 2          |
| ----  | ----                 | ----                      | ----                  | ----       |
| TOTAL   | 18                   | 20                        | 24                    | 22         |

Tabla 7. Análisis PERT de la innovación. Fuente: Elaboración propia.

La dependencia de todas y cada una de las actividades que se relacionan en la “Tabla 6” se definen por la relación “Finish to Start”. Ello implica que teniendo en cuenta las medias de cada una de las tareas, la ruta crítica es de 22 meses. Este resultado descansa sobre una distribución normal y la desviación típica es usada para estimar la probabilidad de una gama de fechas de terminación.

## Anexo VI. Análisis de las baterías Li-Polímero

Las baterías de Li-Polímero conllevan un bajo mantenimiento. Ello implica una contundente ventaja respecto a procesos químicos. Además, no se requieren ciclos para prolongar la vida útil de la batería en cuestión. Son caracterizadas por una elevada densidad de energía y tener un ligero peso.

La vida útil media de una batería Li-Polímero está alrededor de 400-500 ciclos de descarga/ carga. Si nos ceñimos al periodo de tiempo que se encuentre útil, se determina que es de dos años desde su fabricación y su pérdida de capacidad se produce de forma gradual.

En cuanto a los aspectos negativos, la batería de Li-Polímero es frágil y requiere un circuito de protección para mantener una operación segura. Además, el periodo de tiempo útil de dos años desde su fabricación es indiferente a si la batería es utilizada o no, es decir, la batería de Li-Ion envejece sin tener en cuenta su productividad.

Respecto al cargador de las baterías Li-Polímero, es un dispositivo limitador de tensión. Se caracteriza por una gran tensión por celda y una mínima tolerancia de tensión. Las celdas de las baterías Li-Ion se calibran a 4.20 V. La tolerancia en todas las baterías de Li-Ion es + / - 0.05 voltios por celda.

El tiempo de carga de todas las baterías de Li-Polímero es de aproximadamente 3 horas. La carga plena se logra después que la tensión alcanza el umbral superior de tensión nivelándose a un 3% de su valor nominal.

En definitiva, la batería Li-Polímero se considera fiable en cuanto a su rendimiento y efectividad.



**Ilustración 15. Batería Li-Polímero del Raven. Fuente: Manual operador "RQ-11B RAVEN" de Junio de 2012**

## Anexo VII: Estudio comparativo de costes operativos: baterías actuales vs HYCOGEN

### 1.- Costes operativos con el sistema actual RQ-11B RAVEN:

Las baterías Li-Polímero son capaces de proporcionar al RQ-11B RAVEN una autonomía de vuelo de 60 a 90 minutos. Con una tensión nominal de 24 V y una carga total de 4 Ah representa una energía almacenada de 96 Wh.

De acuerdo con el Manual del Operador del UAV de junio 2012, el sistema “Raven B” incluye para cada avión con el pack inicial de recambios entre otros, 10 baterías recargables Li-Polímero P/N: 54677 y un cargador universal de batería (120 VAC/240 VAC) con P/N: 56500. El hecho de disponer de 10 baterías se justifica para tener en todo momento al menos la mitad de ellas cargadas y disponibles para su utilización (aunque en la mochila donde se transporta el sistema a la zona de operaciones solo hay previsto llevar dos baterías cargadas), y el resto en recarga de la red con el cargador universal.

A efectos de este estudio, no se va a tener en cuenta el coste de adquisición inicial del sistema UAV que para la comparación no influye, y solo se considerarán aquellos consumibles relacionados con el suministro energético que sí influyen en los costes de operación.

Según la información consultada en el Manual Operador del RQ-11B RAVEN, contrastada por personal que posee el curso “Técnico Avanzado en Drones de Aplicación Militar”, la vida útil de una batería de Li-Polímero es función de su utilización y alcanza como media unos 600 ciclos de carga y descarga, tomándose como medida de tiempo de vida unos tres años, por lo que considerando en este caso particular una utilización en cada ciclo de 90 min (1,5 h) nos resulta una vida útil de 900 horas a lo largo de los tres años, o lo que es lo mismo 300 horas anuales.

El coste de una batería de Li-Polímero de las características indicadas para el “Raven B”, aunque varía según el fabricante y suministrador está alrededor de los 250 €, por lo que las 10 baterías que forman el pack operativo costarían 2.500 € a distribuir a lo largo del periodo de tres años señalado, lo que representa un coste anual de 833,33 €/año.

El coste del cargador universal de baterías especificado, de acuerdo con la cotización recibida del fabricante, es de 2.247 US\$ FOB (unos 2.000 € aproximadamente). La vida útil del cargador es variable, por lo que en principio se puede considerar también amortizado en un periodo de tres años, con lo que el coste anual repercutido será de 667 €/año.

De acuerdo con lo anteriormente expuesto, los costes operativos anuales de cada UAV “Raven B” serán de un total de 1.500,33 €/año, a lo que habría que sumar las piezas de repuesto que fuera necesario reemplazar (como hélice o ala), que en principio no se pueden cuantificar y que a efectos comparativos con el sistema HYCOGEN no afectarían ya que serían las mismas con cualquiera de los dos sistemas instalados.



Finalmente, y teniendo en cuenta las horas estimadas de utilización anual (300 h), el coste operativo energético de cada avión por hora de vuelo resultante sería de 5,00 €/h.

## **2.- Costes operativos con el sistema HYCOGEN:**

El RQ-11B RAVEN “Raven B” estaría propulsado por el mismo motor eléctrico AVEOX 27/26/7-AV, que se alimentaría desde una pila ULPHE-PEMFC de 80 W de potencia a través de un cartucho de combustible METALIQ con una energía almacenada de 360 Wh que sería capaz de proporcionarle una autonomía de vuelo superior a las 4,5 horas. El sistema se complementa con una batería recargable en tampón de 3,6 V y 2 Ah.

A efectos de este estudio, consideraremos que la pila ULPHE-PEMFC forma parte de la adquisición inicial del sistema UAV, ya que su vida media superior a las 5.000 horas hace que con las horas de utilización anual del sistema resulte una vida útil superior a los 16 años, que es suficiente para que el sistema quede ya obsoleto y tenga que ser reemplazado por otro más moderno. En consecuencia, solo se considerarán como consumibles relacionados con el suministro energético que influyen en los costes de operación, a los cartuchos METALIQ nuevos necesarios para la operatividad del sistema y a los costes de recarga y/o reemplazo de los mismos.

En cuanto al establecimiento del número de cartuchos necesarios, dado que la energía almacenada en cada uno de ellos (360 Wh), es más del triple de la almacenada en una batería de lón-Li (96 W.h), se considera que es suficiente transportar para cada avión uno solo en cada misión para tener la operatividad necesaria (> 4,5 h). Adicionalmente se dispondría en la Base más cercana de dos cartuchos recargados más para atender a las siguientes misiones, y de otros dos cartuchos descargados enviados a las instalaciones para su recarga. En total cinco cartuchos por cada sistema que habría que adquirir nuevos como establecimiento inicial.

Para el cálculo de las recargas necesarias hay que tener en cuenta que cada uno de ellos proporciona una autonomía de 4,5 h, por lo que, a lo largo de las 300 horas de utilización anual prevista, será necesario hacer  $300/4,5= 67$  recargas/año.

El coste de adquisición de un cartucho nuevo es de 997,50 €<sup>23</sup> por lo que los 5 cartuchos que forman el primer establecimiento costarían 4.987,50 € a distribuir a lo largo del periodo de tres años señalado, lo que representa un coste anual de 1.662,50 €/año.

El coste de la recarga de un cartucho es de 68,60 € y tienen una vida útil de unos 200 ciclos de carga y descarga por lo que no sería necesario reemplazar ninguno de ellos a lo largo del periodo de tres años. El coste anual de las 67 recargas sería de 4.596, 20 €/año.

La batería recargable en tampón de lón-Li de 3,6 V y 2 Ah es una pila muy común y de bajo coste (aproximadamente 10 €/unidad). Su vida útil es de unos 800 ciclos, pero teniendo en cuenta que durante un vuelo normal puede entrar en ciclos de descarga y carga varias

<sup>23</sup> Dato proporcionado por JALVASUB ENGINEERING S.L.

veces según los picos de potencia, se considera que hay que cambiarla cada año, por lo que el coste repercutible será de 10 €/año.

De acuerdo con lo anteriormente expuesto, los costes operativos anuales de cada RQ-11B RAVEN con sistema HYCOGEN serán de un total de 6.268,70 €/año (hay que tener en cuenta que se trata de precios estimativos, y que no se ha considerado la economía de escala).

Finalmente, y teniendo en cuenta las horas estimadas de utilización anual (300 h), el coste operativo energético de cada avión por hora de vuelo resultante sería de 20,89 €/h.

