

## Trabajo Fin de Grado

# SISTEMAS DE EPM PARA LA INTEGRIDAD DEL UAV PASI Y SUS COMUNICACIONES

Autor

Sergio Carretero Alvedro

Directores

Francisco Domingo Aleu Puerto

David Izquierdo Núñez

Centro Universitario de la Defensa-Academia General Militar

2016



## INDICE

	<u>Páginas</u>
I. Agradecimientos .....	5
II. Resumen.....	7
III. Lista de figuras.....	9
IV. Lista de tablas .....	11
1. Introducción .....	13
1.1 Motivación. ....	14
1.2 Objetivos.....	14
2.- Descripción del proyecto.....	15
2.1 El PASI .....	15
2.2 Mejoras técnicas del PASI respecto a modelos anteriores.....	16
2.3 Principales riesgos para el PASI .....	17
2.4 Planteamiento de las tareas del proyecto.....	18
3.-Análisis de la integración de un RWR.....	19
3.1 Compra o desarrollo .....	19
3.2 Elección de un sistema comercial .....	20
3.2.1 Análisis de los diferentes sistemas.....	20
3.2.2 Análisis gráfico de los factores. ....	22
3.3 Integración del RWR QR020-M1 .....	24
3.3.1 Descripción del producto. ....	24
4.- Análisis EPM del sistema PASI .....	27
4.1 Medidas aplicadas actualmente en el PASI para mejorar su integridad física y las comunicaciones.....	27
4.1.1 Técnicas de espectro ensanchado por salto de frecuencia.....	27
4.1.2 Compresión JPEG 2000.....	28
4.2.-Análisis en la seguridad en las comunicaciones del PASI y propuestas para su mejora .	29
4.2.1 Trabajar en una banda superior .....	30
4.2.2 Incorporar otro sistema de encriptación .....	32
5.- Conclusiones .....	35
5.1 Limitaciones del proyecto .....	35
5.2 Opinión personal .....	36
6.-Bibliografía.....	39
ANEXOS	



## I. Agradecimientos

En un primer lugar y ante todo, querría agradecer a todos los cuadros de mando artilleros tanto de la Academia General Militar como del Centro Universitario de la Defensa, así como a la unidad GAIL III/63 el apoyo recibido, información proporcionada y máximo interés puesto para la completa realización de la memoria.

Además, cabe destacar el apoyo incondicional de mi familia, a quienes se lo dedico.

Profesionales que han ayudado en gran medida mediante su apoyo:

- 1.- Capitán Don Francisco Aleu Puerto, como director del proyecto en las prácticas externas.
- 2.- Brigada Guzmán por su gran conocimiento del UAV PASI (Searcher II) a nivel técnico, muy útil para conocer la viabilidad de las diferentes opciones perseguidas en el proyecto.
- 3.- Todo el personal del INTA por la información proporcionada en la visita realizada el día 26 de marzo del 2015.
- 4.- Todo el personal de la Universidad de León por los conocimientos aportados en el campo de la aeronáutica.
- 5.- Profesor Don David Izquierdo del CUD por su seguimiento y ayuda en todo lo referente a temas relacionados con UAVs.



## II. Resumen

En este proyecto se desarrollará un estudio de mejora de la integridad física y de las comunicaciones del UAV PASI siguiendo una secuencia lógica de análisis de sus principales vulnerabilidades. Se centrará en dos principales vertientes, la primera estudiará la integración de un sistema receptor de alerta radar o Radar Warning Receiver (RWR), de pequeño tamaño y adaptado a las restricciones físicas de la aeronave, que permitirá, principalmente, conocer si el enemigo ha activado su sistema de alerta temprana. Además también deberá contar con un registro de los diferentes radares de seguimiento que podrían estar fijando el UAV en vistas de derribarlo.

La segunda tarea será un análisis de las principales deficiencias en la conexión entre el UAV y la estación de control terrestre. Se incluirá posibles mejoras de la encriptación de la información para el PASI, así como medidas de protección electromagnética para evitar el *jamming* y se abordará el problema de la saturación de la banda.

## Abstract

This project will develop a study to improve the physical integrity and communications of PASI UAV following a logical sequence of analysis of the main vulnerabilities. It will be focused on two different parts, the first one will include the integration of a Radar Warning Receiver system of small size and adapted to the physical constraints of the aircraft, allowing us to know when the enemy could be activating the early warning system. In addition it must also have a record of the different tracking radars systems which could attack it.

The second part will be focus on the analysis of the major deficiencies for the data link which connect the UAV with the ground data terminal. It will include possible improvements to the encryption of the PASI data link and EPM to avoid jamming and the problem of saturation of the band will be solved.





### III. Lista de figuras

#### Capítulo 1

Figura 1 UAV PASI en Afganistán .....	13
Figura 2 UAV PASI en el hangar.....	13

#### Capítulo 2

Figura 3 Exhibición del UAV PASI ante miembros del gobierno español.....	15
Figura 4 Comparación de las versiones Searcher I/ II .....	16
Figura 5 ADR para el PASI remplazando el sensor electro-óptico.....	17
Figura 6 Posición del sensor electro-óptico en el PASI .....	17
Figura 7 Sensor electro-óptico IAI/TAMAM MOSP .....	17

#### Capítulo 3

Figura 8 Relación peso- volumen entre los diferentes RWR analizados en el proyecto. ....	23
Figura 9 Relación sensibilidad- consumo de los diferentes RWR.....	23
Figura 10 Gráfico radial de atributos conjuntos de los sistemas analizados. ....	24
Figura 11 Phobos R con sus principales partes.....	24
Figura 12 Interfaz gráfica PHOBOS-R incluida en el sistema .....	25

#### Capítulo 4

Figura 13 Módulo SSM del UAV PASI .....	28
Figura 14 Módulo Discrete Cosine Transform (DCT) .....	28
Figura 15 Diferencia entre onda en banda estrecha y ensanchada. ....	29
Figura 16 Fallos más comunes registrados en el data link del PASI .....	30
Figura 17 Antena direccional en banda C del UAV PASI.....	32
Figura 18 Esquema del proceso de encriptado/ desencriptado de video.....	32
Figura 19 Relación de peso de los diferentes encriptadores analizados .....	33
Figura 20 Relación Temperatura min/ Consumo de los encriptadores .....	34

#### Anexos



## IV. Lista de tablas

### Capítulo 3

Tabla 1	Análisis DAFO compra externa / inversión en I+D .....	19
Tabla 2	Tabla de las principales características técnicas de cada modelo de RWR .....	21
Tabla 3	Requerimientos funcionales más comunes en función al tamaño de un UAV. ....	22

### Capítulo 4

Tabla 4	Relación de las diferentes bandas existentes y frecuencias de trabajo .....	31
Tabla 5	Sistemas de encriptación analizados para la mejora de las comunicaciones del PASI ..	33

### Anexos



## 1. Introducción

En la Cumbre de la OTAN (Organización del Tratado del Atlántico Norte) de Praga de 2002, el Ejército de Tierra Español comienza a dotarse de UAV (Unmanned Aircraft Vehicle) que son la base para las necesidades de información, adquisición de objetivos, selección, observación y corrección de fuegos en profundidad. Surgen así dos programas de adquisición nacionales, UAV de largo alcance (UAV-LA), basado en el proyecto ATLANTE, para escalones de mando de Cuerpo de Ejército (CE) y Brigada/ Mando de Artillería de Campaña y de mini UAV de corto alcance, para unidades tipo Batallón.

Con estos programas se buscaba proporcionar a las diferentes unidades la capacidad de satisfacer el conjunto de las actividades de inteligencia, vigilancia y adquisición de objetivos ISTAR (Intelligence, Surveillance, Target Acquisition and Reconnaissance), para poder obtener información en tiempo real, y a la vez, poder corregir el fuego y valorar sus daños. Es importante destacar que la inteligencia ha sido siempre esencial para la consecución del éxito en las operaciones, por eso los UAV son los elementos ideales para llevar a cabo este conjunto de tareas, proporcionando una información en tiempo real, con una gran autonomía. En operaciones no bélicas, son también empleados en actividades como verificación de acuerdos, protección de fronteras, previsión de amenazas, etc.

Aun en 2002, España no disponía de ninguno de estos sistemas, solo un proyecto ATLANTE que desarrolló un prototipo, el Sistema Integrado de Vigilancia Aérea (SIVA), a través del Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA), sin cumplir con los requisitos operativos al estar en fase de I+D. Pero con el despliegue de tropas en Afganistán se necesitaba urgentemente disponer de dicho sistema, por lo que se optó por la compra del UAV PASI o Plataforma Autónoma Sensorizada de Inteligencia (PASI). A continuación se muestran imágenes de la aeronave en la misión de Afganistán, donde estuvo operativo desde 2008 a 2013 (véanse figuras 1 y 2).



*Figura 1 UAV PASI en Afganistán*



*Figura 2 UAV PASI en el hangar*

Cuando se trabaja con un UAV hay una serie de aspectos fundamentales que se deben conocer. Para así poder entender el objetivo de todo este trabajo y facilitar la comprensión al lector, en el anexo 1 "Clasificación de un UAV y aspectos técnicos" se desarrollarán aspectos más complejos de las comunicaciones, a la vez que se clasificará el tipo de UAV que es el PASI, dentro del amplio panorama existente.

## 1.2 Motivación

Dada la importancia de estos sistemas, su coste y sus características técnicas, su integridad podría peligrar a la hora de realizar una misión, por lo que este trabajo se centrará en la búsqueda de una solución a dos de sus principales problemas de seguridad. No solo contará con peligros físicos, sino que el espectro electromagnético, fundamental para su control y envío de información también será vulnerable a diferentes formas de ataque enemigo para ganar superioridad.

En este proyecto se intentará mostrar diferentes maneras de hacer frente al conjunto de estas amenazas y mejorar la seguridad del PASI, pero siempre teniendo en cuenta sus limitaciones, tanto físicas, como técnicas.

## 1.3 Objetivos

El desarrollo de este proyecto tendrá como principales objetivos:

1. Un análisis de la posible integración de un sistema para el UAV PASI que mejore su integridad, mediante la capacidad de detección de la radiación procedente de cualquier radar. Existen multitud de sistemas actuales, pero nos centraremos en el estudio de uno que se adecue a las características de nuestro UAV en relación, a espacio y peso, como es el Radar Warning Receiver <sup>1</sup> (RWR) QR020-M1 de la empresa Teledyne Defence Limited.
2. Describir el proceso de integración y acondicionamiento del RWR seleccionado en el UAV PASI a través de un documento de instalación.
3. De manera dual, se realizará un análisis de las mayores vulnerabilidades del data link tanto del canal ascendente (comandos de control), como descendente (carga útil). Se estudiará su encriptación, métodos de protección electromagnética o Electromagnetic protection measures (EPM) para proteger esa comunicación o mejorarla, así como sus principales deficiencias. Integrando finalmente un sistema de encriptación como solución al problema de saturación de la banda, mostrando el proceso de instalación y acondicionamiento del mismo en el UAV PASI.

Este proyecto busca la mejora de las posibilidades de supervivencia del UAV PASI, ya que el RWR que emplearemos, así como el propio análisis de las vulnerabilidades del data-link están adaptados a sus características técnicas. Siempre tendríamos que entender que la seguridad de cualquier aeronave no tripulada es fundamental, y más aún cuando contienen un carga útil de gran coste. Además los resultados de este trabajo podríamos exportarlos a otros UAV como el MILANO<sup>2</sup>, así como al futuro MANTIS, ambos prototipos de INTA.

---

<sup>1</sup> Un Radar Warning Receiver (RWR) es un dispositivo que detecta las emisiones de radiofrecuencia de un sistema de radar. Su objetivo principal es advertir cuando se detecta una señal de radar que podría suponer una amenaza.

<sup>2</sup> El Milano es un programa de INTA basado en la experiencia adquirida con el proyecto SIVA.

## 2.- Descripción del proyecto

Este apartado se centrará en una descripción general y técnica del UAV PASI, pasando posteriormente a un análisis de los principales riesgos encontrados, y finalizando con una explicación de cómo se ha llevado a cabo el planeamiento de las diferentes tareas a realizar en este proyecto.

### 2.1 El PASI

El PASI es un avión no tripulado creado por la empresa Israel Aerospace Industries (IAI), fundada en la década de 1980, basado en el Searcher Mk.II. Tiene misiones de vigilancia, reconocimiento, ajustes de tiro de artillería y evaluación de daños. El ejército de tierra español cuenta actualmente con cuatro Searcher Mk. II J-III (véase figura 3), cuya adquisición se realizó con la asociación de dos empresas españolas, Indra Sistemas y EADS-CASA con IAI. El precio de la admisión de los cuatro sistemas PASI completos fue de 14,37 millones de € en 2007, y en 2009 se adquirió otro debido a la caída de uno de los anteriores durante una misión en Afganistán.

El Searcher II es un desarrollo de mayor autonomía y tamaño que su predecesor (el Searcher I). Posee un nuevo motor, alas con forma positiva<sup>3</sup>, así como un sistema nuevo de posicionamiento avanzado unido a las comunicaciones más modernas, sobre la banda C (4-8 GHz) [1]. El despegue lo puede hacer de dos maneras, sobre pista o asistido mediante un vehículo lanzador. Puede trabajar bajo climatología adversa, y en caso de perder el contacto está programado para volver al punto de partida de una manera autónoma.



*Figura 3 Exhibición del UAV PASI ante miembros del gobierno español.*

Actualmente el PASI dispone de dos modos de funcionamiento diferentes a la hora de llevar a cabo sus operaciones.

- Semiautónomo: Emplea sistemas guiados de vuelo en fases como despegue o aterrizaje, y maniobras evasivas. El operador del PASI asume el control total de la aeronave durante estas fases, pero una vez en el aire se activa el piloto automático, y la nave sigue una serie de puntos de paso preestablecidos.

---

<sup>3</sup> Alas con forma positiva o en flecha son aquellas donde los extremos de éstas están dirigidos hacia atrás, en vez de formar un ángulo recto con el fuselaje.

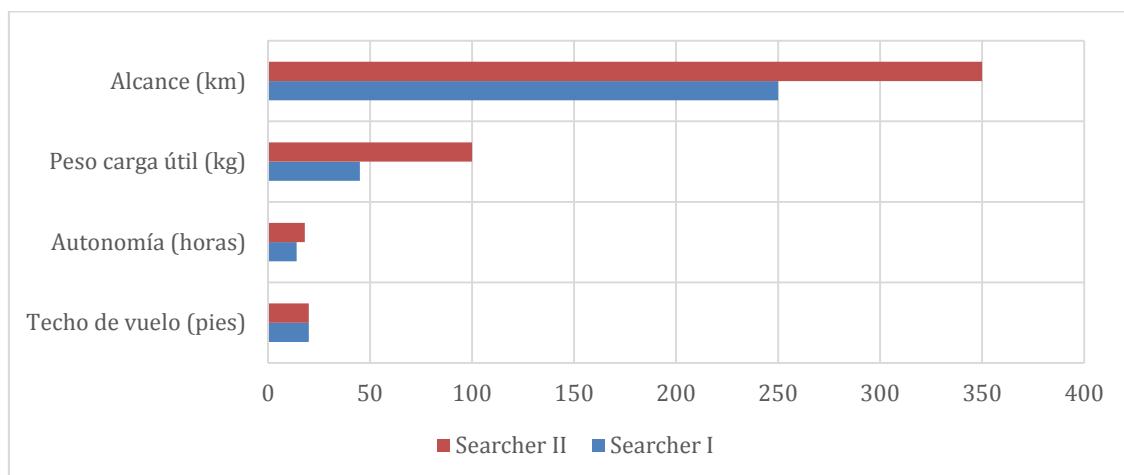
- **Autónomo:** No requiere intervención humana tras llevar a cabo la decisión del despegue. El PASI en modo autónomo es capaz de monitorear su propio estado y configuración, dentro de sus limitaciones. Es capaz de realizar su misión sin intervención del operador.

Previamente a clasificarlo, debemos conocer los diferentes tipos que existen en función a dos esquemas diferentes, uno serían sus características y forma de vuelo, y otro la relación altitud distancia, estando todos definidos en el Anexo 1.

El PASI es un UAV de tipo MALE (Medium Altitude Long Endurance) con 15000 metros de techo máximo y una autonomía de 24 horas, siendo además de ala fija. Esto limita el tipo de misiones para las que puede formar parte, ya que está pensado para misiones de apoyo a nivel Grupo o superior, teniendo un carácter táctico y no estratégico, impidiéndole en muchas ocasiones pasar desapercibido por las restricciones de altitud, así como no poder realizar penetraciones profundas o seguimientos en territorio enemigo dada su falta de una mayor autonomía.

## 2.2 Mejoras técnicas del PASI respecto a modelos anteriores

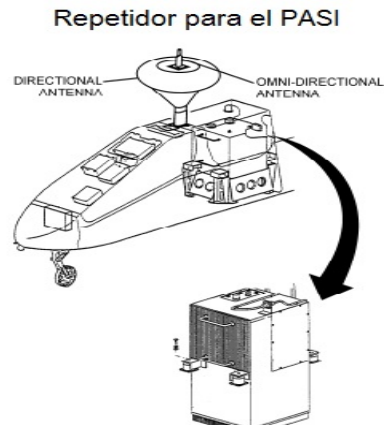
El Searcher MK II (o Searcher II) es una mejora del anterior Searcher I fabricado también por la empresa IAI. Para comprender de una manera más gráfica las mejoras implementadas, a continuación se realiza una comparación entre las principales características técnicas de ambos (véase figura 4).



*Figura 4 Comparación de las versiones Searcher I/ II*

Como podemos observar, las mejoras implementadas en el nuevo modelo Searcher MK II lo hacen superior a su predecesor en muchos aspectos. El más destacable es su nuevo alcance, ya que además de verse incrementado (aproximadamente 100 km), permite realizar con dos UAV un modo relé, permitiendo a uno de los dos funcionar como repetidor de la señal cuando esté equipado con el dispositivo de transmisión correspondiente. A continuación se muestra cómo iría instalado el repetidor del PASI (o Air Data Relay, ADR) sustituyendo al sensor electroóptico, haciendo que esta aeronave actúe de relé entre la estación de tierra o Ground Control Station (GCS) y su homóloga (véase figura 5).





*Figura 5 ADR para el PASI reemplazando el sensor electro-óptico*

Además, también el peso de carga útil que puede transportar se ha duplicado, por lo que puede transportar un sensor electroóptico de mayor tamaño, permitiéndole capturar imágenes de mayor resolución. Este sensor electro-óptico denominado IAI/TAMAM MOSP, se encuentra en la parte inferior del UAV (véase figura 6) y se encarga de proporcionar el conjunto de los datos de imagen y video a la GDT (Ground Data Terminal), ya sea en Infrarrojos o cámara de día. Además, el sensor tiene forma esférica permitiéndole rotar 360° (véase figura 7) y a la vez transmitir video en tiempo real con una resolución de 1920x1080. [2]



*Figura 6 Sensor electro-óptico IAI/TAMAM MOSP*



*Figura 7 Posición del sensor electro-óptico en el PASI*

## 2.3 Principales riesgos para el PASI

Una de las fases más importantes de todo el proyecto es el análisis de riesgos, donde estableceremos las principales deficiencias del sistema UAV PASI para mejorar su integridad física, y sus comunicaciones. El análisis de riesgos está recogido en el Anexo 4 de este documento y destacan en el los riesgos que a continuación detallamos:

Se exponen a continuación los principales riesgos:

1. UAV PASI detectado por radar en plena acción activando alerta temprana enemiga. Para este primer caso, como solución más coherente fue seleccionada la instalación de un RWR que permita al usuario saber cuándo ha sido fijado además de otras funcionalidades que se explicarán más adelante.

2. Nuestro GDT o ADT (Air Data Terminal) sea perturbado de una manera intencionada por sistemas jamming. Como solución se realizará un análisis de las principales deficiencias de protección electromagnética, así como posibles métodos de mejora.
3. Derribo por arma antiaérea, ya sea misil o un ataque de otra aeronave. Se solucionaría implantando un RWR o incluso un sistema de decepción contra misiles pasivos.
4. Otros riesgos como una avería en el sensor óptico o un error en la conexión del UAV por exceso de distancia, son fallos que ya tienen sus propios sensores integrados para permitirle al operador tomar una solución, por eso se han considerado de una menor gravedad.

A la vista de los resultados obtenidos en el análisis de riesgos, las opciones más probables en zona de operaciones que podrían poner en peligro nuestra misión, son aquellas basadas en un ataque enemigo o que el PASI sea detectado. Es por este motivo que el proyecto tiene como finalidad proponer una solución factible a cada uno de estos problemas.

## 2.4 Planteamiento de las tareas del proyecto

Para organizar el trabajo de una manera eficaz, se han empleado dos herramientas en la búsqueda de poder extraer unas metas claras y alcanzables sabiendo ya los riesgos sobre los que tenemos que trabajar. Una de ellas es el Project Charter recogido en el anexo 2, y la otra es el Diagrama de Gantt recogido en el anexo 3 [3] .

### Project Charter

Es una herramienta para la dirección de empresas que permite visualizar a grandes rasgos la meta del trabajo. Este documento debe estar presente durante la realización del mismo, ya que nos proporciona unas líneas de acción a seguir, evitando que nos desviemos de nuestra meta principal, la de solucionar los problemas de la protección física y las comunicaciones mediante el Radar Warning Receiver y el encriptador.

Con su elaboración se han obtenido los principales riesgos de alto nivel de los sistemas para la integración de un Radar Warning Receiver en el PASI, destacando la falta de presupuesto, o su futura obsolescencia frente a versiones más modernas de un UAV táctico existentes. Se han destacado errores que podrían surgir a la hora de incluir los sistemas, como la falta de medios para poder realizar las integraciones, errores de compatibilidad del software o hardware, así como el mal funcionamiento conjunto de los sistemas integrados en la aeronave. También ha permitido enfocar el trabajo hacia sus principales requisitos y objetivos necesarios para conseguir esta integración, planeando a la vez unos hitos temporales muy generales que posteriormente se irán perfeccionando a medida que avancemos, a través del diagrama de Gantt.

### Diagrama de Gantt

Aquí se realiza un estudio temporal de las diferentes etapas en las que se ha dividido la integración del RWR. Nos muestra las diferentes relaciones de dependencia que se establecen entre las diferentes tareas y subtareas que componen este proyecto y se ha completado paralelamente a la elaboración del mismo pudiendo extraer una serie de puntos básicos.

En este diagrama, se ha aproximado los tiempos de mayor duración que se prevén más largos, creando de esta manera un calendario temporal que pasa desde la fase de recogida de información, hasta la final compra al proveedor tras la elaboración de los manuales pertinentes y la realización de pruebas de compatibilidad.

### 3.-Análisis de la integración de un RWR

En este capítulo, se buscará una solución al riesgo de que nuestro UAV sea derribado por un arma antiaérea, así como que este pueda ser detectado por un radar enemigo, activando su sistema de alerta temprana. Para ello se plantea como solución la incorporación de un radar warning receiver, siendo este un dispositivo que detecta las radiaciones de radiofrecuencia de un sistema radar y emite una advertencia cuando detecta una señal que podría suponer una amenaza.

Además se realizará un análisis DAFO que determinará la mejor opción a seguir, en función de si sería rentable su compra frente al desarrollo propio. Para la opción de compra se analizarán una serie de sistemas disponibles en el mercado actualmente y cual se adecua más a nuestro sistema gracias a una comparación de sus datos técnicos. Se finalizará con un estudio de cómo se realizaría la integración del sistema elegido y se incluirá una pequeña descripción del producto elegido con sus principales funcionalidades.

#### 3.1 Compra o desarrollo

A la hora de introducir el sistema, se analizará qué opción tiene más ventajas a la hora de la integración, si una compra directa a un proveedor externo, o una mayor inversión en I+D en este tipo de sistemas. Para realizarlo hemos empleado la herramienta analítica DAFO o SWOT (Strengths, Weaknesses, Opportunities y Threats), donde nos muestra en una tabla el conjunto de Debilidades, Amenazas, Fortalezas, y Oportunidades de ambas opciones de una manera más gráfica (véase tabla 1).

Fortalezas	Debilidades
<p><b>Opción 1 “Compra externa”</b></p> <p>Podemos exigir a la empresa una garantía que nos asegure la fiabilidad del producto.</p> <p>Diseñada específicamente para este tipo de sistemas.</p> <p>A corto plazo se abaratan los costes</p> <p><b>Opción 2 “Inversión en I+D”</b></p> <p>Mejora nuestro nivel de investigación nacional en radio-detección.</p> <p>Evita posibles sobrepagos en futuros repuestos y contratos de larga duración.</p>	<p><b>Opción 1 “Compra externa”</b></p> <p>Problemas de compatibilidad e integración con nuestro sistema.</p> <p>A largo plazo supondrá una peor inversión que I+D.</p> <p>Precios abusivos en material relacionado con defensa.</p> <p><b>Opción 2 “Inversión en I+D”</b></p> <p>Necesidad de una gran inversión inicial.</p> <p>No siempre están asegurados los resultados exitosos.</p>
Oportunidades	Amenazas
<p><b>Opción 1 “Compra externa”</b></p> <p>La empresa a la que adquirimos el producto nos podría aplicar descuentos en su catálogo, a largo plazo saldría ventajoso.</p> <p><b>Opción 2 “Inversión en I+D”</b></p> <p>Generaría posibles avances en otros proyectos en desarrollo creando sinergias.</p> <p>Aumentaría el nivel técnico de las organizaciones españolas dedicadas a la protección electromagnética.</p>	<p><b>Opción 1 “Compra externa”</b></p> <p>Las empresas tienden a aprovechar la ventaja de poseer el desarrollo frente a sus competidores.</p> <p>La eficacia contra todo tipo de sistemas enemigos no es del todo segura, podría contener errores de cualquier tipo.</p> <p><b>Opción 2 “Inversión en I+D”</b></p> <p>La investigación sea vendida en mercados externos, ocasionando grandes pérdidas.</p> <p>Obsolescencia del producto que buscamos, debido a grandes periodos de investigación.</p>

Tabla 1 Análisis DAFO compra externa / inversión en I+D

El análisis DAFO (véase tabla 1) nos muestra que la mejor opción es la de compra aplicando la siguiente serie de criterios:

- Nos estamos refiriendo a un sistema de pequeño tamaño, por lo que su inversión en I+D no sería rentable, ya que los radar warning receivers empleados por el resto de aeronaves españolas son de un mayor tamaño y potencia, no pudiendo ser aprovecharlo en otros modelos
- La inversión en I+D en un sistema de este tipo, no nos garantiza un buen resultado.
- Existen empresas expresamente especializadas en este tipo de sistemas novedosos en el nuevo mercado de los UAV.
- Tiempo de desarrollo elevado.
- Se reducen costes a corto plazo.

### 3.2 Elección de un sistema comercial

Partiendo de la información del punto anterior, en este apartado se realizará un análisis de las características físicas y técnicas de los diferentes sistemas que podrían ser empleados en nuestro UAV teniendo en cuenta el conjunto de las restricciones de peso y volumen, así como potencia eléctrica consumida.

Cabe destacar que para nuestro tamaño, el del UAV PASI, una característica de compatibilidad como podría ser el consumo eléctrico, podría hacer inválido el sistema. Estos requisitos conocidos como SWaP (Size Weight and Power) [5], son los que determinarán la validez del RWR a instalar. Se pueden categorizar en tres tipos diferentes de UAV en función a estas características SWaP que utilizamos como base del estudio:

- Menos de 3 metros de ala, y con una carga útil inferior a 4kg.
- Entre 3-6 metros de ala, y una carga útil inferior a 35 kg, donde se encontraría el UAV de estudio.
- Entre 6-10 metros de ala, con una carga útil superior a 100kg y un potencial eléctrico mayor de 1kW.

#### Análisis de los diferentes sistemas.

Para el conjunto de UAVs que se agrupan en la segunda categoría, como el Searcher, se ha creado una lista de los diferentes elementos RWR que podrían integrarse y a la vez ser compatibles. En este apartado, además, se realizará una valoración cuantitativa de los diferentes factores más importantes del conjunto de RWR analizados que podrían cumplir con los requisitos necesarios para su posterior integración en el UAV PASI.

Todos los RWR de la siguiente tabla comparten características funcionales parecidas como frecuencia de operación, sensibilidad y rango. A la hora de realizar una selección del sistema, se escogerá aquel que reúna las mejores características (véase tabla 2).

Nombre del sistema/ Empresa	Rango de operación (GHz)	Sensibilidad mínima (dBmi)	Volumen (L)	Consumo(W)	Peso (Kg)
Finder Plus / Aeronix	2-18	-20	98	400	53
WBR2000 / ArgonST	2-18	-40	56	350	45
ELT/160 / Elt SpA	2-18	-42	20	180	15-20
SPS-65-V5 / ELISRA	0.5-18	-44	13,5	160	10
ALR-400 / INDRA	0.5-42	-64	15	200	10.2
ALR-67V3 / Raytheon	2-40	-40	18	109	35
ESP / Avtronics	1-18	-60	8.4	140	16
CATS / Thales	2-18	-50	10.3	144	10
Teledyne Defense/ Phobos R QR2020- M1	2-18	-62	8.5	24	7,2

*Tabla 2 Tabla de las principales características técnicas de cada modelo de RWR*

A la vista de los datos, ya podemos observar que el modelo Phobos R QR2020- M1 de Teledyne Defense parte con una cierta ventaja sobre sus competidores, pero será la realización de una serie de estudios gráficos la que nos muestre claramente la diferencia entre los sistemas. Además, el precio es un factor importante a tratar en este tipo de adquisiciones, para plataformas aéreas como el PASI tiende a suponer entre un 5-10% del total del mismo. Cuanto mayor sea la aeronave, mayor será el incremento de las necesidades de autoprotección frente a pérdida.

Dentro de este factor de autoprotección para un UAV se encuentra el RWR de pequeño tamaño como los analizados anteriormente, que tienden a costar entre 500.000 € y 1.000.000 €, por lo que en muchas ocasiones, la integración del RWR en un UAV tamaño medio es rentable. Para que fuese rentable el coste del PASI debería situarse en torno a los 10M €, siendo este bastante inferior, como se indica en el capítulo 2 de este estudio. Los siguientes requerimientos funcionales son los más comunes para poder integrar un RWR, y los más difíciles de combinar con el diseño de un UAV en función a su tamaño (véase Tabla 3).

Estos requisitos, están directamente relacionados con los SWaP, ya que son los que tenemos en cuenta a la hora de la elección de un sistema comercial que se adapte a las características del PASI. El resto de factores técnicos del RWR siguen siendo importantes, pero no son fundamentales a la hora de realizar la integración en la aeronave, ya que se busca que la aeronave pueda mantener el vuelo y su autonomía sin perjudicar la sensibilidad mínima de detección así como el resto de carga útil.

Parametro	Menor 3 m ala	Entre 3 - 6m ala	Mayor 6 m ala
Volumen(l)	< 6	6 -10	>10
Peso (kg)	< 4	4-15	>15
Potencia (W)	< 30	30-40	>40
Altitud (pies)	<8.000	8.000-18.000	<20.000
Temperatura de operación	20°C	20°C	<15°C

*Tabla 3 Requerimientos funcionales más comunes en función al tamaño de un UAV.*

A la hora de hablar del PASI, tendremos en cuenta que tiene 5,89 metros de ala, por lo que nuestro UAV se encontraría en la 2ª columna de UAV entre 3 y 6 metros de ala. Comparando los datos de la tabla 3 para el Phobos R QR2020, podemos observar que sus valores como consumo, peso o volumen se encuentran dentro de los valores definidos (véase tabla 3).

### **Análisis gráfico de los factores.**

En este apartado, se realiza una comparación entre las características técnicas de los RWR que estamos analizando en la *tabla 3 "Requerimientos funcionales más comunes en función al tamaño de un UAV"*, para que de este modo el lector pueda visualizar de una manera más gráfica las diferencias entre ambos. Se realizarán tres diferentes, en un primero se analizarán las diferencias entre peso y volumen físicos, para pasar a la relación de sensibilidad de detección en función al consumo empleado, y finalizar con una gráfica de contraste con todos los atributos juntos, en donde se observe de manera más genérica qué sistema satisface mejor nuestras necesidades.

En la siguiente gráfica (véase figura 8) se exponen las relaciones de peso y volumen entre los diferentes RWR. Claramente podemos observar cuales son los dos candidatos más próximos en este tipo de relación dadas las características, el ESP de la empresa Avitronics y el PHOBOS-R de la empresa Teledyne defense, pero el último ocupa menos volumen notablemente. Estos son dos de los parámetros más restrictivos a la hora de trabajar con RWR en la plataforma PASI.

Entre los dos niveles en malva, se encuentran el conjunto de valores de los requerimientos de peso más comunes para un UAV con características como el PASI de entre 3-6 metros de ala, mientras que en color negro, los relacionados con el volumen del mismo. Como podemos observar, automáticamente algunos quedan descartados del proceso de selección.



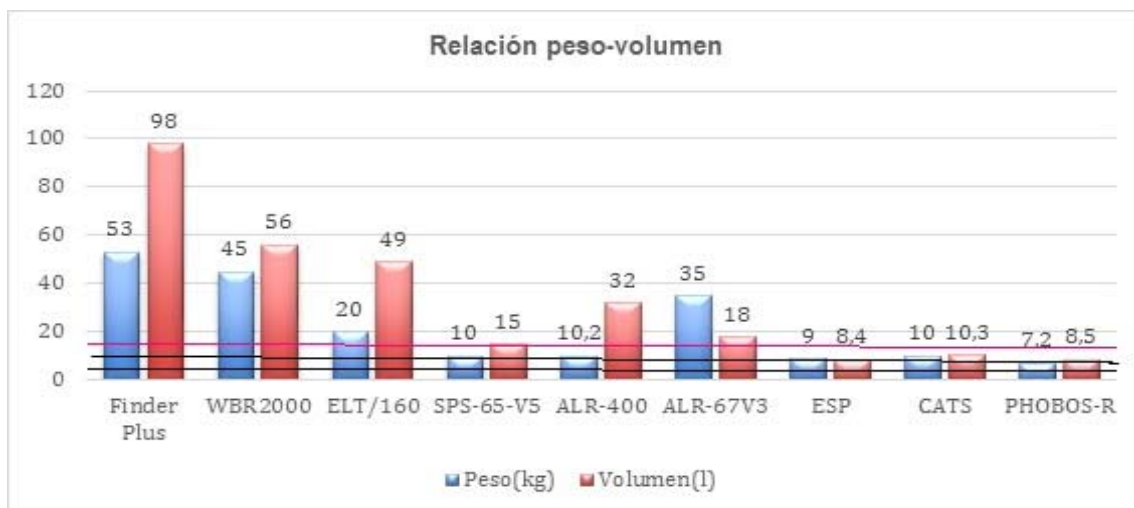


Figura 8 Relación peso- volumen entre los diferentes RWR analizados en el proyecto.

En cuanto a los parámetros técnicos tratados a continuación (véase figura 9) el Phobos-R QR020 se encuentra entre aquellos que reducen en gran cantidad el gasto energético, maximizando la sensibilidad mínima<sup>4</sup>, de manera que se encuentra entre los RWR más sensibles. En negro aparece el rango de consumo más común para UAV tipo medio como el PASI reflejado en la tabla 3, encontrándose la mayoría de sistemas RWR por debajo de este rango.



Figura 9 Relación sensibilidad- consumo de los diferentes RWR

Por último y para finalizar este estudio se analiza en su conjunto los diferentes sistemas que hemos empleado dando lugar al siguiente gráfico radial (véase figura 10) donde podemos observar que sin reducir sensibilidad, el RWR Phobos-R, tiene un menor tamaño, volumen y consumo dando la sensación de estar en un nivel superior del resto de sistemas analizados, por lo que se convierte en un elemento idóneo para la integración en el UAV PASI.

<sup>4</sup> La sensibilidad mínima es la magnitud más pequeña de señal capaz de detectar un RWR.

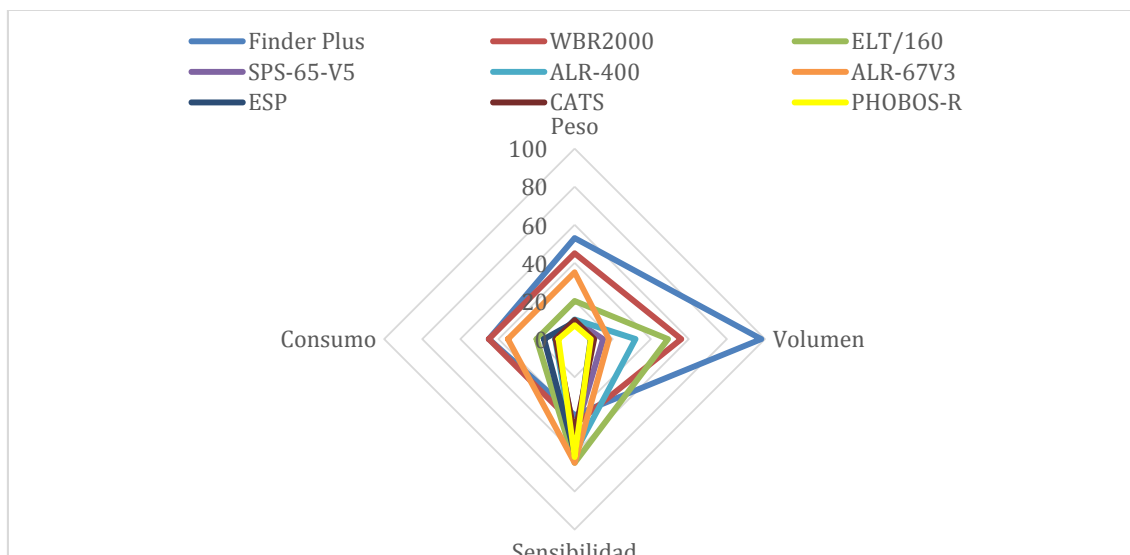


Figura 10 Gráfico radial de atributos conjuntos de los sistemas analizados.

### 3.3 Integración del RWR Phobos R QR020-M1

Dado que el RWR Phobos R QR020-M1 es un sistema externo al propio UAV, la manera de integrarlo sería la compra y posterior implementación dentro de su estructura. Es un sistema que no es fabricado por el fabricante del PASI por lo que todo lo que no forme parte de su estructura lo dejaría ajeno a futuras garantías.

Es importante tener en cuenta que se trata de un análisis de una posible implementación de esta carga útil dentro de nuestro sistema para mejorar su integridad física, solucionando así en parte la vulnerabilidad aérea a la que se enfrenta, pero que no se profundizará más allá de los detalles más básicos del proceso.

#### 3.3.2 Descripción del producto

El RWR Phobos R QR020-M1 (véase figura 11) es un RWR extremadamente compacto que trabaja en el rango de 2.0GHz to 18GHz y que está compuesto por los siguientes elementos.



Figura 11 Phobos R con sus principales partes.



## Componentes del RWR Phobos R y aspectos importantes para su integración

- Antenas: Se encargan de recibir la señal procedente del enemigo o foco de emisión.
- Procesador RF o de canal: Elige los diferentes canales a emplear por la señal.
- Procesador digital: Microprocesador que trabaja con la información que ha sido transformada previamente en un conversor analógico/digital.
- Library matching: Una biblioteca que contiene el conjunto de todas las firmas de onda procedente de los medios emisores enemigos, y además es ampliable, permitiendo cargar nuevas amenazas que vayan surgiendo a lo largo del tiempo, hasta 5000.
- Interfaz de usuario y software propio integrado: Permite la visualización de los datos obtenidos por Phobos, de manera que incluso permite calcular trayectorias en combinación con la posición propia del GPS, mostrando al usuario no solo las posiciones de otros elementos, ya sean propios o enemigos, en mapas cargados previamente.
- Interfaz estándar OTAN: Permite la integración al UAV mediante diseños previamente estandarizados a nivel OTAN. Esto imprime rapidez a la hora de la instalación.

Además, es importante recalcar una serie de aspectos importantes que lo hacen ideal para la integración con nuestro UAV [6]:

- La capacidad de una cobertura de 360°, que situado entre el tren de aterrizaje y el sensor óptico, cubriría todas las amenazas provenientes de la superficie o terrestres.
- Tiene un peso de 7.2 kg, siendo muy bajo comparado con la carga útil total que puede transportar el PASI (de hasta 100 kg).
- Una altura máxima operable de 60000 pies, lo que sumado a su pequeño tamaño, lo convierte en un medio ideal para el PASI, ya que es más del techo de altura que podría alcanzar.
- No tiene requisitos de alineación dado que se ubica directamente con GPS.
- Solo necesita dos conexiones con el sistema, una de alimentación, y otra de control para los datos de entrada y salida.
- Una interfaz gráfica (ver figura 12), que permite el procesamiento en pantalla del conjunto de información procedente del sensor, donde se mostrarían desde las fuerzas propias en movimiento hasta las enemigas, y la información referente a cada una, siendo de carácter muy importante la dirección de la onda del emisor enemigo, de manera que podríamos calcular la posición del mismo.
- Identificador IFF (Identification Friend or Foe) es un sistema de identificación criptográfica. Dentro del campo militar, sirve para distinguir a aeronaves o a vehículos enemigos de los aliados.

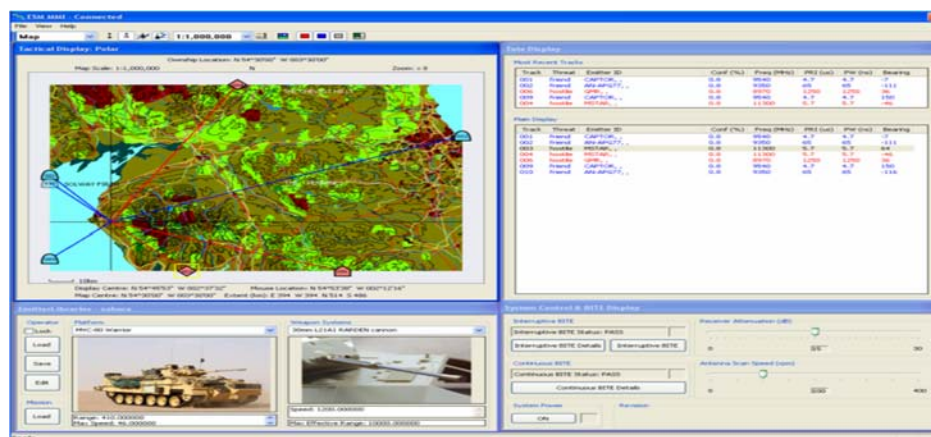


Figura 12 Interfaz gráfica PHOBOS-R incluida en el sistema

A la vista de toda esta información, comprobamos que el sistema tiene amplias ventajas respecto a sus competidores analizados en el tercer capítulo en cuanto a tamaño y además también cuenta con ventajas como una interfaz gráfica propia o una gran altura operable, siendo uno de sus mayores puntos fuertes la posible integración de este elemento en el conjunto de medios de localización e adquisición y fuegos, elaborando así una visión mucho más compleja de la zona de operaciones.

El proceso de integración viene recogido en el Anexo 5, donde se muestra un manual de instalación y posterior acondicionamiento del RWR en el PASI. Es una descripción más compleja del proceso de integración física y de cómo llevarlo a cabo.

## 4.- Análisis EPM del sistema PASI

En esta segunda parte del proyecto, se analizará en profundidad el conjunto de medidas para la protección de las comunicaciones del PASI así como posibilidades de mejora. Es necesario conocer que el canal de subida o "up link" proporciona el conjunto de órdenes y comandos de control que actúan directamente sobre los actuadores de la aeronave y el sensor electro-óptico, mientras que el canal de bajada o "down link" es el que mayor ancho de banda necesita de los dos, ya que proporciona el conjunto de datos de imagen de la carga útil.

Deberíamos tener en cuenta que los posibles enemigos durante el desarrollo de la misión tienen la capacidad de localizar la estación de control terrestre, así como de interferir en las comunicaciones ascendentes para hacerse con el control del UAV. Además se ha demostrado que existe la posibilidad para enviar falsas señales en canal de bajada produciendo datos erróneos en los instrumentos de control del PASI que pueden confundir al operador. Por lo que se puede obligar al UAV a estrellarse al proporcionar información falsa de los sensores. Es por todo esto por lo que esta comunicación se convierte en un factor crítico y de vital importancia que hay que proteger con medidas como encriptación, resistencia a ataques jamming o resistencia a la decepción [7].

### 4.1 Medidas aplicadas actualmente en el PASI para mejorar su integridad física y las comunicaciones

Aquí se mostrará al lector cuáles son las técnicas que emplea el PASI para garantizar su integridad. Primeramente nos centraremos en sus comunicaciones, con medidas como el salto de frecuencia, para pasar a la compresión y encriptación de los datos procedentes de su cámara de alta definición mediante un compresor JPEG2000.

#### 4.1.1 Técnicas de espectro ensanchado por salto de frecuencia

Antes de nada, se definirá esta técnica para luego poder dar paso a describir cómo se realiza en el UAV PASI. Se basa en la modulación en espectro ensanchado de la señal emitida sobre varias frecuencias que pueden ser aparentemente aleatorias, pero que siguen un patrón aleatorio que permite que receptor y transmisor estén sincronizados.

En el hipotético caso de que un receptor consiguiera ponerse a la escucha, sería solo por un corto periodo de tiempo, no teniendo tiempo suficiente para descifrar su mensaje, ya que se produciría un salto a otra frecuencia. Si nuestra aeronave cambiase de frecuencia en cortos intervalos de tiempo (400ms), no perderíamos el canal lógico<sup>5</sup>, ya que la estación de control en tierra cambiaría automáticamente a la misma frecuencia y de manera instantánea, permitiendo que el flujo de datos continúe [8].

Podemos entonces definir varias ventajas básicas:

1. Dificultad de interceptación de la señal.
2. Son especialmente resistentes al ruido y la interferencia.
3. Pueden compartir frecuencias con otras transmisiones convencionales.

---

<sup>5</sup> El canal lógico es una estructura funcional de datos, a través de la cual se produce el flujo de información.

La mayor desventaja es su elevado ancho de banda, ya que si de por sí es alto en un video de alta definición, esta técnica lo eleva más. El PASI emplea para esta tarea el *spread spectrum modem* (SSM) que se muestra en la figura 13.



Figura 13 Módulo SSM del UAV PASI

#### 4.1.2 Compresión JPEG 2000

El UAV PASI lleva incorporado un compresor que trabaja en formato JPEG 2000. Es un estándar de compresión y codificación internacional. Trabaja con niveles de compresión superiores al formato JPEG estándar y elimina ciertos errores como la formación de bloques en la imagen, pero por otro lado ésta pierde nitidez. La característica más importante para nuestro sistema es que permite generar áreas de interés evitando transmitir detalles de toda la imagen en alta definición, de esta manera podemos focalizar la mayor calidad al segmento de la misma que nos interese más, reduciendo la cantidad de datos a transmitir.

Si queremos visualizar la imagen en tierra, necesitaríamos un decodificador de video asociado al primero, ya que en su interior lleva un código de descompresión. Estos sistemas normalmente tienen un gran nivel de compresión, pero continúa siendo insuficiente dada la gran calidad de imagen que nos proporciona su sensor electro-óptico, esto deriva muchas veces en una saturación de banda a la hora de transmitir imágenes en tiempo real, ya que se puede producir una ralentización del flujo de datos entre la aeronave y la estación de control terrestre.

El módulo JPEG 2000 permite compresiones de hasta 25:1, pero en contrapartida, tiene el efecto de bloqueo o mayor tiempo de retardo en descompresión, de ahí que existan sistemas que permitan ajustar los niveles en función de las necesidades. Un nivel tan alto de compresión como el anterior no sería posible sin el empleo de la Discrete Cosine Transform (DCT), que se realiza a través de un módulo equipado en el PASI (véase figura 14) que actúa usando una técnica de compresión mediante la transformada del coseno, donde los píxeles se agrupan en un primer momento en bloques, y luego se asignan unos coeficientes a cada bloque.



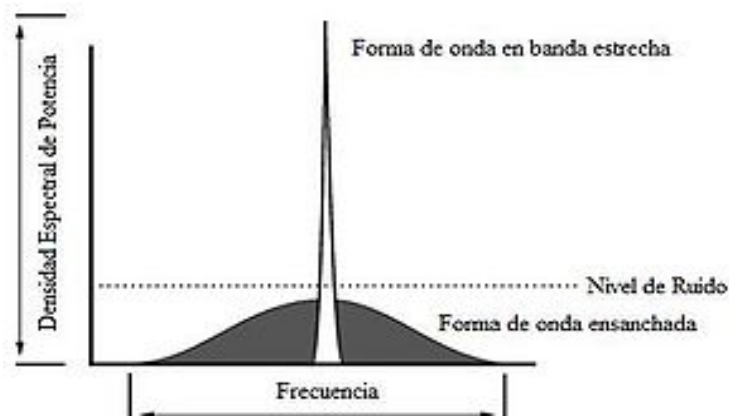
Figura 14 Módulo Discrete Cosine Transform (DCT)

Esto permite el envío de video en tiempo real a color/ monocromático del UAV a la estación de control terrestre. Además cuenta con control de la tasa de video y cuantificación estándar JPEG proporcionada por el módulo de compresión. La tasa final de datos a transmitir por el UAV PASI puede ser seleccionada por el usuario, bajas velocidades se tenderán a seleccionar cuando se encuentre alejado, o con malas condiciones meteorológicas ya que la posibilidad de cometer errores al digitalizar los datos es mayor. Una baja tasa implica también una peor calidad de imagen. El módulo incorpora dos canales de banda ancha para los datos procedentes de la carga útil (imagen) y dos de menor tamaño, para datos de telemetría o audio.

#### 4.2.-Análisis de la seguridad en las comunicaciones del PASI y propuestas para su mejora

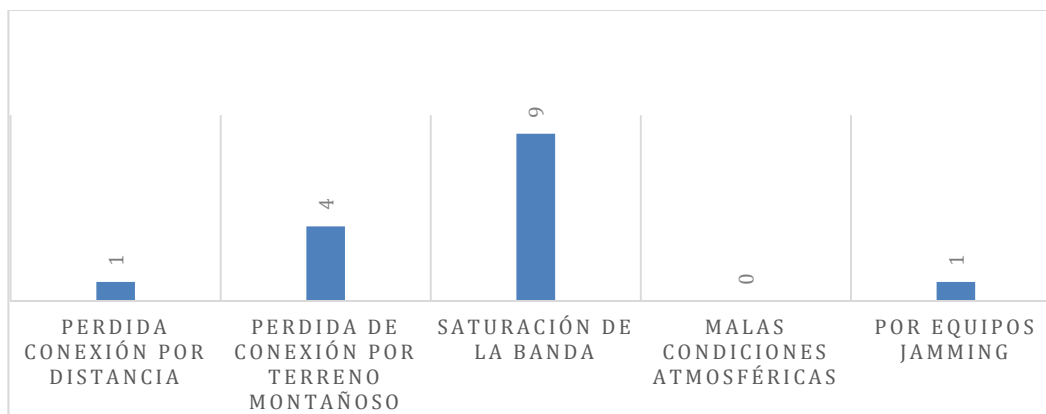
En este apartado, se examinarán los errores más frecuentes que originan los fallos en las comunicaciones del PASI, adquiridos a lo largo de la experiencia en los diferentes escenarios donde ha llevado a cabo sus misiones, y se tratará una serie de soluciones para dichos problemas.

El PASI ya incluye una serie métodos propios para proteger sus comunicaciones, como son el salto de frecuencia o espectro ensanchado. Técnicas como ésta conllevan una serie de problemas como son la saturación de la banda, o un desaprovechamiento de la capacidad de la misma, debido a que para transmitir una cantidad de datos determinada, se emplea más capacidad de la banda en cuestión, como se muestra en la figura 15 [9].



*Figura 15 Diferencia entre onda en banda estrecha y ensanchada.*

Cuando la banda queda saturada, se hace imposible transmitir más datos en ella o la conexión se ralentice. Además, también se puede producir que se ralentice el proceso de compresión de datos, llegando a la estación de control terrestre con mucho retraso. La saturación de la banda es uno de los mayores problemas que nos podemos encontrar a la hora de buscar mejoras de seguridad en las comunicaciones como podemos observar en la siguiente gráfica (véase figura 16), donde se muestran el conjunto de fallos de conexión en entre los años 2000-2014 del UAV PASI [3]:



*Figura 16 Fallos más comunes registrados en el data link del PASI*

Como podemos observar en la figura 16, pérdidas debidas a la distancia se deben a errores humanos en operaciones por descuidos del personal a cargo a los indicadores de distancia. Las pérdidas por terreno montañoso, en cambio, se ha debido a fallos en la colocación de la GCS en un terreno poco elevado, dando lugar a la pérdida de visión directa al introducirse el UAV en alguna cadena montañoso.

Saturación de la banda es el problema más frecuente, debido a la alta calidad del sensor óptico, que aumenta la cantidad la información que se transmite por la misma, y que suele ser por combinación de sensor IR con E/O, con comandos de subida. De esta manera cuanto más resolución de imagen queramos obtener, más riesgo hay de que ocurra una saturación y el tráfico de comunicación entre transmisor y receptos se ralentice.

Las malas condiciones atmosféricas es de las menos comunes, ya que una de las ventajas principales de la banda C (comprende frecuencias de entre 3,7 y 4,2 GHz) en la que opera el PASI es la gran resistencia a fenómenos atmosféricos. La caída de la aeronave por equipos jamming no se ha demostrado que en zona de operaciones haya sido una amenaza externa, sino los propios inhibidores de frecuencia de los vehículos que muchas veces por un fallo humano, se quedaban encendidos en la base, ocasionaban altas tasas de ruido en la conexión ascendente, impidiendo que se pudiera comandar el UAV.

Tenemos dos posibles soluciones al problema de saturación de la malla. La primera sería trabajar con una banda mayor que nos permitiese una mayor capacidad de transmisión de datos, y la segunda sería incorporar un sistema menos complejo para hacer segura la comunicación del canal de bajada, por lo que realizaremos un análisis de las ventajas y desventajas de ambos, para poder elegir la más conveniente.

#### 4.2.1 Trabajar en una banda superior

Antes de nada, cabe destacar que el UAV PASI trabaja en dos bandas diferentes que pueden ser seleccionadas por el operador en función a la distancia a la que se encuentre de la GCS, son la UHF o la banda C (véase tabla 5). El posterior análisis consistirá en determinar si trabajar en bandas superiores permitiría un incremento de las capacidades para el tipo de aeronave que estamos tratando, de esta manera, el enlace actual del que dispone sería sustituido por otro de tipo satelital.

Banda	Frecuencia
HF	3-30 MHz
VHF	30-300 MHz
UHF	300-1000 MHz
L	1-2 GHz o 950-1450 MHz
S	2-4 GHz
C	4-8 GHz
X	8-12 GHz
Ku	12-18 GHz
K	18-26.5 GHz
Ka	26.5-40 GHz

*Tabla 4 Relación de las diferentes bandas existentes y frecuencias de trabajo*

El conjunto de bandas superiores que podríamos emplear están catalogadas como microondas, y comprenden las bandas X, Ku, K, y Ka, también utilizadas para comunicaciones satelitales. A continuación se muestra una serie de ventajas y desventajas del empleo de una banda satelital [10]:

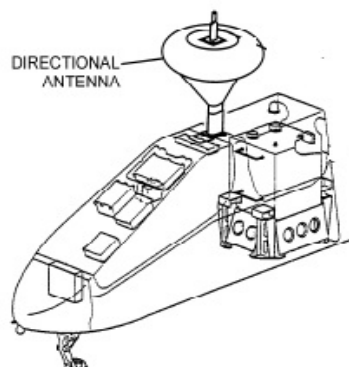
#### **Ventajas:**

- Posibilidad de empleo de un mayor número de sensores, como radar SAR (Synthetic aperture radar) o LIDAR (Light Detection and Ranging o Laser Imaging Detection and Ranging), que le proporcionen otras capacidades a nuestro UAV. Tendríamos que adecuarnos a cuestiones de espacio y volumen.
- Empleo de un enlace satélite, que permite velocidades de transmisión de datos mucho mayores que las bandas inferiores, lo que permitiría mayor calidad de imagen.
- Permite unos alcances mayores en comparación con dispositivos que necesitan línea de visión directa, como es el PASI. Es el caso del UAV MQ-1 Predator del ejército de EE.UU, capaz de tener su GCS desplegada a grandes distancias.

#### **Desventajas:**

- Ahora mismo el Ejército Español no cuenta con satélites en pleno funcionamiento y dirigidos a zona de operaciones con estas capacidades de transmisión.
- Es demasiado costoso para un UAV táctico como es el PASI, ya que necesitan de una gran infraestructura tanto terrestre como de la propia aeronave.
- Se necesitaría un UAV mucho más grande, capaz de soportar el peso de una antena satelital.
- Al no contar con satélite propio, se tendría que abonar a un satélite comercial común la carga de datos empleada, dando lugar a una sobreelevación del coste.
- El aspecto más complicado de la integración sería la incorporación de una antena que trabajase en estas bandas, que además tendría que estar interna y protegida en el interior del UAV, sustituyendo la actual que es externa (véase figura 17 obtenida del manual [2]).



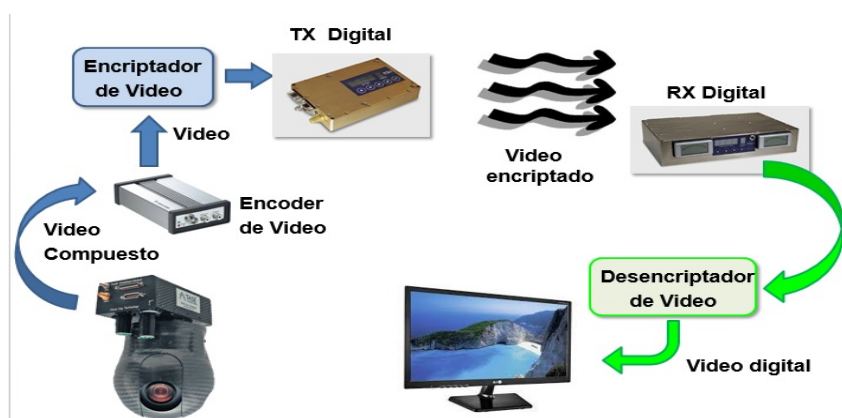


*Figura 17 Antena direccional en banda C del UAV PASI*

Se entiende así, a modo de conclusión de este punto, que para la clase de UAV táctico que estamos tratando, no es posible incorporarle este tipo de capacidades, ya que son empleadas por los estratégicos, de mucho mayor alcance y dimensiones, orientados a otro tipo de misiones. Por todo esto la opción de incorporarle una antena satelital, interna o externa, no es viable, y se continuará en la búsqueda de encontrar un sistema menos complejo para hacer segura la comunicación del canal de bajada [11].

#### 4.2.2 Incorporar otro sistema de encriptación

A priori, cuando nos referimos a incorporar otro sistema de encriptación, estamos suponiendo que el método de espectro ensanchado es demasiado costoso cuando hablamos de canal de bajada (no de subida). En este apartado realizaremos un análisis de una posible integración de un sistema de esta categoría en nuestro UAV. Este podría integrarse incluso con el SSM en funcionamiento, permitiendo además de todas las ventajas dispuestas anteriormente, un mecanismo automático de encriptación. En la siguiente ilustración (véase figura 18) se mostrará el esquema a seguir para obtener el video digital encriptado en la pantalla de nuestro operador [12].



*Figura 18 Esquema del proceso de encriptado/ desencriptado de video*



Podemos observar:

- El encriptador de video sería la pieza que iría situada en la aeronave, que podría coexistir con el SSM, existen multitud de ellos disponibles en el mercado, posteriormente analizaremos cual es la mejor opción.
- Transmisor y receptor digitales serían los elementos encargados de la modulación/demodulación de la onda al transmitirla por la antena.
- El descryptador de video sería el sistema asociado al encriptador, compartirían código y realizaría la función inversa.

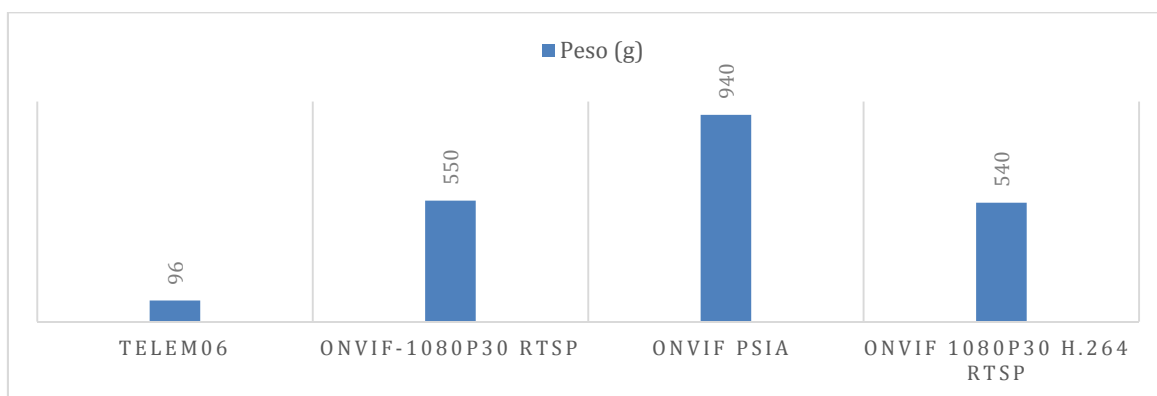
### Selección de un sistema de encriptación

En este apartado analizaremos varios sistemas encriptadores de características similares que podrían ser empleados para la encriptación del canal de bajada del UAV. La tabla que se encuentra a continuación muestra los cuatro sistemas analizados:

Empresa	UAVNavigation	ANTRICA	ANTRICA	ANTRICA
Nombre	TELEM06	ONVIF-1080P30 RTSP	ONVIF PSIA	ONVIF 1080P30 H.264 RTSP

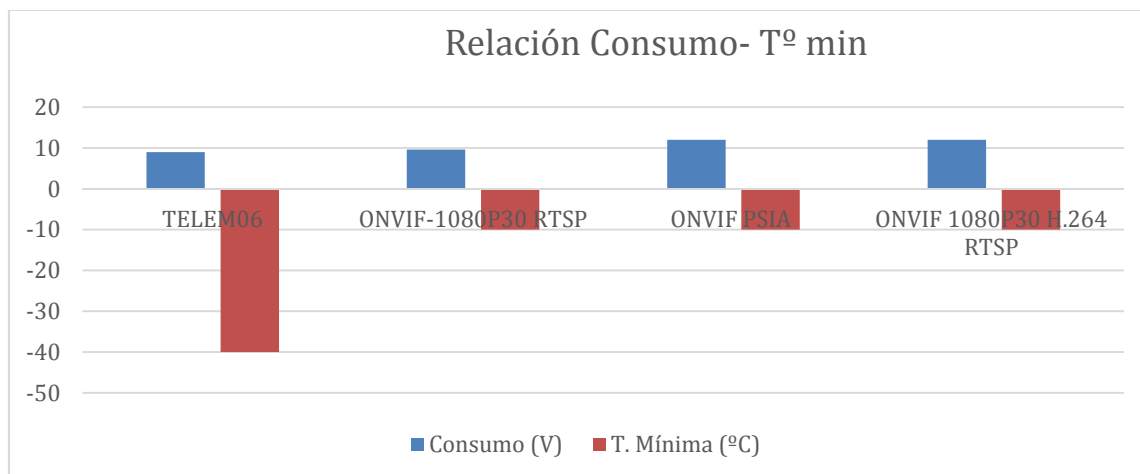
*Tabla 5 Sistemas de encriptación analizados para la mejora de las comunicaciones del PASI*

Posteriormente se realizará un estudio grafico para comparar las características de cada sistema y así poder decidir sobre el más adecuado para poder implementarlo en la aeronave. Se analizarán las principales restricciones a la hora de realizar una integración en el UAV PASI.



*Figura 19 Relación de peso de los diferentes encriptadores analizados*

A la vista de los resultados (véase figura 19 y 20), el TELEM06 es el que tiene un menor peso y consumo, además de una temperatura mínima de operación menor, para trabajar en grandes altitudes, por lo que es el sistema idóneo que podría operar en nuestro UAV PASI. De esta manera, se convierte en el principal encriptador para nuestro UAV y la principal propuesta para la mejora de las comunicaciones del mismo. Los procesos necesarios para realizar la integración física vienen recogidos en el Anexo 5.



*Figura 20 Relación Temperatura min/ Consumo de los encriptadores*

## 5.- Conclusiones

El conjunto del proyecto para la mejora de la integridad del UAV PASI y sus comunicaciones ha demostrado que esta aeronave puede superar los nuevos retos y amenazas actuales. Sigue siendo la tecnología punta para la inteligencia del Ejército de Tierra Español, presumiendo de una gran fiabilidad en el transcurso de todas las operaciones de las cuales han formado parte. Han existido dos versiones diferentes hasta la época, donde algunos de los fallos de seguridad que se detallan en este proyecto aún no han sido corregidos.

No solo se han analizado las comunicaciones de nuestro UAV, sino que se ha propuesto modelos comerciales de posibles adquisiciones que mejorarían la integridad de la aeronave. Con el fin de mejorar los fallos detectados se proponen las siguientes modificaciones:

- Integrar el Radar Warning Receiver (RWR) QR020-M1 de la empresa Teledyne Defence Limited para solucionar el problema de la detección de nuestra aeronave en vuelo por parte de radares enemigos, de manera que el operador pueda saber si la misión corre peligro.
- Para el problema de la seguridad en las comunicaciones, se realizó un análisis que mostró la saturación de banda como principal problema para el intercambio de datos. Se proponen dos vías posibles para solucionar el problema, operar en una banda superior que traería grandes restricciones de peso y espacio, y la que se eligió como válida, implementar un sistema de encriptación de imagen más sencillo.

Para alcanzar estos resultados, se han empleado métodos analíticos estudiados a lo largo de todo el grado de Ingeniería de Organización Industrial que proporcionan resultados de una manera más cuantitativa que un mero estudio basándonos en opiniones personales. Podemos decir entonces, que no solo se ha tratado la integración de estos sistemas, sino que además se han creado una serie de datos sobre los principales riesgos que deberían solucionarse a corto plazo.

Además, como fruto del TFG, se han desarrollado guías de instalación básicas de los dos elementos propuestos. Esto puede ser de utilidad para toda la unidad y todo el ejército debido al estudio realizado sobre el UAV PASI en concreto.

### 5.1 Limitaciones del proyecto

En un proyecto de esta envergadura, es importante analizar las posibilidades de llevar a cabo en el entorno del Ministerio de Defensa, basándose en una serie de aspectos que podrían limitar la implementación de estos sistemas. Se tratarán dos vertientes, los costes, el tiempo.

- **Costes:** Actualmente nos encontramos en un periodo de crisis económica, bajada de presupuestos generales en Defensa, y sobre todo falta de créditos en las unidades incluso para actividades del día a día. Desde 2008 las actividades de investigación y desarrollo conllevan un serio gasto por lo que se ven seriamente perjudicadas. Por ello, este proyecto trata la versión de compra de pequeñas mejoras externas para el PASI evitando de esta manera la adquisición de otro UAV que realice su función y la demora temporal que implica el I+D.
- **Tiempo:** En este trabajo se ha tratado con especial interés los tiempos de elaboración de este proyecto y análisis de las principales deficiencias, pero no el coste temporal que tendría realizar el conjunto de las integraciones tratadas anteriormente. Este se dividiría en tiempos de compra, recepción, integración física, y posteriores comprobaciones de

funcionamiento, siendo la integración la que implicaría un mayor gasto debido a la falta de intentos previos.

El mayor inconveniente para la aplicación de estas mejoras, es la antigüedad del UAV PASI, ya que cuando se realizó su compra, pese a la eficacia de los servicios que continua prestando, se dispuso que se empezaría a retirar en 2020.

No es la primera vez que los plazos no se tienen en cuenta, ya que sistemas más antiguos de los grupos de artillería continúan estando en servicio gracias a su correcto funcionamiento. Claro ejemplo sería el cañón Otto Melara, que había sido dado de baja y se ha rescatado recientemente para añadir nuevas funcionalidades y sinergias a las unidades.

## 5.2 Opinión personal

Cuando introducimos el RWR en el PASI, no solo estamos incrementando la supervivencia frente a amenazas terrestres o aéreas, sino que ganamos mucho más que eso, el conocimiento de si el enemigo nos ha detectado, e iniciado todo su sistema de defensa. De esta manera podríamos saber cuándo estamos perdiendo la iniciativa, y el enemigo gana alerta temprana.

Además tomamos como una costumbre pensar que el enemigo no tiene capacidad para atacar nuestros sistemas de comunicaciones o para interferir en las mismas, ya que los últimos territorios operacionales en los que España ha formado parte los atacantes han sido asimétricos. Esto produce una relajación en los métodos, procedimientos y materiales orientados a la seguridad de las comunicaciones que podría derivar en consecuencias fatales si no se vuelve a trabajar en la instrucción de los mismos.

Al ritmo que se producen hoy en día los avances en las aeronaves no tripuladas, es difícil llegar a implementar una capacidad de manera efectiva, ya que rápidamente existirá una mejora a un menor precio disponible en el mercado. A día de hoy los presupuestos son muy reducidos, y aun así se debe seguir manteniendo la competitividad de nuestros medios, las pequeñas mejoras son una solución eficiente a una mejora de los sistemas con los que cuenta el Ejército de Tierra.

Para concluir, es cierto que el **Searcher MK II** comienza a quedarse obsoleto frente a la nueva generación de aeronaves no tripuladas. Pero se debería pensar en un largo plazo, ya que el conjunto de mejoras aquí tratadas pueden ser extrapolables a prácticamente cualquier aeronave táctica o estratégica que en un futuro el Ministerio de Defensa pueda adquirir, de manera que no partiríamos de cero, sino que podríamos aprovechar las sinergias adquiridas.

## 5.3 Líneas futuras.

A partir de las experiencias adquiridas en la realización de este trabajo, se podría trabajar en ciertos aspectos ya no de seguridad de la aeronave, sino en mejoras de las capacidades operativas para la artillería como las detalladas a continuación:

El empleo del UAV PASI como medio para la corrección de fuegos de artillería en zona de operaciones sin necesidad de emplear observadores avanzados que se expongan al peligro enemigo, sin actuar conjuntamente con la unidad de maniobra desplegada sobre el terreno. Permitiría a la artillería actuar desde bases de patrullas e incluso detectar objetivos que no se conocían previamente por inteligencia.

La incorporación de un designador láser que permita alcanzar a objetivos a largas distancias mediante munición guiada, así como mejorar operaciones nocturnas mediante la

marcación de enemigos, edificios o cualquier otro elemento de valor para cumplir la misión. En algunas situaciones se podría incluso mejorar el apoyo aéreo cercano (CAS) indicando posibles pasillos aéreos o vías de aproximación, suprimiendo la figura del JFO (Joint Fires Observer) o JTAC (Joint terminal attack controller).

Otra línea interesante sería el uso del PASI para levantamientos topográficos del terreno en territorios que carezcan de medios. Para ello se debería incorporar un radar SAR (Synthetic Aperture Radar) que nos pudiese proporcionar datos fiables. El concepto de la evaluación de daños tan en boga hoy en día en la artillería por el llamado NIFAK (NATO Indirect Fire Appreciation Kernel) para reducir posibles daños colaterales en acciones de fuego, necesita de estos modelos tridimensionales para conocer los factores del terreno que afectarían a las municiones.



## 6.-Bibliografía

- [1] Centro superior de estudios de la defensa nacional. Los sistemas no tripulados. Ministerio de defensa (2012).
- [2] Raquel Acero, Joaquín Sancho. Oficina de proyectos. Centro Universitario de la Defensa. Zaragoza (2013).
- [3] SR-00-1. Manual del sistema PASI (2011).
- [4] Ministerio de fomento. Elaboración de un análisis DAFO en organización de transportes. (2009).
- [5] P.G. Forrest MSC MIET. Light weight low cost threat warning for UAV, Teledyne Defence Limited (2009)
- [6] Teledyne Defense. Technical datasheet RR017. London (2011).
- [7] S. Baioti, G.L.Scalozza. Advances in UAV Data Links. Pág. 4-14. (1997)
- [8] Reg Austin. Unnamed aircraft systems. Part 1-3, WILEY, ISBN: 978-0-470-05819-0, (2010).
- [9] Manoj Kumar, TECHNOLOGY FOCUS. Bulletin of defense research and development organization, Vol.21, nº1, (2013)
- [10] Wolfgang W. Rochus. Development and Operation of UAVs for Military and Civil Applications, NATO Science and Technology Organization, ISBN 92-837-1033-9, (2000)
- [11] Gustavo A. Mezza, Sistemas de aeronaves no tripuladas, Dirección general de investigación y desarrollo, Argentina (Noviembre 2013).
- [12] Nicolae Jula, Embedded Real-Time Video Encryption Module on UAV, Communications Department, Military Technical Academy, ISSN: 1109-2734 (Mayo 2008),
- [13] Steve Harrensen (NASA), Unmanned Aircraft System Control and ATC Communications Bandwidth Requirements. ITT Corporation, Herndon, Virginia. NASA/CR: 2008-214841 (2008)
- [14] Suraj G. Gupta, Manguesh M. Ghonce, Review of Unmanned Aircraft System (UAS), International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology (IJARCET), Volume 2, Issue 4, ISSN: 22781323 (April 2013)

