



**Escola d'Enginyeria de Telecomunicació i
Aeroespacial de Castelldefels**

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

TRABAJO FINAL DE CARRERA

TÍTULO DEL TFC: Aprobación Operacional de vuelo para un UAS

TITULACIÓ: Enginyeria Tècnica Aeronàutica, especialitat Aeronavegació

AUTOR: Marc Herver Acosta

DIRECTOR: Jorge Ramírez Alcántara

DATA: 14 de Enero de 2011

Título: Aprobación Operacional de vuelo para un UAS

Autor: Marc Herver Acosta

Director: Jorge Ramírez Alcántara

Fecha: 14 de Enero de 2011

Resumen

Esta memoria describe las tareas realizadas con el objetivo de obtener una Autorización de Vuelo para una plataforma UAS (Unmanned Aircraft System) específica, propiedad del grupo de Investigación ICARUS de la UPC.

Los UAS han requerido de la elaboración de nuevas normativas que recojan la especificidad de los UAS. La ausencia de piloto a bordo supone una gran diferencia respecto a las aeronaves tripuladas, y ésta debe de ser contemplada en su totalidad. Actualmente, no existe demasiada información al alcance respecto a los UAS, lo que supone una dificultad añadida trabajar en este campo.

Sin embargo, si que contamos el con procedimiento para la concesión de autorizaciones para el vuelo de TIPO 1 con aeronaves prototipo sin piloto abordo de menos de 150 kg de peso máximo al despegue, donde se establecen los requisitos específicos para el vuelo del UAS.

Se ha realizado una provisión de evidencias para el cumplimiento de los requisitos impuestos por la Agencia Estatal de Seguridad Aérea. El procedimiento para la concesión de este tipo de autorizaciones incluye un conjunto de requisitos que pueden ser clasificados en tres categorías: trámites, documento de solicitud de vuelo y procedimientos internos. Este proyecto, se centra en la redacción formal del documento de solicitud de vuelo.

Título: Aprobación Operacional de vuelo para un UAS

Autor: Marc Herver Acosta

Director: Jorge Ramírez Alcántara

Fecha: 14 de Enero de 2011

Overview

The next project's memory pretends to show all the steps that have been followed in order to achieve a Flight Operation Authorization for a specific Unmanned Aircraft System (UAS) platform, property of ICARUS research Group at the UPC.

An Aircraft with no on board pilot introduces a new point of view to establish regulations for a safe operation of aircraft in the airspace. Thus, the documentation needed to demonstrate the achievement of the requirements must be develop with this aim. It must be said that there is no so much approved regulations regarding UAS, which makes harder to work in this field.

However, there is a "Flight Authorization Concession Procedure, [4]" publicized by AESA which establish the specific requirements for the flight of an UAS under specific conditions. This protocol has been the main reference to elaborate the documentation needed to obtain the authorization.

In order to contribute in the development process of the documentation, a evidence provision task has been necessary. This task contains the next steps:

- Firstly, an analysis of the information available has been carried out. As a result, many of the evidences needed has been obtained.
- Secondly, an analysis of the state of the evidences available has been carried out. As a result, a knowledge in the work already done and the work should be done has been obtained.

This project has also contributed to elaborate some of the most important requirements, as well as contributed in proposal of some open issues impossible to finish due to the uncompleted design of the UAS.

*A mi familia y amigos por contribuir a mi empeño.
A mis profesores por contribuir a mi formación.*

ÍNDICE DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN.....	10
CAPÍTULO 1. ESCENARIO DE TRABAJO.....	12
1.1. Introducción a los UAS.....	12
1.1.1. Descripción de las plataformas UAS.....	13
1.1.2. Aplicaciones de los UAS.....	14
1.2. Grupo de investigación ICARUS.....	15
1.2.1. Plataforma experimental.....	16
CAPÍTULO 2. MARCO REGULATORIO.....	18
2.1. Modos de Operación.....	18
2.2. Documentación asociada a las certificaciones.....	20
2.3. Organismos Reguladores.....	21
2.3.1. Organización de Aviación Civil Internacional.....	22
2.3.2. Federal Aviation Administration (FAA).....	22
2.3.3. Agencia Europea de Seguridad Aérea (EASA).....	23
2.3.4. EUROCONTROL.....	23
2.3.5. EUROCAE.....	24
2.3.6. Agencia Estatal de Seguridad Aérea.....	24
CAPÍTULO 3. OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	25
3.1. Objetivos.....	25
3.2. Índole de la Autorización para el Vuelo de TIPO 1 con UAVs.....	25
3.2.1. Descripción de los requisitos de la Autorización.....	26
3.2.2. Paquetes de trabajo identificados.....	28
CAPÍTULO 4. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.....	30
4.1. OpAI: operaciones de vuelo en Alfés.....	31
4.2. Trabajos Finales de Carrera anteriores.....	33
4.3. Documentación técnica del UAS.....	34
CAPÍTULO 5. ANÁLISIS DE ESTADO.....	37
5.1. Clasificación de los paquetes de trabajo identificados.....	37
5.2. Paquetes de trabajo a homogeneizar.....	38
5.2.1. Área de Vuelo (PT_DOC_010, [A5]).....	38
5.2.2. Descripción del diseño del UAV (PT_DOC_030, [A7]).....	39
5.2.3. Estación de control (PT_DOC_050, [A9]).....	40
5.2.4. Frecuencias de control (PT_DOC_060, [A10]).....	40
5.3. Paquetes de trabajo a desarrollar.....	41
5.3.1. Control y Mando (PT_DOC_070, [A11]).....	41
5.3.2. Manual de Vuelo.....	41

5.4. Paquetes de trabajo a integrar.....	42
5.4.1. Duración del programa de vuelos.....	42
5.4.2. Configuración del sistema.....	42
5.4.3. Terminación de vuelo y pérdida de radioenlace.....	42
5.4.4. Plan de seguridad.....	42
CAPÍTULO 6. CONTRIBUCIÓN.....	43
6.1. Elaboración del Manual de Vuelo (PT_DOC_100, [A1]).....	43
6.1.1. Introducción.....	43
6.1.2. Objetivo.....	43
6.1.3. Adaptación.....	44
6.2. Elaboración de un Manual de Operaciones.....	47
6.2.1. Introducción.....	47
6.2.2. Objetivo.....	47
6.2.3. Estructura y contenido del Manual de Operaciones.....	48
6.3. Elaboración del Plan de Seguridad (PT_DOC_110).....	54
6.3.1. Elaboración de un “Draft System Safety Assessment”.....	54
CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES.....	57
CAPÍTULO 8. BIBLIOGRAFÍA.....	59
CAPÍTULO 9. ANEXOS.....	61

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Distribución de los elementos en un “Unmanned Aircraft System”.....	13
Figura 1.2: Ámbitos y ejemplos de aplicaciones UAS.....	15
Figura 1.3: Perspectiva general de la investigación del grupo ICARUS.....	16
Figura 1.4: UAV Shadow-Mk1.....	16
Figura 2.1: UAV en espacio aéreo no segregado.....	19
Figura 2.2: UAV en espacio aéreo segregado.....	19
Figura 2.3: Relaciones: “Airworthiness Authorities”, “manufacturers”, “operators” and “maintenance”.....	20
Figura 3.1: Paquetes de trabajo del documento de solicitud de vuelo.....	29
Figura 4.1: Esquema de situación de la documentación asociada para la elaboración del documento de solicitud de vuelo.....	30
Figura 4.2: Documentos aportados por OpAI: Operaciones en Alfés.....	31
Figura 4.3: Safety Lifecycle utilizado para el análisis de se seguridad de OpAI.....	32
Figura 4.4: Fuentes de información técnica.....	34
Figura 5.1: Estado de los paquetes de trabajo.....	37
Figura 6.1: Diagrama de las fases del vuelo.....	47
Figura 6.2: Fases de la operación (Sentido cronológico).....	49
Figura 6.3: Procedimientos operacionales para la fase estratégica.....	49
Figura 6.4: Procedimientos operacionales de la fase táctica.....	51
Figura 6.5: Organigrama del equipo personal de operación (Roles identificados).....	52
Figura 6.6: Progresión gradual de la operación.....	56

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Características del Shadow-Mk1.....	17
Tabla 1.2: Elementos de la plataforma experimental.....	17
Tabla 2.1: Documentación asociada a la certificación aeronáutica.....	21
Tabla 5.1: Estado del PT_DOC_010.....	38
Tabla 5.2: Estado del PT_DOC_030.....	39
Tabla 5.3: Estado del PT_DOC_050.....	40
Tabla 5.4: Estado del PT_DOC_060.....	41
Tabla 5.5: Estado del PT_DOC_070.....	41

GLOSARIO

AESA	Agencia Estatal de Seguridad Aérea
AFM	Aircraft Flight Manual
AMM	Aircraft Maintenance Manual
AP	Automatic Pilot
ATM	Air Traffic Management
BLOS	Beyond Line Of Sight
CA	Certificate of Airworthiness
CAA	Civil Aviation Administration
CRAE	Centre de Recerca de l'Aeronàutica i l'Espai
CS	Certification Standard
EASA	European Aircraft Safety Agency
EUROCAE	European Organization for Civil Aviation Equipment
FAA	Federal Aviation Authority
FCOM	Flight Crew Operation Manual
FHA	Functional Hazard Assessment
GCS	Ground Control Station
ICAO	International Civil Aviation Organization
ICARUS	Intelligent Communications and Avionics for Robust Unmanned aerial Systems
IPC	Illustrated Parts Catalogue
MOE	Maintenance Organization Exposition
OM	Operations Manual
PSSA	Preliminary System Safety Assessment
RTCA	Radio Technical Commission for Aeronautics
SRM	Structural Repair Manual
SSA	System Safety Assessment
TSM	Trouble Shooting Manual
UAS	Unmanned Aircraft System
UAV	Unmanned Aerial Vehicle
VLOS	Visual Line Of Sight
WBM	Weight & Balance Manual

INTRODUCCIÓN

El trabajo de investigación que lleva realizando el grupo ICARUS desde su formación en la contribución para el desarrollo tecnológico de “*Unmanned Aircraft Systems (UAS)*” ha permitido que, a día de hoy, se dispongan de los medios necesarios para llevar a cabo el vuelo experimental de sus plataformas UAS.

Por este motivo, ICARUS, ha considerado la posibilidad de realizar una solicitud formal para obtener una autorización operacional de vuelo para la aeronave no tripulada “*Unmanned Aircraft (UAV)*” Shadow-Mk1, cumpliendo la normativa legal vigente que regula la utilización segura de los UAS sobre el espacio aéreo civil.

Este proyecto pretende dar respuesta a dicha necesidad y su objetivo es la elaboración de la documentación necesaria para satisfacer los requisitos impuestos por la Agencia Estatal de Seguridad Aérea (AESA) para la obtención de la autorización del vuelo de un UAS, en nuestro caso, el UAV Shadow-Mk1.

La referencia clave para este proyecto es el “*Procedimiento para la concesión de autorizaciones para el vuelo de TIPO 1 con aeronaves prototipo sin piloto a bordo de menos de 150 kg. de peso máximo al despegue, [4]*”, donde se establecen los requisitos que deben cumplimentarse. Dichos requisitos, se describen en el “*CAPÍTULO 3. Objetivos del proyecto*”. Clasificados según su naturaleza, se identifican tres categorías diferentes:

- Los trámites: responden al cumplimiento de unos requisitos burocráticos.
- Los procedimientos internos: responden al cumplimiento de requisitos propios de la gestión interna de los responsables de la operación, tanto técnicos y de gestión del software utilizado, como de la necesidad de mantener un registro de la información del vuelo y de la obligación de la notificación de incidentes/accidentes.
- El documento de solicitud de vuelo: responde a la recopilación y redacción formal de las evidencias necesarias para la demostración del cumplimiento de los requisitos propios del sistema seleccionado y de la operación.

Teniendo en cuenta, que estamos ante una plataforma experimental que nunca antes ha volado y que el diseño definitivo del sistema está todavía por determinar, el objetivo principal de este proyecto es la elaboración del documento de solicitud de vuelo, pues es dónde se puede realizar una mayor aportación.

La redacción formal del documento de solicitud de vuelo conlleva la realización de tareas de diferente complejidad. Por esta razón, el presente documento utiliza la complejidad creciente de las tareas para la descripción organizada del

trabajo que se ha realizado. Dicha documentación en conjunto evidenciará que el sistema seleccionado tiene la capacidad para realizar el vuelo de forma segura.

En primer lugar se describen aquellos conceptos que sitúan el escenario de trabajo de este proyecto. Por un lado se describen las principales características tecnológicas de los UAS y por otro se describen los aspectos de mayor relevancia para comprender la situación regulativa de la aviación y en concreto de los UAS.

En segundo lugar se describen dos de los análisis que han tenido que realizarse para contribuir en la provisión de evidencias de los requisitos. Por un lado se analiza la información disponible asociada a la elaboración de los paquetes de trabajo y por otro se analiza el estado de cada uno de estos paquetes teniendo en cuenta su nivel de acabado, destacando aquellos que están por estructuras, los que están por desarrollar y los que quedarán pendientes de integrar por parte de otros miembros del grupo ICARUS.

En tercer lugar se realiza una descripción de cómo se han desarrollado algunos de los paquetes de trabajo, así como otras contribuciones que se han propuesto para mejorar la documentación asociada a la obtención de la autorización del vuelo.

Finalmente, se presentan las conclusiones extraídas durante el desarrollo de este trabajo final de carrera. Del mismo modo, se presenta los futuros trabajos que habría que realizar para la terminación de la evidenciación de los requisitos.

CAPÍTULO 1. ESCENARIO DE TRABAJO

1.1. Introducción a los UAS

En este apartado definiremos el concepto de UAV y UAS, describiremos las principales características que poseen, identificaremos los elementos fundamentales del sistema que lo conforman y explicaremos algunos de los modos de operación contemplados en la actualidad. Además, veremos algunas de las muchas aplicaciones que pueden llevar a cabo. Para empezar, establecemos los siguientes términos de referencia:

- Unmanned Aerial Vehicle (UAV): comúnmente se entiende por UAV al vehículo aéreo capaz de volar sin necesidad de que el piloto se encuentre a bordo del mismo. Además, un UAV se utiliza sin ánimo recreacional, lo cual los diferencia de aparatos aéreos utilizados por entusiastas y aficionados del aeromodelismo. Sin embargo, este término no incluye una referencia específica que determine que se tratan de algo más que vehículos aéreos. Pues las autoridades reguladoras de la aviación civil, no son responsables de toda clase de vehículos aéreos, sino solamente de las aeronaves.

Un vehículo aéreo no tripulado es una aeronave sin piloto a bordo que puede ser controlados de forma remota o volar de forma automática mediante planes de vuelo pre-programados o sistemas más complejos de automatización dinámica. Los UAVs se han utilizado mayoritariamente con fines militares. Sin embargo, su enorme potencial ha conducido a ser explotados en un amplio rango de aplicaciones civiles.

- Unmanned Aircraft System (UAS): este término se adoptó para especificar dos aspectos que no quedan clarificados mediante el término UAV. Por un lado, se matiza que tratamos con aeronaves, de las cuales si son responsables las autoridades reguladoras. Por otro lado, se especifica que tratamos con un sistema. La definición de un UAS establecida por las diferentes agencias de seguridad aérea especifica que un UAS consiste en una aeronave no tripulada, una estación de control y cualquier otro elemento del sistema necesario para satisfacer el vuelo, como por ejemplo: “Command & Control Link/s” (Enlaces de control de datos) y “Launch & Recovery Elements (sistemas de lanzamiento y recuperación). Pueden haber múltiples estaciones de control, enlaces de datos y control y sistemas de lanzamiento o recuperación dentro de un mismo UAS.

Un UAS es un sistema formado por un conjunto de elementos que posibilitan el vuelo de una aeronave no tripulada. Los elementos implicados en estos sistemas determinarán diferentes tipos de

plataformas UAS. Es decir, el tipo de estructura aérea seleccionada, la avionica instalada a bordo, la estación de control utilizada, la forma en que se realice el enlace de datos, etc. conformarán diferentes tipos de arquitecturas UAS.

1.1.1. Descripción de las plataformas UAS

Los elementos de un sistema UAS genérico se muestran en la Figura 1.1.

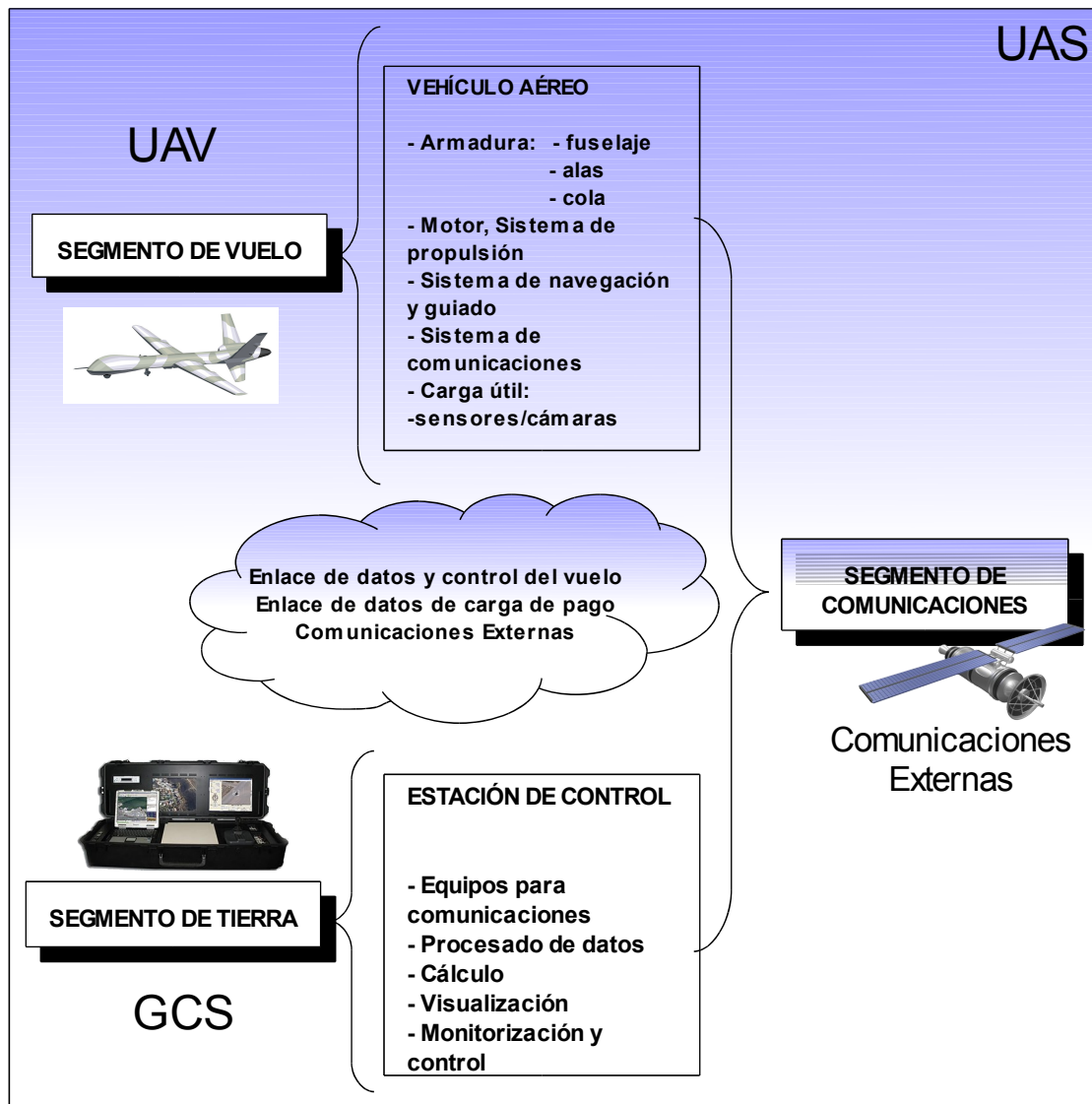


Figura 1.1: Distribución de los elementos en un “*Unmanned Aircraft System*”

Se puede observar que los elementos se encuentran distribuidos en tres segmentos diferentes:

- **Segmento de Vuelo:** compuesto por el UAV y sus elementos abordo.
 - *Estructura (Airframe):* existen varios tipos: helicópteros, aeroplanos, quadrirotors, etc. de diferentes capacidades de vuelo.
 - *Planta de potencia (Powerplant):* sistema de propulsión. Existen motores eléctricos, de combustión, etc. de diferentes capacidades.
 - *Sistema de navegación (Navigation System):* piloto automático utilizado para comandar y controlar la aeronave.
 - *Sistema de comunicaciones (Communications System):* antenas de radiofrecuencia y/o GPS para establecer el enlace con la estación de control.
 - *Carga útil (Payload):* como cámaras de infrarrojos, sensores, etc.

- **Segmento de Tierra:** compuesto por la “Ground Control Station” (GCS).
 - *Antenas “(Antennae):”*: se utiliza para establecer el enlace de comunicaciones con la aeronave.
 - *Ordenador “Laptop”*: se utiliza para la visualización y monitorización del vuelo a través del SW instalado.
 - *Flight Controls*: el propio laptop u otros mandos de vuelo de control remoto, joysticks, etc.
 - *Payload monitoring*: equipos para controlar la carga de pago a bordo de la aeronave.

- **Segmento de Comunicaciones:** puede ser externo a la plataforma en el caso de utilizar servicios de comunicaciones externos como “Tretapol”, “Iridium”, etc. o interno en el caso de utilizar tecnología “Wifi”, “zigbee”, etc.

Cada uno de estos segmentos, de diferente naturaleza, juega un papel muy importante en la arquitectura de un UAS. Por ejemplo, en el caso de no contar con servicios de comunicaciones externos, el segmento de comunicaciones quedaría definido a través de los elementos que componen los dos segmentos restantes.

1.1.2. Aplicaciones de los UAS

Los UAS ofrecen la posibilidad de llevar a cabo operaciones en escenarios, a menudo, inviables o ineficaces para operar con una aeronave tripulada. Las características de este tipo de escenarios son conocidas como condiciones 'D-Cube'¹. Algunos ejemplos concretos son misiones en la gestión en la lucha contra incendios, en servicios para agricultura y pesca, en oceanografía, en el mantenimiento de radioayudas, etc.

La tecnología actual hace posible disponer de una amplia gama de vehículos aéreos, sistemas de control de vuelo, sistemas de comunicaciones, etc. Además, la evolución de esta tecnología, está favoreciendo al desarrollo de sensores cada vez más pequeños. Todo esto, da como resultado, plataformas

1 D-cube: 'Dangerous-Dirty-Dull'. (Ejemplos: repetitivas, rutinas, larga duración...)

UAS cada vez más eficientes que pueden ser utilizadas con propósitos gubernamentales y comerciales. En la Figura 1.2: Ámbitos y ejemplos de aplicaciones UAS, se muestran los ejemplos destacados por la ICAO [17] de las diferentes aplicaciones que se están investigando.

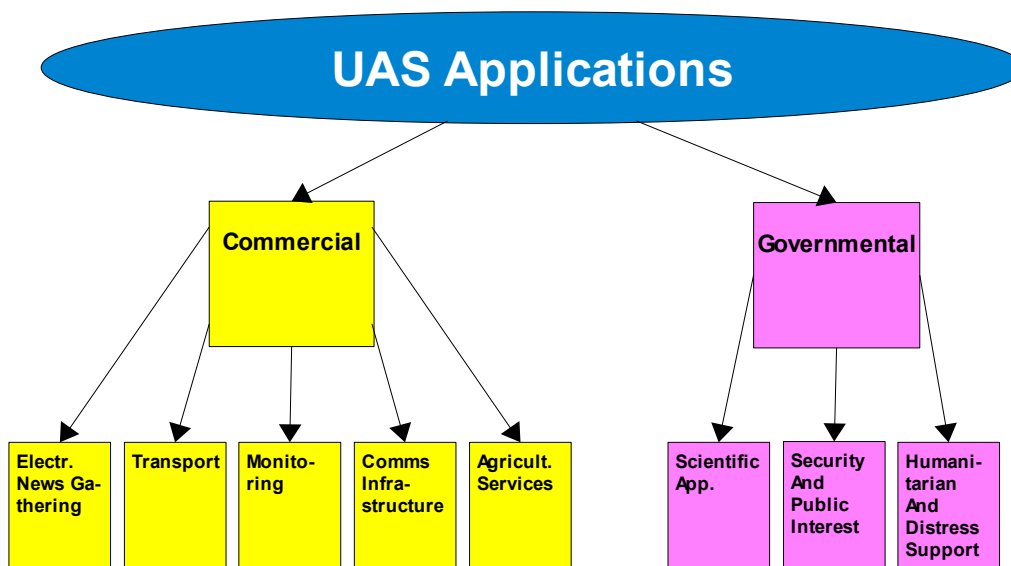


Figura 1.2: Ámbitos y ejemplos de aplicaciones UAS

1.2. Grupo de investigación ICARUS

El grupo de investigación 'Intelligent Communications and Avionics for Robust Unmanned aerial Systems' (ICARUS) está constituido por un grupo multidisciplinario de doctores e ingenieros de diferentes campos como la informática, las telecomunicaciones y la aeronáutica, [28]. Dicho grupo, pertenece al Centro de Investigación de la Aeronáutica y del Espacio de la UPC, [24].

Este grupo de investigación de la EETAC ha sido el punto de partida para realizar este proyecto. Es decir, la Aprobación Operacional de Vuelo para un UAS se basa en la necesidad, real, de dar soporte a una de las muchas líneas de trabajo que su plantilla lleva a cabo. La investigación llevada a cabo por el grupo ICARUS se clasifica en dos objetivos principales:

- La automatización y desarrollo de la aviónica de abordo y de los sistemas de apoyo en tierra a fin de apoyar a los UAS, proporcionando altos niveles de flexibilidad y bajos costes de desarrollo.
- La mejora de la eficiencia del transporte aéreo y reducción de su impacto ambiental. Especialmente, enfocada en la Gestión de Tránsito Aéreo (ATM) y en las operaciones de aeronaves.

En la Figura 1.3 se observan las dos líneas de desarrollo principales y el objetivo común a ambas. Podemos encuadrar este proyecto en el primero de sus objetivos. En concreto, una de sus tareas es la construcción de prototipos UAS capaces de volar de forma autónoma para obtener datos útiles. Sin embargo, para poder llevar a cabo el vuelo de dichas plataformas experimentales, es necesario, disponer de una autorización para el vuelo de dichos prototipos.

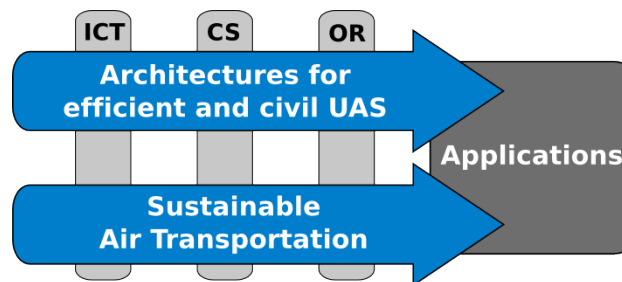


Figura 1.3: Perspectiva general de la investigación del grupo ICARUS

1.2.1. Plataforma experimental

La Aprobación Operacional de vuelo se ha realizado en base a la plataforma experimental Shadow-Mk1. El grupo ICARUS posee dos Mk1 procedentes de la compañía "UAS Maker Integrated Dynamics" [30], en Pakistán. El Shadow-Mk1 es un UAV de ala fija y despegue horizontal. La planta de potencia utilizada (22CV), con una capacidad para el combustible de 30 litros, proporciona una autonomía de unas 4 horas, un alcance de 200km y una altitud máxima operativa de 4000ft. En la Figura 1.4 se muestra una fotografía de dicha plataforma ubicada en el laboratorio de la EETAC.



Figura 1.4: UAV Shadow-Mk1

En la Tabla 1.1: Características del Shadow-Mk1 se especifican éstas y otras capacidades de relevancia del Shadow-Mk1.

Tabla 1.1: Características del Shadow-Mk1

Características del Shadow-Mk1	
Envergadura	5,2m
Largo	1,95m
Ancho	0,89m
Superficie Alar	3,09m ²
Peso	55kg
Carga de Pago	15-25kg
Capacidad de Combustible	30l
Potencia	22cv
Altitud Operativa	4000ft
Alcance	200km
Autonomía	4-6 horas
Velocidad	75-208km/h
Distancia para el Aterrizaje	49,21m

Dicha plataforma UAS cuenta, además, con un piloto automático modelo "AP04" y una estación de control modelo "GCS02", ambos elementos de la compañía UAV Navigation, [31]. En la Tabla 1.2 se identifican éstos y otros elementos clasificados por segmentos.

Tabla 1.2: Elementos de la plataforma experimental

Segmento de vuelo	Segmento de tierra
<ul style="list-style-type: none"> • Plataforma Shadow-Mk1 • Motor • Piloto automático AP04 • Sistema de alimentación dual de servos DPSI-TWIN • Receptor radio control PPM • Baterías • Carga de pago 	<ul style="list-style-type: none"> • Estación de control en tierra GCS02 • PC (Computadora tipo Laptop) • PC-Pad • Joystick • Radio control digital • Radio VHF

CAPÍTULO 2. MARCO REGULATORIO

Los UAS han requerido de la elaboración de nuevas normativas que recojan la especificidad de los “*Unmanned Aircraft Systems*”. La ausencia de piloto a bordo supone una gran diferencia respecto a las aeronaves tripuladas, y ésta debe de ser contemplada en su totalidad. Es decir, mientras que la reglamentación existente hasta la fecha se había elaborado teniendo en cuenta la presencia de un piloto a bordo y al mando de la aeronave, ahora será necesario la elaboración de normativas teniendo en cuenta la posibilidad de que no exista dicho piloto a bordo de la aeronave.

Los organismos reguladores de la aviación civil de todo el mundo están trabajando para establecer estándares de seguridad que regulen las operaciones de los UAS en el espacio aéreo.

Los niveles de seguridad que se deberán demostrar para operar legalmente los UAS, no se diferenciarán de los existentes para las aeronaves tripuladas, es decir, serán igualmente rigurosos.

2.1. Modos de Operación

Una de las mayores dificultades se encuentra en compatibilizar los UAS y las aeronaves tripuladas. En la región europea, la única forma en que está permitido volar una aeronave no tripulada es en espacio aéreo segregado. Este tipo de operación permite experimentar y avanzar en el desarrollo de la integración de los UAS en espacio aéreo no segregado.

Dependiendo del tipo de espacio aéreo en el que se lleve a cabo el vuelo de los UAS, tenemos dos escenarios.

- Operaciones en espacio aéreo no segregado

El espacio aéreo se comparte con el resto de aeronaves. Este es un escenario complejo donde intervienen muchos factores que analizar para garantizar las operaciones. Por ejemplo sistemas “Collision Avoidance”. Ver Figura 2.1, [23].

- Operaciones en espacio aéreo segregado

El espacio aéreo está restringido sólo para el vuelo del UAS. Mediante una orden NOTAM se avisa al resto de usuarios de la existencia de exclusión de tráfico aéreo en la zona de operación. Ver Figura 2.2.

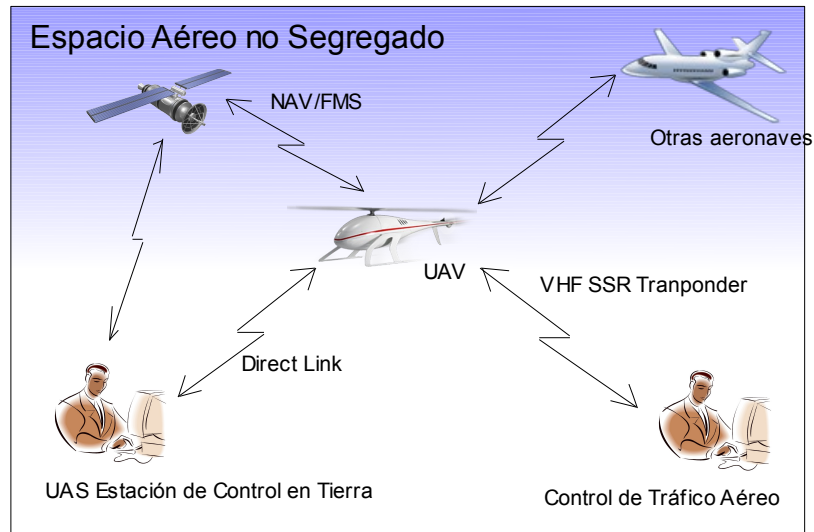


Figura 2.1: UAV en espacio aéreo no segregado

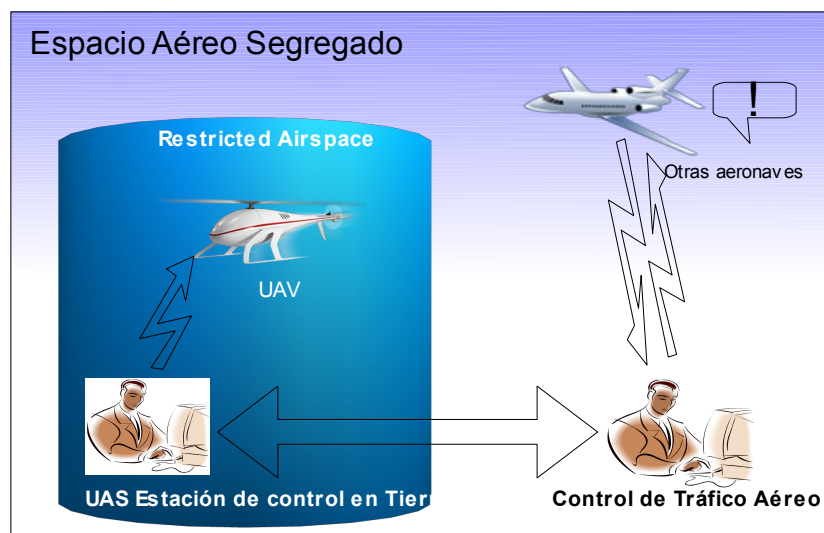


Figura 2.2: UAV en espacio aéreo segregado

Cabe esperar que el nivel de seguridad que se debe demostrar dependerá del tipo de escenario en el que se opere. Es decir, los requisitos de seguridad impuestos por las autoridades reguladoras tendrán diferente rigurosidad.

Actualmente la única forma en que está permitido volar un UAS en Europa es en espacio aéreo segregado. Aún así, para llevar a cabo este tipo de operaciones es necesario estar en posesión de una autorización de vuelo emitida por la agencia de seguridad competente del espacio aéreo que se solicita para el vuelo.

En el estado Español, dichas autorizaciones se conceden para llevar a cabo

vuelos experimentales con aeronaves prototipo de menos de 150 kg de peso, en condiciones VLOS, bajo reglas de vuelo visual diurno (VFR).

2.2. Documentación asociada a las certificaciones

Toda aeronave necesita tener una serie de documentos que permiten que, a efectos legales, pueda volar. Dichos documentos deben recopilar las evidencias necesarias para demostrar que se cumplen las exigencias impuestas por las “Airworthiness Authorities”. En la Figura 2.3: Relaciones: “Airworthiness Authorities”, “manufacturers”, “operators” and “maintenance” puede observarse un diagrama de las relaciones que se dan entre los principales interesados (fabricante, operador y mantenimiento) en el proceso de obtención del certificado de aeronavegabilidad de un aeronave.

Las diferentes autoridades (EASA en Europa, FAA en EEUU...) publican los requisitos en diferentes documentos según corresponda el tipo de aeronave y/o operación para la cual se desee obtener el certificado. Se diferencian dos tipos de documentación: manuales y certificados. En la Tabla 2.1: Documentación asociada a la certificación aeronáutica se identifican cada uno de estos documentos.

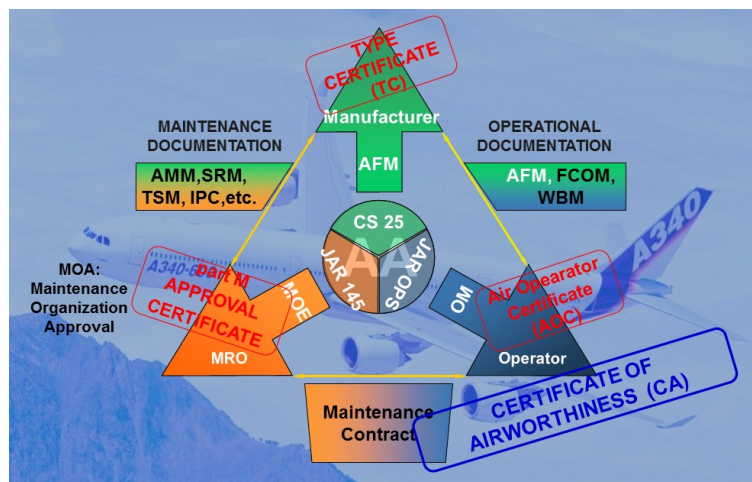


Figura 2.3: Relaciones: “Airworthiness Authorities”, “manufacturers”, “operators” and “maintenance”

Por un lado, los manuales del fabricante, orientados a la validación de las especificaciones y/o procedimientos; los manuales operacionales orientados a la descripción de las operaciones de la aeronave y los manuales de mantenimiento orientados en como mantener la aeronavegabilidad de la aeronave. Por otro lado, los certificados de producción, que permiten al fabricante la autoridad para comercializar las aeronaves; los certificados de operación que permiten la operación de la aeronave con propósitos

comerciales y los certificados de mantenimiento que permiten a los “Centros MRO (Maintenance Repair and Overhaul) realizar las acciones de su competencia.

Tabla 2.1: Documentación asociada a la certificación aeronáutica

Manuales		
Fabricante	Operacionales	Mantenimiento
AFM OM MOE	F.C.O.M. W.B.M.	A.M.M. I.P.C. S.R.M. T.S.M.

Certificados		
Producción	Operación	Mantenimiento
Type Certificate	Air Operator Certificate	JAR 145 - Approval Certificate

2.3. Organismos Reguladores

La estructura legal aeronáutica es algo compleja de analizar y no compete a este proyecto realizar una descripción exhaustiva, pero si conviene conocer los principales organismos que regulan la utilización segura de las aeronaves en el espacio aéreo civil para introducir como se esta llevando a cabo la regulación de los UAS.

Una de las características del tráfico aéreo moderno es que no puede estar supeditado a las fronteras nacionales. Por ello, es necesario que exista una regulación a nivel internacional, muestra de la necesidad de cooperación de los países que promuevan los intereses técnicos, comerciales y militares que interactúan en el espacio aéreo soberano de los países.

Los organismos reguladores del transporte aéreo civil se crean, en consecuencia, para favorecer a un desarrollo sostenible de la aviación civil, destacando las autoridades con poder para la imposición de cumplimientos propios de la aviación.

Distinguimos los siguientes organismos reguladores, clasificados según la índole de sus competencias y según el lugar donde se imponen.

2.3.1. Organización de Aviación Civil Internacional

A nivel internacional encontramos la “*Organización de Aviación Civil Internacional*” (ICAO).

Desde una perspectiva de reglamentación, la función de la OACI es proporcionar procedimientos y orientación para la realización segura de operaciones internacionales de aeronaves y fomentar la planificación y el desarrollo del transporte aéreo. En gran parte, esto se logra elaborando normas y métodos recomendados (SARPS), que figuran en los Anexos al Convenio de Chicago y reflejan la mejor experiencia profesional de los Estados. Los procedimientos para los servicios de navegación aérea (PANS) contienen prácticas que van más allá de los SARPS, en los que es deseable cierta medida de uniformidad internacional en aras de la seguridad operacional y la eficiencia. Los planes de navegación aérea dan detalles de los requisitos para instalaciones y servicios específicos de las regiones de la ICAO. En esencia estos documentos definen el marco internacional para promover la seguridad operacional y la eficiencia en la aviación.

A nivel mundial se ha formado el grupo “UASSG (Unmanned Aircraft System Study Group). Este grupo pertenece a la ICAO y cuenta con la representación de pilotos y proveedores de servicios de navegación aérea en todo el mundo. Los objetivos de este grupo son, entre otros:

- Coordinar temas relacionados con los UAS dentro de ICAO.
- Desarrollar un concepto de regulación para los UAS.
- Contribuir al desarrollo de especificaciones técnicas.

2.3.2. Federal Aviation Administration (FAA)

La FAA, [] es la Administración de Aviación Civil (CAA) de los Estados Unidos. Dicha administración es la encargada de la emisión de las FAR (Federal Aviation Regulation). La FAA tiene una gran repercusión en todo el mundo debido a su destacado nivel de desarrollo. De hecho, muchos países se adaptan a su legislación.

La FAA, [26] ha creado diferentes organismos internos para la regulación de los UAS en su espacio aéreo. Destacamos la “*UAPO*” (Unmanned Aircraft Program Office) y la “*ATO (Air Traffic Organization) UAS Office*” para la integración segura y eficiente de los UAS en su espacio aéreo.

- La FAA esta trabajando para definir los requisitos operacionales para la certificación.
- La FAA inició con la RTCA para conocer dos aspectos muy importantes:
 - Como manejar a los UAS respecto a sus comunicaciones, comando y control
 - Como manejar a los UAS para “detectar y evitar” (Sense and avoid)

otras aeronaves.

- La FAA continua trabajando en colaboración con el resto de estados para la armonización de políticas, estándares, procedimientos y requisitos regulatorios.

2.3.3. Agencia Europea de Seguridad Aérea (EASA)

A nivel de la región europea encontramos la “*European Aviation Safety Authority*”.

La EASA es una autoridad diseñada en 1999 para convertirse en la autoridad única europea en materia de aeronaves y con decisiones de obligado cumplimiento entre los estados miembros. Su función pasará por adoptar las reglas JAR (Joint Aviation Regulations) publicadas por JAA (Joint Aviation Authorities) y mantenerlas, así como establecer cuantas normas nuevas fueran necesarias incorporar. Las reglas JAR están inspiradas en las FAR (Federal Aviation regulations) estadounidenses y son de obligatorio cumplimiento dentro de Europa desde 1993.

Del mismo modo que establece los certificados de tipo para las aeronaves tripuladas, está trabajando actualmente para definir los estándares de certificación que regularán los diferentes tipos de UAS.

Respecto a los UAS, EASA es la autoridad encargada de la emisión de autorizaciones para el vuelo de aeronaves mayores de 150 kg de peso máximo al despegue.

En “*Policy Statement de EASA*”, [17] se establecen los principios generales para la certificación de tipo de un UAS. Sin haber personas a bordo de la aeronave, el objetivo primordial está enfocado a la protección de personas y propiedades en tierra. Un UAS no debe incrementar el riesgo hacia personas o propiedades en tierra comparado con aeronaves de categoría equivalente.

La protección con otros usuarios del espacio aéreo depende de los procedimientos de separación de ATC/ATM y del criterio “detect & avoid”, teniendo en cuenta la clase de espacio aéreo y el tipo de operación (VLOS, BLOS). Dichos aspectos son considerados fuera de la aeronavegabilidad. Sin embargo, existirá una función que verifique el diseño del equipo para satisfacer dichos criterios.

2.3.4. EUROCONTROL

Creada para la unificación de los servicios de control y navegación aérea de Europa, más allá de las limitaciones que imponían los espacios aéreos nacionales. Esto implica la organización común del espacio aéreo, la explotación en común de los servicios ATC en el espacio aéreo superior, la

planificación de las instalaciones, estandarización del equipamiento y la formación del personal, y la percepción de las tarifas por ayudas a la navegación aérea. Se creó el centro de control de Masstricht, primer centro de control europeo.

EUROCONTROL también participa en la integración de los UAS en el espacio aéreo. El primer documento publicado relacionado con la regulación de UAS civiles fue el Task Force, [8], hecho conjuntamente entre EUROCONTROL y JAA en el año 2004.

2.3.5. EUROCAE

“European Organization for Civil Aviation Equipment”, creó el grupo de trabajo WG73 con representaciones de autoridades, organizaciones militares, productores de aeronaves, industria de UAS. La política del WG73 es tratar a los UAS de la misma forma y con las mismas exigencias que cualquier otro usuario del espacio aéreo. Esto se traduce en adoptar las regulaciones ya existentes para el resto de aeronaves y adaptarlas en los casos que sea necesario y creando nuevas regulaciones que cubran aquellos aspectos que hasta ahora no había falta tener en cuenta. El WG73 se ha dividido en cuatro grupos:

- SG1 – Operations
- SG2 – Airworthiness
- SG3 – Command, Control, Communication, Spectra, & Security (C3SS)
- SG4 – UAS for VLOS operations

2.3.6. Agencia Estatal de Seguridad Aérea

AESA es la Administración de Aviación civil en España (CAA) y es la autoridad encargada para la emisión de autorizaciones para el vuelo de aeronaves de menos de 150 kg de peso máximo al despegue en espacio aéreo español es AESA.

En el siguiente capítulo realizaremos una descripción exhaustiva de los requisitos impuestos para la obtención operacional de prototipos UAS.

CAPÍTULO 3. OBJETIVOS DEL PROYECTO

El vuelo de un UAV no está permitido llevarlo a cabo sin una autorización expresa de la Agencia Estatal de Seguridad Aérea. Para obtener dicha autorización se nos exige el cumplimiento de unos requisitos que deberemos evidenciar.

En este capítulo, presentamos los objetivos del proyecto y el procedimiento establecido para la concesión de autorizaciones para el vuelo de TIPO1 con UAVs.

3.1. Objetivos

El objetivo principal de este proyecto es:

- Realizar la provisión de evidencias necesarias para el cumplimiento de los requisitos impuestos por la Agencia Estatal de Seguridad Aérea en el procedimiento para la concesión de autorizaciones para el vuelo de tipo1 con aeronaves prototipo sin piloto a bordo de menos de 150 kg de peso máximo al despegue. Este proyecto, se centra en la redacción formal del documento de solicitud de vuelo.

Los objetivos secundarios de este proyecto son:

- Facilitar al grupo ICARUS la obtención de la autorización para permitir el vuelo experimental de una de sus plataformas UAS cumpliendo todos los requisitos legales.
- Favorecer en el desarrollo de la documentación generada para llevar a cabo operaciones con UAS en espacio aéreo segregado.
- Colaborar en el desarrollo del TFC “*OPAL: Operaciones de UAS en Alfés*”, [5], cuyos fines están íntimamente ligados con los de este trabajo y viceversa.
- Colaborar en el establecimiento de las bases para realizar posibles solicitudes de vuelo similares o diferentes a las de tipo 1.

3.2. Índole de la Autorización para el Vuelo de TIPO 1 con UAVs

En el “Procedimiento para la Concesión de Autorizaciones para el Vuelo de TIPO 1 con UAVs [1]” se establece lo siguiente:

- a) Las operaciones de TIPO 1 con UAVs permiten el vuelo del vehículo aéreo no tripulado en espacio aéreo segregado excepto sobre edificios en ciudades, pueblos, lugares habitados o sobre reuniones de personas al aire libre, bajo reglas de vuelo visual diurno, dentro de alcance visual

en un radio máximo de 500 metros y altura máxima sobre el terreno de 150 metros.

- b) La autorización para el vuelo será específica para cada sistema completo UAS, no siendo extensibles a producción en serie.
- c) Su emisión, no lleva implícita la aprobación para la utilización del espacio aéreo. Sería necesario dirigirse a la autoridad competente para esta aprobación.
- d) La autorización para el vuelo no conlleva la aprobación operacional para la realización de trabajos aéreos. Sería necesario dirigirse a la Autoridad competente para esta aprobación.

3.2.1. Descripción de los requisitos de la Autorización

El procedimiento para la concesión de este tipo de autorizaciones incluye un conjunto de requisitos que pueden ser clasificados en tres categorías: trámites, documento de solicitud de vuelo y procedimientos internos. En los siguientes subapartados se realiza una breve descripción de los requisitos exigidos en cada categoría.

3.2.1.1. Trámites

- I. Identificación de la aeronave: la aeronave habrá de contar con una identificación provisional o estar inscrita en el Registro de matrícula para la emisión del permiso de vuelo.
- II. Obtención del seguro: el solicitante dispondrá de un seguro en vigor que cubra la realización de los vuelos con las coberturas vigentes en el momento de realización de los mismos.
- III. Selección del piloto al mando: el piloto al mando deberá estar aprobado por la Agencia, para lo cual deberá tener como mínimo licencia de piloto privado de avión en vigor y demostrar conocimiento suficiente del sistema UAS y formación para su operación.

3.2.1.2. Documento formal de Solicitud de Vuelo

- I. Área de vuelo: descripción del área de vuelo, incluyendo las evidencias necesarias que demuestren que la zona esta despoblada.
- II. Duración del programa de vuelos: indicar la duración prevista de los vuelos programados y la frecuencia estimada de los mismos.
- III. Descripción del diseño del UAV: especificar las características del UAV,

incluyendo planos tres-vistas dimensionados.

- IV. Configuración del sistema: descripción de la configuración de los sistemas del UAS, incluyendo todos los equipos tanto embarcados como en tierra
- V. Estación de control: descripción de la estación de control utilizada para el control del UAV
- VI. Frecuencias de control: listado de las frecuencias usadas en el control del UAV y cargas de pago.
- VII. Control y mando: descripción del sistema y/o procedimientos de mando y control del UAV
- VIII. Terminación de vuelo y pérdida de radioenlace: explicar el procedimiento en caso de pérdida de radioenlace y el procedimiento de retorno de emergencia. Explicación del sistema de terminación de vuelo.
- IX. Inspección y mantenimiento: Describir el programa de inspección y mantenimiento para mantener el UAV y sistemas asociados, incluyendo la estación de control y los sistemas de apoyo.
- X. Manual de vuelo: suministrar una copia del manual de vuelo/manual de operación. El manual de vuelo tendrá una sección que recoja todas las limitaciones aplicables al UAS; los procedimientos de emergencia estarán resaltados o subrayados y descritos en pasos claros e inequívocos e incluirá una lista de comprobación operacional para todas las fases de vuelo separada por procedimientos normales, anormales y de emergencia.
- XI. Plan de seguridad de la operación:
 - la identificación de los peligros asociados a la operación
 - las medidas mitigadoras de los peligros identificados tras un análisis de las causas que puedan provocarlos, teniendo en cuenta el segmento embarcado, el segmento de comunicaciones, control y mando, y todas las fases de la operación del UAS.
 - La estimación del riesgo asociado a la operación y justificación de la aceptación del mismo.

3.2.1.3. Procedimientos internos

- I. Control de configuración
 - El solicitante deberá disponer de procedimientos de control de los cambios que realicen sobre el sistema.
 - El solicitante deberá disponer de procedimientos para el control de la documentación, planos, procedimientos de ensayo y órdenes de ingeniería.

II. Gestión del software

- Identificar los programas de SW necesarios para el funcionamiento y operación segura del sistema
- Descripción de los requisitos funcionales del SW y asignación entre los diversos componentes hardware y software
- Procedimientos empleados para la verificación, validación y pruebas de integración del sistema.
- Procedimientos de control para la carga del software y asegurar su correcto funcionamiento
- Procedimientos para el control de la configuración de las versiones y modificaciones de SW cargadas en el sistema y su documentación

III. Registro de vuelos y sistemas de reporte

- El solicitante mantendrá un historial de operación del UAS, incluyendo números de vuelos, horas de vuelo, piloto al mando, cualquier fallo de los sistemas, emergencias, incidentes o accidentes y las modificaciones correctivas tomadas sobre el sistema.
- El solicitante informará a la Agencia de todos los incidentes, accidentes o emergencias acaecidas en un plazo inferior a 72 horas
- El solicitante informará mensualmente a la Agencia del historial de operación del UAS.

3.2.2. Paquetes de trabajo identificados

Con el objetivo de organizar la documentación para la obtención de la autorización pertinente para el vuelo del UAS, se ha procedido a la división de los requisitos impuestos por AESA en paquetes de trabajo. Estos se identificaron con un código con la estructura siguiente: PT_XXX_YYY.

- “PT” significa **Paquete de Trabajo**, es una cabecera invariable para todos los paquetes de trabajo.
- “XXX” describe la categoría del paquete de trabajo. Copiando la estructura subyacente en los requisitos de AESA y adoptada en este trabajo tenemos tres opciones: “TRA.” (trámites), “DOC.” (documento de solicitud de vuelo) y “PRO.” (procedimientos internos).
- “YYY” es un número que, en combinación con la categoría del paquete de trabajo, identifica de manera única a cada paquete de trabajo.

Este proyecto se centra en la recopilación de evidencias para la redacción formal del documento de solicitud de vuelo o, lo que es lo mismo, a la elaboración de los PT_DOC_YYY. En ningún caso, se ha trabajado para la elaboración de paquetes del resto de categorías. En la Figura 3.1: Paquetes de trabajo del documento de solicitud de vuelo, se representan las once áreas de información requeridas.



Figura 3.1: Paquetes de trabajo del documento de solicitud de vuelo

CAPÍTULO 4. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Debido al volumen y la heterogeneidad de la información que deseamos analizar, se presenta en la Figura 4.1 un esquema de situación para la descripción de dicho análisis.

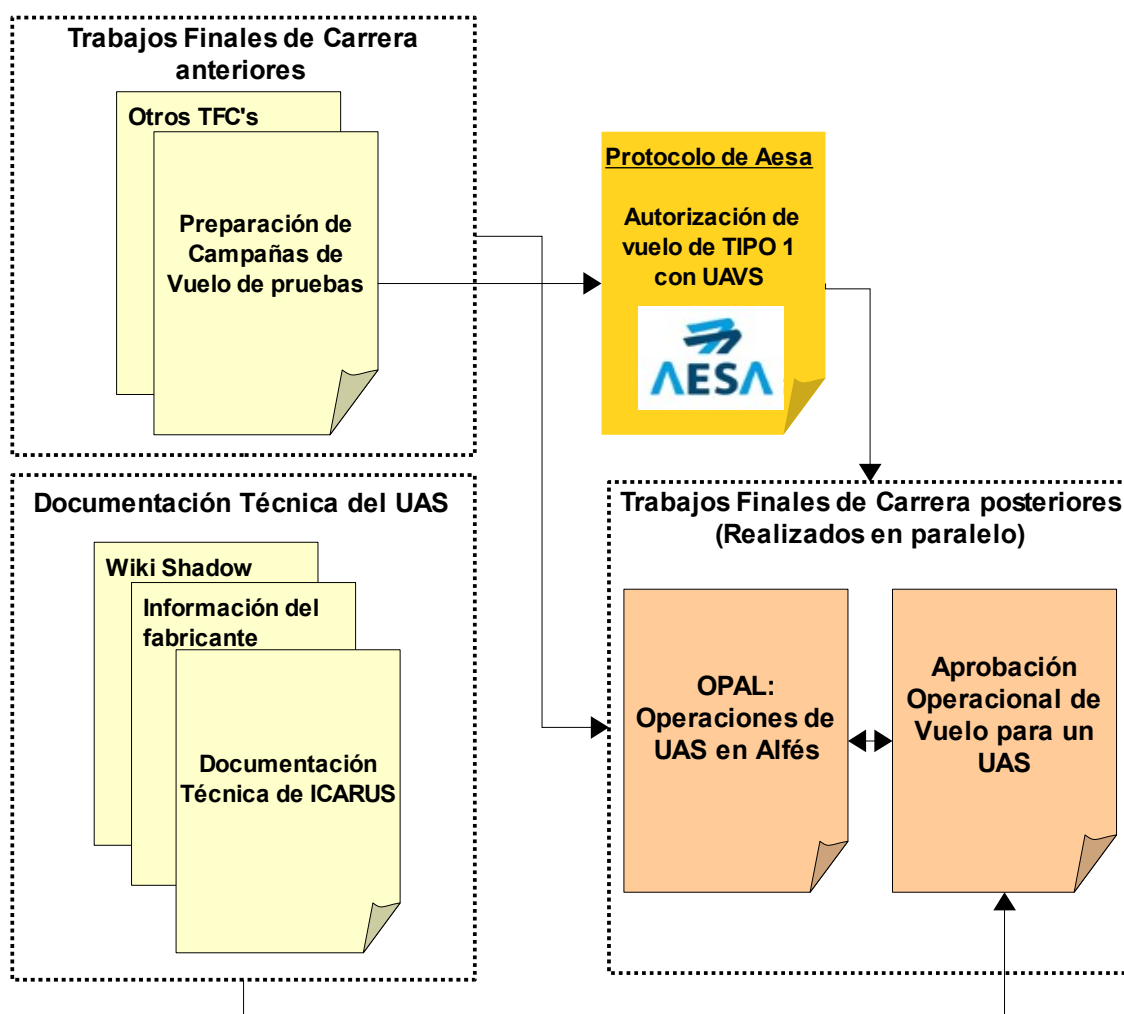


Figura 4.1: Esquema de situación de la documentación asociada para la elaboración del documento de solicitud de vuelo

En la Figura 4.1 se muestra el origen de la información asociada en el procedimiento para la obtención de una Autorización para el vuelo del UAS, así como las relaciones existentes con este proyecto y con “OpAl: Operaciones de Vuelo en Alfés, [10]”.

“OpAl” ha sido un trabajo que se ha llevado a cabo de forma paralela a este proyecto. Debido a que sus objetivos contribuyen a la elaboración del

“PT_DOC_110 (Plan de Seguridad)”.

En este capítulo, analizaremos la información existente al comienzo del proyecto. Identificaremos y analizaremos los diferentes tipos de documentos detectados como válidos para la elaboración de los paquetes de trabajo.

La información que alimenta los proyectos mencionados podemos clasificarla en dos categorías. Por un lado, los diferentes TFC's realizados en la EETAC y entorno al grupo ICARUS. Por otro lado, la documentación técnica del UAS, ya sea ésta, aportada, por ICARUS, como por los fabricantes de los elementos del UAS. Evidentemente, también contamos con el Protocolo de AESA, [1] ya descrito en el capítulo anterior, cuyo origen queda referenciado al TFC “Preparación de campañas de vuelos de pruebas”, [21].

Este análisis ha permitido obtener una formación activa en las diferentes áreas de información requeridas para la elaboración del documento de solicitud de vuelo.

4.1. OpAI: operaciones de vuelo en Alfés

Debido a que sus objetivos contribuyen a la elaboración del “PT_DOC_110 (Plan de Seguridad)” realizaremos una breve descripción de su aportación. En la Figura 4.2 se ilustran los documentos aportados.

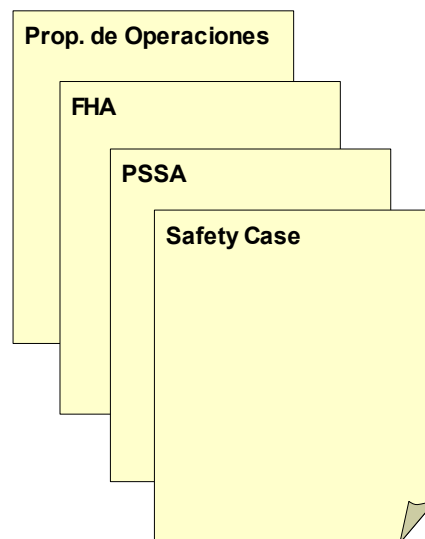


Figura 4.2: Documentos aportados por OpAI: Operaciones en Alfés

En la Figura 4.3: Safety Lifecycle utilizado para el análisis de seguridad de OpAI se muestra el ciclo de vida para el desarrollo de *Safety Case*, cuya metodología se describe en el “*Safety Case Development Manual de*

EUROCONTROL”, [5].

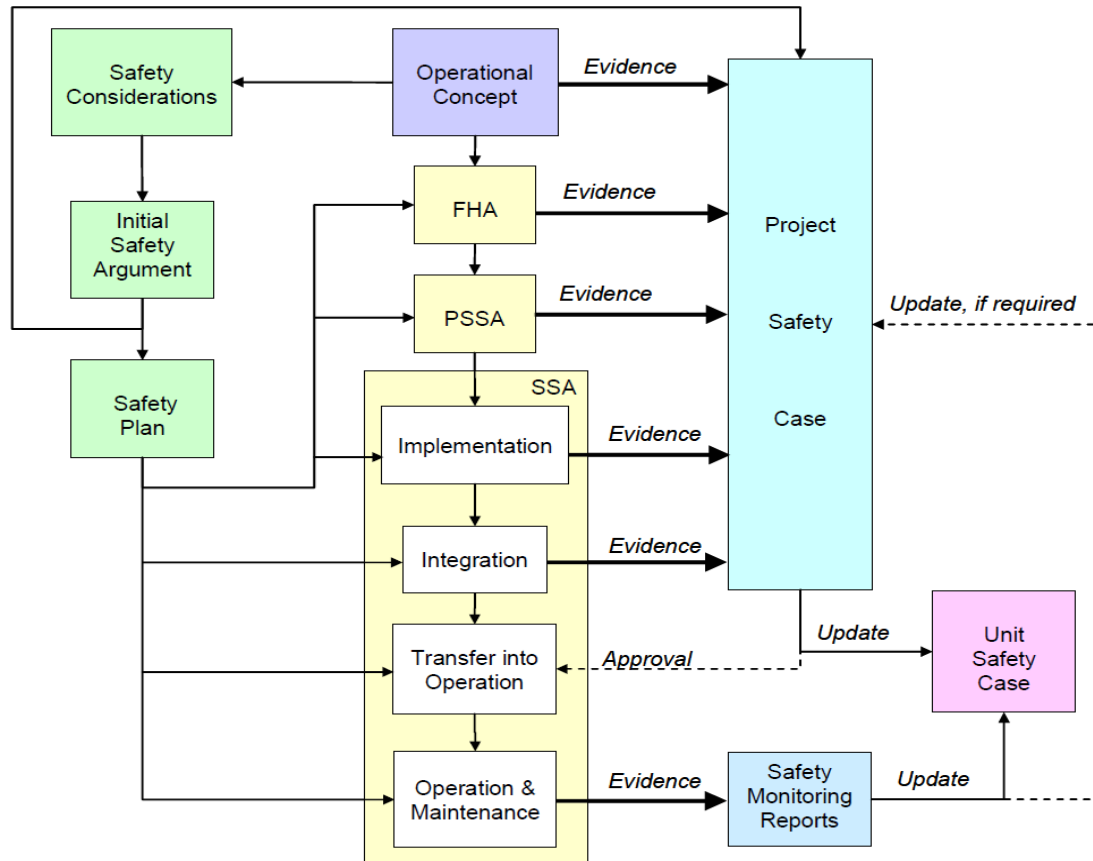


Figura 4.3: Safety Lifecycle utilizado para el análisis de se seguridad de OpAI

Su aportación concreta, se basa en el desarrollo de una propuesta de operaciones para permitir volar el Shadow en el aeródromo de Alfés. Posteriormente, en base a dicha propuesta se realiza un análisis de seguridad para la elaboración de un “Safety Case” utilizando la metodología de EUROCONTROL denominada SAM (Safety Assessment Methodology), la cual se desglosa en un FHA, un PSSA y un SSA.

- i. Propuesta de Operaciones, [12]:
se realiza un análisis de viabilidad del aeródromo de Alfés para poder realizar diferentes actividades de vuelo sin sobrepasar los límites definidos para las operaciones de TIPO 1. Se estudia el terreno, las operaciones que pueden afectar del aeropuerto de Lleida-Alguaire, y comprobar y demostrar que es seguro utilizar el UAV en el aeródromo de Alfés.
- ii. Functional Hazard Aseessment (FHA), [11]:
se realiza un análisis de las “Aircraft Functions” que intervienen en las

operaciones de vuelo del UAS. Para ello, se hace uso de la información contenida en un documento desarrollado por la NASA: “*Preliminary Considerations for Classifying Hazards of Unmanned Aircraft Systems*” [2]. En éste análisis se justifican las funciones propuestas para el uso del UAV en Alfés clasificándolas según la naturaleza de cada función y su criticidad.

- iii. Preliminary System Safety Assessment (PSSA), [14]:
se realiza un análisis teniendo en cuenta las fases de vuelo definidas en el Manual de Vuelo, [A3]. Justificando para cada fase las funciones identificadas en el *FHA*.
- iv. Project Safety Case, [13]:
se justifica la utilización de las medidas mitigadoras en las diferentes fases de la operación, describiendo para cada medida mitigadora las funciones identificadas en el *FHA*.

Conviene destacar que este análisis de seguridad no se realiza exactamente siguiendo las indicaciones expuestas por AESA para la elaboración del “*PT_DOC_010_Plan de Seguridad*”.

Sin embargo, la importancia de la metodología utilizada y las evidencias demostradas se han elaborado de forma que su aportación sea igual de válida o más, que la impuesta por AESA. En el apartado [6.3. Elaboración del Plan de Seguridad (PT_DOC_110)] describiremos las particularidades para la integración del plan de seguridad.

4.2. Trabajos Finales de Carrera anteriores

Los paquetes de trabajo habían sido identificados durante el desarrollo del “*TFC – Preparación de Campañas de Vuelo de Pruebas*, [21]” con fecha a mayo de 2009. Existiendo una primera versión de un documento inicial para cada uno de los paquetes de trabajo identificados en el capítulo anterior.

Hasta el momento han sido unos cuantos los trabajos finales de carrera realizados en la EETAC y entorno al grupo ICARUS. Muchos de éstos trabajos aportan información sobre diferentes aspectos relacionados con los UAS. Algunos de ellos, han sido elaborados para dar respuesta a aspectos concretos de la plataforma experimental en la que se basa nuestra solicitud de aprobación y otros, contienen información útil para el conocimiento de los UAS, pero no aportan ninguna evidencia concreta necesaria en nuestra solicitud de aprobación. Dos ejemplos de trabajos consultados que aportan evidencias concretas son:

- “*Sistema de finalització de vol*”, [15]: en este trabajo se realiza una aportación para la incorporación de un sistema de terminación de vuelo para el UAV Shadow-Mk1. Útil para el “*PT_DOC_080_Terminación de*

- *vuelo, [A12]*”.
- *“Creació de l' Illustrated Parts Catalogue”, [20]:* en este trabajo se realiza una aportación para la creación de las piezas y componentes del UAV Shadow-Mk1 utilizando herramientas de diseño gráfico. Útil para el *“PT07_ Configuración del sistema, [A8]*”.

Sin embargo, el TFC de *“Preparación de Campañas de Vuelo de pruebas”, [21]* se ideó para realizar una primera aproximación para conocer el procedimiento a seguir para la obtención de aprobación de un UAV y su posterior puesta en escena para la realización de vuelos experimentales. En ese momento, no existía el protocolo, que como hemos explicado, es en este trabajo, dónde se consiguió una vía satisfactoria para la obtención del protocolo de AESA, [1]. Además, se elaboraron borradores y/o propuestas de los paquetes de trabajo.

4.3. Documentación técnica del UAS

En la Figura 4.4: Fuentes de información técnica se presentan los diferentes documentos utilizados para recopilar evidencias en el proceso para la autorización de vuelo. Existen dos tipos de información técnica: la información de los fabricantes de los elementos del sistema del UAS y la información realizada por el grupo ICARUS para sus propios fines.

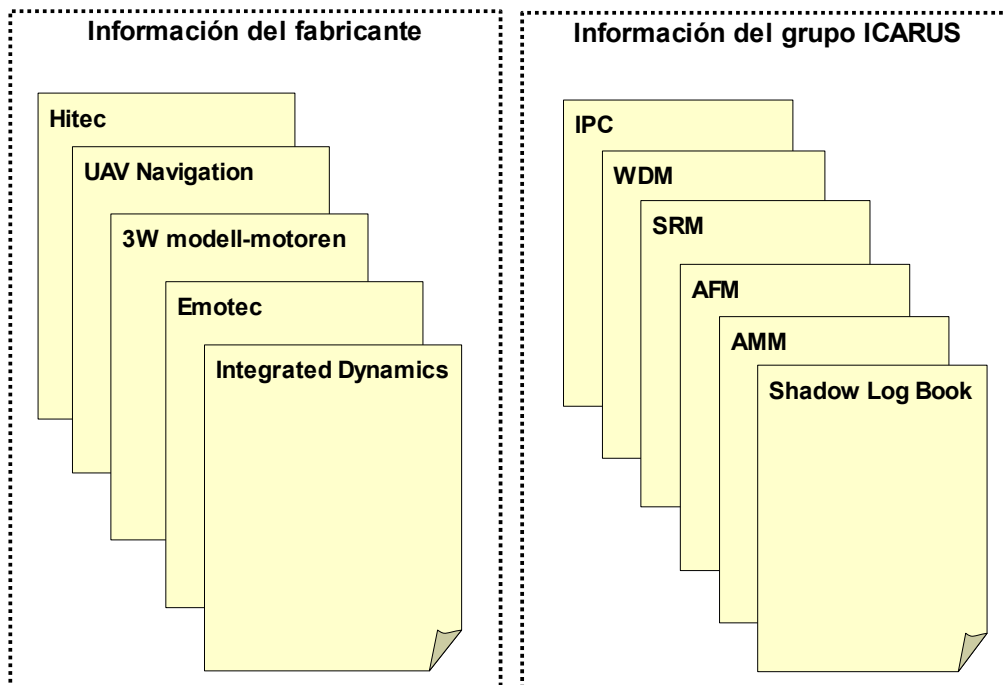


Figura 4.4: Fuentes de información técnica

- **Información de los fabricantes:** analizamos la información contenida

en los diferentes manuales de los productos utilizados en la plataforma experimental que posee el grupo ICARUS:

- i. *"Integrated Dynamics"*, [30]: fabricante de la estructura aérea Shadow-Mk1. El Mk-1 viene acompañado únicamente del *Manual de ensamblaje y Operación del Shadow-Mk1*, [6]. No se aporta información acerca de la performance del vehículo aéreo. La información cedida por este fabricante se basa principalmente en recomendaciones.
 - ii. *"UAV Navigation"*, [31]: fabricante del piloto automático AP04 y de la estación de control en tierra GCS02, acompañados del SW Visionair. Dichos productos vienen acompañados de los manuales: *"VisionAir for Fixed Aircraft operator's Manual"* [18] y *"GCS Operator's Manual"* [16]. Dichos manuales aportan información útil para la evidenciación y posterior elaboración de, prácticamente, todos los paquetes de trabajo.
 - iii. *"DPSI TWIN"*, [25]: destaca el manual de funcionamiento del DPSI-TWIN, [16]
 - iv. *"Hitec"*, [27]: destaca el manual del aparato de radiocontrol digital Hitec Eclipse 7, [7].
- **Información del grupo ICARUS:** se trata de una documentación elaborada por ICARUS que guarda relación con todo lo que fue realizado con el Shadow desde su compra hasta la versión actual.
 - i. *"Shadow Log Book"*: en este documento se detecta principalmente una una estructuración para la inclusión del futuro historial de operación del UAS. En su estado actual, la información que contiene no es utilizable para evidenciar ninguno de los requisitos impuestos por AESA. Sin embargo, su estructuración será útil en el momento de la elaboración del *"Registro de Vuelos y Sistemas de Reporte"*, (ver apartado 3.2.1.3. Procedimientos internos). Dicho procedimiento, establece el requisito de mantener un historial de operación del UAS, incluyendo números de vuelos, horas de vuelo, piloto al mando, cualquier fallo de los sistemas, emergencias, incidentes o accidentes y las modificaciones correctivas tomadas sobre el sistema.
 - ii. *"Aircraft Maintenance Manual"* (AMM): en este documento se detecta una laguna de información de los procedimientos necesarios para el mantenimiento del UAS. No existen evidencias suficientes que garanticen los procesos de manteniendo de la aeronave y por lo tanto la elaboración del PT_DOC_090 (Inspección y mantenimiento).
 - iii. *"Aircraft Flight Manual"* (AFM): en este documento hay recopilados datos de las características de la aeronave. En su estado actual,

dista mucho de considerarse un manual de vuelo, los datos no están estructurados, no se incluyen los procedimientos operacionales, ni las limitaciones aplicables al UAS.

- iv. *Structural Repair Manual* (SRM): en este documento no existe una estructuración adecuada. Sin embargo, la información incluida en este documento será útil en el momento de realizar el PT_DOC_040 (Configuración del Sistema).
- v. *Wiring Diagram Manual*: en este documento se detectan unos esquemas del Shadow Mk-1 donde se representan los diferentes componentes a bordo de la aeronave. Dicha información será útil en el momento de realizar el PT_DOC_010 (Manual de Vuelo), el PTC_DOC_040 (Configuración del Sistema) y el PT_DOC_030 (Descripción del diseño del UAV). El resto de información recopilada en este manual también podría ser útil para la elaboración del PT_DOC_090 (Inspección y mantenimiento) pues se aportan datos de las conexiones y cableado instalado en el UAV.
- i. *Illustrated Parts Catalogue* (IPC): en este documento se detectan unos esquemas de la estructura del Shadow Mk-1. Dichos esquemas presentan un despiece jerárquico de las partes estructurales del UAV. Dicha información será útil para la elaboración del PT_DOC_040 (Configuración del Sistema). En su estado actual dista mucho de poder considerarse un IPC.

CAPÍTULO 5. ANÁLISIS DE ESTADO

5.1. Clasificación de los paquetes de trabajo identificados

Una vez realizado el análisis de la información asociada al documento de solicitud de vuelo, se ha procedido a clasificar los paquetes de trabajo en función del estado encontrado al inicio de este proyecto.

Dada la heterogeneidad de las áreas de información requeridas, se ha procedido a la determinación de tres niveles de estado diferentes para cada paquete de trabajo. Los niveles que se determinan para la clasificación, son los siguientes:

- Paquetes de trabajo a **homogeneizar**:
- Paquetes de trabajo a **desarrollar**:
- Paquetes de trabajo a **integrar**:

En la Figura 5.1 se ilustran los paquetes con la determinación asociada.

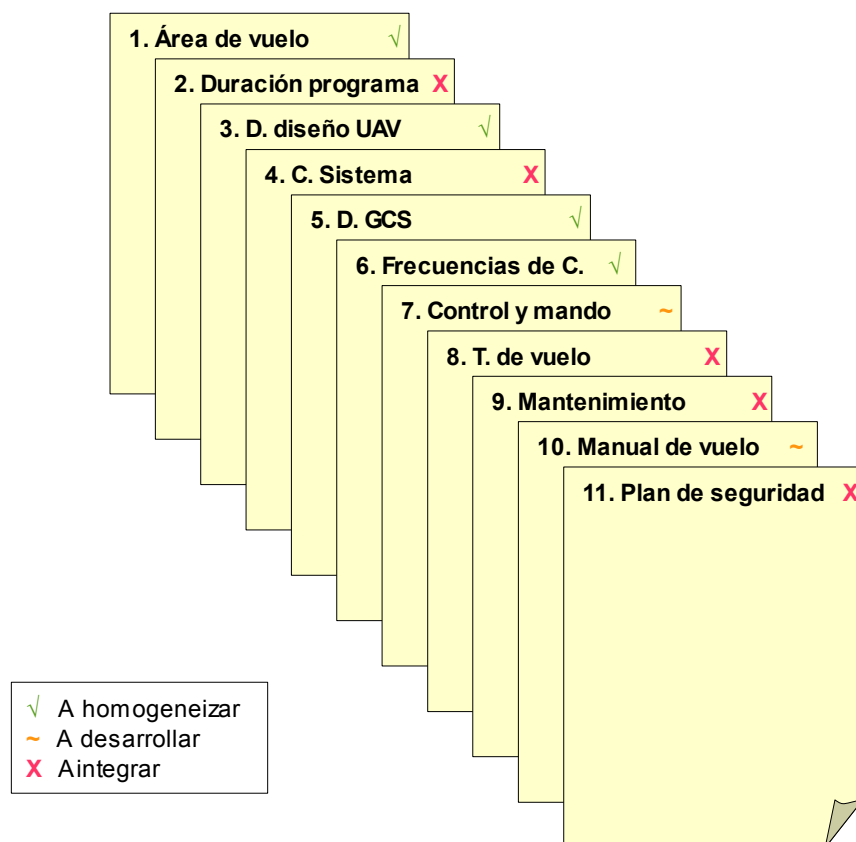


Figura 5.1: Estado de los paquetes de trabajo

5.2. Paquetes de trabajo a homogeneizar

En este apartado corresponde analizar el estado de los paquetes de trabajo que han sido necesarios estructurar de forma adecuada de acorde con lo establecido en el protocolo de AESA, [1]. Estos paquetes ya contenían la mayoría de las evidencias necesarias y solo ha sido necesario su homegeneización.

Sin embargo debido al diseño inacabado del UAS no todas las evidencias necesarias son posibles de proveer.

Las evidencias para este tipo de paquetes de trabajo las determinamos clasificándolas en cuatro categorías:

- Evidencias aportadas: contenidas en la primera versión propuesta del documento. Hace falta homogeneizarlas.
- Evidencias no aportadas: no contenidas en ningún documento disponible. Ha sido necesaria su elaboración.
- Evidencias extra posibles de aportar (sólo en Alfés): durante el desarrollo del proyecto se ha identificado cierta información posible de incluir a modo de ampliación del paquete.
- Evidencias imposibles de proveer: debido al diseño inacabado del UAS o a la falta de planificación que deberá ser contemplada por otros miembros del GRUPO ICARUS

5.2.1. Área de Vuelo (PT_DOC_010, [A5])

Para la elaboración del “Área de Vuelo (PT_DOC_010, [A5])”, el procedimiento de AESA requiere que se identifique el punto de despegue, se incluya una descripción del área de vuelo y del anillo de seguridad adicional, además de proveer evidencias que demuestran que la zona esta despoblada.

En la Tabla 5.1 se realiza una recopilación de evidencias para elaboración del “Área de Vuelo (PT_DOC_010)”.

Tabla 5.1: Estado del PT_DOC_010

Área de vuelo (PT_DOC_010, [A5])	
Evidencias aportadas	<ul style="list-style-type: none"> • Información gráfica de los aeródromos seleccionados • Identificación de los puntos de despegue y aterrizaje • Identificación del área de vuelo
Evidencias no aportadas	<ul style="list-style-type: none"> • Identificación del anillo de seguridad • Evidencias de despoblamiento de la zona de pruebas
Evidencias extra	<ul style="list-style-type: none"> • Propuesta de Operaciones en Alfés, [12], aporta

	<p>información extra de las operaciones de TIPO 1 en Alfés (puntos de despegue y aterrizaje, restricciones de la zona, circuitos de vuelo, etc.)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Datos de infraestructuras del aeródromo. • Datos estadísticos demográficos de la zona.
Evidencias imposibles	Ninguna

5.2.2. Descripción del diseño del UAV (PT_DOC_030, [A7])

Para la “Descripción del diseño del UAV (PT_DOC_030, [A7])” el procedimiento de AESA requiere que se adjunten planos tres-vistas o fotografías dimensionadas tres vistas del UAV y descripción de las características del UAV, incluyendo:

- Denominación de la aeronave
- envergadura
- Longitud
- Planta de Potencia
- Mandos de vuelo
- Peso Máximo al despegue
- capacidad del combustible
- Capacidad de la carga Util
- Techo de la aeronave
- Autonomía
- Velocidad Máxima
- Sistema de Navegación y guiado

En la Tabla 5.1 se realiza una recopilación de evidencias para elaboración del “Área de Vuelo (PT_DOC_010)”.

Tabla 5.2: Estado del PT_DOC_030

Descripción del diseño del UAV (PT_DOC_030, [A7])	
Evidencias aportadas	<ul style="list-style-type: none"> • Planos tres vistas acotados • Envergadura • Longitud • Planta de potencia • Mandos de vuelo • Peso máximo al despegue • Capacidad de combustible • Capacidad de la carga útil • Techo de la aeronave • Autonomía

	<ul style="list-style-type: none"> • Velocidad máxima • Sistema de navegación y guiado
Evidencias no aportadas	Ninguna
Evidencias extra	Ninguna
Evidencias imposibles	<ul style="list-style-type: none"> • Denominación de la aeronave

5.2.3. Estación de control (PT_DOC_050, [A9])

Para la descripción de la “Estación de control (PT_DOC_050, [A9])” el procedimiento de AESA no es nada específico.

En la Tabla 5.3 se realiza una recopilación de evidencias para elaboración de la “Estación de control (PT_DOC_050)”.

Tabla 5.3: Estado del PT_DOC_050

Estación de control (PT_DOC_050, [A9])	
Evidencias aportadas	<ul style="list-style-type: none"> • Descripción de la estación de control utilizada para el control del UAV • Especificaciones de la radio en banda aeronáutica para comunicaciones ATC
Evidencias no aportadas	<ul style="list-style-type: none"> • Especificaciones de la antena de la radio ATC
Evidencias extra	Ninguna
Evidencias imposibles	<ul style="list-style-type: none"> • Datos datalinks de la carga de pago • Datos del sistema de alimentación eléctrica

5.2.4. Frecuencias de control (PT_DOC_060, [A10])

Para las “Frecuencias de control (PT_DOC_060, [A10])” el procedimiento de AESA requiere que se adjunte una descripción/listado de las frecuencias usadas en el control del UAV y cargas de pago

En la Tabla 5.4 se realiza una recopilación de evidencias para elaboración del “Frecuencias de control (PT_DOC_060)”.

Tabla 5.4: Estado del PT_DOC_060

Frecuencias de control (PT_DOC_060, [A10])	
Evidencias aportadas	<ul style="list-style-type: none"> • Frecuencias AP04/GCS02 • Frecuencias Radiocontrol
Evidencias no aportadas	<ul style="list-style-type: none"> • Frecuencias de Navegación: GPS, VOR, DME, NDB, etc.
Evidencias extra	Ninguna
Evidencias imposibles	<ul style="list-style-type: none"> • Frecuencias carga de pago

5.3. Paquetes de trabajo a desarrollar

En este apartado se incluyen los paquetes de trabajo que han sido necesarios elaborar desde un estado muy superficial. Ha sido necesaria la recopilación de evidencias por un lado y la estructuración de las mismas de acorde con lo establecido en el protocolo, por otro.

5.3.1. Control y Mando (PT_DOC_070, [A11])

Para la descripción del sistema y/o procedimientos de mando y control del UAV, el procedimiento de AESA no es nada específico.

En la Tabla 5.5 se realiza una recopilación de evidencias para elaboración del “Control y Mando (PT_DOC_070)”.

Tabla 5.5: Estado del PT_DOC_070

Control y mando (PT_DOC_070, [A11])	
Evidencias aportadas	<ul style="list-style-type: none"> • Especificaciones AP04/GCS02 • Especificaciones Radiocontrol
Evidencias no aportadas	<ul style="list-style-type: none"> • Procedimientos de mando y control
Evidencias extra	Ninguna
Evidencias imposibles	<ul style="list-style-type: none"> • Procedimientos definitivos de mando y control

5.3.2. Manual de Vuelo

Es un requisito que la descripción de los procedimientos estén descritos por

fases de vuelo. Para más información ver apartado 6.1. Elaboración del Manual de Vuelo (PT_DOC_100, [A1]).

5.4. Paquetes de trabajo a integrar

En este apartado se incluyen aquellos paquetes de trabajo que por sus características es necesario que el desarrollo lo realicen otros miembros del grupo ICARUS. Para algunos de estos paquetes se ha realizado una propuesta inicial.

De alguna forma estos paquetes se corresponden cuando la mayoría de la información requerida es determinada como Evidencias Imposibles.

5.4.1. Duración del programa de vuelos

AESA requiere de cuantificar los vuelos y el tiempo de duración estimada. Dicha tarea corresponde al grupo ICARUS realizarla cuando circunstancialmente sea necesario.

5.4.2. Configuración del sistema

AESA requiere una descripción de la configuración de todos los elementos del sistema, tanto embarcados como en tierra. Debido al diseño inacabado del UAS, esta tarea corresponde al grupo ICARUS realizarla cuando sea posible.

5.4.3. Terminación de vuelo y pérdida de radioenlace

AESA requiere una descripción de la configuración de todos los elementos del sistema, tanto embarcados como en tierra. Debido al diseño inacabado del UAS, esta tarea corresponde al grupo ICARUS realizarla cuando sea posible.

5.4.4. Plan de seguridad

Es un requisito que la descripción de los procedimientos estén descritos por fases de vuelo. Para más información ver apartado 6.3. Elaboración del Plan de Seguridad (PT_DOC_110).

CAPÍTULO 6. CONTRIBUCIÓN

6.1. Elaboración del Manual de Vuelo (PT_DOC_100, [A1])

6.1.1. Introducción

El desarrollo del “*Manual de Vuelo (PT_DOC_010, [A1])*” ha sido una de las mayores contribuciones de este TFC. El documento disponible al inicio del proyecto presentaba importantes carencias de información respecto a los requisitos exigidos por AESA. La elaboración de un manual de vuelo ha sido una de las prioridades de este proyecto.

El manual de vuelo es uno de los principales documentos exigidos al operador de una aeronave para obtener el certificado de aeronavegabilidad (CA). Es habitual que el “*Aircraft Flight Manual (AFM)*” lo ceda en la venta de una aeronave, el fabricante al operador. Aunque también podría darse el caso u excepción, de que el fabricante, cómo por ejemplo *Airbus* o *Boing*, representen ser ambos casos, es decir, que sean fabricante y operador al mismo tiempo.

Lo principalmente relevante para el desarrollo de nuestro manual de vuelo es que estamos ante una aeronave no tripulada, para la cual no existen estándares de seguridad “*Certification Standards, (CS)*” que regulen o describan al detalle las evidencias que se deben cumplir para obtener el Certificado de Tipo “*Type Certificate (TC)*” (equivalente a tener aprobado el manual de vuelo de la aeronave). Además, nos encontrarnos ante una operación de tipo experimental llevada a cabo mediante una aeronave prototipo, en la cual no se pretende más que la obtención de datos para el desarrollo tecnológico de UAS, no para la realización de trabajos aéreos.

Por esta razón, la elaboración del manual de vuelo ha supuesto, no sólo un esfuerzo a la cumplimentación de ciertas directrices, sino de un pensamiento crítico que se ciña a la característica diferenciadora y comprensión de lo que resulta de la operación segura de aeronaves no tripuladas en el espacio aéreo. La línea de trabajo utilizada siempre ha estado enfocada para dar respuesta a los factores que intervienen en la utilización de plataformas UAS.

6.1.2. Objetivo

Desde el punto de vista sistemático, la existencia del manual de vuelo emana de los procesos de apoyo definidos en la fase de asignación de responsabilidades a hombres y a máquinas de la “*SAE ARP 4754*”. El manual de vuelo es un documento diseñado para que el piloto al mando, conozca el sistema, las limitaciones del mismo, y los procedimientos operacionales, tanto en condiciones normales, anormales o de emergencia. La información debe

presentarse de forma clara e inequívoca para que la realización del vuelo se lleva a cabo durante su totalidad de forma segura.

6.1.3. Adaptación

Para el desarrollo del *PT_DOC_010* se ha utilizado el manual de vuelo de un “*PARTENAVIA P68C-TC, [3]*” aprobado por la “*Federal Aviation Administration (FAA)*”. Utilizando esta referencia como base para la adaptación, iniciación y estructuración de nuestro documento.

La adaptación utilizando el P68C-TC supone adoptar las consideraciones derivadas de la diferencia de un “*manned aircraft*” no contempladas para los “*unmanned aircrafts*” y por tanto tener en cuenta en este sentido, que la distribución de los elementos es diferente, las connotaciones de seguridad son diferentes, las limitaciones pueden darse tanto por los elementos en tierra como los instalados a bordo, la forma de llevar a cabo la vigilancia visual típica de la operaciones VLOS, la capacidad de detección, el control de la carga útil, la forma de establecer comunicación con el control de tráfico aéreo y las responsabilidades del propio piloto, son sólo algunas de ellas.

6.1.3.1. Estructura y contenido del “*P68-TC Flight Manual, [3]*”

La estructura que presenta este manual de vuelo se ha utilizado para la estructuración del *PT_DOC_010*. A pesar de ser aeronaves muy diferentes, la similitud de la naturaleza del contenido (fases de vuelo, limitaciones aplicables o procedimientos descritos), es relevante para nuestro manual.

La estructuración y contenido del “*P68-TC Flight Manual, [3]*” es la siguiente:

- I. Aircraft Data & General Information:
se presenta la información básica de la aeronave (dimensiones y áreas, abreviaturas, gráficos de conversión de peso volumen y longitud, etc.) y otra información que pudiera ser útil para el piloto.
- II. Operating Limitations:
se describen las limitaciones operacionales y su significado, los indicadores de los instrumentos a bordo, el código de colores empleado, la planta de potencia, los sistemas estándar y el equipamiento estándar
- III. Emergency Procedures & Normal Procedures:
se describen los procedimientos aprobados para situaciones de emergencia y los procedimientos recomendados para la conducta de operación en condiciones normales. Conviene destacar que en el primer caso los procedimientos se describen clasificados por la naturaleza del fallo y fase del vuelo, mientras que en el segundo caso los procedimientos se describen únicamente por fases de vuelo

cronológicas en la operación.

IV. Performance:

se presentan las cartas de los datos de las performances de la aeronave para conocer la respuesta que ofrece bajo condiciones varias y también para facilitar la planificación de los vuelos con razonable exactitud.

V. Equipment List (Weight & Balance)

se proporcionan los procedimientos para la determinación del peso en vacío (OEW) y del momento de la aeronave, así como los procedimientos para la determinación del centrado de masas para el vuelo.

VI. Supplement

Finalmente, a modo suplementario, se incluye información relativa a los diferentes extras que puede llevar instalados la aeronave. Por ejemplo, para esta aeronave, encontramos la instalación de sistemas antihielo, una cabina diseñada para la practica de paracaidismo, etc.

6.1.3.2. Estructura y contenido del Manual de Vuelo adaptado

La estructura del manual se ha adoptado de forma que se tenga en cuenta la distinción que presenta el hecho de tratarse de un sistema y una aeronave no tripulada. La estructuración y contenidos adoptados en este manual son los siguientes:

I. Configuración del sistema

se hace referencia a las características de los elementos y de la arquitectura del UAS. Están enfocados para que el piloto conozca su funcionamiento. Se incluyen las características y dimensiones del UAV y de la Estación de Control en Tierra (GCS), así como otros elementos contemplados para la mitigación de riesgos asociados a la operación en el Plan de Seguridad.

II. Fases de vuelo

se definen las fases de vuelo consideradas para la “Fase de Maniobras*” del UAV en operaciones de TIPO1. Las fases de vuelo definidas permiten la descripción organizada de los procedimientos operacionales establecidos para la fase de maniobras.

NOTA*

Durante la definición de las fases del vuelo se identificaron otras fases que debían realizarse para la preparación tanto del UAS como de la zona de operación. Debido a que estas fases no tenían porque considerarse responsabilidad del piloto al mando no podían considerarse fases del vuelo y por lo tanto no se definen en este manual.

(Posteriormente, en el apartado 6.1.3.3. Ampliación de las fases de vuelo ampliamos este concepto).

III. Limitaciones

se describen las limitaciones operacionales aplicables al UAS. Dichas limitaciones pueden deberse a cualquiera de elementos de los tres segmentos. Algunos ejemplos de las limitaciones encontradas fueron las siguientes:

IV. Procedimientos Normales

se establecen los procedimientos que debe llevar a cabo el piloto al mando para el vuelo del UAV en condiciones normales. Los procedimientos se describen clasificados por las fases de vuelo definidas y en pasos claros e inequívocos.

V. Procedimientos Anormales

se establecen los procedimientos que debe llevar a cabo el piloto al mando para el vuelo del UAV en el caso de detectar fallos concretos del sistema que suponen un perjuicio grave para el resto de usuarios del espacio aéreo así como para la integridad física de personas o propiedades en tierra.

VI. Procedimientos de Emergencia:

se establecen los procedimientos que debe llevar a cabo el piloto al mando para el vuelo del UAV en el caso de detectar fallos concretos del sistema que suponen un perjuicio muy grave para el resto de usuarios del espacio aéreo así como para la integridad física de personas o propiedades en tierra

VII. Performance:

se incluyen únicamente los datos disponibles de la "performance" de la aeronave, que no son muchos.

6.1.3.3. Ampliación de las fases de vuelo

Las fases definidas en el manual de vuelo son solo las fases que se tienen en cuenta durante la fase de maniobras. Es decir, que las fase de maniobras se subdivide en las siguientes fases de vuelo:

1. Inspección pre-vuelo
2. Pre-arranque motor
3. Arranque motor
4. Taxi
5. Despegue
6. Ascensión
7. Crucero
8. Aproximación

9. Aterrizaje
10. Taxi
11. Inspección post-vuelo

En la Figura 6.1 se representan numeradas las fases del vuelo adoptadas para la elaboración del Manual de Vuelo.

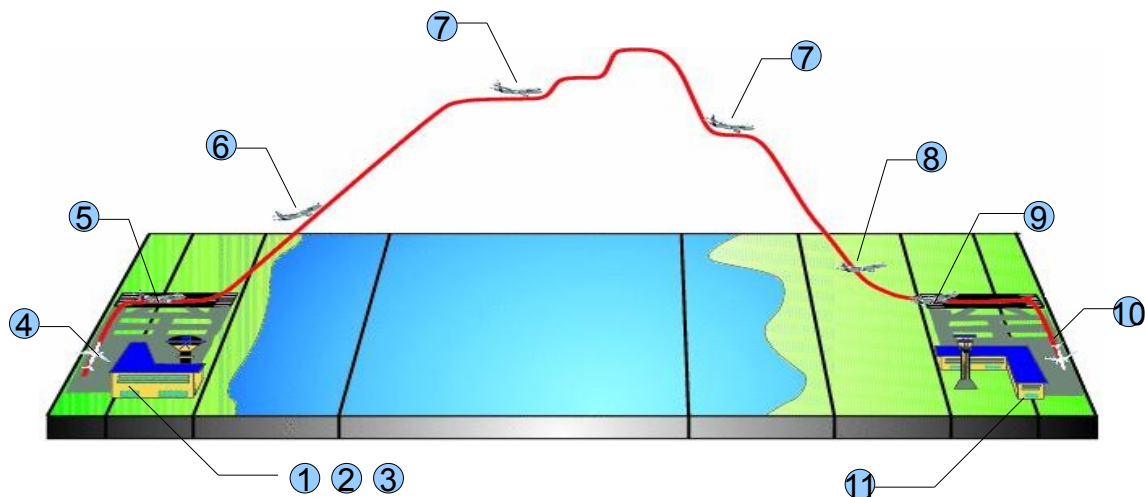


Figura 6.1: Diagrama de las fases del vuelo

Sin embargo, el hecho de tratarse de una operación de diferente naturaleza a la que poseen las operaciones con aeronaves tripuladas ha supuesto que se deban tener en cuenta ciertos aspectos operativos de una importante consideración durante u cierto periodo de tiempo previo o posterior a las fase de maniobras. La descripción de esta información ha conducido a la elaboración de un manual de operaciones, el cual describiremos en el siguiente apartado.

6.2. Elaboración de un Manual de Operaciones

6.2.1. Introducción

Conjuntamente con el Manual de Vuelo, el documento “*ApOp_Manual de Operaciones, [A3]*” forma una importante contribución para este proyecto. El motivo principal de dicha aportación se debe a la necesidad de la descripción, definición y establecimiento de aspectos íntimamente ligados con el vuelo del UAS. Al ser, dichos aspectos, de una naturaleza diferente a los que se incluyen en el manual de vuelo se ha considerado oportuno su elaboración a parte en un manual de operaciones.

6.2.2. Objetivo

La realización de vuelos con UAS conlleva consigo una puesta en escena de un conjunto de factores sistemáticos y humanos cuya complejidad requiere de un conjunto de directrices para obtener un control directo en cuanto a factores organizacionales se refiere. La planificación, la comunicación, la asignación de recursos y la supervisión son algunos de los factores que motivan la redacción de este manual.

La existencia de este manual emana de la necesidad de complementar los paquetes de trabajo a aportar para la obtención de la Autorización del vuelo del UAS. Por lo tanto, es objeto, la descripción de un conjunto de procedimientos operacionales de diferente naturaleza a los aportados en el “*Manual de Vuelo (PT_DOC_010, [A2])*”. Además de la definición de la estructura organizativa del personal y la descripción de sus respectivas responsabilidades.

6.2.3. Estructura y contenido del Manual de Operaciones

La estructura del manual se ha adoptado de forma que se tenga en cuenta la distinción que presenta el hecho de tratarse de un sistema y una aeronave no tripulada. Por un lado, en base a la definición de las fases de la operación se describen un conjunto de procedimientos y por otro, un conjunto de aspectos relacionados con el personal y sus roles operativos. La estructuración y contenidos adoptados en este manual se describen en los siguientes apartados.

I. Fases de la Operación

se definen las fases que estructuran la operación completa del UAS. La categorización de las fases definidas permite el desarrollo organizado y estructurado de la operación de forma que se extiende cronológicamente el período de vuelo. Cada una de las fases definidas responde aun tipo de tareas determinadas, según contribuyan a la planificación, logística o el mismo vuelo.

Las fases definidas son las siguientes:

- Fase estratégica: delimitada para los procedimientos que necesitan de un tiempo previo al vuelo considerable, aproximadamente días.
- Fase Táctica delimitada para los procedimientos que necesitan de un tiempo previo o posterior al vuelo, aproximadamente horas.
- Fase de maniobras: equivale al tiempo de vuelo o “*Flight Time (FT)*”. Los procedimientos de esta fase se subdiven por las fases definidas en el Manual de Vuelo, [A2].

En la Error: No se encuentra la fuente de referencia se muestra un diagrama cronológico que extiende el periodo de vuelo mediante las fases de operación definidas.



Figura 6.2: Fases de la operación (Sentido cronológico)

6.2.3.1. Procedimientos para la Fase Estratégica

En la Figura 6.3 se ilustran los procedimientos definidos y clasificados para la fase estratégica.

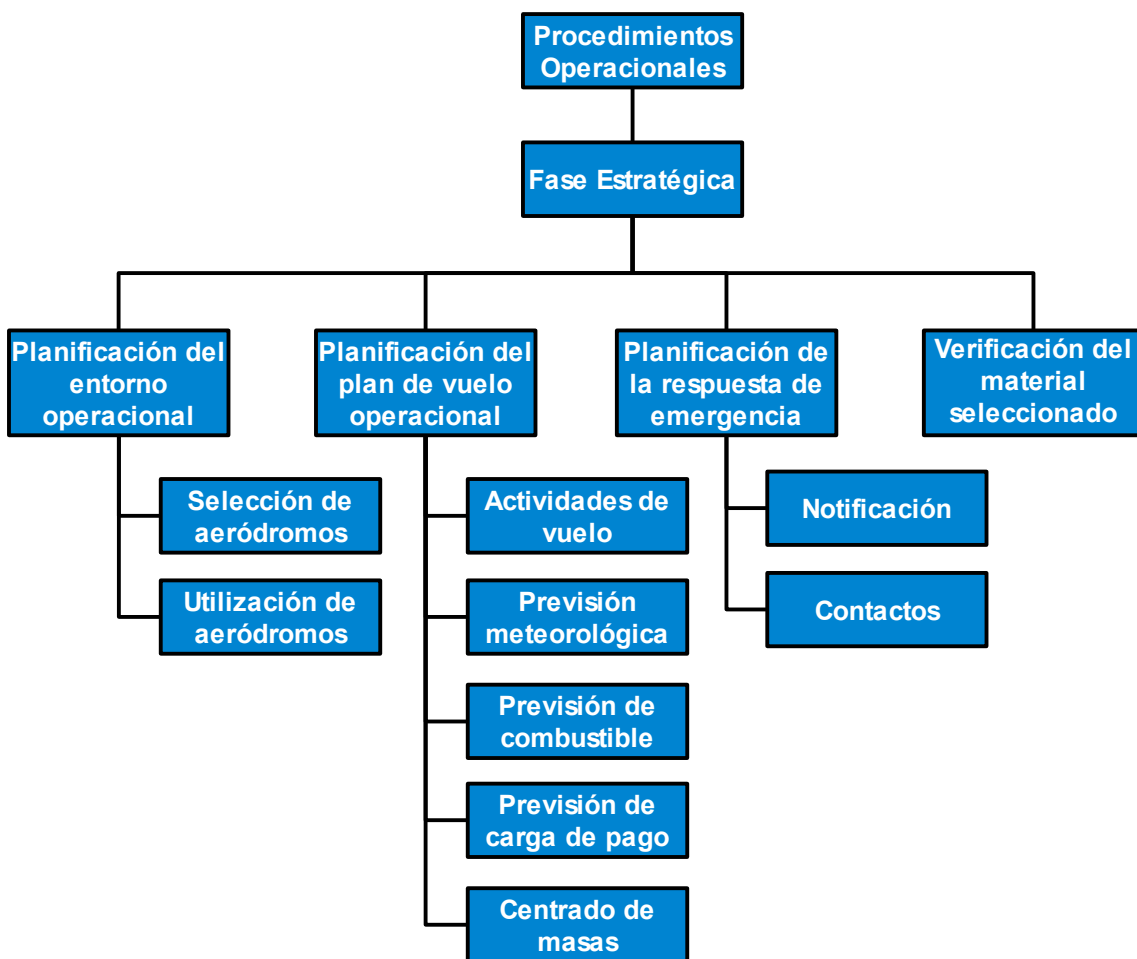


Figura 6.3: Procedimientos operacionales para la fase estratégica

Los procedimientos para la fase estratégica son de carácter preventivo y organizacional. El objetivo de dichos procedimientos es llevar a cabo la operación con las mejores condiciones que se puedan prever. El motivo de dicha previsión es minimizar los riesgos y facilitar el desarrollo de la operación.

Las principales características y motivación de cada uno de los procedimientos ilustrados en la Figura 6.3 son:

- Planificación del entorno operacional: este procedimiento se descompone en la realización de dos tareas. El objetivo de esta planificación es la de realizar una previsión y análisis de las condiciones de la zona de operación. Las instrucciones relacionadas con esta procedimiento se complementan con las descritas en el “*PT_DOC_010 (Área de Vuelo, [A5])*”
 - Selección de aeródromos: durante esta fase de planificación se realizarán los estudios y análisis necesarios relacionados con las características de los aeródromos seleccionados para llevar a cabo el vuelo.
 - Utilización de aeródromos: se describirán instrucciones y/o recomendaciones para la utilización de los aeródromos. Dichos procedimientos serán necesarios durante la etapa de adecuación de la fase táctica
- Planificación del plan de vuelo operacional: la preparación del plan de vuelo operacional tendrá en consideración la previsión del combustible y se realizara teniendo en cuenta el “*PT_DOC_010 (Área de Vuelo, [A5])*” y la “*Propuesta de Operaciones, [12]*”.
 - Actividades de vuelo: equivaldría a la elaboración de planes de vuelo.
 - Previsión meteorológica: se trata de una tarea para prever las condiciones meteorológicas a largo plazo, y de eso modo, seleccionar el día adecuado para llevar a cabo la fase de maniobras.
 - Previsión de combustible: esta tarea va asociada a la preparación del plan de vuelo, y al centrado de masas, para favorecer la maniobrabilidad de la aeronave.
 - Previsión de carga de pago: para el centrado de masas, se preverá la carga de pago específica de acorde con las actividades de vuelo programas.
 - Centrado de masas: la realización de esta tarea preverá que la cantidad de combustible determinada y el plan de vuelo propuesto no interfieran intrínsecamente con la maniobrabilidad de la aeronave.
- Planificación de la respuesta de emergencia
 - Notificación: medios para la notificación de incidentes/accidentes de acorde con lo establecido en el Safety Management Manual de la ICAO.

- Contactos: listado de contactos con los servicios de emergencia y AESA.
- Verificación del material seleccionado: esta tarea se llevará a cabo para dar paso a la siguiente fase de la operación, es decir la fase táctica, de forma y manera que se el estado del material seleccionado para la operación.

6.2.3.2. Procedimientos para la Fase Táctica

Los procedimientos para la fase táctica tienen en cuenta la especificidad de no contar con la aeronave y todos los servicios necesarios en el lugar adecuado con las condiciones adecuadas. Por eso, se tienen que tener en cuenta aspectos como el montaje o desmontaje que requiere el UAS, el empaquetado o desempaquetado, etc.

En la Figura 6.4 se ilustran los procedimientos definidos y clasificados para la fase táctica.

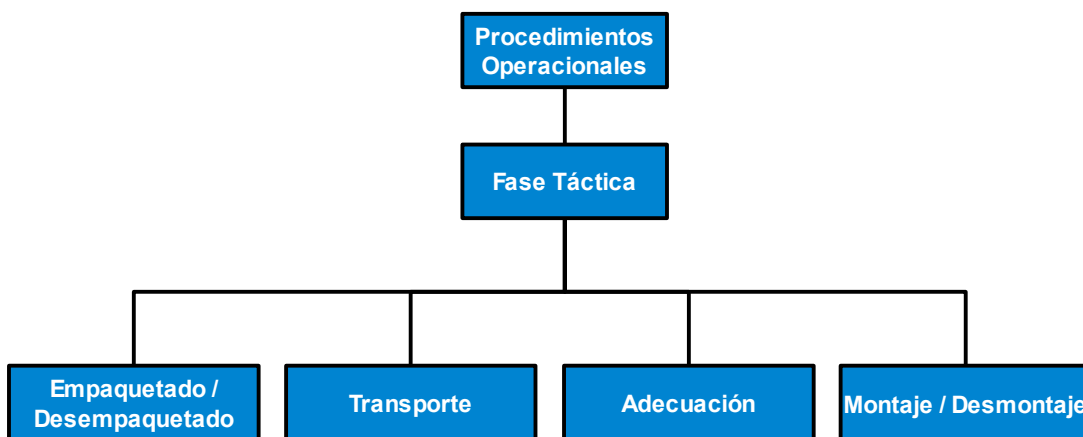


Figura 6.4: Procedimientos operacionales de la fase táctica

Las principales características y motivación de cada uno de los procedimientos ilustrados en la Figura 6.3 son:

- Empaquetado: esta etapa comprende el empaquetado del material necesario para la operación.
- Transporte: esta etapa se realiza para llevar el material y al personal a la zona de operación designada.
- Desempaquetado: esta etapa comprende el desempaquetado del material necesario para la operación.
- Adecuación: esta etapa comprende la organización tanto del material como del personal para establecer una situación segura entorno a la

zona de operación.

- Montaje: esta etapa comprende el montaje y puesta en marcha de todos los componentes de la operación.
- Desmontaje: esta etapa comprende el desmontaje de todos los componentes utilizados en la operación.

6.2.3.3. Estructura Organizativa

El equipo de operación se ha dispuesto para cubrir todas las necesidades y funciones requeridas para las operaciones de TIPO 1 con UAVs.

En la Figura 6.5 se presenta la estructura organizativa del equipo de operación en forma de organigrama. En el organigrama se ilustran las relaciones entre los distintos puestos del personal definido, así como las relaciones de subordinación y líneas de información de las diferentes secciones definidas en la operación.

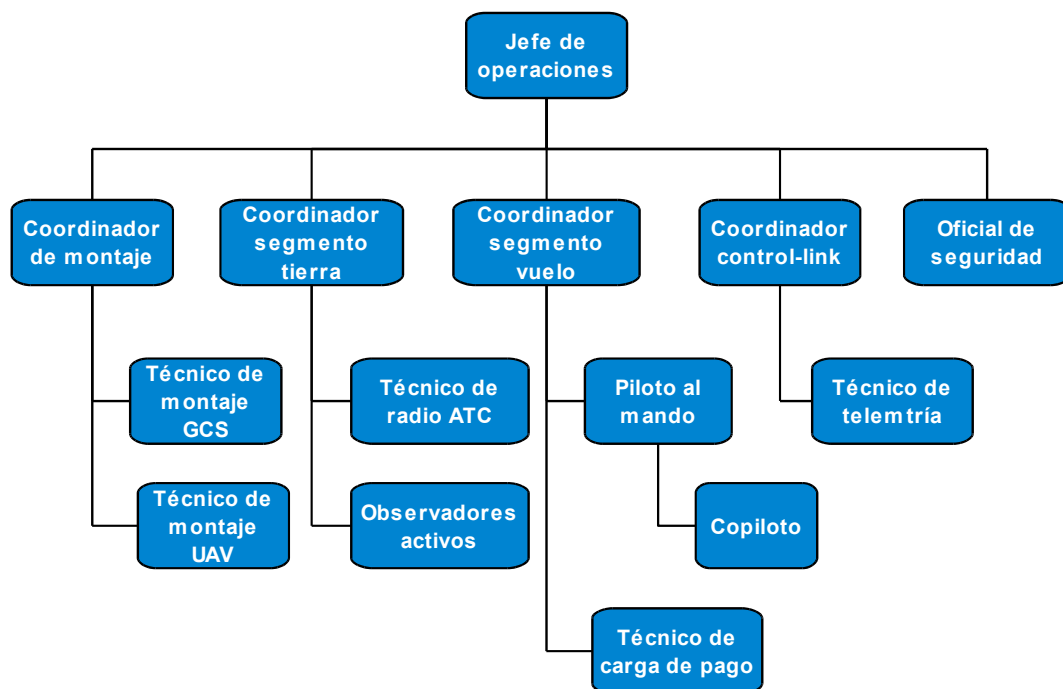


Figura 6.5: Organigrama del equipo personal de operación (Roles identificados)

La jerarquía del equipo de operación definido posiciona al jefe de operaciones como máximo responsable de la operación. A continuación, se posicionan los coordinadores de cada sección y el oficial de seguridad. Finalmente, se posicionan el personal técnico y auxiliar al servicio de dichos coordinadores.

La estructura organizativa propuesta no implica que deba existir como mínimo una persona por cargo. Dada la heterogeneidad de las responsabilidades implícitas en cada rol podrían trazarse diferentes jerarquías.

La mejor forma de explicarlo es mediante ejemplos. Por ejemplo la persona o personas al cargo de las responsabilidades emanadas al coordinador de montaje, podrían una iniciada la fase de maniobras pasar a ejecutar otros roles.

Otro ejemplo podría ser, que el Jefe de Operaciones y el oficial de seguridad fueran la misma persona. En la misma línea también podría darse el caso de que el coordinador del segmento de vuelo sea a la vez el técnico de carga de pago, etc.

Tener bien definidas las responsabilidades y su trazabilidad es un aspecto muy importante que se debe tener cuenta en cualquier análisis de seguridad de un sistema donde interactúan humanos y máquinas.

La descripción superficial que motiva el establecimiento de cada uno de los roles ilustrados en la Figura 6.5 son:

- **Jefe de Operaciones:** es la persona al mando de la operación, con la capacidad de permitir o impedir acciones relativas a la operación, bajo su responsabilidad.
 - **Coordinador de montaje:** es la persona responsable de llevar a cabo el montaje de la estación de control y de la aeronave.
 - Técnico de montaje GCS: es la persona encargada de realizar el montaje y puesta en marcha de la estación de control en tierra.
 - Técnico de montaje UAV: es la persona encargada de realizar el montaje de la aeronave.
 - **Coordinador segmento tierra:** es la persona responsable de adecuar la zona de operación y de mantenerla libre de personal no autorizado. En caso de detectar la presencia de tráfico aéreo espontáneo cuenta con la radio de comunicaciones ATC.
 - Técnico de radio ATC: es la persona encargada de establecer la comunicación con el control de tránsito aéreo.
 - Observadores activos: es la persona encargada de mantener una posición activa dentro de la zona de operación para llevar a cabo tareas de vigilancia.
 - **Coordinador segmento vuelo:** es la persona responsable de la aeronave una vez es transferida por el coordinador de montaje para ponerla a disposición del piloto al mando.
 - Piloto al mando: es la persona capacitada para tomar el control de

- la aeronave en cualquier momento.
- **Copiloto:** es la persona capacitada para dar soporte al piloto al mando.
- **Técnico de carga de pago:** es la persona encargada de monitorizar y controlar la carga de pago abordo de la aeronave.
- **Coordinador control-link:** es la persona responsable de la monitorización de las comunicaciones entre el UAV y la estación de control.
- **Técnico de telemetría:** es la persona encargada de monitorizar el enlace de comunicaciones entre la aeronave y la estación de control, centrado su atención a las alarmas que pudieran darse.
- **Oficial de seguridad:** es la persona responsable de verificar que las acciones realizadas por cualquier miembro del equipo de operación se llevan a termino de forma adecuada según lo establecido. Con capacidad para abortar la operación en caso que disponga de evidencias que pongan en peligro la operación.

6.3. Elaboración del Plan de Seguridad (PT_DOC_110)

Por un lado en el CAPÍTULO 4. Análisis de la información y en el apartado 5.4.4. Plan de seguridad hemos explicado superficialmente la aportación que supone el Trabajo Final de Carrera de OpAI para la provisión de evidencias del paquete de trabajo PT_DOC_110 (Plan de Seguridad).

Teniendo esto en cuenta esto, hemos realizado una propuesta inicial para la elaboración de un System Safety Assessment (SSA) [A4], el cual completaría el análisis de seguridad para operar el UAS en Alfés.

6.3.1. Elaboración de un “Draft System Safety Assessment”

Dado que el diseño y la implementación del UAS están inacabados el objetivo de este documento es realizar una aproximación para demostrar que el sistema aéreo no tripulado cumple el nivel de seguridad acordado del diseño del UAS.

La estructura adoptada se basa en los cuatro apartados expuestos para la metodología de Project Safety Case de Eurocontrol para la elaboración de un SSA. Ver Figura 4.3: Safety Lifecycle utilizado para el análisis de se seguridad de OpAI.

I. IMPLEMENTATION

se establecen las bases para cumplir los objetivos de seguridad de acorde con la implementación del sistema aéreo no tripulado. Para ello se aportan clasificadas las medidas mitigadoras para apoyar los

siguientes sistemas implementados:

- a) Soporte a las comunicaciones
- b) Soporte al sistema de control
- c) Soporte al sistema de navegación:

II. INTEGRATION

se establecen las bases para cumplir los objetivos de seguridad de acorde con la integración del sistema aéreo no tripulado en el espacio aéreo. Conviene destacar que el desarrollo de la operación se lleva a cabo en un espacio aéreo segregado. De manera que las bases que se proponen para cumplir los objetivos de seguridad se rigen por el principio de mantener la exclusión tanto de personal ajeno a la operación como de tráfico aéreo espontáneo en la zona de operación, de acorde con el Safety Case y los argumentos considerados previamente durante la Implementación.

Se proponen las medidas mitigadoras clasificadas en tres categorías relacionadas:

- a) Avoid Air Traffic
- b) Avoid ground & vertical Structures
- c) Avoid adverse environmental conditions

III. TRANSFER INTO OPERATION

se establecen las bases para cumplir los objetivos de seguridad de acorde con una puesta en escena gradual de complejidad de los sistemas del UAS en el espacio aéreo.

En la Figura 6.6 se muestra un ejemplo de como podría llevarse a cabo dicha puesta en escena gradual de los sistemas.

La idea de la representación es ver una manera segura de realizar una operación experimental. Posibles opciones podrían llevarse a cabo mediante algunos de los pasos descritos a continuación:

- PASO 0: Realizar simulaciones.
- PASO 1: Realizar la operación sin realizar aquellas fases en las que el UAV no se mueve (Celeridad Nula).
- PASO 2: Realizar el paso 1 incluyendo un rodaje (Velocidad Baja).
- PASO 3: Realizar el paso 2 incluyendo comunicaciones reales con el control de tráfico aéreo y supervisando el espacio aéreo mediante nuestras medidas mitigadoras.
- PASO 4: Realizar el paso 3 y realizar fases de vuelo en modo radiocontrolado (sin utilizar el AP).
- PASO 5: Realizar paso 4 y realizar las fases de vuelo en modo AP MANUAL.
- PASO 6: realizar paso 5 y realizar las fases de vuelo en modo

automático.

- PASO 7: Simular diferentes fallos y analizar respuestas de emergencia

(...)

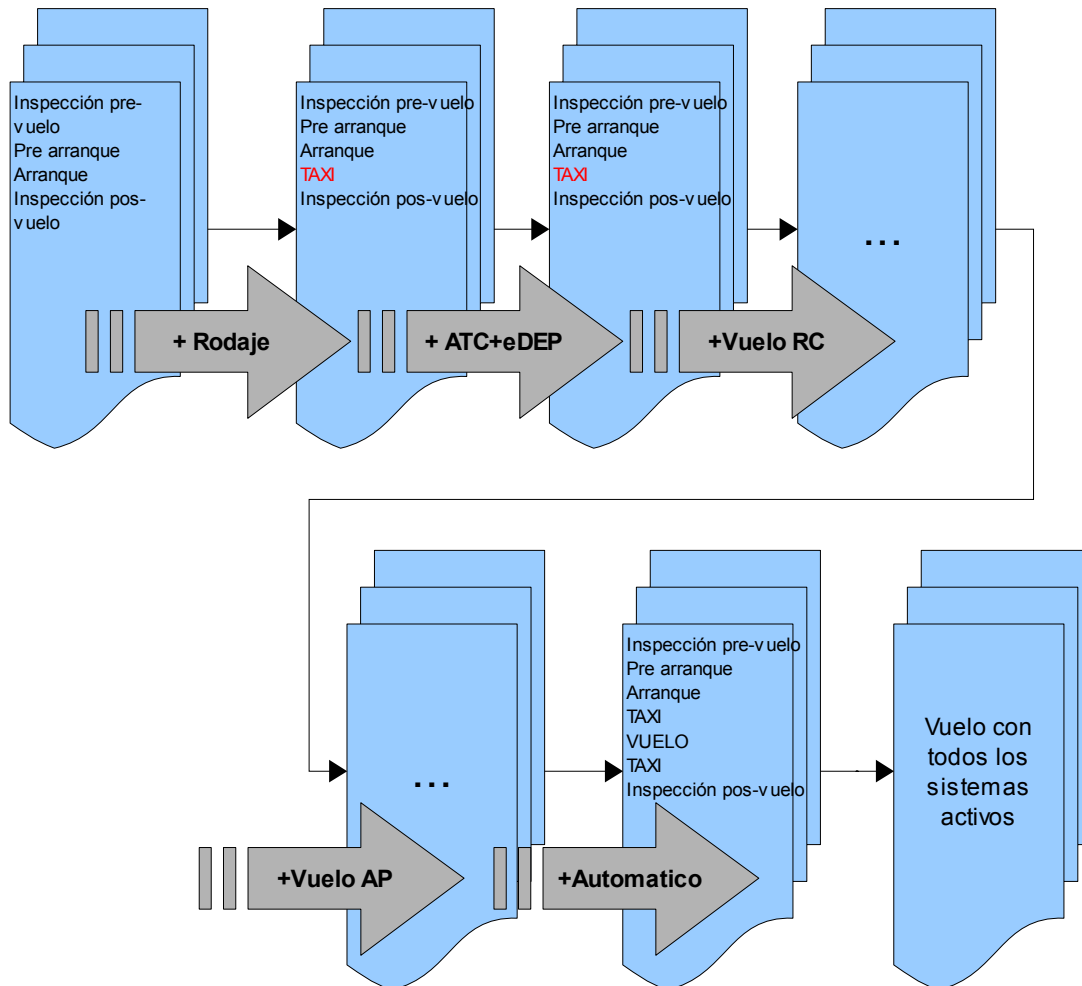


Figura 6.6: Progresión gradual de la operación

IV. OPERATION & MAINTENANCE

se establecen las bases para cumplir los objetivos de seguridad de acorde con las responsabilidades de las personas en respecto a los sistemas. Por ejemplo, soporte a la supervisión, entrenamiento del personal, etc. También del soporte de actuación para la integridad de las personas, ciclos de vida de componentes, etc.

CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES

La realización de este trabajo ha requerido, a mi parecer, de un pensamiento crítico a la hora de definir ciertos aspectos requeridos para la elaboración de una documentación que persigue aportar la mayor cantidad y calidad de evidencias que sirvan para garantizar la seguridad en las operaciones con UAS. De hecho, creó recordar de una de las conferencias impartidas por *Vince* en el marco de COA comentar, que toda información que se pueda aportar a la hora de obtener una autorización es de gran valía. En mi opinión, yo lo asocio también, a la labor que desempeñamos desde la investigación para mejorar, sobretodo, la seguridad en la aviación y la utilización eficiente del espacio aéreo. Con esto quiero decir, que la ausencia de información específica entorno al tipo de autorización y sobretodo entorno a la naturaleza experimental del sistema seleccionado para realizar los vuelos experimentales, es tal, que ha requerido un esfuerzo para analizar ciertos aspectos de los cuales no se tenía experiencia alguna, al empezar este trabajo y que la información al respecto presenta ciertas lagunas de información. En consecuencia, hemos desarrollado un cierto grado de capacitación para el aprendizaje activo, que no se hubiera dado en el caso de encontrarse el camino tan llano como se hubiera deseado. Lo que me lleva a valorar el trabajo desarrollado por las personas que se encontraron este camino todavía por andar.

La máxima expresión de este proyecto se representaría con la obtención del permiso oficial por parte de AESA. Esto, fue planteado en sus inicios como una posibilidad factible. Sin embargo, las dificultades encontradas durante el desarrollo y el tiempo requerido para establecer un contacto oficioso con AESA no han permitido dicha posibilidad. Pero, sobretodo, se ha debido a las prioridades del grupo ICARUS en sus investigaciones, las cuales no han posibilitado tampoco la realización de los tramites y trabajos oportunos en favor de la obtención de la Autorización. Cabe destacar que para ello es necesario un considerable presupuesto y en el momento que las circunstancias lo permitiesen centrar todos los esfuerzos del grupo ICARUS, lo cual no se ha dado durante el desarrollo de este proyecto

La aportación realizada en este trabajo no permite obtener el permiso de forma inmediata. Sin embargo, este trabajo en conjunto con OpAI realiza una importante aportación, para que en el momento que se den las circunstancias adecuadas pueda aprovecharse la documentación generada.

También ha asentado ciertas bases para la realización de futuros trabajos que quisieran abarcar la terminación de todos y cada uno de los paquetes de trabajo o realizar alguna aportación concreta a alguna de las diferentes áreas de información necesarias de evidenciar en este tipo de autorizaciones.

Me gustaría destacar la aportación que supondría disponer de la autorización para el vuelo de un UAS para el grupo ICARUS y para la EETAC. Con una

plataforma operativa, podrían llevarse a cabo una gran variedad de actividades útiles en la formación de ingenieros.

CAPÍTULO 8. BIBLIOGRAFÍA

- [1] “*DPSI TWIN Dual Power Servo interface Dual Receiver Operating Manual*”, Ed. 1.1, EMCOTEC (Embedded controller technologies), (2004).
- [2] “*OATA preliminary System Safety Assessment (En-Route)*”, Ed 0.21, EUROCONTROL, (2007).
- [3] “*P68-TC Fligh Manual*”, NOR10.707-20, PARTENAVIA, (1980).
- [4] “*Procedimiento para la concesión de Autorizaciones para el Vuelo de TIPO 1 con UAVs*”, Agencia Estatal de Seguridad Aérea, Dirección de Seguridad de Aeronaves, (2009).
- [5] “*Safety Case Development Manual*”, Ed 2.1, EUROCONTROL, (2006).
- [6] “*Shadow Mk I Assembly & Operations manual*”, Integrated Dynamics.
- [7] “*The R/Cer's Partner Eclipse 7 System Instruction Manual*”, Hitec.
- [8] “*UAV Task Force – Final Report*”, JAA/EUROCONTROL, (2004).
- [9] Cosme Huertas, M, “*Tecnologías para UAS*”, Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial, (2009).
- [10] Díaz Serrano, J, “*OpAl: Operaciones de Vuelo en Alfés*” Escola Politècnica de Castelldefels, Universitat Politècnica de Catalunya, (2010).
- [11] Díaz Serrano, J, OPAL-FHA-V.1 “*Functional Hazard Assesment*”, Escola Politècnica de Castelldefels, Universitat Politècnica de Catalunya, (2010).
- [12] Díaz Serrano, J, OPAL-PROP-V.1 “*Propuesta de operaciones de despegue y aterrizaje en el aeródromo de Alfés*”, Escola Politècnica de Castelldefels, Universitat Politècnica de Catalunya, (2010).
- [13] Díaz Serrano, J, OPAL-PSC-V.1 “*Porject Safety Case*”, Escola Politècnica de Castelldefels, Universitat Politècnica de Catalunya, (2010).
- [14] Díaz Serrano, J, OPAL-PSSA-V.1 “*Preliminary System Safety Assesment*”, Escola Politècnica de Castelldefels, Universitat Politècnica de Catalunya, (2010).
- [15] Feliu Pèlach, R, “*Sistema de finalització de vol per Plataformas UAV*”, Escola Politècnica Superior de Castelldefels, (2009).
- [16] Gómez, A, “*GCS Operator's Manual*”, Ed02-V.1.4, UAV Navigation, (2007).

- [17] Haddon, D, E.Y013-01, "*Policy Statement Airworthiness certification of Unmanned Aircraft Systems (UAS)*", European Aviation Safety Agency, (2009).
- [18] Hernández Albà, A, "*Visionair for Fixed Wing Aircraft Operator's Manual*", Ed02-V.1.4, UAV Navigation, (2007).
- [19] JAR-OPS1, "*JAR OPS 1: Requisitos conjuntos de aviación*", DGAC.
- [20] Pérez Oliva, C, "*Creació de l'illustrated Parts Catalog del UAV model Shadow*", (2008).
- [21] Ruíz Galobardes, D, "*Preparación de Campañas de Vuelo de Pruebas*", Escola Politècnica Superior de Castelldefels, (2009).
- [22] Taylor, J, "Preparations for WRC-12", International Civil Aviation Organization, (2010).
- [23] Tenoort, S, Jung, M, Udovic, A, "Definition os the Enviroment for Civil UAS Applications", Innovative Operational UAS Integration, (2008).
- [24] Aeronautics and Space Research Center (CRAE): <http://www.recerca.upc.edu/crae>, Enero de 2011
- [25] Emotec: <http://www.emcotec.de/>, Octubre de 2011.
- [26] Federal Aviation Administration (FAA): <http://www.faa.gov/about/initiatives/uas/>, Enero de 2011.
- [27] Hitec: <http://www.hitecrcd.com/>, Enero de 2011.
- [28] ICARUS: <http://www.icarus.upc.edu/>, Enero de 2011.
- [29] ICOM: <http://www.icomonline.es/>, Octubre de 2011.
- [30] Integrated Dynamics: <http://www.idaerospace.com/>, Septiembre de 2011
- [31] UAV Navigation: <http://uavnavigation.com/>, Octubre de 2011.

CAPÍTULO 9. ANEXOS

- [A1] “*Procedimiento para la concesión de Autorizaciones para el Vuelo de TIPO 1 con UAVs*”, Agencia Estatal de Seguridad Aérea, Dirección de Seguridad de Aeronaves, (2009).
- [A2] Herver, M, “*ApOp_0004_Manual de Vuelo*”, Operaciones de TIPO 1 con UAS, Ed. 2.0, Escola Politècnica de Castelldefels, Universitat Politècnica de Catalunya, (2011).
- [A3] Herver, M, “*ApOp_0005_Manual de Operación*”, Operaciones de TIPO 1 con UAS, Escola Politècnica de Castelldefels, Universitat Politècnica de Catalunya, (2011).
- [A4] Herver, M, “*ApOp_0003_Draft System Safety Assessment*” Operaciones de TIPO 1 con UAS, Ed. 1.0, Escola Politècnica de Castelldefels, Universitat Politècnica de Catalunya, (2011).
- [A5] Herver, M, “*ApOp_0008_Área de Vuelo*” Operaciones de TIPO 1 con UAS, Ed. 2.0, Escola Politècnica de Castelldefels, Universitat Politècnica de Catalunya, (2011).
- [A6] Herver, M, “*ApOp_0008_Duración del programa de vuelos*” Operaciones de TIPO 1 con UAS, Ed. 2.0, Escola Politècnica de Castelldefels, Universitat Politècnica de Catalunya, (2011).
- [A7] Herver, M, “*ApOp_0010_Descripción del Diseño del UAV*”, Operaciones de TIPO 1 con UAS, Ed. 2.0, Escola Politècnica de Castelldefels, Universitat Politècnica de Catalunya, (2011).
- [A8] Herver, M, “*ApOp_0011_Configuración del Sistema*”, Operaciones de TIPO 1 con UAS, Ed. 2.0, Escola Politècnica de Castelldefels, Universitat Politècnica de Catalunya, (2011).
- [A9] Herver, M, “*ApOp_0012_Estación de Control*”, Operaciones de TIPO 1 con UAS, Ed. 2.0, Escola Politècnica de Castelldefels, Universitat Politècnica de Catalunya, (2011).
- [A10] Herver, M, “*ApOp_0013_Frecuencias de control*”, Operaciones de TIPO 1 con UAS, Ed. 1.0, Escola Politècnica de Castelldefels, Universitat Politècnica de Catalunya, (2011).
- [A11] Herver, M, “*ApOp_0015_Control y Mando*”, Operaciones de TIPO 1 con UAS, Ed. 1.0, Escola Politècnica de Castelldefels, Universitat Politècnica de Catalunya, (2011).

- [A12] Herver, M, “ApOp_0016_Terminación de vuelo y perdida de radioenlace”, Operaciones de TIPO 1 con UAS, Ed. 1.0, Escola Politècnica de Castelldefels, Universitat Politècnica de Catalunya, (2011).
- [A13] Herver, M, “ApOp_0017_Inspección y mantenimiento”, Operaciones de TIPO 1 con UAS, Ed. 1.0, Escola Politècnica de Castelldefels, Universitat Politècnica de Catalunya, (2011).