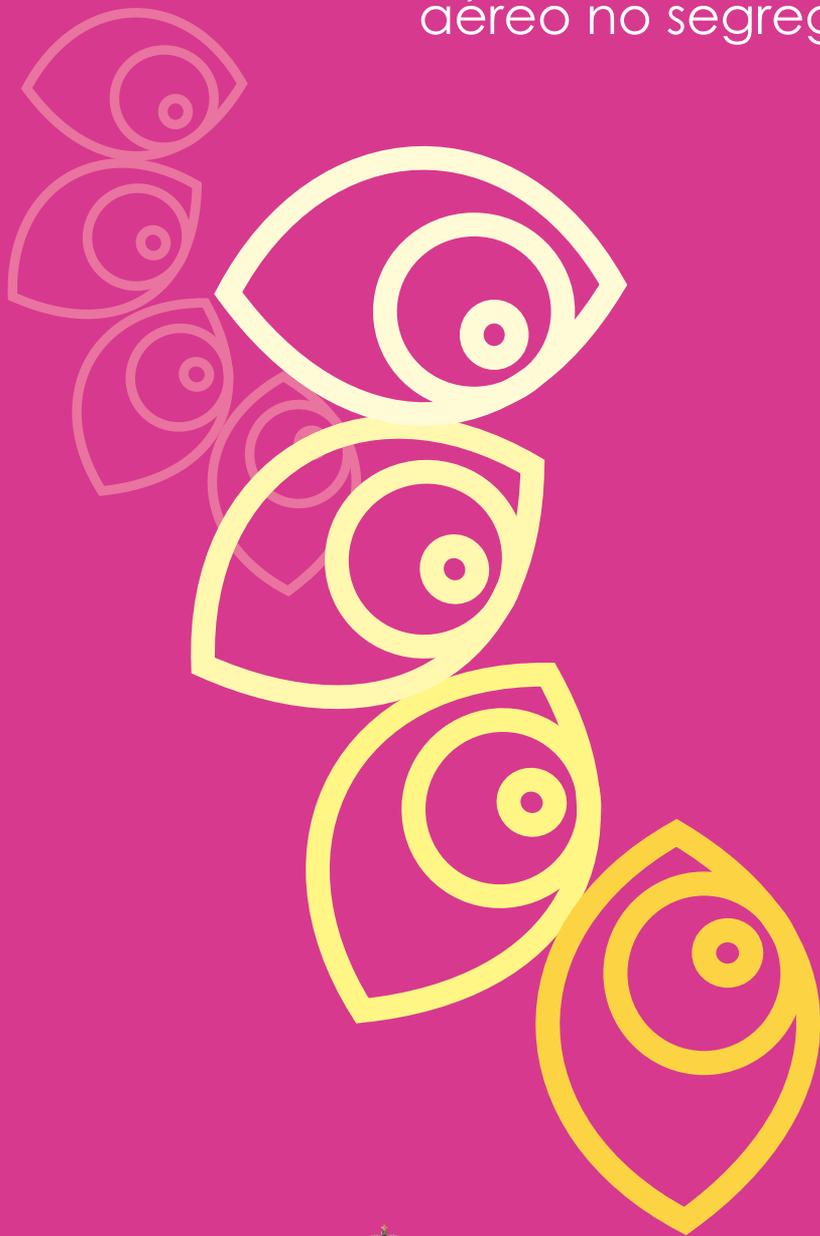


01 Monografías del SOPT

UAS “Unmanned Aircraft System”
Sobre su integración en el espacio
aéreo no segregado



MINISTERIO DE DEFENSA

01 Monografías del SOPT

UAS “Unmanned Aircraft System”
Sobre su integración en el espacio
aéreo no segregado



www.mde.es/dgam/observatectoF.htm
observatecno@oc.mde.es



MINISTERIO DE DEFENSA

CATÁLOGO GENERAL DE PUBLICACIONES OFICIALES
<http://www.060.es>

Edita:



NIPO: 076-09-115-8 (edición en papel)

Depósito Legal: M-34017-2009

Imprime: Imprenta del Ministerio de Defensa

Tirada: 300 ejemplares

Fecha de edición: agosto 2009

NIPO: 076-09-116-3 (edición en línea)



UAS
«UNMANNED AIRCRAFT SYSTEM»

SOBRE SU INTEGRACIÓN EN EL ESPACIO AÉREO
NO SEGREGADO



SUMARIO

PRÓLOGO	13
INTRODUCCIÓN	15
PARTE I: BREVE INTRODUCCIÓN AL “UNMANNED AIRCRAFT SYSTEM” (UAS)	19
1. Origen y desarrollo de los UAS	21
2. Concepto y componentes del UAS	25
3. Misiones más comunes	28
4. Categorías de UAS	28
PARTE II: BASES PARA LA INTEGRACIÓN DEL UAS EN EL ESPACIO AÉREO NO SEGREGADO	33
1. General	35
2. Principios básicos	38
3. Certificación de aeronavegabilidad	41
3.1. <i>Proceso general de certificación</i>	42
3.2. <i>Certificaciones y bases de certificación</i>	43
3.3. <i>Certificación de sistemas críticos</i>	45
3.4. <i>Certificación de software</i>	45
3.5. <i>Certificaciones para UAS</i>	46
4. Cualificación de operadores	50
5. Reglas del aire	51
5.1. <i>Servicios de tráfico aéreo</i>	51
5.2. <i>Reglas del aire</i>	54
5.3. <i>Reglas del aire para UAS y especificaciones de Eurocontrol</i>	55

6. Comunicaciones del UAS	58
6.1. <i>Espectro electromagnético</i>	59
6.2. <i>Asignación de frecuencias</i>	61
6.3. <i>Comunicaciones UAS/ATC</i>	61
PARTE III: LA CAPACIDAD SENSE AND AVOID	63
1. Introducción	65
2. Sense and Avoid para UAS	67
2.1. <i>Subsistema Sense</i>	69
2.2. <i>Subsistema Avoid</i>	71
3. Sistemas Sense and Avoid cooperativos	72
3.1. <i>Sistema ACAS/TCAS</i>	72
3.2. <i>Sistemas ADS</i>	74
3.3. <i>Data Link para ADS</i>	76
3.4. <i>Sistemas TIS</i>	78
3.5. <i>Sistema FLARM</i>	79
4. Sistemas Sense and Avoid en desarrollo para UAS	80
5. Sense and Avoid en el marco de la EDA	84
PARTE IV: INICIATIVAS PARA LA INTEGRACIÓN DE UAS EN EL ESPACIO AÉREO NO SEGREGADO	87
1. General	89
2. Reglamentación actual para la operación de UAS	90
3. Iniciativas europeas	92
3.1. <i>Eurocontrol</i>	92
3.2. <i>EASA</i>	95
3.3. <i>Unión Europea</i>	95
3.4. <i>EDA</i>	98
3.5. <i>EUROCAE</i>	99
3.6. <i>ASD</i>	99
4. Iniciativas en Estados Unidos	100
4.1. <i>NASA/ACCESS 5</i>	100
4.2. <i>DoD</i>	102

4.3. <i>FAA</i>	102
4.4. <i>ASTM</i>	102
4.5. <i>RTCA</i>	103
5. Iniciativas en OTAN	104
5.1. <i>JCGUAV</i>	104
5.2. <i>JAPCC</i>	106
6. Participación industrial española	107
CONCLUSIONES	109
DOCUMENTACIÓN DE REFERENCIA	115

FIGURAS Y TABLAS

1917: U.S. Navy Curtiss N-9 trainer	21
B24 Liberator	21
1979: AQM-34 Firebee or Lightning Bug	22
1980: Scout (IAI)	22
Inversiones del DoD norteamericano en UAS (UAS Roadmap 2007)	23
Plataformas UAS entre 2002 y 2007 (UAS RoadMap 2007)	24
Previsiones de crecimiento: Fuente EDA	25
Componentes básicos del UAS	25
Black Widow, Searcher II y Global Hawk	26
Radares SAR y “Gimbal” Electro-óptico	26
Estaciones terrestres	27
Sistemas de recuperación y lanzamiento	27
Comunicaciones embarcadas y terrestres	28
Clasificación de UAS	29
Clasificación por MTOW	30
Categorías de UAS y regulaciones de la FAA	31
Ejemplos de espacio aéreo europeo	37
Pilares básicos en la integración	41
Esquema del proceso de certificación de aeronaves y equipos	42
USAR y las regulaciones existentes	47
Generación del STANAG 4671	49
El STANAG 4671	49
STANAG 4671: Probabilidad y gravedad de la condición de fallo ...	50
STANAG 4671: Asignación del DAL	50
Espacio aéreo y servicios proporcionados	53
Niveles de vuelo y separaciones verticales mínimas (VSM)	54
Condiciones de vuelo y necesidades de Sense and Avoid	56
Enlaces de voz y datos del UAS	58
Ancho de banda consumido	60
Mantenimiento de las distancias de seguridad y riesgo de colisión .	61
Campos de visión para Sense	69
Configuración Sense combinada	71
Equipamiento genérico del TCAS II	73
Tráfico cooperativo: información proporcionada	74
Esquema ADS	74
Información ADS-B en cabina	75
Disposición de equipos ADS-B	76
Esquema TISG	79

Equipo FLARM y presentación en pantalla	79
Sistema LOAM	80
Sistema SAVDS	81
Sistema DRA.	81
DSA Radar	82
PANCAS sobre un Mini UAV	83
Comparativa de sensores para la función Sense	84
Sistemas radar evaluados en WASLA-HALE	84
Integración de sensores EO/IR/radar	85
Proyecto MIDCAS	86
Especificaciones del UAV-OAT-TF	94
Programa ASTRAEA	97
Estimaciones de la EDA sobre Integración	98
Fases previstas en el programa ACCESS 5	100
Proteus	101
Iniciativa FINAS	104
JCGUAV Roadmap	106
Flight plan for Unmanned Aircraft Systems in NATO	106
EDA UAV Roadmap Study	111

LISTA DE ACRÓNIMOS

ACAS	AIRBORNE COLLISION AVOIDANCE SYSTEM
ADS	AUTOMATIC DEPENDENT SURVEILLANCE
AMC	ACCEPTABLE MEANS OF COMPLINACE
ARP	AEROSPACE RECOMMENDED PRACTICE
ASTM	INTERNATIONAL AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS
ATC	AIR TRAFFIC CONTROL
ATM	AIR TRAFFIC MANAGEMENT
ATOL	AUTOMATIC TAKEOFF AND LANDING
ATS	AIR TRAFFIC SERVICE
BLOS	BEYOND LINE OF SIGHT
CAA	CIVIL AVIATION AUTHORITY
CAO	CIRCULACIÓN AÉREA OPERATIVA
CAS	CLOSE AIR SUPPORT
CDTI	COCKPIT DISPLAY OF TRAFFIC INFORMATION
CFR	CODE OF FEDERAL REGULATIONS
CNAD	CONFERENCE OF NACIONAL ARMAMENT DIRECTORATE
COA	CERTIFICATION OF AUTHORIZATION
CS	CERTIFICATION SPECIFICATIONS
DAL	DEVELOPMENT ASSURANCE LEVEL
DGAC	DIRECCIÓN GENERAL DE AVIACIÓN CIVIL
DGAM	DIRECCIÓN GENERAL DE ARMAMENTO Y MATERIAL
DOD	DEPARTMENT OF DEFENSE
EASA	EUROPEAN AGENCY FOR SAFETY AVIATION
ECM	ELECTRONIC COUNTER MEASURES
ECCM	ELECTRONIC COUNTER COUNTER MEASURES
EDA	EUROPEAN DEFENCE AGENCY
ESM	ELECTRONIC SUPPORT MEASURES
EUROCAE	EUROEAN ORGANISATION FOR CIVIL AVIATION EQUIP- MENT
FAA	FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION
FAR	FEDERAL AVIATION REGULATION
FHA	FUNCTIONAL HAZARD ASSESSMENT
FINAS	FLIGHT IN NON SEGREGATED AIRSPACE
FL	FLIGHT LEVEL
FMS	FLIGHT MANAGEMENT SYSTEM
GAT	GENERAL AVIATION TRAFFIC

GATEAR	GROUP FOR AERONAUTICAL RESEARCH AND TECHNOLOGY IN EUROPE
GCS	GROUND CONTROL STATION
HALE	HIGH ALTITUDE LONG ENDURANCE
IFR	INSTRUMENTAL FLIGHT RULES
IMC	INSTRUMENTAL METEOROLOGICAL CONDITIONS
IMINT	IMAGE INTELLIGENCE
INTA	INSTITUTO NACIONAL DE TÉCNICA AEROESPACIAL
ISR	INTELLIGENCE, SURVEILLANCE AND RECONNAISSANCE
ISTAR	INTELLIGENCE, SURVEILLANCE, TARGET ACQUISITION AND RECONNAISSANCE
JAA	JOINT AVIATION AUTHORITIES
JAL	JEFATURA DEL APOYO LOGÍSTICO (ARMADA)
JAPCC	JOINT AIR POWER COMPETENCE CENTER
JAR	JOINT AVIATION REGULATIONS
JCGUAV	JOINT CAPABILITY GROUP ON UAV
KIAS	KNOTS INDICATED AIR SPEED
LADAR	LASER DETECTION AND RANGE
LALE	LOW ALTITUDE LONG ENDURANCE
LOS	LINE OF SIGHT-LEVEL OF SECURITY
LRS	LAUNCH AND RECOVERY SYSTEM
MALE	MEDIUM ALTITUDE LONG ENDURANCE
MALOG	MANDO DEL APOYO LOGÍSTICO (EA)
MASPS	MINIMUM AVIATION SYSTEM PERFORMANCE STANDARDS
MCS	MISSION CONTROL STATION
MTOW	MAXIMUM TAKEOFF WEIGHT
NAFAG	NATO AIR FORCE ARMAMENT GROUP
NAS	NATIONAL AIRSPACE
NSA	NATO STANDARDIZATION AGENCY
OACI	ORGANIZACIÓN DE AVIACIÓN CIVIL INTERNACIONAL
OAT	OPERATIONAL AIR TRAFFIC
OTAN	ORGANIZACIÓN DEL TRATADO DEL ATLÁNTICO NORTE
ROA	REMOTELY OPERATED AIRCRAFT
RTCA	RADIO TECHNICAL COMMISSION FOR AERONAUTICS
S&A	SENSE AND AVOID/SEE AND AVOID
SAE	SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS
SARP	STANDARD AND RECOMMENDED PRACTICES
SEAD	SUPPRESION OF ENEMY AIR DEFENCES
SIGINT	SIGNALS INTELLIGENCE

SSR	SECONDARY SURVEILLANCE RADAR
STANAG	STANDARD NATO AGREEMENT
TA	TARGET ACQUISITION
TCAS	TRAFFIC COLLISION AVOIDANCE SYSTEM
TIS	TRAFFIC INFORMATION SERVICE
UAS	UNMANNED AIRCRAFT SYSTEM/UNMANNED AIR SYSTEM
UAV	UNMANNED AIR VEHICLE/UNMANNED AERIAL VEHICLE
UCAV	UNMANNED COMBAT AIR VEHICLE
USAR	UAV SYSTEM AIRWORTHINESS REQUIREMENTS
USICO	UAV SAFETY ISSUES FOR CIVIL OPERATIONS
VFR	VISUAL FLIGHT RULES
VMC	VISUAL METEOROLOGICAL CONDITIONS

PRÓLOGO

La presente Monografía ha sido realizada por el Sistema de Observación y Prospectiva Tecnológica (SOPT) de la Subdirección de Tecnología y Centros (SDG TECEN) de la Dirección General de Armamento y Material (DGAM).

Quiero felicitar a todos los que han hecho posible esta Monografía, y en concreto al técnico del Observatorio Tecnológico de UAVs, Robótica y Sistemas Aéreos, Jesús López Pino, por su dedicación y esfuerzo. También, extender este agradecimiento al resto de colaboradores del Observatorio Tecnológico de UAVs, Robótica y Sistemas Aéreos, además de al resto de miembros del SOPT, que han contribuido a que podamos tener hoy este trabajo en nuestras manos.

*C.F. Ing. JOSÉ MARÍA RIOLA RODRÍGUEZ
Jefe del SOPT
Subdirección General de Tecnología y Centros
Dirección General de Armamento y Material*

Introducción

Los sistemas de aeronaves no tripuladas o UAS (Unmanned Aircraft Systems) (1) forman parte, desde hace muchos años, de los inventarios militares, básicamente como plataformas de observación operando desde aeródromos militares y con destino en zonas de conflicto. Muchas de las plataformas aéreas utilizadas, tienen unas características de vuelo y perfiles de misión que los asemejan en gran manera a las aeronaves tripuladas convencionales, operando en un espacio aéreo cuya estructura y sistema de gestión están sin embargo pensados para aeronaves tripuladas.

No obstante, mientras el uso de estos sistemas ha sido relativamente discreto, estrictamente militar, en zonas de conflicto y en espacios aéreos no demasiado congestionados, han podido operarse sin interferir o sin afectar peligrosamente el tráfico aéreo convencional, mediante la asignación de pasillos aéreos y zonas de espacio aéreo «segregado». Pero desde hace algunos años, el uso de estos sistemas se ha incrementado, aunque manteniéndose dentro de la órbita militar y en zonas de conflicto, lo que resulta en la proliferación de multitud de sistemas no tripulados en determinadas zonas, en las que pueden producirse serios trastornos en la seguridad aérea.

Por otro lado, los avances tecnológicos en los campos de las comunicaciones, en los sistemas de navegación y posicionamiento, el incremento de la capacidad de procesamiento, la compactación de los equipos, el incremento de su fiabilidad, el desarrollo de «cargas de pago» cada vez más ligeras, fiables y con altas prestaciones, han propiciado el desarrollo de este concepto de sistema con plataforma aérea no tripulada para un uso civil, no solamente comercial, sino también por parte de otros organismos gubernamentales, como puedan ser los cuerpos de seguridad, vigilancia de fronteras, protección civil, etc..

(1) Los sistemas antes denominados UAVs (Unmanned Aerial Vehicles), han pasado a denominarse UAS para destacar el hecho de que se está identificando un «Sistema» y no sólo la plataforma aérea, que constituye un subsistema del mismo.

Si bien es cierto que una gran mayoría de los UAS son de pequeño tamaño y operan a baja o muy baja cota, existe una gama de ellos, desplegados en menor número pero en tareas de gran responsabilidad, que son aeronaves más pesadas, con perfiles de misión que requieren alcanzar mayores altitudes y a distancias muy superiores, fuera de la línea vista, para los que la operación exigirá normalmente «invadir» un espacio aéreo en el que las aeronaves deben estar integradas en los diferentes sistemas de gestión y control de tráfico aéreo. De esta forma se asegura que no exista riesgo alguno sobre otras aeronaves que usen el mismo espacio o sobre personas y bienes en tierra. Hoy por hoy, este nivel de seguridad se consigue estableciendo zonas y pasillos aéreos de uso exclusivo para los UAS, es decir, segregando parte del espacio aéreo.

Pero esta solución no es viable para hacer frente a la proliferación de UAS que se prevé puedan ser operados en zonas no conflictivas, por lo que se hace necesario establecer el modo en que determinados UAS puedan, en un periodo de tiempo lo más corto posible, compartir el espacio aéreo con la aviación convencional, tanto la general como la operativa. Esta iniciativa es la que da lugar al problema de la «Integración de los UAS en el Espacio Aéreo No Segregado».

La ausencia del piloto o de tripulación a bordo de estas aeronaves y la sustitución de sus actuaciones directas sobre la plataforma por actuaciones desde tierra a través de enlaces de datos Tierra/Aire/Tierra, a la vez que elimina determinados subsistemas de la aeronave (como asientos, paneles de instrumentación, sistemas de acondicionamiento de aire, sistemas de oxígeno, etc), introduce otra serie de problemas. Entre otros, el hecho de que el conocimiento de la situación, como es la actitud de vuelo, el estado de los motores, los datos de navegación, etc, deba transferirse en tiempo real desde la plataforma a los operadores en tierra. Y lo que es más importante, se precisa sustituir la capacidad de observación visual del piloto y su capacidad de analizar la situación y tomar decisiones, por una capacidad equivalente obtenida mediante sensores embarcados de observación del entorno y procesadores para calcular trayectorias y establecer posibles soluciones en caso de conflicto o riesgo de colisión con otras aeronaves (Sistemas de Sense and Avoid).

Por todo ello se hace necesario regular el sistema físico del UAS (plataforma aérea, equipamiento y carga útil, estaciones de control en tierra, sistemas de lanzamiento y recuperación etc), estableciendo los requisitos necesarios para contrastar su nivel de seguridad física en la operación del

UAS, así como determinar los requisitos exigibles al personal que gestiona el sistema (operación, adiestramiento, mantenimiento etc).

Pero la seguridad física no es suficiente ya que será necesario abordar la seguridad en la operación del UAS, mediante el análisis de la normativa reguladora actual sobre gestión y control del tráfico aéreo, comunicaciones aeronáuticas etc. originalmente prevista para sistemas convencionales. De este modo se conseguirá un conjunto de regulaciones y procedimientos para la operación del UAS, compatibles con la legislación y reglamentación nacional e internacional vigente.

La Integración del UAS en el Espacio Aéreo No Segregado no está resuelta a día de hoy, dada la complejidad y extensión de las áreas a las que afecta y a la necesidad de obtener soluciones internacionalmente aceptadas. No obstante, son muchas las iniciativas que se han llevado a cabo, con resultados parciales y las que están actualmente en desarrollo por parte de organizaciones militares y civiles con la colaboración de las empresas del sector. Así, OTAN, EDA, EASA, FAA, Eurocontrol, etc. tienen programas específicos sobre esta materia, pero a día de hoy no se ha conseguido la adecuada convergencia de esfuerzos y resoluciones que permita la operación segura de los UAS en un espacio aéreo compartido con la aviación convencional.

Esta monografía no proporciona soluciones, tan sólo pretende mostrar los conceptos que intervienen en la declaración genérica de «Integración en el Espacio Aéreo no Segregado», describir el entorno tecnológico, resaltando los aspectos relativos a las certificaciones aeronáuticas de aeronavegabilidad y a los sistemas Sense and Avoid y dar una visión amplia de los trabajos o iniciativas que, con relación a estos temas, se están llevando a cabo.

Para iniciar el estudio, se proporciona una breve descripción de los UAS, su origen, su desarrollo, su clasificación o categorización y las funciones que, hoy por hoy, se les encomiendan.



SISTEMA DE OBSERVACIÓN Y
PROSPECTIVA TECNOLÓGICA

PARTE I

BREVE INTRODUCCIÓN AL «UNMANNED AIRCRAFT SYSTEM» (UAS)

1. Origen y desarrollo de los UAS

La idea de eliminar el puesto de piloto en las aeronaves es tan antigua como el inicio de la aviación, pero no fue hasta 1917, con el desarrollo del estabilizador giroscópico de Peter Cooper y Elmer A. Sperry, cuando se consiguió que una aeronave no tripulada (un modelo derivado del entrenador Curtiss N-9 de la US Navy) fuera radiocontrolada y dirigida en vuelo directo y nivelado durante más de 50 millas.



1917: U.S. Navy Curtiss N-9 trainer

En el periodo de entreguerras, de baja actividad en la aeronáutica militar, llegaron a desarrollarse diversos modelos de aeronaves radiocontroladas utilizadas como blancos aéreos. Pero fue en la Segunda Guerra Mundial, cuando el desarrollo de la aviación y de las tecnologías de comunicaciones permitieron que en 1944, la Navy's Special Air Unit One (SAU-1) convirtiera varios PB4Y-1 (versión naval del B-24 Liberator) y B-17 Fortress en aeronaves sin piloto, al menos en la fase final de aproximación a su objetivo, controlada remotamente, armada y guiada por sistemas de televisión. El Sistema, conocido como BQ-7, se destinó a bombardear instalaciones de fabricación de los V2 alemanes en la Francia ocupada.



B24 Liberator

Los resultados no fueron demasiado satisfactorios y una vez finalizada la contienda, se ralentizó el desarrollo de los sistemas no tripulados, hasta que en 1960, la USAF comenzó el Programa AQM-34 Ryan Firebee o Lightning Bug en diferentes versiones que, a diferencia de sus predecesores, fueron

diseñados desde su inicio como aviones sin piloto para ser lanzados desde una aeronave, en misiones de reconocimiento fotográfico. Su éxito fue total, realizando entre 1964 y 1975, más de 34.000 misiones operacionales sobre el Sudeste asiático con unas 1.000 unidades.



1979: AQM-34 Firebee or Lightning Bug

El éxito del sistema AQM-34, decidió a Israel a adquirir 12 Firebees en los años 70, modificándolos para, con la designación Firebee 1241, ser utilizados en la guerra del Yom Kippur entre Israel, Egipto y Siria, como vehículos de reconocimiento y por primera vez, como señuelos. Desde entonces,



1980: Scout (IAI)

Israel comenzó a disponer de una capacidad propia para el desarrollo y la innovación de sistemas aéreos no tripulados y, a su vez, la oportunidad de su empleo operativo en los sucesivos conflictos con los países árabes de su entorno. Así, en 1978 IAI (Israel Aircraft Industries) desarrolló el Scout, UAV de pequeño tamaño y baja firma radar, capaz de transmitir imágenes en tiempo real gracias a su cámara de televisión de 360° de campo de visión, ubicada en una torreta central giratoria.

Su utilidad se puso de manifiesto en 1982, durante el conflicto del Valle de la Bekaa entre Israel, Líbano y Siria, en el que Israel utilizó su flota de Scouts (entonces denominados genéricamente como RPV-Remotly Piloted Vehicle), para activar los radares sirios, permitiendo así que fueran objetivos de los misiles antirradar de los cazabombarderos israelitas.

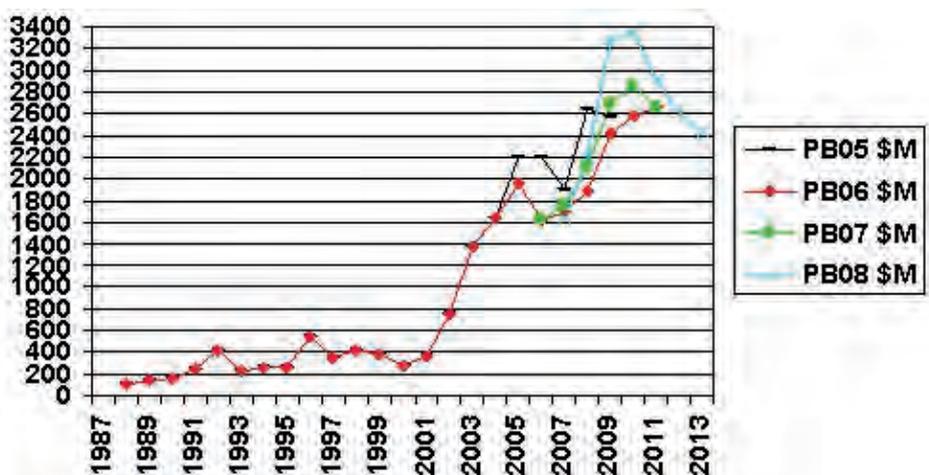
Desde los años 80, muchas naciones han ido incorporando paulatinamente estos sistemas a sus arsenales militares, pero los conflictos de la década de los 90, como la guerra de los Balcanes o las guerras del Golfo, demostraron las enormes posibilidades de los UAS en misiones de vigilancia y reconocimiento, provocando un mayor interés de las administraciones militares en estos sistemas. En consecuencia desde 2001 se observa un crecimiento espectacular de las inversiones gubernamentales

en los UAS, en paralelo al desarrollo de nuevos conflictos en Israel, Líbano, Afganistán e Irak.

Actualmente existen más de 700 diseños de todas las categorías (de los que más de 500 son de uso exclusivamente militar), en diferentes estados de desarrollo o implementación.

En el ámbito de la OTAN, los países que la componen tiene actualmente en sus arsenales unos 51 UAS de categoría HALE, 195 MALE y unos 3.300 tácticos o Minis (1) y el Departamento de Defensa de los Estados Unidos tiene declarados más de 5.300 UAS en sus inventarios. Como ejemplo, observemos el incremento que la financiación o inversión en Investigación y Desarrollo del DoD norteamericano (la producción de UAS en Estados Unidos representa más del 36% de la producción mundial), para estos sistemas, en su aplicación militar, ha sufrido desde 1987 y las previsiones hasta 2013 (2).

Se observa una fuerte caída de la financiación en 2005, debida fundamentalmente a la cancelación del ambicioso programa Access 5 de la NASA, relativo a estudios sobre seguridad, certificación e integración en el espacio aéreo, que incluía el desarrollo de prototipos y pruebas de vuelo.



Inversiones del DoD norteamericano en UAS (UAS Roadmap 2007)

(1) Fuente: JAPCC Flightplan for UAS in NATO (2007).

(2) Fuente: US Roadmap 2007.

A pesar de ello la producción de estos sistemas en los Estados Unidos ha sufrido un incremento significativo, como muestra el cuadro inferior que compara el número de plataformas adquiridas o en proceso de adquisición entre 2002 y 2007 (3).

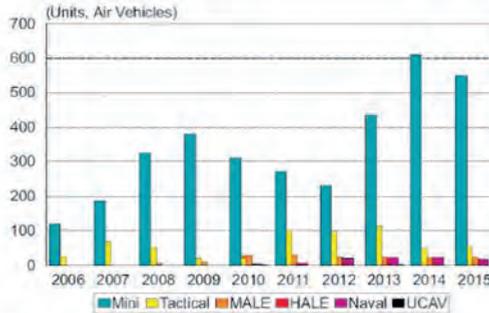
UAS	Cantidad UAS			UAS	Cantidad UAS		
	2002	2007	Incremento 2002 - 2007		2002	2007	Incremento 2002 - 2007
De Teatro y Tácticos (> 10 lbs)				Pequeños (< 10 lbs)			
Buster		20	20	Aqua Puma	18	18	
Pioneer	34	33	-1	Raven A & B	2469	2469	
Shadow 200	24	220	196	Dragon Eye	40	705	665
Neptune		15	15	Desert Hawk		96	96
Tem		15	15	MAV (ACTD)		25	25
Mako		14	14	Swift		124	124
Tigershark		9	9	Sub-Total	40	3437	3397
Snow Goose		28	28				
Hunter	41	54	13				
FGnat		9	9				
Predator	22	90	68				
Predator B		8	8				
Global Hawk - ACTD	6	4	-2				
Global Hawk - Production		7	7				
GHMO	0	2	2				
Sub-Total	127	528	401	Tota	167	3865	3748

Plataformas UAS entre 2002 y 2007 (UAS RoadMap 2007)

Como se observa en el gráfico anterior, el máximo desarrollo corresponde a los UAS denominados «pequeños» (Mini, Micro) de un peso inferior a los 5 Kg y que operan a baja o muy baja cota. Estos UAS presentan diversas ventajas: no precisan certificaciones de aeronavegabilidad, son de relativamente bajo coste, de fácil manejo, utilizan sistemas de lanzamiento y recuperación muy simples (incluso lanzados a mano) y pueden equiparse con cargas de pago muy ligeras (básicamente electro ópticas), para llevar a cabo misiones de reconocimiento cercano, muy demandadas en los diferentes teatros de operaciones. La EDA (Agencia Europea de Defensa) ha publicado, por su parte, las previsiones de crecimiento de este sector, hasta el 2015 y como se observa en la figura adjunta, también destaca el crecimiento de los Mini UAS.

(3) Fuente: US Roadmap 2007.

European Market UAV Forecast



- The military market for Mil UAVs will rise in the next years
- Insufficient „market space“ in Europe for full parallel UAV R&D
- Insufficient units in the high technology UAV segment (Tactical/MALE/HAAV)



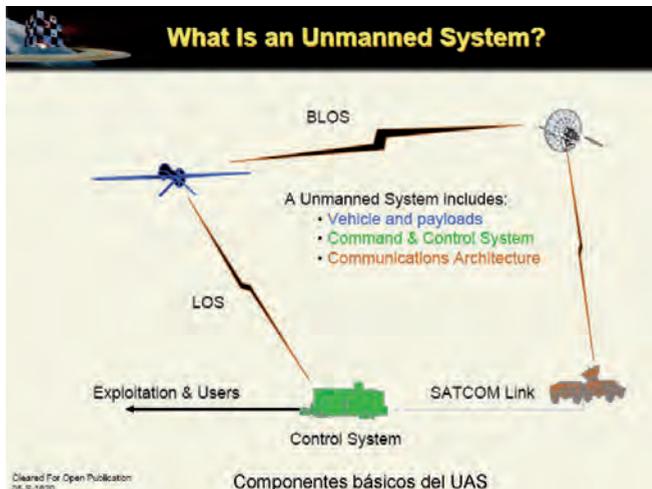
© European Defence Agency 2007

www.eda.europa.eu

Previsiones de crecimiento: Fuente EDA

2. Concepto y componentes del UAS

El UAS podría definirse genéricamente como un sistema constituido básicamente por un segmento aéreo y un segmento terreno. El segmento aéreo lo forma la plataforma aérea, la carga útil (letal o no letal) adecuada a la misión asignada y parte del sistema de comunicaciones. El segmento de tierra incluye el sistema de control de la aeronave y su carga de pago, equipos de comunicaciones, así como la estación que permite diseminar la información obtenida de los sensores a los diferentes usuarios, bien directamente o a través de las dife-



Componetes básicos del UAS

rentes redes de Mando, Control, Comunicaciones y Ordenadores (C2, C4I, C4ISR). Finalmente, la plataforma debe poder ser lanzada y recuperada con seguridad e integridad para volver a ser utilizada.

La plataforma aérea es de tamaño muy variables (desde los micro, como el Black Widow de 15 cm de diámetro), hasta los Global Hawk de 40m de envergadura), de diferentes sistemas de sustentación (ala fija, rotatorias, batientes, más ligeros que el aire, etc) o de diferentes sistemas de propulsión (motores gasolina, motores diesel, turbohélices, turborreactores, motores eléctricos etc.). La plataforma incorpora además los sistemas de propulsión, posicionamiento, navegación, comunicaciones y los enlaces de datos, necesarios tanto para el control de vuelo, como para el control de la misión, y la descarga de la información capturada por los sensores.



Black Widow, Searcher II y Global Hawk

La carga útil está constituida por los medios y equipos embarcados requeridos para la misión, como son los sistemas de sensores EO/IR, designadores láser, equipos de guerra electrónica, sistemas radar, SAR, armamento lanzable etc.



Radars SAR y «Gimbal» Electro-óptico

La estación de control de tierra forma parte del segmento terreno del UAS e incluye el conjunto de equipos y sistemas que asume las tareas de planificación de la misión, control de la misión (control de vuelo, control de la

carga útil), distribución o diseminado de la información a usuarios exteriores, comunicaciones con el ATC etc. Incluye asimismo los sistemas de comunicaciones y enlaces de datos LOS (Line of Sight) o BLOS (Beyond Line of Sight) necesarios para acceder a la plataforma o a los sistemas externos.



Estaciones terrestres

El Sistema de Lanzamiento y Recuperación (Launch and Recovery System-LRS), a menudo considerado parte de la Ground Control Station, es el sistema utilizado para el control de la plataforma durante la rodadura (taxiing), el despegue, la parte inicial del vuelo y la aproximación y aterrizaje (o su lanzamiento y recuperación).

Estos LRS varían en función del tamaño y peso de los UAS. Así pueden ser despegados y aterrizados sobre tren de ruedas (guiado o automático-ATOL), lanzados desde rampa con actuadores neumáticos o por cohetes auxiliares, lanzados a mano etc. y recuperados mediante paracaídas, recogidos por una red etc.



Sistemas de recuperación y lanzamiento

El conjunto de los sistemas de comunicaciones requeridos se agrupan como un subsistema más, repartido entre la plataforma aérea y la estación terrestre. En este subsistema se incluyen los terminales de enlaces de datos (embarcados y

en tierra), los terminales satélites para comunicaciones BLOS, los equipos de comunicaciones para su actuación como repetidor etc.



Comunicaciones embarcadas y terrestres

3. Misiones más comunes

Las misiones o tareas encomendadas normalmente al UAS, tanto en su uso civil como militar, obedecen a lo que coloquialmente se conocen como misiones 3D: «Dull, Dirty and Dangerous», es decir misiones tediosas, en ambiente contaminado, o peligrosas.

Las misiones militares más representativas y extensas, responden básicamente a las de Inteligencia (de imágenes IMINT o de señales SIGINT), Vigilancia y Reconocimiento (ISR), Adquisición de Objetivos (TA), o combinación de ambas (ISTAR), Apoyo a la Artillería para Adquisición de Blancos, Corrección de Tiro y Evaluación de Daños, Relé de Comunicaciones, Guerra Electrónica (ESM, ECM, ECCM) o misiones ofensivas (para los UCAVs), como Supresión de Defensas Aéreas (SEAD), Apoyo Aéreo Cercano (CAS) etc.

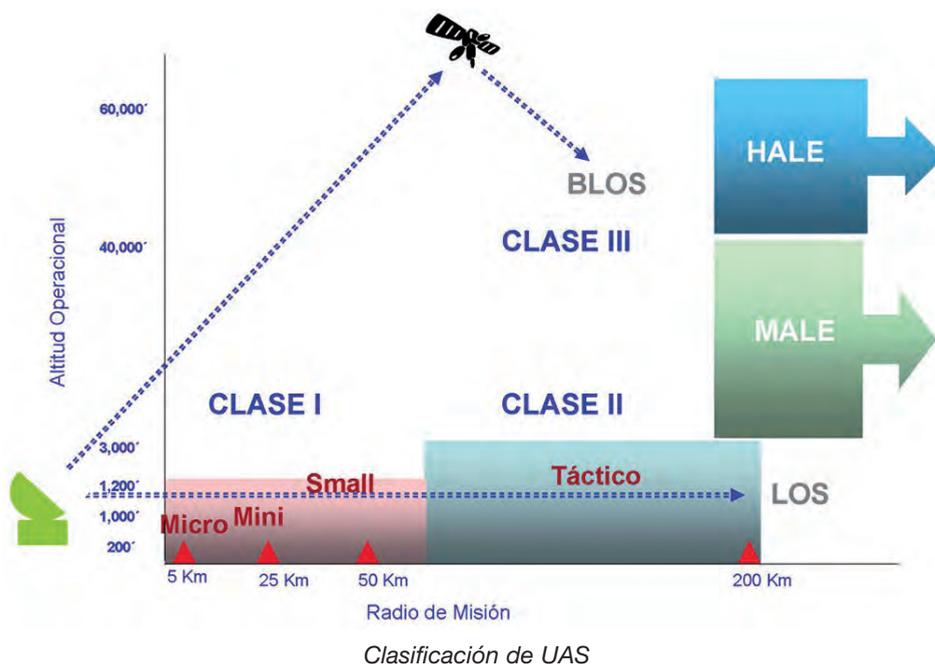
Las misiones civiles suelen referirse a las de adquisición y seguimiento de objetivos en tareas de vigilancia de fronteras, labores de captación de datos meteorológicos u oceanográficos, repetidor de comunicaciones, vigilancia y supervisión de líneas eléctricas u oleoductos, vigilancia de amplias zonas en tareas de prevención de incendios etc.,

4. Categorías de UAS

Sobre la clasificación o categorización de UAS, no existe un criterio único e internacionalmente aceptado, aunque para UAS de uso militar, el JCGUAV (Joint Capability Group on UAV) de la OTAN, consciente de que es preciso unificar el lenguaje para facilitar tanto los procesos de estandarización como el uso compartido o combinado de los UAS, ha pro-

puesto una clasificación basada en el MTOW (peso máximo al despegue) y diferentes categorizaciones basadas en el uso del UAS y su perfil de vuelo (4).

El espacio aéreo comprendido entre los 3.000 ft y los 60.000 ft está ocupado por los UAS denominados de Clase III (MALE/HALE), siendo estas las categorías más afectadas por la necesidad de integración en espacio aéreo.



En otras clasificaciones se habla de Short Range (SR), Close Range (CR) o Medium Range (MR) equivalentes a los Clase I (Micro, Mini o Small), actuando por debajo de los 1.200 ft

Por último los denominados Clase II o tácticos suelen operar con un techo de aproximadamente 3.000ft y al límite de la línea de visión.

(4) Propuesta presentada en el Meeting del JCGUAV, Bruselas 27 y 28 de Septiembre de 2007.

La tabla adjunta resume esta categorización y clasificación propuesta.

UAS: CLASIFICACIÓN PROPUESTA EN EL JCGUAV					
Clase (MTOW)	Categoría	Empleo	Altitud Operacional	Radio de Misión	Ejemplo de Plataforma
CLASE III > 650 Kg	HALE (High Altitude Long Endurance)	Estratégico	Hasta 65.000 ft	Sin Limite (BLOS)	 Global Hawk – Imagen 35
	MALE (Medium Altitude Long Endurance)	Operacional/De Teatro	Hasta 40.000 ft	Sin Limite (BLOS)	 Predator B – Imagen 36
CLASE II 150 / 650 Kg	TÁCTICO	Formación Táctica	Hasta 3.000 ft	200 Km (LOS)	 Sperwer – Imagen 38
CLASE I < 150 Kg	SMALL	Unidad Táctica	Hasta 1.200 ft	50 Km (LOS)	 Scan Eagle – Imagen 37
	MINI	Subunidad Táctica	Hasta 1.000 ft	25 Km (LOS)	 Skylark – Imagen 34
	MICRO	Táctico, Pelotón, Sección, personal	Hasta 200 ft	5 Km (LOS)	 Black Widow – Imagen 39

Clasificación por MTOW

Los límites entre las clases definidas, responden a los siguientes criterios:

- El límite de 650 Kg responde al MTOW de la categoría de aviación deportiva
- El límite de 150 Kg responde al límite inferior del MTOW propuesto en diferentes ámbitos (NATO o Eurocontrol) para requerir certificaciones de aeronavegabilidad.
- El límite de 3.000 ft responde a la altitud (AGL) mínima para vuelos VFR
- El límite de 1.200 ft responde al límite superior del espacio aéreo no controlado de clase G.

Otras categorizaciones, como la realizada por el DoD norteamericano, atienden no tanto al MTOW, como al grado de similitud del UAS con las aeronaves convencionales a las que actualmente se aplica el Título 14, parte 91 de las CFR (Code of Federal Regulations) de la FAA, denominado «General Operating and Flight Rules)» o «Reglas del Aire».

- Categoría I: UAS son similares a los aeromodelos radiocontrolados y están cubiertos por la AC 91-57 de la FAA, denominado «Model Aircraft Operating Standard». Estos UAS «pequeños» están normalmente limitados a operaciones LOS. Ejemplos: Pointer, Dragon Eye.
- Categoría II: aeronaves no convencionales, para llevar a cabo operaciones o misiones especiales. Los operadores deben demostrar la apropiada cualificación. Estos UAS pueden desarrollar operaciones rutinarias bajo una serie de requisitos especiales. Ejemplos: Pioneer, Shadow.
- Categoría III: aeronave capaz de utilizar cualquier clase de espacio aéreo, de acuerdo a la 14 CFR Part 1. Requieren certificación de aeronavegabilidad tanto la plataforma como los operadores. Generalmente estos UAS tienen capacidad de realizar operaciones BLOS. Ejemplos: Global Hawk, Predator.

Categorización US DoD	Aeronave Certificada/UAS (Cat III)	Aeronave no estándar/UAS (Cat II)	Aeromodelo RC/UAS (Cat I)
Regulación FAA	14 CFR 91	14 CFR 91, 101 y 103	Ninguno (AC 91-57)
Espacio Aéreo	Todos	Clase E, G y D	Clase G (<1.200 ft AGL)
Límite de velocidad, KIAS	Ninguno	NTE 250 (propuesto)	100 (propuesto)

Categorías de UAS y regulaciones de la FAA



SISTEMA DE OBSERVACIÓN Y
PROSPECTIVA TECNOLÓGICA

PARTE II

**BASES PARA LA INTEGRACIÓN DEL UAS
EN EL ESPACIO AÉREO NO SEGREGADO**

1. General

Determinados sistemas con plataforma aérea no tripulada ya sean de uso militar (los más abundantes a día de hoy) o de uso civil o comercial deben operar en muchos casos, en un espacio aéreo cuya estructura, gestión y control están diseñados para aeronaves tripuladas y que exige a todas las aeronaves que lo utilizan un alto grado de seguridad. En la aviación convencional esta seguridad reside en la propia aeronave, en la tripulación que la opera y mantiene, en las ayudas a la navegación en tierra o espaciales y en los sistemas de control y gestión del tráfico aéreo que visualizan y supervisan, en modo casi continuo, sus trayectorias desde el despegue hasta el aterrizaje.

Gran parte de los UAS ya existentes o en desarrollo, sobre todo los denominados HALE, MALE o tácticos de largo alcance, están diseñados para operaciones o misiones que exigen una utilización amplia del espacio aéreo, ya sea el espacio de responsabilidad nacional o el espacio transnacional. Este es el caso de operaciones aeroportuarias para despegue y aterrizaje, vuelos a la zona de trabajo o vuelos de aproximación a dicha zona, en el curso de los cuales pueden realizarse operaciones de cruce de fronteras (operaciones «cross-border»), o finalmente, los vuelos en la propia zona de operaciones.

Pero hoy por hoy, estas aeronaves no tripuladas se ven obligadas a operar en espacios aéreos segregados o restringidos (temporales o permanentes), utilizando pasillos abiertos temporalmente para el acceso a la zona de trabajo, en los que no se presenten conflictos con los vuelos tripulados y evitando normalmente las operaciones de «cross-border», pues estas operaciones implican acuerdos internacionales que aún no están debidamente establecidos. Esta es la situación actual, hasta que las autoridades aeronáuticas consideren que dichas aeronaves han alcanzado un «nivel de seguridad equivalente» al de la aviación convencional y no representan un riesgo adicional para el tráfico aéreo o los bienes en tierra, momento a partir del cual podrán operarse estas plataformas compartiendo el espacio aéreo con la aviación convencional.

La operación de estos UAS en modo rutinario, compartiendo el espacio aéreo con aeronaves tripuladas es un objetivo a medio-largo plazo, pues las previsiones de los diferentes planes sobre integración la sitúan en el periodo 2015-2020. Este objetivo está fuertemente condicionado al desarrollo de determinadas tecnologías que deben alcanzar un alto grado de fiabilidad antes de formar parte integral de estos sistemas.

Una primera aproximación al problema de la integración de UAS, puede establecerse en función del «usuario» del sistema, de modo que algunos UAS pueden incluirse como «Aviación General» o Circulación Aérea General (1) (GAT) como es el caso de UAS de uso civil o comercial, y otros como «Aviación Operativa» o Circulación Aérea Operativa (OAT) (2) en el caso de UAS de uso militar, pudiendo variar en un caso u otro el modelo de integración.

Por otro lado, la gran diversidad de UAS y sus diferentes características y prestaciones, precisaría determinar las «categorías» de UAS que habrían de ser objeto de estudio en relación a su integración, pues muchos de estos sistemas operan a cotas muy bajas o con alcances y permanencias en vuelo muy limitadas, tienen una baja masa o MTOW, o bien la energía cinética que desarrollan es muy baja, por lo que no parece probable que se deban someterse a requisitos específicos orientados a permitir su uso en espacio aéreo no segregado.

El peso máximo al despegue o MTOW es uno de los factores más relevantes, pues ha de tenerse en cuenta que el equipamiento embarcado que se prevé como necesario para conseguir un UAS que pueda equipararse a una aeronave convencional a efectos de su operación segura, exige un peso, un volumen y un consumo de energía tales que obligan a que la plataforma tenga un determinado peso o volumen, lo que limita el tipo de UAS que puede ser candidato a una integración total.

Así, las primeras diferencias se han establecido precisamente en el peso máximo al despegue, de modo que las primeras regulaciones sobre integración llevadas a cabo por Eurocontrol y la EASA, han establecido los 150 Kg como el límite inferior de referencia, por debajo del cual la responsabilidad sobre las certificaciones de aeronavegabilidad (uno de los

(1) *Vuelos realizados según las normas y procedimientos establecidos por la autoridad de Aviación Civil del Estado y que operan de acuerdo con el Reglamento de Circulación Aérea.*

(2) *Tráfico aéreo militar que opera de acuerdo con el Reglamento de Circulación Aérea Operativa.*

aspectos básicos para la integración) recaería sobre las autoridades nacionales, no siendo por tanto objeto de regulaciones internacionales.

Otro aspecto importante en cualquier intento de solución es la compleja estructura del espacio aéreo, tanto nacional como internacional, que exige diferentes prestaciones a la aeronave en función del espacio que prevé ocupar durante la operación. En cada caso se precisa mantener determinadas separaciones mínimas entre aeronaves y diferentes grados de atención por parte de los servicios de Gestión y Control del Tráfico Aéreo, lo que conlleva exigencias en cuanto al establecimiento de sistemas de observación del entorno de la aeronave y comunicaciones muy fiables y de alta disponibilidad en los enlaces tierra-aire-tierra.

Como más adelante se detalla, el diseño de una estrategia para conseguir la integración de los UAS en el espacio aéreo es una actividad que llevan desarrollando desde hace varios años las autoridades aeronáuticas nacionales e internacionales, civiles y militares, conjuntamente con la industria.

Esta estrategia da lugar a un proceso lento, puesto que es necesario superar las soluciones «nacionales» e integrarlas en una solución internacionalmente aceptable, lo que exige la colaboración internacional entre diferentes organismos civiles y militares, técnicos y reguladores, públicos y privados.

Este un proceso es, por otro lado, de elevado coste económico, dado que exige el diseño y desarrollo de multitud de prototipos y pruebas de vuelo (incluyendo pruebas para la certificación), lo que a su vez requiere de las administraciones y empresas la inversión de muchos recursos, básicamente para Investigación y Desarrollo.

FL or Alt Band	Norway	Poland	Portugal	Romania	Slovak Rep.	Slovenia	Spain	Sweden	Switzerland	Turkey	Ukraine	UK	Serbia & Montenegro
Up Limit CAS	660	460	1 Jul 07	660	660	660	460	460	660		660	660	660
245-460													
205-245	C		C			C	C		C			C	C
195-205													
150-195		C			C				C				
130*-150	D	G				D			C	D			
95*-130*			G				G	C	G			G	
3K*-95*	G	G		G		E			E				
SFC-3K*					G	G			G			G	
Major TMA	C			A	C	D	E		C			A	
Minor TMA	D		C			C	D		D			E	
CTA/Awy	E	C	C		C				C			A	C
CTR*	D			C		D			D			A	D
	G*				C	D	D		D			A	D

Legend: A, B, C, D, E, F, G, Unclassified or N/A, No Reply

3K* = FLs/ 1,000/ 1,500/ 2,000/ 2,500/ 3,000/ 3,500/ 5,000 (ft AGL or AMSL)
 95* = FLs 75/ 85/ 95/ 100/ Alt 7,500
 130* = FLs 115/ 125/ 130/ 135
 CTR* = CTR/ Aerodrome Zone
 G* = G or G with special conditions

Ejemplos de espacio aéreo europeo

Por otro lado, es un proceso combinado en el que intervienen, por un lado, tecnologías en desarrollo y por otro, regulaciones y normativas legales nacionales e internacionales. Finalmente es un proceso que afecta a un sector, como es el aeronáutico, que está en constante evolución tanto tecnológica como legal. Caso, por ejemplo, de la iniciativa SESAR del espacio único europeo o la irrupción de las tecnologías de navegación y posicionamiento basadas en satélite, ya sea GPS, Galileo, etc.

2. Principios básicos

La premisa básica para la integración del UAS, en la que están de acuerdo todas las iniciativas y estudios que se han realizado o están en desarrollo actualmente, es que dicha integración deberá ser compatible con la doctrina emitida por las diferentes autoridades aeronáuticas que afectan a las aeronaves tripuladas.

Así, la Agencia Europea de la Seguridad Aérea (EASA) dictaminó en 2004 (3) como requisito básico, que los UAS:

«Están actualmente sujetos a las disposiciones de aeronavegabilidad y ambientales de la Comunidad si su masa es igual o superior a 150 kg. En vista de las posiciones expresadas por todos los interesados, la Agencia opina que hay que mantener la situación actual para que únicamente se encuentren sujetas a la legislación comunitaria la aeronavegabilidad y las operaciones de los UAV que pesen más de 150kg. Como sus actividades tienen las mismas características que las de otras aeronaves, se considera que tales aeronaves deben estar sujetas a los mismos requisitos que cualquier otra aeronave que desempeñe la misma actividad».

De nuevo la EASA, en el Advance Notice of Proposed Amendment (NPA) No 16/2005 denominado «Policy for Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Certification», estableció en 2005 como postulados o principios mínimos que:

- Las normas reguladoras sobre aeronavegabilidad no deberán ser menos exigentes que las aplicables a la aviación convencional, ni por el contrario penalizar a los UAS con requisitos más exigentes por el simple hecho de que sean tecnológicamente alcanzables.

(3) *Dictamen nº 3/2004 de la Agencia Europea de Seguridad Aérea para la modificación del Reglamento (CE) nº 1592/2002 del Parlamento Europeo y del Consejo sobre normas comunes en el ámbito de la aviación civil.*

- Las operaciones de UAS no deben incrementar el riesgo al resto de usuarios del espacio aéreo o a terceras partes.
- Los operadores de UAS deben operar manteniendo los acuerdos o disposiciones existentes.
- Las bases legales deben quedar claramente definidas de modo similar a las establecidas para la aviación convencional.
- La provisión de servicios de ATS al UAS debe ser transparente a los controladores aéreos y a otros usuarios del espacio aéreo.

Por otro lado, la JAA (Joint Aviation Authorities) y Eurocontrol recomiendan (4) que:

- El UAS deberá alcanzar un «Nivel Equivalente de Seguridad» (ELOS) al de las aeronaves tripuladas.
- Las operaciones del UAS no incrementarán el riesgo para otros usuarios del espacio aéreo.
- Se aplicarán al UAS los mismos procedimientos ATM que para aeronaves tripuladas.
- Los servicios de Tráfico Aéreo proporcionados al UAS deberán ser «transparentes» a los controladores del ATC.
- Se aplicarán al UAS las mismas Reglas de Vuelo que al resto de usuarios del espacio aéreo del que se trate.

Finalmente el DoD norteamericano, en su «Airspace Integration Plan for Unmanned Aviation» de Noviembre de 2004, indica que la visión del OSD (Office of Secretary of Defense) es la de disponer de UAS convenientemente equipados para mantener un nivel de seguridad equivalente (ELOS) al de las aeronaves pilotadas. En operaciones militares, el UAS operará con aeronaves tripuladas, utilizando conceptos de operación que permitan que dicha operación sea «transparente» a las autoridades de tráfico aéreo y a los reguladores del espacio aéreo».

Todos estos requisitos básicos pueden reducirse a dos:

- Nivel de seguridad en la operación equivalente a la exigida a la aviación convencional.
- Transparencia frente al sistema de Gestión y Control de Tráfico Aéreo.

La medida de la seguridad de la plataforma se determina a través del concepto de aeronavegabilidad, que afecta al propio diseño de la aeronave,

(4) «UAV Task -Force Final Report: A Concept for European Regulations for Civil Unmanned Aerial Vehicles (UAVs)», y «EUROCONTROL Specifications for the Use of Military Unmanned Aerial Vehicles as Operational Air Traffic Outside Segregated Airspace».

su equipamiento así como al mantenimiento del sistema durante su ciclo de vida, al objeto de asegurar un sistema «seguro y fiable» que cumpla con determinados estándares, lo que se certifica a través de los correspondientes certificados de aeronavegabilidad.

La medida de la seguridad en la operación del sistema en el espacio aéreo, se determina a través del cumplimiento de los requisitos, normas y reglamentaciones exigidas por las autoridades aeronáuticas nacionales e internacionales que, a su vez, condicionan o exigen determinados requisitos a los UAS.

Estos requisitos, normas y reglamentaciones afectan no sólo a las relaciones entre la plataforma en vuelo y los organismos gestores y controladores del espacio aéreo, sino que también el personal de operación y sostenimiento deberá poseer una cualificación contrastada frente a determinados estándares.

Ninguno de estos aspectos está adecuadamente resuelto para los UAS, de modo que actualmente los UAS operativos no poseen certificados de aeronavegabilidad equivalentes a los exigidos a las aeronaves convencionales (tan sólo disponen en determinados casos de certificados provisionales o experimentales) y operan en espacios aéreos restringidos o segregados para el desarrollo de una actividad en concreto, o en espacio aéreo no segregado, pero bajo la cobertura otorgada por un NOTAM o en algunos casos a través de los denominados Certificados de Autorización o COA (caso de Estados Unidos y la FAA).

Estos aspectos no resueltos dificultan enormemente el desarrollo del UAS, puesto que estos sistemas son tratados actualmente como excepciones o elementos extraños al espacio aéreo convencional, produciendo un incremento notable en la complejidad de sus despliegues operativos en zonas no exclusivamente de uso militar.

La consecución por estos sistemas no tripulados, de un nivel de seguridad tal que los asemeje a los sistemas tripulados en su comportamiento, exige un análisis detallado de todos los aspectos que intervienen en el mantenimiento del nivel de seguridad de las aeronaves y su operación.

Normalmente se habla de tres pilares básicos en los que se apoya la integración:

- Aeronavegabilidad
- Cualificación de operadores y personal de mantenimiento
- Reglas del Aire



Pilares básicos en la integración

3. Certificación de aeronavegabilidad

La Certificación de aeronavegabilidad es, como se ha dicho, una condición indispensable para posibilitar la integración de los UAS en el espacio aéreo. Por ello, se ofrece a continuación un resumen de los aspectos más significativos asociados a este concepto.

La aeronavegabilidad se define como «*la capacidad de una aeronave, o de un sistema o equipamiento embarcados, de operar en vuelo o en tierra sin riesgo para la tripulación embarcada o en tierra, los pasajeros (si es aplicable), otros usuarios del espacio aéreo o terceras partes*» (5).

En otros términos se puede definir la aeronavegabilidad como el conjunto de pruebas y certificaciones que aseguran que un determinado diseño aeronáutico tiene las características adecuadas para poder ser operado con seguridad o en otros términos: «navegación segura dentro de su envolvente de vuelo de diseño».

Es decir, que se verifica el estándar de seguridad de la aeronave (valoración del nivel de seguridad asociado a todos y cada uno de los sistemas que componen la aeronave y a la integración de los mismos), para llevar a cabo el tipo de operación para el que ha sido diseñada. Esta capacidad es certificada por las autoridades aeronáuticas apropiadas, a través de reglamentaciones y normativas internacionalmente aceptadas.

Este nivel de seguridad se cuantifica estableciendo el grado de cumplimiento de la normativa de aeronavegabilidad seleccionada (bases de cer-

(5) «*Essential Requirements for Airworthiness applicable to Military Aircraft*». (Annex A to OCCAR Management Procedures (OMP) Airworthiness. Issue1. Draft1. 2007).

tificación) y que es aplicable desde el inicio del diseño y a lo largo del programa de desarrollo (que incluye diseño, cálculos y ensayos en laboratorio a nivel de componentes y sistemas) hasta los ensayos a nivel de aeronave (tierra y vuelo).

3.1. Proceso general de certificación

El fabricante o la organización responsable del diseño aeronáutico que se pretende certificar, presenta el diseño y el uso que se le pretende dar, a la autoridad de aeronavegabilidad que corresponda (en España, DGAC para aeronaves civiles y la DGAM para las militares).

Posteriormente, solicita a dicha autoridad el inicio del proceso de certificación, para fijar conjuntamente las bases de certificación o códigos de aeronavegabilidad a utilizar, es decir, seleccionar el conjunto de normas a las que deberá someterse el producto y finalmente se negocia con la autoridad el plan de certificaciones, es decir, la lista de párrafos aplicables de la norma y el método seleccionado para demostrar que el diseño cumple con las bases de certificación seleccionadas.

Esta prueba de cumplimiento debe realizarse a través de los ensayos de certificación correspondientes. Estas pruebas pueden llevarse a cabo por declaración/verificación de diseño, por cálculo, por ensayo o por analogía o semejanza.



Esquema del proceso de certificación de aeronaves y equipos

Las certificaciones de aeronavegabilidad emitidas nacionalmente o bajo normas de aplicación nacional, han de ser reconocidas por las autoridades aeronáuticas de los países en los que la aeronave deba operar, por lo que se hace necesario disponer de un organismo supranacional que sancione dichas certificaciones.

En Europa, la Agencia Europea de Seguridad Aérea (EASA) (6) es la encargada de las tareas específicas de reglamentación y ejecución en el ámbito de la seguridad aérea, tareas que hasta 2003 ejercía la Joint Aviation Authority (JAA).

En España, la autoridad civil recae en el Ministerio de Fomento a través de la Dirección General de Aviación Civil (DGAC), según el Real Decreto 660/2001 de 22 de Julio y Reglamento (CE) No 1702/2003 de la Comisión de 24 de septiembre de 2003.

La autoridad militar corresponde a la Dirección General de Armamento y Material (DGAM), por el Real Decreto 2218/2004 de 26 de noviembre, que aprueba el Reglamento de Aeronavegabilidad de la Defensa.

Tanto la Dirección General de Aviación Civil como la DGAM, tienen establecido un convenio a través del cual los especialistas del INTA (Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial) están autorizados a realizar los informes técnicos que conduzcan a la certificación de una aeronave.

3.2. *Certificaciones y bases de certificación*

Durante el proceso de obtención de esta «certificación de la capacidad de vuelo seguro», se pueden obtener diversos certificados, asociados a grandes rasgos, a dos categorías principales de pruebas: pruebas para certificar un diseño aeronáutico (para la certificación de tipo) y pruebas para verificar la conformidad de un producto con la certificación de diseño correspondiente (para la certificación de aeronavegabilidad).

El Reglamento de Aeronavegabilidad de la Defensa, en su Artículo 2, define los siguientes certificados:

- Certificado de tipo: Documento por el cual la autoridad de aeronavegabilidad (Ministerio de Fomento o el Ministerio de Defensa) reconoce que

(6) *Organismo creado por la Unión Europea a través del Reglamento (CE) n° 1592/2002 del Parlamento Europeo y del Consejo de Europa, de 15 de julio de 2002, siendo desde 2003 competente para el ejercicio de determinadas tareas ejecutivas relacionadas con la seguridad aérea tales como la certificación de los productos aeronáuticos y de las organizaciones que participen en su diseño, producción y mantenimiento.*

un tipo de aeronave, motor o hélice ha sido diseñado y ensayado siguiendo las normas y procedimientos aprobados y que, por lo tanto, se considera seguro para el vuelo. Puede expedirse como provisional o como definitivo.

- Certificado de aeronavegabilidad: «Documento que sirve para identificar técnicamente una aeronave, definir sus características y expresar la calificación que merece para su utilización, deducida de la inspección en tierra y de las correspondientes pruebas en vuelo». (Ley 48/1960 de 21 de Julio. Art.36). Este certificado puede ser para experimentación, restringido, provisional, definitivo o para exportación.
- Certificado técnico del INTA: es el documento expedido por el Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial «Esteban Terradas» (INTA) que garantiza que se han realizado los ensayos, análisis y todo tipo de pruebas y trabajos experimentales, necesarios para demostrar que la plataforma o sus sistemas, cumplen con las bases de certificación establecidas para cada tipo de aeronave, motor o hélice.
- Certificado de conformidad: es el documento por el que la empresa fabricante garantiza que el producto responde a la configuración de diseño y que se han llevado a cabo las correspondientes pruebas en tierra.
- Certificado de aptitud: es el documento que garantiza que los trabajos efectuados en la aeronave o sus componentes cumplen la reglamentación de aeronavegabilidad.

Las bases de certificación se corresponden con el conjunto de normas aprobadas por las autoridades internacionales de Aviación Civil (FAA americana, EASA europea etc), contra las cuales ha de certificarse el producto y en el diseño y producción de sistemas y componentes aeronáuticos. Estas normas cubren todos los sistemas, subsistemas y componentes aeronáuticos y establecen los requisitos para considerarlos seguros, desde el punto de vista de la aeronavegabilidad.

En el ámbito civil, el conjunto de normas sobre aeronavegabilidad se correspondían inicialmente con las emitidas por la Federal Aviation Administration (FAA) norteamericana, denominadas Federal Aviation Regulations (FAR). Estas fueron refrendadas o asumidas por los Organismos reguladores europeos, inicialmente por la Joint Aviation Authority (JAA) donde las FAR se adaptaron como normas JAR (Joint Aviation Regulations). Posteriormente las adoptó la EASA con los códigos CS (Certification Specifications).

Las normas sobre aeronavegabilidad son las FAR/JAR/CS 23 o las FAR/JAR/CS 25, ésta última para aeronaves de más de 5.700Kg de

MTOW. Sin embargo, para aeronaves militares no existe un compendio de normativa que cubra todos los sistemas del avión, sino que se confecciona «ad-hoc» para cada aeronave.

Habitualmente un avión militar de transporte es certificado según requisitos civiles FAR/JAR/CS, obteniendo así una «Certificación Básica» y posteriormente según requisitos militares para operaciones específicas, tales como la penetración a baja cota, la operación en pistas no preparadas, el lanzamiento de paracaídas y cargas, la Guerra Electrónica, el reabastecimiento en vuelo, etc

3.3. *Certificación de sistemas críticos*

El uso de sistemas cada vez más complejos y con mayores niveles de integración ha creado nuevas necesidades o requisitos sobre seguridad y por tanto, certificación. En este sentido, la SAE (Society of Automotive Engineers) y EUROCAE (European Civil Aviation Equipment) han publicado guías de certificación de sistemas altamente complejos e integrados, como la Aerospace Recommended Practice (ARP) 4754 («Certification Considerations of Highly Integrated Complex Systems») y la SAE ARP 4761, «Guidelines and Methods of Performing the Safety Assessment Process on Civil Airborne Systems and Equipment» en un esfuerzo colectivo gobierno/industria para obtener soluciones a los actuales retos sobre seguridad.

3.4. *Certificación de software*

El crecimiento y la complejidad de los sistemas embarcados hacen necesario la elaboración de normativas específicas para la certificación (seguridad y fiabilidad) del software embarcado, básicamente el software de aviónica.

Así, en 1982 la RTCA (Radio Technical Commission for Aeronautics) publicó la norma DO-178B (Software Considerations in Airborne and Equipment Certification) orientada al software de aviónica. Esta se acompaña normalmente de la RTCA/DO-254 (Design Assurance Guidance for Airborne Electronic Hardware Considerations in Airborne Systems and Equipment Certification) y en combinación con la MIL-STD-882 (System Safety Program Requirements)/«Standard Practice for System Safety».

Posteriormente la EUROCAE asumió esta norma con la identificación ED-12, siendo posteriormente revisada y publicada en 1992 como DO-178B/ED-12B.

La norma presenta las bases para hacer que el software de los equipos y sistemas embarcados sea compatible con los requisitos de aeronavegabilidad establecidos por la normativa de la FAA/JAA/EASA, estableciendo que toda línea de código estará directamente relacionada con un requisito y una rutina de prueba, no existiendo en la estructura del programa ningún código extraño fuera de esta relación.

La DO-178B fija una serie de 5 niveles, basados en la capacidad del software para provocar fallos relacionados con la seguridad, desde el fallo catastrófico (Level A) de la aeronave, hasta el software cuyo fallo no tiene efecto ni en la aeronave ni en la carga (Level E), de modo que un sistema particular puede ser certificado a un determinado nivel.

Este nivel de certificación se determina tras un análisis de los riesgos de seguridad del sistema, normalmente con técnicas de FHA (Functional Hazard Assessment o Evaluación de Riesgos Funcionales) que es un método sistemático de análisis de las funciones del sistema y sus subsistemas para identificar y clasificar aquellas condiciones de fallo que inciden en la seguridad, en función de su gravedad.

El FHA a nivel Sistema realiza una evaluación cualitativa de las funciones básicas del sistema tal y como se definan en las primeras fases del desarrollo, identificando y clasificando las condiciones de fallo y estableciendo los requisitos de seguridad que el sistema debe alcanzar. A nivel Subsistema, el FHA realiza también una evaluación cuantitativa, de modo iterativo, con mayor precisión a medida que el sistema avanza en su desarrollo. Para ello el FHA considera fallos o combinaciones de fallos que puedan afectar a las funciones del sistema. La salida de este FHA sirve de entrada para la generación de los requisitos de seguridad que haya que establecer.

El FHA es ampliamente recomendado, por ejemplo por la ARP 4754 (SAE94), como el método más apropiado para la identificación y evaluación de riesgos. No obstante, el método FHA es difícilmente aplicable a niveles inferiores al de subsistema, donde, debido a la complejidad creciente y la integración con otros subsistemas, los efectos de los fallos funcionales no son tan evidentes.

3.5. *Certificaciones para UAS*

Como se ha visto anteriormente, el conjunto de normas utilizadas para la certificación de aeronavegabilidad de un determinado diseño, es lo que se

denomina «código de aeronavegabilidad» y está constituido por la normas FAR (de la FAA norteamericana) o las CS de EASA (antiguas JAR de la JAA).

Este sistema de certificación de la seguridad realizado a través del cumplimiento de determinadas normas, está vigente para aeronaves convencionales y es aceptado internacionalmente, pero no existe un cuerpo de normas equivalente para el caso de los UAS, con el inconveniente adicional de la gran cantidad de diseños y configuraciones distintas que se engloban dentro del concepto UAS.

Los estudios que se han realizado al respecto sobre la necesidad de dotar a los UAS de un conjunto de normas que permitieran su certificación, concluyeron con la necesidad de no crear nuevas normas, ni modificar las ya existentes, sino complementarlas elaborando requisitos adicionales.

De todas las iniciativas que se han llevado a cabo en este tema, la que se ha consolidado ha sido el código USAR (UAV System Airworthiness Requirements) basado en las normas CS 23 de EASA, y desarrolladas en el ámbito del grupo FINAS (Flight In Non-Segregated Air Space), grupo de trabajo generado dentro del JCGUAV (Joint Capability Group on UAV) de la OTAN.

Este código de aeronavegabilidad se ha publicado como STANAG 4671 («Unmanned Aerial Vehicles Systems Airworthiness Requirements»), y está actualmente en fase de ratificación por las naciones miembros.



USAR y las regulaciones existentes

3.5.1. USAR: STANAG 4671

En el área de la certificación de aeronavegabilidad, el grupo FINAS partió del código de aeronavegabilidad elaborado por la DGA-DCE/CEV francesa, denominado USAR, basado a su vez en las especificaciones CS 23 (antiguas JAR 23) de la EASA, adaptadas para UAS de ala fija (UAS tácticos, MALE, HALE y UCAV).

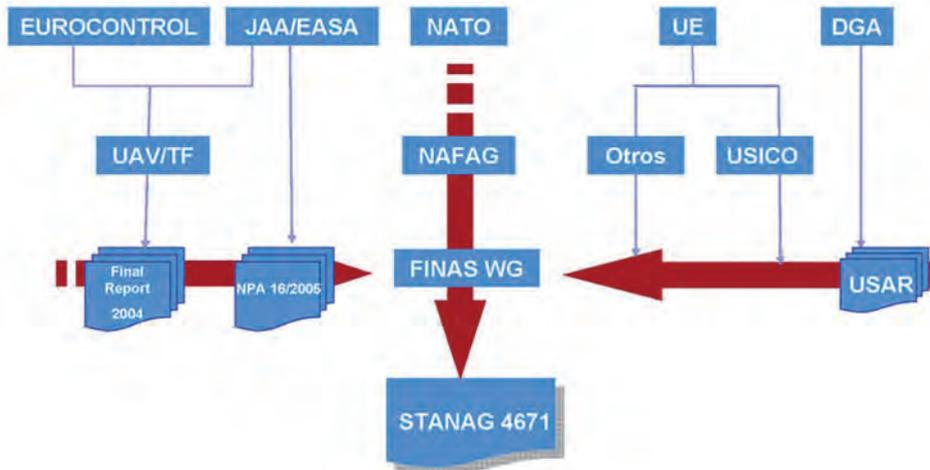
Como resultado de estos trabajos, el 22 de Marzo de 2007, la NATO Standardization Agency (NSA), publicó el STANAG 4671 Edición 1, refrendado en Mayo de 2007 por el JCGUAV.

La consecución de este STANAG ha sido posible por la confluencia y armonización de esfuerzos de otros organismos que, con iniciativas similares, apoyaron la creación de la iniciativa FINAS y decidieron que esa fuera la línea a seguir en el área de certificaciones de aeronavegabilidad.

Así, este STANAG, ha tenido en cuenta diversos estudios, normativas e iniciativas al respecto, como:

- JAA Eurocontrol UAV Task Force – Final Report 05/2004
- Airworthiness standard for Unmanned Aerial Vehicles, RAI-UAV – Ente Nazionale Aviazione Civile – (Italy) 1999
- Design standards UAV - Civil Aviation Safety Authority (Australia) 05/2000
- Design and airworthiness requirements for UAV systems – DEF STAN 00-970 Part 9 (UK MOD) 05/2002 Edition 1 5/205
- USICO (Unmanned Safety Issues for Civil Operations)– WP 2400 –Certification review item (CRI) «stall demonstration» 01/2004
- AC23.1309-1C – Equipment, Systems, and Installations in Part 23 Airplanes – FAA. (USA) 03/1999
- TSO C23d – Minimum Performance Standards for Parachute assemblies and Components, Personnel (USA) 07/1992
- Special Conditions; Ballistic Recovery Systems Cirrus SR-20 Installation –14 CFR Part 23 – FAA (USA) 10/1997

La pretensión del STANAG 4671 es proporcionar al UAS un nivel de aeronavegabilidad comparable al de las aeronaves de ala fija tal y como se expresa en la 14 CFR Part 23 o la EASA CS23. El STANAG contiene una serie de requisitos técnicos de aeronavegabilidad aplicables en principio para la certificación de UAS de ala fija con un MTOW entre 150 y 20.000Kg. (Clases II y III), que pretendan integrarse en el espacio aéreo no segregado.



Generación del STANAG 4671

Esta decisión no obstante, deja fuera a un gran número de UAS, la mayor parte de ellos considerados como «Minis», determinados SR (Short Range) y CR (Close Range) y algunos LALE como el Aerosonde, el Silverfox o el Scan Eagle, que en todo caso son aeronaves capaces de superar los 200Km/h de velocidad máxima, los 100Km de alcance y altitudes de vuelo de más de 5.000 m.

El Book II del STANAG recoge los AMC (Acceptable Means of Compliance) y en concreto el AMC 1309 recoge la aplicación del ARP 4761, definiendo las condiciones de fallo y los riesgos aceptables de ocurrencia para Hw, así como los DAL (Development Assurance Level) para el Software, en aplicación de las técnicas de FHA.

Por otro lado, no se han incluido todavía requisitos para los sistemas Sense and Avoid que, como se verá más adelante, son sistemas «sine qua non» para la integración.



El STANAG 4671

		Catastrófico	Peligroso	Mayor	Menor	No afecta a la seguridad
Frecuente	$> 10^{-3}/h$					
Probable	$< 10^{-3}/h$					
Remoto	$< 10^{-4}/h$	Inaceptable				
Extremadamente remoto	$< 10^{-5}/h$			Aceptable		
Extremadamente improbable	$< 10^{-6}/h$					

STANAG 4671: Probabilidad y gravedad de la condición de fallo

Valor de DAL para el Sistema y cada parte de la arquitectura del sistema		Grado de Redundancia	
		Error/Fallo simple	Error/Fallo múltiple
Clasificación de la Condición de Fallo	Catastrófico	DAL B	DAL B para el Sistema DAL C para cada parte
	Peligroso	DAL C	DAL C para el Sistema DAL D para cada parte
	Mayor	DAL D	DAL D para el Sistema DAL D para cada parte
	Menor	DAL E	DAL E para el Sistema DAL E para cada parte
	Sin efecto en la seguridad	DAL E	

STANAG 4671: Asignación del DAL

4. Cualificación de operadores

La regulación relativa a la cualificación de las tripulaciones y el personal de mantenimiento de aeronaves tripuladas convencionales se da en las JAR FCL (Flight Crew Licences) en Europa y en el 14 CFR Parts 61, 63, 65 y 67 en USA.

Estos documentos definen los estándares de cualificación para asegurar que, adicionalmente al mantenimiento de la aeronavegabilidad de la plataforma, la tripulación también ha sido instruida por una autoridad competente, a través de un programa adecuado y que se mantiene un proceso de formación continuada.

En relación a la organización de mantenimiento, en la aviación convencional, los requisitos correspondientes están recogidos en las JAR 145, los correspondientes a las organizaciones de adiestramiento en el mantenimiento están recogidas en las JAR 147 y los correspondientes a los técnicos de mantenimiento, en las JAR 66.

Para UAS no se prevén grandes desviaciones sobre lo establecido para aeronaves tripuladas, no obstante el grupo FINAS ha elaborado un borrador de estándar relativo al adiestramiento de los operadores del UAS, el STANAG 4670 (Recommended Guidance for the Training of Designated UAV Operator (DUO), también en fase de ratificación.

5. Reglas del aire

Los requisitos para que una aeronave tripulada, ya certificada para el vuelo, pueda utilizar el espacio aéreo, se establecen en el Anexo 2 de OACI (Rules of the Air) y los servicios de tráfico aéreo requeridos y proporcionados a la aeronave en función del espacio aéreo que ocupa, en el Anexo 11 de OACI (Air Traffic Services).

5.1. Servicios de tráfico aéreo

El Anexo 11 de OACI establece la provisión de servicios de tráfico aéreo al objeto de, entre otros, prevenir colisiones entre aeronaves, prevenir colisiones u obstrucciones en las áreas de maniobra, mantener un tráfico aéreo fluido, proporcionar avisos e información útil para la consecución de un vuelo seguro y notificar a los organismos apropiados en caso de necesidad sobre actividades de búsqueda y salvamento así como colaborar con dichos organismos.

El Servicio de Tráfico Aéreo comprende tres servicios diferenciados en función de la zona de actuación: Air Traffic Control (ATC), Servicio de Información en Vuelo y Servicio de Alerta, de los que el ATC es más relevante en relación a la integración de los UAS.

El servicio de ATC desarrolla su actividad dentro del denominado espacio aéreo controlado, en el que las actuaciones o responsabilidades del ATC varían en función del área de interés de este control, por lo que se suelen diferenciar el Control de Aproximación (APP), el Control de Aeródromo (TWR) y el Control de Área (ACC).

- APP-Control de Aproximación: el controlador APP se encarga del control radar de las aeronaves en las fases de espera, aproximación, salida y llegada, y es el nexo de unión entre el control en vuelo (ACC) y el control de aeródromo (TWR).
- TWR-Control de Aeródromo: el controlador de aeródromo o de torre, se hace cargo del tráfico aéreo que evoluciona en las proximidades del aeropuerto y de cualquier desplazamiento que se realiza por la pista, calles de rodaje y áreas de maniobra. El trabajo se realiza en condiciones visuales y con dotación de radar en algunos aeropuertos.
- ACC- Control de Área: el controlador de área controla las aeronaves que operan en condiciones de vuelo «en ruta» y ejerce el control desde que las aeronaves le han sido transferidas por el APP hasta que las vuelve a transferir a este servicio de control. El control de área está dividido en zonas y rutas.

5.1.1. ESPACIO AÉREO

La clasificación del espacio aéreo se proporciona en el Anexo 11 de OACI (13ª edición, julio 2001), donde el espacio aéreo para el que se proporciona servicio ATS (Air Traffic Service) se divide en «controlado» y «no controlado».

El espacio aéreo controlado comprende las áreas de control, aerovías y zonas de control y se clasifica en clase A, B, C, D y E, en función del tipo de vuelo y los servicios de tránsito aéreo facilitados.

El espacio aéreo no controlado comprende el resto del espacio aéreo ATS y, en función del tipo de vuelo y los servicios de tránsito aéreo facilitados, se clasifica en clase F y G.

Como vemos, el Anexo 11 de OACI no establece los límites de altitud o niveles de vuelo de cada zona de espacio aéreo, siendo éstos variables.

En España y para la CAO (Circulación Aérea Operativa), el Espacio Aéreo Controlado comprende las FIR/UIR de Madrid, Barcelona y Canarias entre FL150 y FL460, excepto zonas peligrosas, prohibidas y restringidas, las aerovías, las áreas de control terminal, zonas de control y zonas de tránsito de aeródromo definidas en las publicaciones de información aeronáutica civiles o militares. En el espacio aéreo controlado se suministra servicio de control de tránsito aéreo a la CAO, de acuerdo con las normas de RCAO (Reglamento de la Circulación Aérea Operativa). En el espacio aéreo no controlado que comprende el resto del espacio aéreo no incluido anteriormente, se suministra servicio de asesoramiento anticolidión a la CAO, de acuerdo con las normas de RCAO, en la medida que los medios técnicos lo permitan.

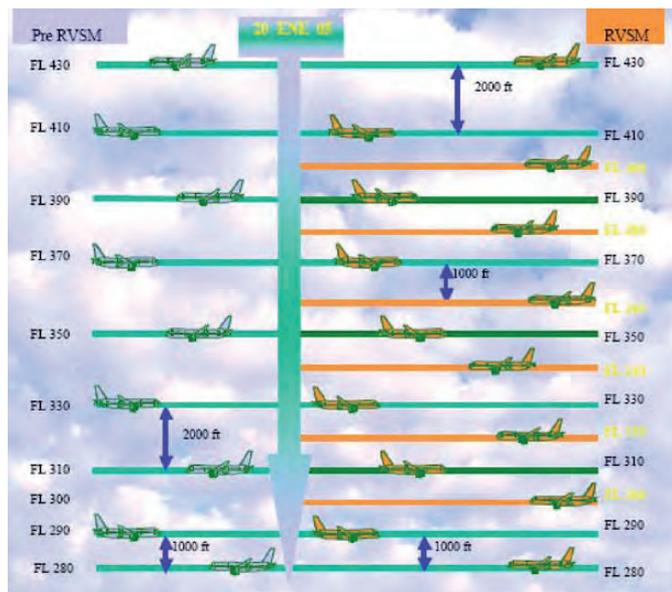
Las altitudes o niveles de vuelo que marcan los límites superiores e inferiores de las diferentes clases de espacio aéreo varían en función del tipo de tráfico (GAT/OAT), o de si se trata de entornos aeroportuarios o TMA. Las clases de espacio aéreo se caracterizan, además de por los servicios de tráfico aéreo suministrados, por las velocidades

Anexo 11 de OACI (13ª edición, julio 2001)					
CLASE	TIPO DE ESPACIO	TIPO DE VUELO	SEPARACIÓN	SERVICIO SUMINISTRADO	SUJETO A AUTORIZACIÓN DEL ATC
A	CONTROLADO	IFR	PARA TODAS LAS AERONAVES	ATC	SI
B		IFR			
		VFR			
		VFRN			
C		IFR	IFR/IFR IFR/VFR IFR/VFRN		
		VFR	VFR/VFR	1-ATC para separación de IFR 2- Información de Tránsito VFR/VFR (y asesoramiento anticollisión a solicitud)	
		VFRN	VFR/VFR VFRN/VFRN	ATC	
		IFR	IFR/IFR IFR/VFRN	ATC incluso información de tránsito sobre vuelos VFR (y asesoramiento anticollisión a solicitud)	
D		VFR	NINGUNA	1-ATC 2- Información de Tránsito VFR/VFR y VFR/VFR (y asesoramiento anticollisión a solicitud)	
		VFRN	VFRN/IFR VFRN/VFRN	ATC	
	IFR	IFR/IFR IFR/VFRN	ATC e información de tránsito sobre vuelos VFR en la medida de lo posible		
E	VFR	NINGUNA	Información de tránsito aéreo en la medida de lo posible	NO	
	VFRN	VFRN/IFR VFRN/VFRN	ATC	SI	
F	CON SERVICIO DE ASESORAMIENTO	IFR	IFR/IFR IFR/VFRN ^e siempre que sea factible	Servicio de asesoramiento de tránsito y servicio de información en vuelo	NO
		VFR	NINGUNA	Servicio de información en vuelo	
		VFRN	VFRN/IFR ^e VFRN/VFRN siempre que sea factible		
G	SERVICIO DE INFORMACIÓN EN VUELO	IFR	NINGUNA		
		VFR	NINGUNA		
		VFRN	NINGUNA		

Espacio aéreo y servicios proporcionados

máximas autorizadas en cada uno de ellos y por los niveles de vuelo permitidos.

Los niveles de vuelo (FL) indican diferentes altitudes de las rutas aéreas seguidas, entre las cuales es preciso mantener una determinada separación vertical o VSM (Vertical Separation Mínima), de modo que los niveles de vuelo se separan 1000 ft hasta el FL 290 y 2,000 ft a partir del FL290. No obstante, dado que la tecnología lo permite y al objeto de optimizar el uso del espacio aéreo, desde 2005 se han habilitado nuevos FL, separados todos ellos 1,000ft creando 6 nuevos niveles entre FL290 y FL410, por encima del cual la separación vertical vuelve a ser de 2,000 ft. Esta nueva distribución de niveles de vuelo se conoce como RVSM (Reduced Vertical Separation Mínima)



Niveles de vuelo y separaciones verticales mínimas (VSM)

5.2. Reglas del aire

El Anexo 2 de OACI establece, entre otros, el comportamiento exigido a las aeronaves en función del espacio aéreo que ocupan, define las condiciones de vuelo IFR (Instrumental Flight Rules) o VFR (Visual Flight Rules), define las distancias mínimas a mantener en diferentes condiciones de vuelo, define las VMC (Visual Meteorological Conditions) o IMC (Instrumental Meteorological Conditions), los servicios de tráfico proporcionados, etc.

Las VMC son las condiciones requeridas para vuelos con referencias visuales o VFR, mientras que las condiciones IMC son las condiciones que exigen normalmente el uso de instrumentos de navegación, bajo reglas

IFR. En vuelos IFR el piloto tiene la responsabilidad sobre el mantenimiento de la separación de seguridad con otras aeronaves y el ATC no le proporciona rutas o altitudes de vuelo, fuera del espacio aéreo controlado que no sea de la clase E. No se autorizan vuelos VFR por encima del FL 200 o a velocidades transónicas o supersónicas.

El cumplimiento de estas reglas del aire, exige al piloto, independientemente del espacio aéreo que ocupe o de las condiciones de vuelo, la observación del entorno en evitación de obstáculos o de tráfico aéreo con trayectorias conflictivas. Esta acción se denomina genéricamente See and Avoid, que se transforma en Sense and Avoid cuando la capacidad de observación se obtiene o refuerza mediante sensores o mediante el intercambio automático de información entre aeronaves, lo que se denomina genéricamente como ACAS (Airborne Collision Avoidance System) (7), sistema impuesto por OACI en determinadas regiones aéreas, con diferentes capacidades, como se explica en la Parte III de este documento (Capacidad Sense and Avoid). En el apartado 3.2.2 del Anexo 2 de OACI, denominado «derechos de paso», se establece que una aeronave que tenga el derecho de paso, deberá mantener su rumbo y velocidad, pero no se exime al piloto de la responsabilidad de ejecutar dicha acción, incluyendo la ejecución de maniobras que se basen en la información proporcionada por ACAS.

Este sistema de S&A será complementario a otros sistemas o procedimientos existentes, no obstante, la información proporcionada por este sistema tiene prioridad sobre la información relativa a la evitación de colisiones que pueda dar el ATC.

5.3. Reglas del aire para UAS y especificaciones de Eurocontrol

La situación del UAS frente a otro tráfico aéreo, en las diferentes condiciones de vuelo, se resume en la tabla adjunta.

Entre las iniciativas reguladoras sobre la integración de UAS en el espacio aéreo no segregado, la más significativa, como se detallará más adelante, es el desarrollo de las «Specifications for the use of Military Unmanned Aerial Vehicles as Operational Air Traffic Outside Segregated Airspace». Estas especificaciones, publicadas en 2006 por un grupo de trabajo denominado Eurocontrol UAV-OAT-TF, están centradas en las relaciones entre el UAS y el ATM del tráfico aéreo militar, como tráfico operativo (OAT), no

(7) Los procedimientos operativos del ACAS se dan en la PANS-OPS Doc. 8168.

			UAS			
			VFR		IFR	
			VMC	IMC	VMC	IMC
Otras aeronaves	VFR	VMC	Se requiere S&A	No permitido	Se requiere S&A	
		IMC	No permitido	No permitido	No permitido	No permitido
	IFR	VMC	Se requiere S&A	No permitido	Se requiere S&A	
		IMC		No permitido		Ambas aeronaves se comportarían como UAS

Condiciones de vuelo y necesidades de Sense and Avoid

general y se complementará con los estudios que otras agencias están llevando a cabo sobre certificaciones, adiestramiento de tripulaciones, etc.

Estas especificaciones pretenden ser una adaptación de las reglas del aire a los UAS y como tal, se interesan por las reglas de vuelo, las separaciones mínimas a mantener, el Sense and Avoid etc, tal y como se dice en la Parte IV de este Documento. Damos aquí las especificaciones más características relativas a la reglas del aire y a la función de Sense and Avoid:

Especificación UAV4: Los UAS deberán asumir las reglas VFR e IFR del mismo modo que las aeronaves pilotadas en vuelos de OAT. Para vuelos VFR el «piloto al mando» (8) del UAS deberá poseer la capacidad de evaluar las condiciones meteorológicas para el vuelo.

Especificación UAV5: Los UAS se regirán por las mismas reglas de paso que el resto de los usuarios del espacio aéreo.

Especificación UAV6: Para vuelos OAT en IFR en espacio aéreo controlado, el aseguramiento de las distancias mínimas de separación de realizará a través de las instrucciones del ATC. No obstante pueden darse instrucciones adicionales para eludir tráfico conflictivo con aeronaves desconocidas.

Especificación UAV7: Para vuelos OAT en VFR, el piloto al mando utilizará la información de vigilancia disponible para ayudar a establecer la separación mínima y la evitación de tráfico conflictivo. Adicionalmente se proporcionará asistencia técnica al piloto al mando para permitirle mantener

(8) La expresión «piloto al mando» hace referencia al personal operador responsable del vuelo de la plataforma, ubicado en la estación de control en tierra.

condiciones VMC y detectar y evitar tráfico conflictivo. Un sistema automático deberá proporcionar «collision avoidance» en caso de pérdida del enlace de comunicaciones de control de la aeronave.

Especificación UAV8: Un sistema de Sense and Avoid para UAV deberá permitir al piloto al mando del UAV el mantenimiento de la distancia de separación y las acciones de evitación de tráfico que son, normalmente ejecutadas por el piloto en aeronaves tripuladas, y deberá llevar a cabo estas maniobras de evitación en modo autónomo, si las medidas de mantenimiento de la distancia mínima no pueden ejecutarse por cualquier razón. El sistema de Sense and Avoid deberá permitir alcanzar un nivel equivalente de seguridad (ELOS) (9) al de una aeronave pilotada.

Especificación UAV9: El sistema de Sense and Avoid del UAV notificará al «piloto al mando» cuando otra aeronave tenga previsto pasar a una determinada distancia mínima del UAV. Y deberá hacerlo con el suficiente tiempo de antelación para permitir al «piloto al mando» del UAV maniobrar para eludir ese tráfico al menos a la distancia declarada o, excepcionalmente, permitir al sistema embarcado maniobrar el UAV de modo autónomo.

Especificación UAV10: Las funciones de proporcionar separación y evitación de tráfico en un sistema de Sense and Avoid serán independientes la una de la otra siempre que sea posible. En la ejecución de dichas funciones, no deberán interferirse entre ellas.

Especificación UAV11: en el espacio aéreo controlado, en que el ATC proporciona la separación, la separación mínima entre UAVs operando en condiciones IFR y otro tráfico operando en IFR deberá ser, al menos, la misma que para aeronaves tripuladas volando como OAT en la misma clase de Espacio Aéreo.

Especificación UAV12: cuando el piloto al mando del UAV sea responsable de mantener la separación, esta deberá ser, excepto en operaciones en entorno aeroportuario, de al menos 0,5 NM lateralmente y 500 ft verticalmente, entre el UAV y cualquier otro usuario del espacio aéreo, independientemente de cómo se detecte el tráfico conflictivo y de si ha sido anunciado o no por un sistema de Sense and Avoid.

Especificación UAV13: cuando un UAV inicie una maniobra de evasión de tráfico en modo autónomo, deberá alcanzar las mismas distancias segu-

(9) Este ELOS se mide en número de incidentes de diferente gravedad por horas de vuelo.

ras que las indicadas para el ACAS. El sistema deberá ser compatible con ACAS (10).

6. Comunicaciones del UAS

Dada la importancia de las comunicaciones del UAS para su integración, se proporciona a continuación una breve exposición del entorno de comunicaciones necesarias en la operación de un UAS de las categorías objeto de integración. Aunque cada UAS deberá disponer de un Concepto de Operación específico, que determinará con precisión su entorno operacional y de comunicaciones, un UAS tipo MALE/HALE deberá disponer de un conjunto de enlaces, como muestra la figura adjunta.

- Enlaces de datos para el control de vuelo y el control de la misión (carga útil).
- Enlaces de datos para la monitorización del estado del sistema.
- Enlaces de datos para la recepción de los datos recabados por la carga útil
- Enlaces de voz y datos con el ATC
- Enlaces de datos con redes externas (C4I, AOC, CAOC, C2 tácticos etc) para la asignación de tareas o la diseminación de la información



Enlaces de voz y datos del UAS

(10) Este requisito no parece tener en cuenta que ACAS solo proporciona RA (Resolution Advisories) verticales y que al S&A se le exigen RA verticales y horizontales.

Todo este conjunto de comunicaciones no se precisa de modo simultáneo, pero aún y así estas comunicaciones ocupan un ancho de banda (rango de frecuencias en el que se concentra la mayor parte de la energía de la señal) que puede ser difícil de gestionar.

Los enlaces de Mando y Control (C2) entre la estación de tierra y la plataforma, se caracterizan por la necesidad de una alta disponibilidad frente a la pérdida de contacto con la plataforma, lo que obliga al uso de antenas omnidireccionales y de medidas de protección del enlace frente a perturbaciones o intrusiones. La cantidad de datos a transferir en este tipo de enlaces, disminuye a medida que se dota al sistema de más autonomía de vuelo.

El enlace de datos para la monitorización del estado del sistema (velocidad, altitud, rumbo, etc) es principalmente unidireccional «down-link» y solo precisa protección frente a la pérdida de datos o su integridad.

Los enlaces para la recepción de los datos solicitados de los sensores (Data Transfer), consumen un gran ancho de banda dadas sus especiales características (normalmente los sensores embarcados en la plataforma son de tipo electro-óptico, infrarrojo, o sensores radar/SAR y SAR MTI). Para reducir el ancho de banda requerido, se recurre a técnicas de preprocesado o de compresión de datos a bordo, antes de su descarga a tierra.

En las comunicaciones vía satélite, se utilizan las bandas C, Ku (de uso civil y militar) y la banda X (de uso exclusivamente militar), en combinación con los denominados Fixed Satellite Service (FSS), que operan en las bandas X, C, Ku y Ka.

6.1. Espectro electromagnético

El UAS como se ha visto, utiliza parte del espectro electromagnético para mantener contacto con la plataforma y sus sensores, para controlarla y para «descargarse» la información recolectada por sus sensores. Este uso supone la ocupación de determinadas frecuencias y ancho de banda, siendo éste más importante en el caso de la descarga de información de vigilancia (imágenes fijas o de video y datos radar) que en el caso de los enlaces de mando y control.

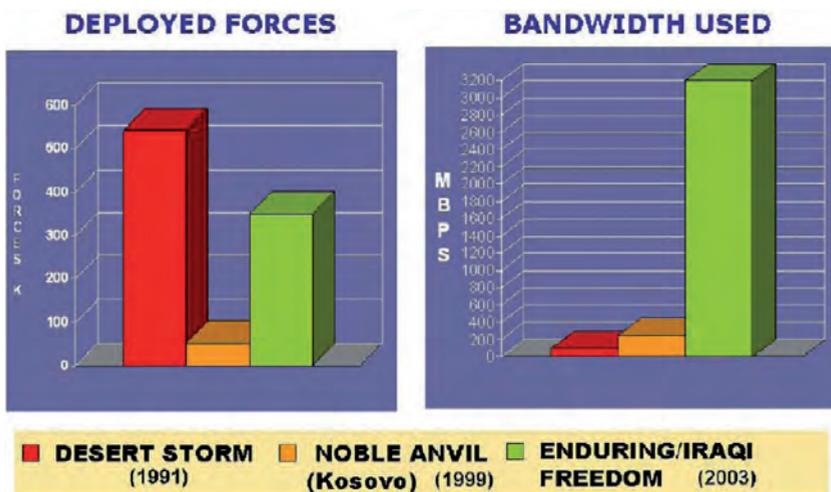
Esta gran diversidad de enlaces puede provocar problemas de disponibilidad o interferencias entre equipos durante su operación, o de restric-

ciones en el uso de los enlaces, lo que implicaría la priorización de determinados enlaces (limitando la operación simultánea) o la limitación en la cantidad o calidad de la información transmitida o recibida, más si tenemos en cuenta la posibilidad de escenarios con diversos UAS o con operaciones conjuntas con aeronaves tripuladas, o limitaciones en la seguridad. Así, por ejemplo, una insuficiente disponibilidad de ancho de banda puede obligar al operador del UAS a renunciar a la descarga de imágenes de vídeo o datos radar vía satélite para más de un solo UAS al mismo tiempo.

Esta dificultad se incrementa cuando los fabricantes de los equipos de comunicaciones ofrecen sistemas que no puedan ser conmutados a diferentes frecuencias en función de la disponibilidad de ancho de banda. Por ejemplo, se está abandonando la banda C en beneficio de la banda Ku menos congestionada (caso del Shadow o del Predator).

Así pues, es un importante requisito a tener en cuenta en futuros desarrollos de UAS, la posibilidad de disponer de enlaces que puedan utilizar más de una banda, en previsión de futuras restricciones en la operación.

Un ejemplo significativo: un solo Global Hawk consume alrededor de 500 Mbps de ancho de banda en comunicaciones por satélite, lo que representa más de cinco veces el consumo total de ancho de banda de las fuerzas norteamericanas durante la operación «Tormenta del Desierto».



Ancho de banda consumido (11)

(11) Presentación de SELEX en el ciclo de conferencias «UV2007» de París, Junio de 2007

6.2. *Asignación de frecuencias*

A día de hoy no existen frecuencias o anchos de banda internacionalmente acordadas dedicadas a las operaciones con UAS (como existen para la aviación convencional), en particular para su mando y control.

Los cambios o ampliaciones al espectro de frecuencias que se utilizan en aviación deben proponerse para su aprobación en el seno de la International Telecommunications Union (ITU) de la World Radio Telecommunications Conference (WRC), que se reúne cada cuatro años.

La Conferencia que ha tenido lugar en Octubre-Noviembre de 2007 no ha tratado la asignación de frecuencias para los UAS, quedando el tema pospuesto a la Conferencia de 2011.

En este periodo intermedio la Federal Aviation Administration (FAA) ha encargado al Special Committee 203 (SC 203) de la RTCA el desarrollo de recomendaciones sobre estándares relativos a C3 (Command, Control & Communication), con vistas a la próxima Conferencia del WRC en 2011. Simultáneamente el EUROCAE, a petición de EASA y Eurocontrol a través de su WG73 colaborará en ese estudio sobre el espectro de frecuencias requerido para UAS.

Por ultimo, la OACI ha creado el «UAS Study Group» que junto a Eurocontrol deberá liderar estas propuestas para asegurar una solución en el 2011.

6.3. *Comunicaciones UAS/ATC*

Las comunicaciones entre una aeronave y el ATC son básicamente comunicaciones voz, pero están ya en uso comunicaciones de Data Link entre la aeronave y el ATC, o entre la aeronave y las compañías aéreas o los proveedores de servicios aeronáuticos del ATS. Sistemas como el ACARS (Aircraft Communication Addressing and Reporting System), o el FANS 1-A o en breve el ATN, permiten a la aeronave intercambiar con el ATC más información relativa a la trayectoria de vuelo contenida en el Flight Management System (FMS) de la aeronave.

El FMS en aviación convencional, contiene bases de datos con todos los «way-points» y ayudas a la navegación existentes en el área respectiva, y las posibles desviaciones o cambios en la misma, información que puede actualizarse en todo momento.

La posibilidad de pérdida del enlace con el UAS, obliga a exigir a éste determinado grado de autonomía, sobre todo en lo que se refiere al mantenimiento de distancias seguras y en la evitación de colisiones. En este aspecto, el grado de autonomía debe cubrir asimismo la contingencia de un retardo excesivo de la señal entre el UAS y el piloto al mando en tierra, a la hora de ejecutar una acción en evitación de tráfico conflictivo.



SISTEMA DE OBSERVACIÓN Y
PROSPECTIVA TECNOLÓGICA

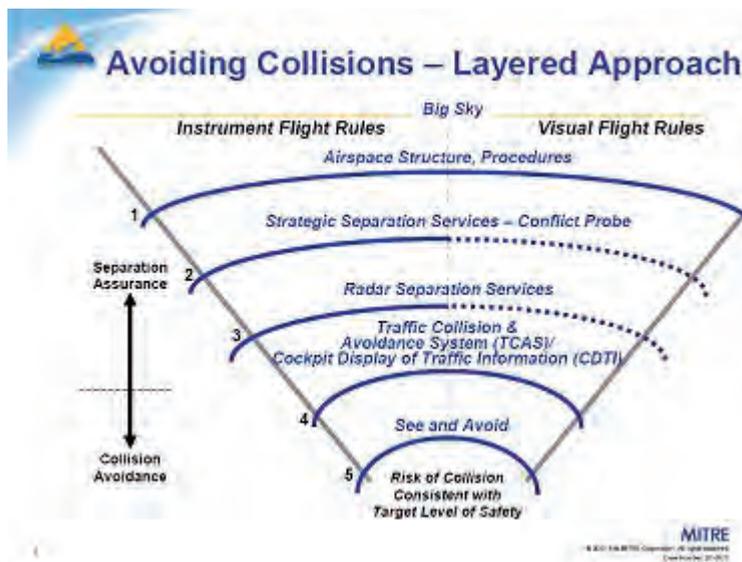
PARTE III

LA CAPACIDAD SENSE AND AVOID

1. Introducción

Todos los estudios desarrollados o en desarrollo sobre integración de UAS (ver la Parte IV de este documento) en el espacio aéreo no segregado, incluyen la necesidad de especificar requisitos para esta capacidad de Sense and Avoid, clave para permitir a la plataforma comportarse, en la mayor parte de las situaciones, como si hubiera un piloto a bordo asegurando el mantenimiento de las separaciones mínimas requeridas, con un nivel de seguridad equivalente al de las aeronaves tripuladas

La función de observación del espacio aéreo cercano para evitar obstáculos y conflictos entre trayectorias, se denomina genéricamente Sense and Avoid, e implica dos acciones claramente diferenciadas.



Mantenimiento de las distancias de seguridad y riesgo de colisión (1)

(1) Seminario 7th ATM R&D sobre «Unmanned Aircraft Collision Avoidance Technology Assessment & Evaluation Methods». Barcelona Julio de 2007.

La función Sense se refiere a la observación del «intruso», para obtener la máxima información sobre sus características y régimen de vuelo (en el mejor de los casos la identificación del vuelo, posicionamiento, rumbo y su velocidad). En vuelos tripulados visuales VFR, esta función se realiza a simple vista y a través de enlaces vía radio. En vuelos IFR o VFRN se precisan sistemas de ayuda a la visión del piloto.

La función Avoid se encarga de analizar y procesar la información proporcionada por el Sense, decidir si el tráfico detectado es o no conflictivo (si existe riesgo de colisión o no) y en caso afirmativo, proponer al piloto (que en caso de los UAS estará en la estación de tierra, como piloto al mando) o ejecutar de modo autónomo, las acciones elusivas necesarias para asegurar la adecuada separación de tráfico. Este proceso puede realizarse de modo natural o con ayuda de procesadores con los algoritmos de análisis apropiados para ayudar a la toma de decisiones del piloto.

En realidad el sistema de Sense and Avoid debe llevar a cabo dos modos diferenciados en lo que a separaciones entre aeronaves se refiere: modo de evitación de una posible colisión (Collision avoidance mode) y modo de mantenimiento de la separación (Separation mode).

En el modo de evitación de una posible colisión el Sistema de Sense and Avoid actúa a corta distancia y deberá ser capaz de detectar tráfico conflictivo con el suficiente tiempo de antelación como para llevar a cabo una maniobra elusiva, entendiendo por tráfico conflictivo aquél cuya trayectoria prevista pasaría a 500 ft o menos del UAS, verticales u horizontales. En el modo de separación el Sense and Avoid permitirá el mantenimiento de las adecuadas distancias mínimas con el resto del tráfico, IFR o VFR. Este modo actúa a más larga distancia del intruso.

La ejecución de esta función Sense and Avoid y la tecnología que permite su realización en modo automático o semiautomático, dependen en gran medida de las características del tráfico que se mueve en el espacio aéreo correspondiente. Así, se habla de Sense and Avoid en modo cooperativo o para tráfico cooperativo, lo que implica que las aeronaves en posible conflicto se reconocen mutuamente e intercambian sus datos de posicionamiento, rumbo o velocidad (en el mejor de los casos) o bien reportan, a través del Radar Secundario y Transponedor, a una estación en tierra que hace de intermediaria en este reconocimiento mutuo. Una vez realizado el reconocimiento mutuo, actúa el Avoid para sugerir u ordenar las maniobras elusivas correspondientes asegurando la separación requerida entre aeronaves.

Pero no siempre es posible este diálogo coordinado, pues basta que una de las aeronaves no disponga de ningún sistema para anunciar su presencia, para que las demás aeronaves no puedan activar sus sistemas Sense and Avoid cooperativos. Se habla entonces de modo no cooperativo o tráfico no cooperativo, lo que implica que cada aeronave debe detectar por sus propios medios la presencia del intruso y sus características de vuelo para poder actuar en consecuencia.

Para el tráfico cooperativo en aviación convencional, existen soluciones Sense and Avoid automatizadas, certificadas por las autoridades aeronáuticas y de uso obligado en determinadas regiones y espacios aéreos, como por ejemplo el Sistema TCAS o sistemas de información de tráfico (como el ADS o el TIS). Sin embargo, para el tráfico «no cooperativo», no existe hoy por hoy ni la apropiada regulación internacional, ni especificaciones técnicas que faciliten la certificación de los sistemas Sense and Avoid que puedan desarrollarse.

2. Sense and Avoid para UAS (2)

Como se ha mencionado anteriormente, la regulación emitida hasta ahora en relación a la integración de UAS es escasa y más en lo que se refiere a los sistemas de Sense and Avoid para UAS, limitándose a requerir el cumplimiento de las Reglas del Aire y derechos de paso ahí establecidos, así como las especificaciones de Eurocontrol contenidas en el «Eurocontrol Specifications For The Use Of Military UAV as Operational Air Traffic Outside Segregated Airspace» mencionado anteriormente y que se resumen a continuación:

- Los UAS deben cumplir las reglas del aire de la misma manera que aplican al resto de usuarios del espacio aéreo.
- El sistema Sense and Avoid debe alcanzar un nivel de seguridad equivalente al de una aeronave tripulada.
- El piloto al mando del UAS deberá utilizar la información de vigilancia para ayudarle a conseguir la distancia de separación y evitar la colisión.
- Adicionalmente, se deberá proporcionar asistencia técnica al piloto al mando que le permita mantener VMC y detectar y evitar tráfico conflictivo.

(2) *Parte de la información aquí contenida procede de los resultados del Proyecto de la EDA denominado «Technology Demonstration Study On Sense & Avoid Technologies For Long Endurance Unmanned Air Vehicles» con participación de la empresa española Espelsa.*

- El sistema Sense and Avoid debe contemplar un modo automático de operación que debe evitar la colisión y asegurar la distancia de separación en caso de pérdida de enlace de datos de control.
- EL sistema Sense and Avoid debe ser compatible con ACAS y cuando inicie una maniobra de evasión autónomamente debería alcanzar distancias de separación similares a las diseñadas para el ACAS.

De estas especificaciones básicas se deducen una serie de características del Sense and Avoid para UAS, en cuanto a sus interfaces externas:

- El sistema Sense and Avoid debe ser un sistema embarcado en el UAS, pues de otra forma no podría ser autónomo.
- El sistema deberá estar conectado con su estación de control en tierra para poder asistir al piloto al mando, enviándole la información de los posibles intrusos que detecten sus sensores y su posible peligrosidad en función de la trayectoria que sigan y su proximidad.
- El Sense and Avoid debe estar comunicado al FMS (Flight Management System), al objeto de disponer de información para una correcta predicción de las situaciones conflictivas (al menos la posición y la velocidad del UAS).
- El sistema Sense and Avoid deberá calcular una posible maniobra de evasión que deberá ser compatible con las limitaciones y actuaciones propias del UAS y acordes con las actuales condiciones de vuelo.
- Del sistema de comunicaciones se requiere conocer si se ha perdido o no el enlace con la estación de control en cuyo caso el sistema deberá poder funcionar en modo autónomo.
- El sistema Sense and Avoid deberá, caso de detectarse una situación conflictiva, proporcionar información a otros sistemas, como el FMS para ejecutar la maniobra de evasión calculada, así como al «piloto al mando» en tierra para la aprobación o cancelación de la maniobra.

Por otro lado debe existir un intercambio de información entre los subsistemas Sense y Avoid, pues el subsistema Avoid necesita recibir del subsistema Sense al menos la posición (absoluta o relativa) e instante en el que se detectan los intrusos y si fuera posible, su velocidad.

El cumplimiento de las reglas de derecho de paso, exigiría al subsistema Sense la capacidad de determinar la categoría de los intrusos y su posible estado de emergencia, aunque en su defecto podría asumirse que el UAS deberá ceder el paso a cualquier tipo de aeronave independientemente del sector por el que se aproxime y su posible estado de emergencia, siempre que se estime que se producirá una situación conflictiva.

2.1. Subsistema Sense

El subsistema Sense es el encargado de detectar a los posibles intrusos y determinar con la mayor precisión posible la posición de los intrusos y si es posible su velocidad y categoría.

Con el fin de alcanzar un nivel de seguridad aceptable y teniendo en cuenta las características y condiciones de vuelo tanto de los propios UAS como del resto de usuarios del espacio aéreo, es necesario establecer la cobertura visual o campo de visión del sistema, independientemente de la tecnología utilizada.

Aquí se ofrecen algunos de los parámetros de cobertura o campo de visión del sistema «sense» que se han planteado en diferentes aproximaciones:

Campo de Visión		
Fuente	Azimut	Elevación
OACI Reglas del Aire. Sección 3.2.2.4	+/- 110 ^o	Sin guía
ACC/DR-UAV SMO Requisitos de Sense and Avoid para ROA (Junio de 2004)	+/- 110 ^o	+/- 15 ^o
ASTM 2411.04 Standard Specification for Design and Performance of an Airborne Sense-and-Avoid System	+/- 110 ^o	+/- 15 ^o
US DoD Oficina de Programa de Normalización	+/- 110 ^o	+/- 15 ^o
FAA P-8740-51 Howto Avoid a Mid-Air Collision	+/- 60 ^o	+/- 10 ^o
International Standards, Rules of the Air, Section 3.2 (ICAO)	+/- 110 ^o	Sin guía
FAA Advisory Circular 25.773-1 (Transport Aircraft Design)	+/- 120 ^o	Variable: +37 -25 ^o (varía con el azimut)

Campos de visión para Sense

2.1.1. TECNOLOGÍAS PARA LA FUNCIÓN SENSE

Existen diversos tipos y tecnologías de sensores utilizables en el subsistema Sense, entre los que cabe destacar: sensores radar, sensores electro-ópticos, sensores Ladar, sensores acústicos y sistemas cooperativos. Normalmente se deberán combinar diferentes tipos de sensores e integrar la información generando la entrada adecuada para los procesadores encargados de la función Avoid.

El uso de un radar de microondas o de onda milimétrica en funciones de Sense tiene la ventaja de proporcionar gran precisión en la distancia y velocidad relativa de los intrusos. Pero presentan inconvenientes muy relevantes, como un peso y consumo elevados y necesitar grandes antenas para detectar objetos pequeños, de modo que cuanto menor es la antena, menor es la precisión obtenida, por lo que esta solución solo parece adecuada para UAS de gran tamaño. Por otra parte, tienen una pobre resolución angular lo que dificulta la estimación correcta de la trayectoria del intruso y su posible colisión con el UAS.

El radar láser es capaz, como en el caso del radar milimétrico, de proporcionar distancias precisas y de obtener, mediante la emisión de múltiples pulsos y la comparación de datos, la velocidad del objeto en cuestión. Su ventaja es la precisión del cono de radiación, aunque su capacidad de barrido es escasa por lo que se precisarían varios sistemas láser para obtener la misma relación que para un radar. Por otro lado, estos sensores son muy sensibles a las condiciones atmosféricas.

Los sensores electro-ópticos presentan dos grandes inconvenientes. El primero es que no son capaces de determinar con precisión la distancia y velocidad del intruso dificultando la estimación correcta de la trayectoria del intruso y su posible colisión con el UAS. El segundo inconveniente es que se ven seriamente perjudicados por condiciones meteorológicas adversas (nubes, niebla, contaminación, noche, etc.). Sin embargo presentan una muy buena resolución angular.

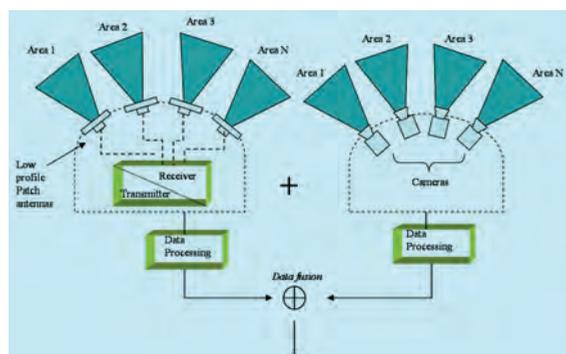
Los sensores infrarrojos embarcables proporcionan a imagen térmica del intruso, aunque presentan problemas para su uso en la función «sense», como es la ausencia de imagen térmica de diversos tipos de aeronaves u objetos potencialmente peligrosos (planeadores, objetos fijos terrestres etc) y la necesidad de cubrir con varios sistemas el área de visión requerida.

Los sistemas acústicos presentan determinadas ventajas, como son una mayor cobertura, posibilidad de detección día y noche a través de nubes, humo o niebla.

Los sistemas denominados «cooperativos» requieren que el intruso vaya convenientemente equipado, lo cual no se puede asegurar en todos los casos por lo que, por si solos, no proporcionan el nivel de seguridad deseado.

La solución parece estar en la combinación de dispositivos radar y electro-ópticos que aúnan las ventajas de ambos y anulan muchas de sus

desventajas. Aunque este tipo de soluciones incrementan considerablemente el coste y el peso del sistema Sense. En la figura siguiente se muestra una posible configuración de un sistema combinado.



Configuración Sense combinada (3)

2.2. Subsistema Avoid

El subsistema Avoid es el encargado de procesar la información que recibe del subsistema Sense y del FMS con el fin de determinar si en un futuro más o menos próximo se puede producir una situación conflictiva y en tal caso plantear una maniobra de evasión. Siguiendo las especificaciones de Eurocontrol, el subsistema Avoid enviará a la estación de control en tierra la información que pudiera ser de interés al piloto al mando (posible tráfico peligroso, trayectoria de la maniobra de evasión calculada, etc.).

Como ya se comentó anteriormente, el subsistema Avoid debe ir embarcado en el propio UAS para permitir un funcionamiento autónomo en caso de pérdida de enlace de datos con la estación de control.

3. Sistemas Sense and Avoid cooperativos

Existen varios sistemas válidos como Sense and Avoid cooperativos en los que la aeronave transmite al entorno o a una estación terrestre, datos de

(3) Del proyecto «Technology Demonstration Study on Sense&Avoid Technologies for LE UAV».

posición, rumbo y velocidad a través de un transpondedor en modo S (4) o de un Data Link específico.

La OACI recomienda, a través de sus «Standards And Recommended Practices» (SARPs), el uso de sistemas anticolidión bajo el concepto ACAS (Airborne Collision Avoidance System) para mejorar la seguridad aérea, actuando como «último recurso» en la previsión de colisiones entre aeronaves. Este es, hoy por hoy, un requisito exigido a los estados miembros de la Conferencia Europea de Aviación Civil (ECAC/CEAC).

El concepto ACAS exige la instalación a bordo de la aeronave de un sistema de «exploración del entorno» de la aeronave (Sense) y un sistema de generación de avisos y ayudas a la toma de decisiones (Avoid), para eludir trayectorias en conflicto, independientemente de la actuación del ATC o de las radioayudas en tierra. Entre ellos los más característicos, hoy por hoy, son el TCAS y el ADS-B.

3.1. Sistema ACAS/TCAS

El sistema Sense and Avoid actualmente en uso más extendido y calificado por las autoridades aeronáuticas internacionales, compatible con el concepto ACAS, es el TCAS en sus diferentes versiones o configuraciones, dependiendo del nivel de implementación requerido bajo el concepto ACAS que haya sido impuesto por las autoridades aéreas internacionales.

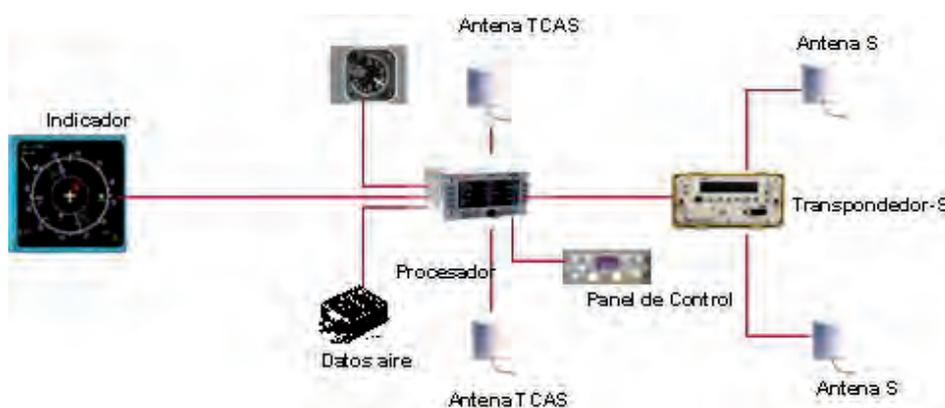
Los sistemas ACAS/TCAS están basados en la exploración del entorno próximo de la aeronave a través de interrogadores o transpondedores en modo S (1030-1090 MHz) y en la evaluación automática (con los algoritmos de proceso apropiados) del riesgo de colisión a partir de la información de distancia y altitud intercambiada entre las aeronaves en conflicto, mediante los respectivos sistemas ACAS/TCAS. El sistema exige pues, que todas las aeronaves en conflicto dispongan de un equipamiento compatible, que garantice un «diálogo» coordinado entre ellas.

(4) *Mientras que el SSR tradicional (Modos A/C) interroga a todas las aeronaves dentro de su zona de cobertura, el SSR Modo S establece interrogaciones selectivas, que mejoran la calidad y la integridad de la detección, la identificación y los datos de altura proporcionados. OACI pretende que la implantación del modo S sea efectiva para vuelos IFR y VFR a partir de Marzo de 2008.*

Existen 3 niveles de funcionalidades ACAS a los que corresponden 3 diferentes equipamientos TCAS:

- ACAS I / TCAS I que proporciona Avisos de Tráfico (Traffic Advisories-TA), al objeto de ayudar al piloto en la búsqueda visual de la aeronave potencialmente conflictiva, en lo que sería la función «sense». Tan solo lo equipan pequeñas aeronaves en algunas regiones.
- ACAS II / TCAS II que proporciona además de los TAs, avisos de Resolución Vertical (Vertical Resolution Advisories –RA), recomendando a las tripulaciones maniobras evasivas (cambios en el nivel de vuelo) para mantener la distancia de seguridad.
- ACAS III aún no implementado, que proporcionaría tanto TAs como RAs en los planos vertical y horizontal. OACI no ha desarrollado aún el correspondiente Standard And Recommended Practice (SARP) para esta funcionalidad ACAS.

Es de destacar que la experiencia obtenida en el uso de este sistema indica que los datos de altitud proporcionados por el TCAS son más precisos que los obtenidos en el ATC a través de radares SSR. Así los datos del Radar Secundario de Vigilancia (SSR) se actualizan cada 4 o 10 segundos, por lo que no se visualizan los cambios bruscos de nivel y además este nivel se obtiene en tramos de 500'. Por el contrario el TCAS II interroga a su proximidad cada segundo, siendo de 4 a 10 veces más rápido que el SSR, y además el Modo S proporciona a la aeronave información de altura en incrementos de 25'.



Equipamiento genérico del TCAS II

Tráfico Cooperativo		Equipamiento de la aeronave	
		TCAS I	TCAS II
Aeronave intrusa	Transpondedor Modo A	TA	TA
	Transpondedor Modo C o Modo S	TA	TA y RA vertical
	TCAS I	TA	TA y RA Vertical
	TCAS II	TA	TA y RA Vertical coordinado

Tráfico cooperativo: información proporcionada

3.2. Sistemas ADS

La OACI define el ADS como «una técnica de vigilancia en la que aeronave suministra automáticamente, mediante enlace de datos, información obtenida a partir de los sistemas embarcados de posicionamiento y navegación, incluidas la identificación de la aeronave, posición 4-D (coordenadas y tiempo) y cualquier otra información adicional que sea necesaria» (5).

Los Sistemas ADS-B (Automatic Dependent Surveillance Broadcast) y ADS-C (Automatic Dependent Surveillance Contract), surgen de la necesidad de superar las limitaciones de los actuales sistemas de vigilancia basados en información radar (primario y secundario) como son la limitación en cobertura, conos de silencio, zonas ciegas, intervalos de detección insuficientes originados por el mecanismo de rotación de las antenas (mejorable con el barrido E-scan), imposibilidad de intercambio de datos de la aeronave, más allá de los que se obtienen con el modo A/C (código y nivel de vuelo), etc.



Esquema ADS

(5) Circular de OACI 256-AN/152

Aunque algunas de estas limitaciones pueden ser resueltas con la implantación del modo S del radar secundario, los sistemas clásicos de vigilancia (ATC) no permiten alcanzar los niveles de capacidad, flexibilidad y eficiencia necesarios para satisfacer los crecimientos de tráfico previstos, por lo que parece conveniente migrar progresivamente a un nuevo modo de llevar a cabo la vigilancia.

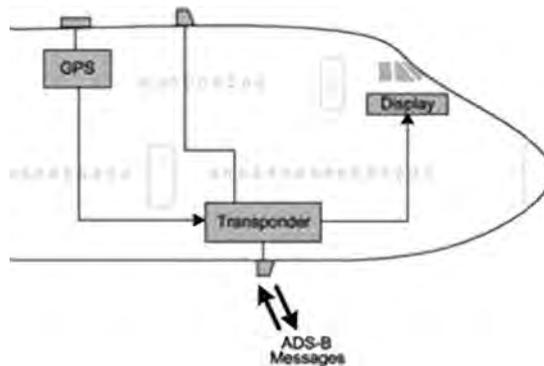
El Sistema ADS se basa en el Sistema de Posicionamiento Global por Satélites (GPS) para determinar la posición en cada momento y permite, mediante la adecuada aviónica embarcada, transmitir (o transmitir y recibir) periódicamente, la identificación, posición, velocidad y otros parámetros de vuelo, de modo totalmente autónomo y con una elevada precisión, tanto a estaciones terrestres (ADS-C), como a otras aeronaves, lo que permite a los usuarios del sistema, disponer de un conocimiento común de su situación relativa respecto de las aeronaves en su entorno. Esta información es actualizada y digitalizada cada pocos segundos y transmitida en modo «radiodifusión» vía data link.

Cualquier aeronave o estación terrestre en un radio de unas 150 NM puede recibir esta información y mostrarla con el interfaz adecuado al receptor. Así, el piloto de otra aeronave puede visualizarla integrada en su cabina a través del Cockpit Display of Traffic Information (CDTI). En aeronaves equipadas con TCAS, éste puede integrar asimismo las señales procedentes del Sistema ADS y una estación en tierra (como el ATC) la puede situar en sus pantallas, junto al resto de información radar.

A diferencia del radar convencional, el ADS puede trabajar a cotas muy bajas o a nivel del suelo por lo que puede utilizarse para el control de aeronaves en tierra, así como en zonas de baja o nula cobertura radar.



Información ADS-B en cabina



Disposición de equipos ADS-B

Tanto Eurocontrol como la FAA han estado evaluando el ADS-B, y actualmente la FAA está en fase de establecer una amplia infraestructura terrestre para esta tecnología.

3.3. Data Link para ADS

Como sistemas de transmisión de datos de la información proporcionada por el ADS-B (Data Link) se están evaluando (por Eurocontrol, la FAA (6) y otras organizaciones) e implementando en determinadas áreas, tres estándares:

- Very High Frequency Data Link Mode 4 (VDL-Modo 4)
- Mode S 1090 Extended Squitter (ES)
- Universal Access Transceiver» (UAT).

3.3.1. VDL MODE 4

El VDL Mode 4 es un enlace de datos que proporciona comunicaciones digitales operando en la banda del Servicio Móvil Aeronáutico (en ruta), banda VHF que se extiende desde los 118,000 MHz a los 136,975 MHz, entre estaciones móviles (como aeronaves en vuelo o vehículos en superficie) y entre estaciones móviles y estaciones en tierra (como el ATC).

Este Data link utiliza el sistema denominado Self-Organising Time Division Multiple Access (STDMA) para segmentar en tiempo, creando «time

(6) Programa Safe Flight 21

slots», de modo que una estación puede emitir al comienzo de cada «slot». Para realizar la sincronización de los distintos «slots», el transpondedor correspondiente requiere una fuente muy precisa de referencia de tiempos». Si bien en las SARP de OACI no se especifica una forma de obtener dicha referencia temporal, los principales desarrollos apuntan a la utilización del GPS, o de GALILEO en un futuro, como el método óptimo para conseguir la sincronización.

Es un sistema altamente eficiente para la transmisión o intercambio de mensajes cortos de modo repetitivo, con un alcance de entre 140 y 200 NM. La principal limitación de este sistema se encuentra en la carencia de frecuencias en las áreas de alta densidad, ya que con una tasa de 75 «slots» por segundo no es suficiente para satisfacer la demanda.

3.3.2. MODE S 1090 EXTENDED SQUITTER

El Mode S 1090 Extended Squitter (ES) (7) consiste en una extensión del tradicional modo S del radar secundario, habitualmente empleado por el ACAS. Así, la aeronave transmite regularmente mensajes «extended squitter» conteniendo información tales como la posición o la identificación. Los «extended squitters» son transmitidos en la frecuencia de respuesta del secundario (1090 MHz) y pueden ser recibidos por cualquier aeronave o estación de tierra convenientemente equipadas.

Uno de los principales problemas del «extended squitter» es que las transmisiones pueden ser confundidas con otras funciones del modo S, como la vigilancia elemental o mejorada, o con el ACAS/TCAS, que además operan con los mismos protocolos y formatos de mensaje y con las mismas frecuencias (1030 MHz para las interrogaciones y 1090 para las respuestas).

Este modo permite transmitir la siguiente información:

- Situación de la aeronave: en tierra o en vuelo (esto permite reducir el número de squitters si la aeronave se encuentra rodando en el aeródromo, con la consiguiente reducción en la saturación de frecuencias).
- Posición y velocidad (2 veces por segundo).
- Mensaje de identificación, que no se prevé que varíe (cada 5 segundos si está moviéndose y cada 10 si está estacionaria).
- Mensajes de incidencias en caso de que sean necesarios.

(7) Las especificaciones técnicas actuales del ADS utilizando el «Mode S extended squitter» se describen en el Anexo 10 de OACI, Volumen III, Parte 1, apéndice al Capítulo 5 «SSR Mode S Air-ground Data Link».

Es de destacar que el «extended squitter» modo S ya ha sido completamente estandarizado por OACI y EUROCAE/RTCA y que los documentos pertinentes han sido publicados (SARPs y MOPS), lo que permite cualificar el equipo correspondiente.

3.3.3. UNIVERSAL ACCESS TRANSCEIVER (UAT)

El Universal Access Transceiver (UAT) es un sistema de enlace de datos desarrollado en el marco de los proyectos de I+D del Centro para el Desarrollo de Sistemas Avanzados para la Aviación de la Corporación MITRE en Estados Unidos.

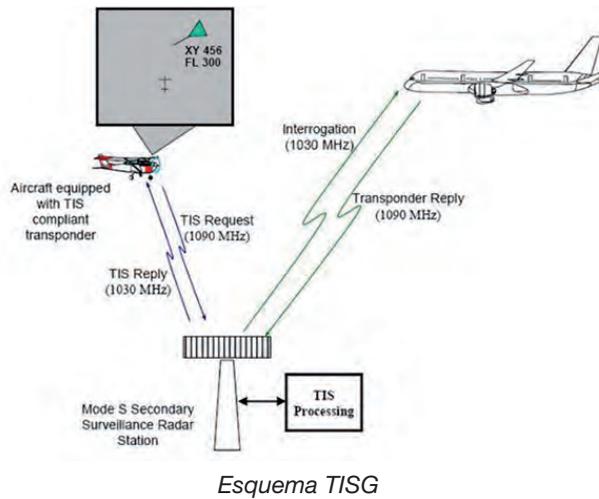
El equipo opera en una única frecuencia con una tasa de intercambio de datos de 1 Mbps. La mayoría de los ensayos se llevaron a cabo a una frecuencia de 966 MHz, si bien el equipo es capaz de funcionar a otras frecuencias (lo cual es una ventaja frente al VDL Modo 4, para el que la asignación de frecuencias puede suponer una restricción). Hay que señalar que la frecuencia anterior se encuentra dentro de la banda del DME, por lo que puede originar problemas de compatibilidad con dicho sistema.

El principio del UAT se basa en la transmisión cada segundo de un bloque de datos del cual el 20% se reserva para la gestión interna del mismo por parte de las estaciones terrestres y el resto (lo que supone cerca de 3200 «slots») para la transmisión de mensajes ADS-B.

Este enlace de datos no requiere sincronización alguna y permite generar mensajes de 128 o 256 bits, los cuales pueden incluir toda la información requerida en el documento DO-242 de la RTCA. El UAT está siendo sometido a minuciosos ensayos y podría convertirse en el enlace de datos seleccionado por la FAA para desarrollar el ADS-B.

3.4. *Sistemas TIS*

El «Traffic Information Services Broadcast» (TIS-B) necesita utilizar un equipo de vigilancia en una estación en tierra, como el Radar Secundario, para seguir la posición de una aeronave. La estación genera mensajes similares a los que proporciona el sistema ADS-B y los transmite en modo radiodifusión, a través de una estación TIS, en la frecuencia de 1090 MHz pudiendo ser recibido el mensaje por cualquier aeronave equipada con receptores de 1090 MHz e integrar esta mensajería en su CDTI.



3.5. Sistema FLARM

FLARM es un sistema de pequeño tamaño, bajo coste y de bajo consumo energético, basado en GPS y diseñado especialmente para los veleros, actividad que a veces implica alta densidad de tráfico en áreas reducidas. El sistema transmite vía radio data link la posición, velocidad y dirección de la aeronave al tiempo que recibe transmisiones equivalentes de las aeronaves en su proximidad, si están equipadas con el FLARM.

El Sistema incorpora algoritmos inteligentes para la predicción de conflictos a corto plazo y genera avisos acústicos y/o visuales al piloto e incor-



Equipo FLARM y presentación en pantalla

para un receptor GPS WAAS de 16 canales de alta precisión y un transmisor de baja potencia, así como una base de datos para obstáculos fijos de la zona, como puedan ser cables o antenas etc. Esta Base de datos se debe actualizar periódicamente.

Es de hacer notar que el FLARM no es compatible con los sistemas ACAS, SSR o ADS-B.

4. Sistemas Sense and Avoid en desarrollo para UAS

Aunque todos los estudios sobre integración de UAS en el espacio aéreo no segregado incluyen la necesidad de definir claramente las necesidades y especificaciones de un sistema Sense and Avoid para UAS, no existe hoy por hoy el necesario STANAG sobre el tema, aunque está siendo abordado por la FAA, por la OTAN a través del FINAS, o por la EDA, a través de programas en colaboración con la industria.

Actualmente se están desarrollando diversos programas sobre sistemas Sense and Avoid, entre cuyos objetivos está, por un lado el desarrollo de un sistema físico Sense and Avoid, al objeto de evaluar la integración de diferentes sensores, crear y evaluar algoritmos para la función Avoid, etc y por otro lado, identificar las características y especificaciones de los futuros sistemas Sense and Avoid. Aquí, sin pretender ser exhaustivos, se presentan algunos desarrollos significativos.

Laser Obstacle Avoidance Monitoring (LOAM) system

Selex Communications ha desarrollado y producido, desde 2005, el sistema LOAM basado en la tecnología «Laser Radar» para el barrido frontal y detección de líneas y obstáculos fijos de pequeño diámetro, con un alcance máximo de 2.000 m.

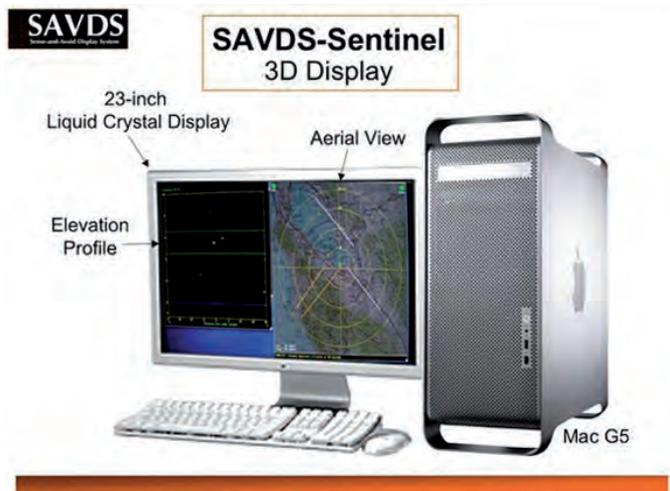


Sistema LOAM

El sistema está montado en algunos helicópteros daneses e italianos.

Sense and Avoid Display System (SAVDS)

Sistema que integra datos de un radar de corto alcance en tierra (radar Sentinel) con datos de posición GPS procedentes del UAS. El sistema muestra el entorno del UAS (en base a mapas georeferenciados) y permi-

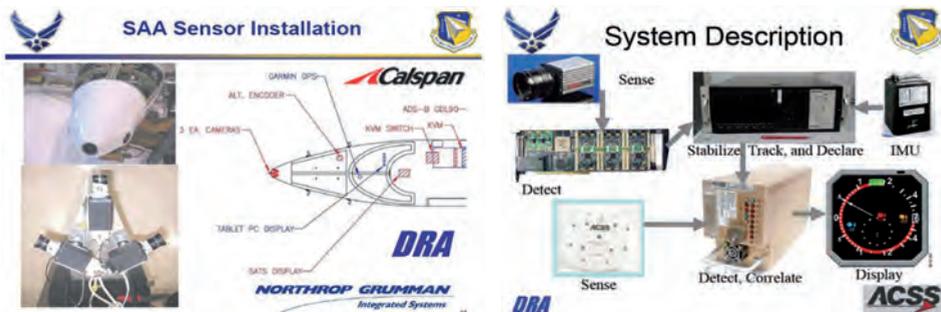


Sistema SAVDS

te al responsable de mando y control en la estación de tierra, ordenar a la plataforma eludir trayectorias conflictivas.

DRA Sense and Avoid technology (USA)

El Air Force Research Laboratory (AFRL), junto a Global Hawk Systems Group, la Oficina del Programa JUCAS y el contratista Defense Research



Sistema DRA (8)

(8) De la presentación sobre «Small sense and avoid system» del Dr John F. McCalmont, USAF Research Laboratory en la «UAV 2007 Conference»

Associates, Inc. (DRA), está poniendo a punto un demostrador tecnológico de Sense and Avoid basado sensores ópticos comerciales, de bajo coste, con procesadores de alta velocidad y software propietario.

En una primera fase del programa se dispondrá de 3 cámaras ópticas con un campo de visión de 110 grados en azimut y 15 grados en elevación. Cada cámara pesa menos de 3 Kg y cada una graba 6 millones de pixels por segundo a 20 imágenes por segundo. Las primeras pruebas de una configuración sense de sensores E/O-radar están planteadas para 2009, sobre un Shadow.

Por otro lado, DRA y ACSS conjuntamente con el AFRL pretenden desarrollar un sistema combinado de Sense and Avoid Cooperativo/No cooperativo (Multi-Mode Collision Avoidance System-M2CAS), utilizando un TCAS para el segmento cooperativo. Ya se han llevado a cabo vuelos de prueba y fusión de datos de ambos sistemas (con un procesador desarrollado por ACSS), así como la visualización en el CDTI.

UAV Detect See and Avoid (DSA) Radar

Como ejemplo de radar para la función Sense, está en proceso de investigación conjunta entre Amphitech, ERAST y la NASA, el denominado UAV Detect See and Avoid (DSA) Radar para la detección de objetivos no cooperativos (no equipados con transpondedor a bordo), con un alcance de 8 MN.



DSA Radar

Proyecto OUTCAST

En desarrollo por el NRL (Nacional Aerospace Laboratory) holandés y con la colaboración de las Reales Fuerzas Aéreas Holandesas, el OUTCAST combina datos del TCAS con datos aportados por sensores EO/IR (modelo Toplite II de Rafael Armament Development Authority, Israel), mediante la correspondiente fusión de datos.

Para ello se equipó un Cessna Citation en funciones de UAS, con los sensores EO/IR en el morro, TCAS y 2 puestos de trabajo embarcados, emulando las posiciones de la Ground Control Station (piloto al mando y control de la carga de pago).

Se ha demostrado a lo largo del Programa que el TCAS por sí solo, si bien da buenas precisiones en altitud y distancia, no proporciona la suficiente precisión en rumbo (desviaciones de 15 a 20 grados), mientras que los sensores EO/IR proporcionaron una precisión de 0,5 grados.

Los sensores EO/IR permitieron al operador del UAS simulado la adquisición visual de tráfico en aproximación desde 17,4 nm, previa adquisición con TCAS desde 20,5 nm.

PANCAS: Sensores acústicos para Sense and Avoid

Los sistemas Sense and Avoid con sensores EO/IR y radar, no son apropiados para UAS pequeños, por lo que se está analizando la incorporación de sensores acústicos en la función Sense.

En esta línea de investigación, la californiana Cypress (Scientific Applications and Research Associates) está desarrollando el Passive Acoustic Non-cooperative Collision-Alert System (PANCAS). Este sistema presenta determinadas ventajas, como son una menor tasa de falsas alarmas, mayor cobertura, detección día y noche a través de nubes, humo o niebla, con la capacidad adicional de detectar disparos de armas u otros sucesos explosivos.



PANCAS sobre un Mini UAV

El PANCAS ha demostrado ser capaz de detectar el vuelo de un helicóptero militar a 3Km de distancia y un avión comercial a 1Km.

WASLA-HALE

El programa alemán WASLA-HALE es un demostrador de tecnologías sobre UAS, orientado a la obtención de requisitos para la certificación de sistemas Sense and Avoid, establecimiento de procedimientos de emergencia, comunicaciones con ATC, etc, actividades todas ellas en relación directa con la futura integración de UAS en espacio aéreo no segregado.

Se manejan diversos sistemas de sensores en función de Sense, cuya comparativa en función de determinados parámetros se da en la tabla adjunta.

	LADAR	RADAR	TV	IR
Detection Range	small	very high	high	medium
Volume/Weight	heavy	heavy	light	light
All-Weather Use	medium	good	very bad	bad
Power Consumption	high	high	small	small
Information Content	high	high	small	small
System Complexity	high	high	small	medium
Foreign detection	yes (active)	yes (active)	no (passive)	no (passive)
Night Use	yes	yes	yes/no	yes
Detection Rate (FOV)	bad	medium	good	good
Costs	?	?	?	?

Comparativa de sensores para la función Sense

Se realizan asimismo comparativas entre diversos sistemas radar en funciones Sense.

Examples of MMW-Radar Systems

- EADS HiVision Radar**
 no further development for S&A
- Telephonics RDR 1700 CG X-band radar**
 Use in EagleEye-UAV, Augusta-Westland Helicopter, Output only Range und Azimuth, no S&A Use / COTS-Product
- Amphitech DSA-5000**
 S&A application, fixed Antenna, not yet available
- Amphitech OASys-130 mod. Prototype**
 good Range, quasi COTS-Product

Sistemas radar evaluados en WASLA-HALE

Las pruebas en vuelo se realizan sobre un avión cedido por el DLR (Centro Aeroespacial Alemán) denominado ATTAS (Advanced Technologies Testing Aircraft System), equipado con los sistemas correspondientes al UAS.

5. Sense and Avoid en el marco de la EDA

En la EDA y en el marco de las actividades relacionadas con UAS y su inserción en el tráfico aéreo, se han abierto diversos programas:

Technology demonstration study on Sense & Avoid technologies for long endurance unmanned air vehicles

El programa se desarrolló entre diciembre de 2006 y noviembre de 2007, con la colaboración de cuatro empresas: SAGEM, ONERA, TNO y la española ESPELSA. El objetivo del programa era múltiple: definir los requisitos y una potencial arquitectura del sistema Sense and Avoid de los UAS para su inserción en el espacio aéreo civil controlado y definir posibles soluciones tecnológicas para el corto y medio plazo.

Durante dicho programa se han llevado a cabo diversas tareas en relación a la regulación vigente, la definición de los requisitos del sistema a partir de



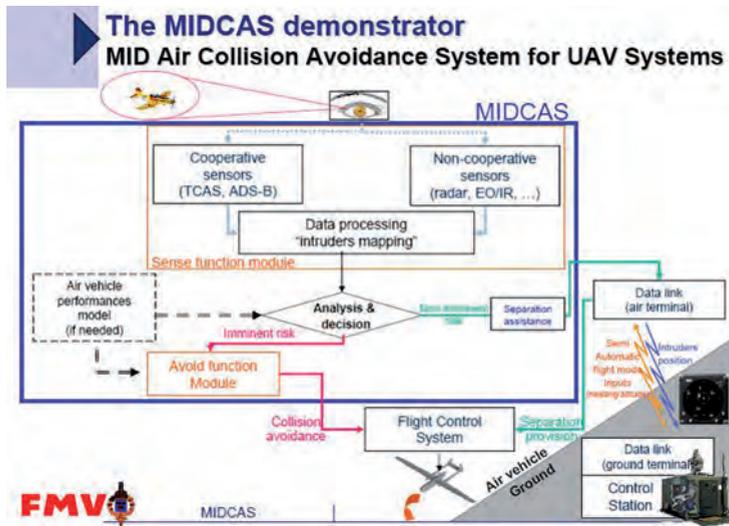
*Integración de sensores
EO/IR/radar*

dicha regulación y un planteamiento de posibles soluciones para el corto y medio plazo. Como resultados finales del programa se han obtenido análisis funcionales para la obtención de requisitos de un sistema Sense and Avoid, con la creación de diferentes escenarios y misiones, incluyendo simulaciones. Se han planteado asimismo posibles soluciones para el subsistema Sense: tecnología radar, dispositivos electro-ópticos (Visible, IR, Láser, etc.), dispositivos cooperativos (Conventional TCAS, Passive TCAS o ADS-B). Sobre la función Avoid se han analizado tanto las restricciones a la lógica que se deba incorporar al sistema, como las funciones que se le deben solicitar a dicha lógica.

MIDCAS (MIDair Collision Avoidance System)

Iniciado por Suecia a través de la FMV (Departamento de Material de Defensa) y por Francia a través de la DGA (Delegación General para el Armamento) con participación industrial de Saab, Thales, EADS Alemania, ESG, DLR y Sagem, este proyecto pretende tener cobertura de la EDA, en la forma de un Programa de los denominados Categoría B.

El proyecto llevará a cabo un análisis funcional y de requisitos del sistema para la selección de tecnologías de sensores Electro-ópticos (pasivos y no cooperativos), radar (activo y no cooperativo) o sistemas cooperativos (similares al TCAS o ADS-B), para la función «Sense».



Proyecto MIDCAS

El estudio incluirá, entre otros trabajos:

- Especificación y diseño de la arquitectura del MIDCAS compatible con los requisitos de separación y evitación de colisiones en espacio aéreo no segregado.
- Desarrollo de algoritmos para la función Avoid.
- Estudios de integración en un UAS.
- Fabricación de un demostrador MIDCAS
- Pruebas en vuelo.

Todas estas áreas, se realizarán en coordinación con autoridades gubernamentales (EASA, EUROCONTROL, OTAN...) e industriales (EUROCAE, RTCA...), para contribuir a los esfuerzos sobre normalización que paralelamente se lleven a cabo.



SISTEMA DE OBSERVACIÓN Y
PROSPECTIVA TECNOLÓGICA

PARTE IV

INICIATIVAS PARA LA INTEGRACIÓN DE UAS EN EL ESPACIO AÉREO NO SEGREGADO

1. General

Los estudios sobre integración de UAS (principalmente los MALE/HALE) en el espacio aéreo están siendo abordados desde hace años, por un gran número de organizaciones nacionales e internacionales de Aviación Civil (Eurocontrol, JAA, EASA, FAA, OACI) y de Defensa (OTAN, EDA...), asistidos por empresas de estudios en el sector aeronáutico y por la industria.

La integración de estos sistemas supone, como se ha visto anteriormente, dar respuesta al problema de cómo la tecnología puede conseguir que los UAS objeto de integración sean tratados, a todos los efectos, como aeronaves convencionales desde el punto de vista de la seguridad en el sistema y en su operación.

Las respuestas se obtendrán a partir de los estudios que sobre las tecnologías requeridas (Comunicaciones y Data Link LOS y BLOS, Sistemas Sense and Avoid, Navegación y posicionamiento, etc.) se están llevando a cabo con el patrocinio de las organizaciones mencionadas y a través del análisis de los diferentes escenarios reguladores del control y la gestión del espacio y el tráfico aéreo, acompañado de la emisión y aceptación de diferentes especificaciones y normas.

Actualmente no existe un único organismo que lidere las iniciativas sobre integración de UAS, lo que está produciendo una gran dispersión de esfuerzos, de modo que se desarrollan estudios paralelos en función del organismo que los promueve, o bien se desarrollan soluciones nacionales transitorias en tanto no se consoliden los criterios y las soluciones aportadas por los diferentes grupos de trabajo.

A esto se ha de añadir el hecho de que en determinados aspectos los Estados Unidos y Europa siguen procesos independientes, al menos en la metodología para abordar algunos de los temas sobre integración, aunque en determinadas áreas se han acordado especificaciones, en forma de STANAG, de ámbito OTAN.

2. Reglamentación actual para la operación de UAS

Los operadores de UAS son mayoritariamente organizaciones de carácter militar y en muchos de los casos actúan en misiones u operaciones multinacionales, bajo regulaciones de carácter nacional. Estas regulaciones están en muchos casos editadas bajo la responsabilidad de las autoridades aeronáuticas civiles o militares de cada nación, dada la ausencia de regulaciones internacionales aprobadas por la Organización Internacional de Aviación Civil (OACI).

Se dan, a continuación, algunos ejemplos de las regulaciones que en otros países dan cobertura a los vuelos de UAS, siempre en espacio aéreo segregado.

En Francia es la DIRCAM (Direction de la Circulation Aérienne Militaire) la que establece las reglas para los vuelos de los UAS sobre territorio francés, exigiendo que estos sean segregados de otros usuarios del espacio aéreo, tanto en tiempo como en espacio, siendo necesario negociar con las autoridades civiles de tráfico aéreo la autorización para cambiar de zona de operación, lo que debe hacerse usando corredores que aseguren la segregación de otro tipo de tráfico aéreo.

En el Reino Unido es el «CAP 722. Unmanned Aerial Vehicle Operations in UK Airspace - Guidance», publicado por la «Civil Aviation Authority/Directorate of Airspace Policy-CAA/DAP), el que establece que la operación de los UAS debe cumplir los mismos o mejores estándares de seguridad y operación que las aeronaves tripuladas. En la práctica, esto significa que los UAS militares solo pueden operar dentro de zonas peligrosas.

En Estados Unidos, los vuelos en el NAS (Nacional Airspace System), están regulados por la FAA (Federal Aviation Administration), en el CFR Título 14 (Aeronautics and Space). La política de la FAA relativa a los UAS está especificada en el «AFS-400 UAS Policy 05-01 (Unmanned Aircraft Systems Operations in the US NAS)», de Septiembre de 2005, que establece bajo qué condiciones se autoriza el vuelo de UAS a diferentes altitudes.

La FAA establece que los UAS de uso militar, al no disponer de las mismas capacidades que las aeronaves tripuladas para integrarse con seguridad y eficientemente en el Nacional Airspace System (NAS), requieren la obtención de un Certificado de Autorización (COA) otorgado por la FAA, válido por no más de un año y limitado a áreas o rutas específicas.

Adicionalmente y debido a que el UAS no dispone de capacidades certificadas de detección y elusión de tráfico aéreo conflictivo (capacidad de Sense and Avoid), el procedimiento podría requerir medidas adicionales y costosas como proporcionar un avión acompañante o cobertura de radar primario durante todas las fases del vuelo.

Cuando una Agencia militar o Gubernamental pretende hacer volar un UAS en el espacio aéreo civil, la FAA examina la petición y publica un «Certificado de Autorización» (Certificate of Authorization) o COA, basado generalmente en los siguientes principios:

- En el COA se autoriza a un operador el uso de un determinado espacio aéreo por un tiempo especificado (hasta un año, en algunos casos) e incluye condiciones especiales únicas para cada operación. Por ejemplo, el COA puede incluir el requisito de operar sólo bajo condiciones VFR.
- La mayor parte, si no todos, los COAs requieren la adecuada coordinación con el Control de Tráfico Aéreo así como que el UAV equipe un transpondedor capaz de operar en el modo estándar de tráfico aéreo, incluyendo la información de altitud.
- Para asegurar que el UAS no interfiere con otras aeronaves, se debe mantener contacto visual con el UAS desde un observador en tierra o desee una aeronave de acompañamiento.

El funcionamiento de este sistema ha demostrado ser útil para facilitar iniciativas de I+D relacionadas con la inclusión de UAS en el sistema de tráfico aéreo.

La FAA, a partir de su experiencia en los COAs, hace particular énfasis en los temas relacionados con la capacidad «Detect, See and Avoid» de los UAS.

Hasta 2008, la FAA ha emitido del orden de 1,000 Certificates of Authorization para UAS volando en el NAS, la mayor parte de ellos en relación a operaciones para la administración pública (Defensa, Seguridad Interior, Fronteras etc.), y solo 5 de ellos se han dado a la industria, todos ellos bajo certificaciones experimentales y restringido su uso a distancias de línea vista (LOS), en vuelos diurnos y siempre que no exista tráfico aéreo cercano.

En enero de 2006, el Northrop Grumman RQ-4A Global Hawk fue el primer UAS en obtener una certificación militar de aeronavegabilidad, lo que junto al COA de la FAA reconoce al Global Hawk capacidad para volar en el espacio aéreo nacional.

3. Iniciativas europeas

La fragmentación y saturación del espacio aéreo europeo complican el escenario para la integración de estos sistemas no tripulados, y el desarrollo de misiones ya sean militares o comerciales que impliquen el cruce de fronteras. En Europa se están llevando a cabo multitud de iniciativas por parte, tanto de las administraciones civiles y militares nacionales, como por parte de organismos supranacionales y autoridades de aviación civil, todas ellas en estrecha relación con la Industria.

Muchas de estas iniciativas se originan en los organismos de Defensa, dado el predominio actual de UAS de uso militar, pero deben de ser, en última instancia, asumidas y aceptadas o ratificadas por las autoridades internacionales de Aviación Civil. Se ofrece a continuación una breve reseña de las iniciativas que estas organizaciones desarrollan y los productos obtenidos hasta el momento.

3.1. Eurocontrol

Eurocontrol es la Organización para la Seguridad de la Navegación Aérea, organización civil y militar de la que son miembros 38 países. Su principal objetivo es el desarrollo de un sistema de gestión de tráfico aéreo para toda Europa a través de la transformación armonizada de los ATMs actuales, manteniendo un alto nivel de seguridad, reduciendo los costes y respetando el medio ambiente.

Eurocontrol desarrolla, coordina y planifica la implementación a corto, medio y largo plazo estrategias de ATM de ámbito paneuropeo, implicando en ello a las autoridades nacionales, proveedores de servicios de navegación aérea, usuarios militares y civiles, aeropuertos, industria e instituciones europeas.

En el área de la integración de UAS en el espacio aéreo, Eurocontrol creó dos grupos de trabajo (Task Force), dedicados a las perspectivas civil y militar, en asociación con la JAA (Joint Aviation Authorities)/EASA (European Agency for Safety Aviation), el Eurocontrol UAV-TF, para aviación general y el Eurocontrol UAV-OAT TF, sobre tráfico aéreo operativo o militar.

3.1.1. JAA/EASA Y EUROCONTROL TASK FORCE (UAV-TF)

Esta Task Force creada en Septiembre de 2002, editó en Marzo de 2004 el denominado «UAV-TF Final Report», con la denominación «A Concept

for European Regulations for Civil Unmanned Aerial Vehicles», proporcionando su visión sobre la integración de UAVs de uso civil en el espacio aéreo.

El informe no está orientado a la integración de los UAS en el espacio aéreo, pues esta se considera competencia de Eurocontrol o de OACI, sino que se limita a dar directrices sobre las certificaciones aeronáuticas de aeronavegabilidad de aplicación los UAS, que constituye uno de los aspectos clave para la resolución del problema de la integración.

Estos son los aspectos más destacables de dicho informe:

- En este informe final, se recomienda que los UAVs deben alcanzar un nivel de seguridad (LOS Level of Security) comparable al de las aeronaves convencionales.
- En el área de certificaciones aeronáuticas, se determina que las bases de certificación para UAVs, deberían seguir los mismos principios que se aplican a las aeronaves pilotadas.
- Las bases para la certificación de tipo se establecerán entre el solicitante y EASA y se basarán en los estándares de aeronavegabilidad aplicables a aeronaves tripuladas, junto a las «condiciones especiales» asociadas a nuevas características de diseño.

El Artículo 5 contempla tres tipos de certificaciones de aeronavegabilidad:

- Certificado de aeronavegabilidad: cuando se alcanzan los requisitos esenciales establecidos por la Comisión Europea y la aeronave responde al diseño y está en condiciones de operar con seguridad.
- Certificado de aeronavegabilidad restringido: cuando se han mitigado desviaciones sobre los requisitos esenciales mediante una restricción operacional y la aeronave es segura.
- Permiso de vuelo: si se demuestra que la aeronave es capaz de llevar a cabo un vuelo básico.

Este conjunto de directrices o recomendaciones fueron remitidas al Grupo FINAS de OTAN, que las recogió como parte de los estudios sobre integración y certificaciones de aeronavegabilidad que dieron lugar al STANAG 4671.

3.1.2. EUROCONTROL UAV-OAT-TF

Esta Task Force se estableció en Abril de 2004 con el objetivo de desarrollar especificaciones para el uso militar de UAS en el espacio aéreo no segregado. Así, en Abril del 2006, el Eurocontrol UAV-OAT-TF hizo público el documento «Specifications for the use of Military Unmanned Aerial

Vehicles as Operational Air Traffic outside Segregated Airspace», centrado únicamente en las relaciones entre el UAS y el ATM del tráfico aéreo militar y se complementará con los estudios que otras agencias están llevando a cabo sobre certificaciones, adiestramiento de tripulaciones, etc. Las especificaciones se remitieron al comité militar de Eurocontrol para su aprobación provisional, que se realizó en Marzo de 2006.



Especificaciones del UAV-OAT-TF

Las especificaciones se han estructurado en los siguientes grupos:

- ATM Categorization of UAV Specification
- Procedures
- Flight Rules
- Separation Provision and Collision Avoidance
- Sense and Avoid
- Separation Minima – Where Separation is provided by ATC
- Separation Minima – Where Responsibility Rests with the UAV System
- Airfield Operations
- Emergency Procedures
- Airspace Management
- Interface with ATC
- Meteorology
- Flight Across International Borders and Across Flight and Upper Information Region (FIR/UIR) Boundaries
- OAT CNS Equipment Requirements

3.2. EASA

La European Agency for Safety Aviation (EASA) es un organismo de la Unión Europea creado por el Reglamento (CE) n° 1592/2002 del Parlamento Europeo y del Consejo de Europa, de 15 de julio de 2002, al que le han sido asignadas tareas específicas de reglamentación y ejecución en el ámbito de la seguridad aérea. Estas tareas las ejercía hasta entonces la Joint Aviation Authority (JAA).

En 2005, la agencia publicó la Advance Notice of Proposed Amendment (NPA) No 16/2005, con la denominación «Policy for Unmanned Aerial Vehicle Certification», orientado a la certificación de aeronavegabilidad y a la certificación de sistemas Sense and Avoid, aunque no se trata en realidad de especificaciones sino tan sólo de recomendaciones para el desarrollo posterior de una especificación de más profundidad. En concreto, se establecen unos postulados o principios mínimos, que se resumen a continuación:

- Las normas reguladoras sobre aeronavegabilidad no deberán ser menos exigentes que las aplicables a la aviación convencional, ni por el contrario penalizar a los UAS con requisitos más exigentes por el simple hecho de que sean tecnológicamente alcanzables.
- Las operaciones de UAS no deben incrementar el riesgo al resto de usuarios del espacio aéreo o a terceras partes.
- Los operadores de UAS deben operar manteniendo los acuerdos o disposiciones existentes.
- Las bases legales deben quedar claramente definidas de modo similar a las establecidas para la aviación convencional.
- La provisión de servicios de ATS al UAS debe ser transparente a los controladores aéreos y a otros usuarios del espacio aéreo.

El alcance de esta propuesta se limita a UAS con un MTOW de 150Kg o más, y el objetivo está centrado en la aeronavegabilidad (seguridad en las personas y propiedades en tierra).

En el estudio y a efectos de certificación, se considera que cualquier sistema del UAS que pueda perjudicar la seguridad de operaciones como despegues, aterrizajes, o compatibilidad ambiental del UAS (incluyendo el segmento terrestre), debe ser objeto de la certificación de tipo.

3.3. Unión Europea

Entre las iniciativas de algunos países miembros se seleccionan las llevadas a cabo en Francia y Reino Unido, por considerarlas las más avanzadas o características.

La Unión Europea ha lanzado y financiado dentro del programa FP-5 (5º Programa Marco), varios estudios sobre UAS, en particular el estudio UAVNet/USICO /CAPECON (1) y los proyectos HELIPLAT e IFATS todos ellos orientados a analizar la integración de los UAS civiles en el espacio aéreo europeo. En determinadas áreas, como la correspondiente a la aeronavegabilidad, se han apoyado las iniciativas surgidas en las Eurocontrol Task Forces.

En el FP-6 (6º Programa Marco), se lanzó en 2007 el programa INOUI (Innovative Operacional UAV Integration), con una duración prevista de 2 años, y la participación de DFS Deutsche Flugsicherung GMBH como líder, Boeing Research & Technology Europe, Fundación Instituto de Investigación INNAXIS, Ingeniería de Sistemas para la Defensa de España, S.A. (Isdefe), Office National d'Études et de Recherches Aérospatiales (ONERA) y Rheinmetall Defence Electronics GMBH. El programa tiene entre sus objetivos identificar las actividades que deberán conducir a la integración de los UAS en el ATM, al objetivo de que ésta sea una realidad hacia el 2020.

3.3.1. FRANCIA

La DGA francesa y el Centro de Ensayos en Vuelo (CEV), publicó en enero de 2005, el denominado USAR (UAV System Airworthiness Requirements), documento inicial de requisitos para establecer la certificación de aeronavegabilidad en los UAS.

Este documento, basado en las normas CS 23 de EASA (derivadas a su vez de las JAR 23), ha sido el documento de partida para el desarrollo de único STANAG sobre certificación de aeronavegabilidad para UAS (STANAG 4671), elaborado por el NAFAG (NATO Air Force Armament Group) como parte de la iniciativa FINAS.

3.3.2. REINO UNIDO

El Directorate of Airspace Policy (DAP) de la Civil Aviation Authority (CAA) del Reino Unido, publicó en Mayo de 2002 la primera edición del documento «CAA 722: Unmanned Aerial Vehicle Operations in UK Airspace – Guidance», actualmente en su segunda edición, de Noviembre de 2004, que regula la operación de UAS en el espacio aéreo del Reino Unido

En este documento, que ha servido de guía para diversas iniciativas sobre integración, la necesaria categorización de UAS se realiza en base, no a

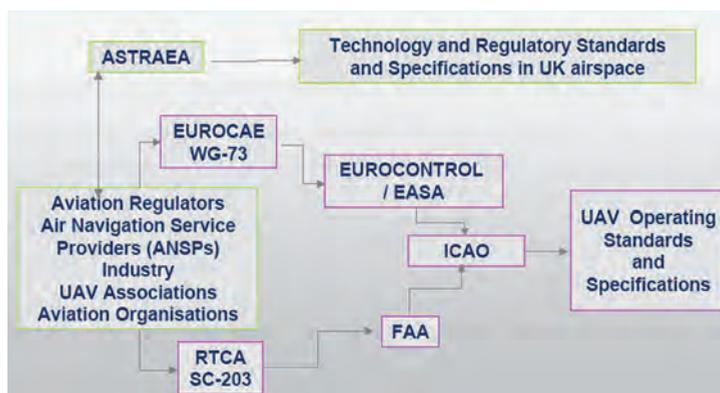
(1) *USICO: Unmanned Air Vehicles Safety for Civil Operations*
CAPECON: Abr-08

su misión (altitud y permanencia en vuelo), sino que se ofrece una clasificación de los UAS más adecuada desde el punto de vista de la gestión del espacio aéreo.

- Grupo 1: UAS operados en un espacio aéreo permanente o temporalmente segregado, sobre áreas no pobladas.
- Grupo 2: UAS operados en un espacio aéreo permanente o temporalmente segregado, sobre áreas que pueden estar permanente o temporalmente pobladas.
- Grupo 3: UAS operados fuera del espacio aéreo controlado (Clases F y G) en el Reino Unido.
- Grupo 4: UAS operados dentro del espacio aéreo controlado (Clases A-E) y la Upper Information Region-UIR, en el Reino Unido.
- Grupo 5: UAS operados en cualquier espacio aéreo.

Como iniciativa industrial, cabe destacar el Programa ASTRAEA (Autonomous Systems Technology Related Airborne Evaluation and Assessment), creado en 2004 en el Reino Unido, en colaboración con diferentes organizaciones e industrias, para abordar el problema desde una perspectiva civil. Se creó así un programa plurianual (hasta 2010) que incluye una revisión de la actual política de tránsito aéreo en el Reino Unido, el desarrollo de estándares de certificación y de tecnologías Sense and Avoid, comunicaciones y ATC, integración de múltiples vehículos aéreos (MUM-Manned/Unmanned), etc. para facilitar la integración de los UAS en el espacio aéreo segregado y no segregado.

El programa ASTRAEA incluye demostraciones en el espacio aéreo del Centro de Excelencia de UAS en ParcAberporth, en Gales.



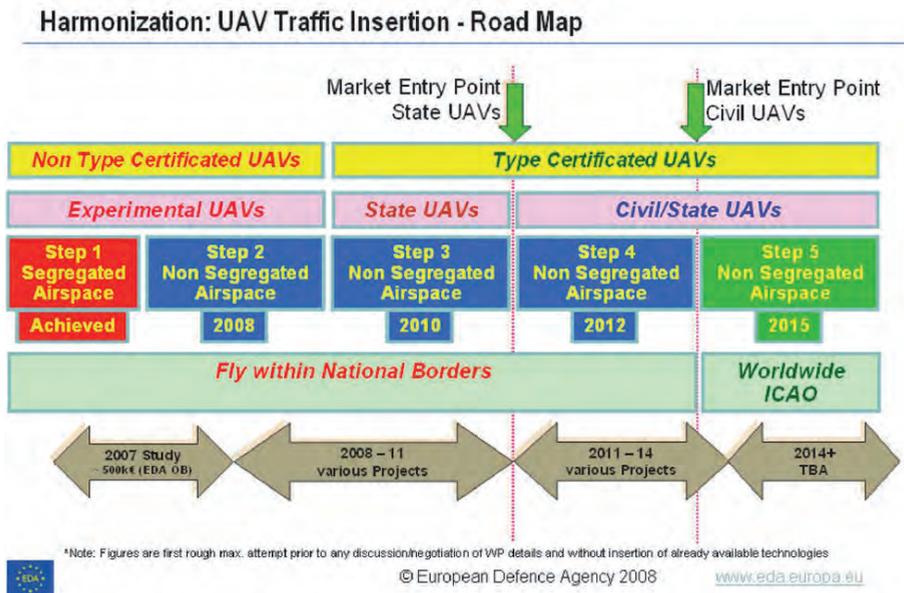
Programa ASTRAEA

3.4. EDA

La EDA ha mostrado un gran interés en promover la integración de UAS en el espacio aéreo no segregado, habiendo propiciado la generación de diferentes proyectos en relación a este tema, si bien ninguno de ellos está directamente orientado a la problemática de la regulación sobre la operación del UAS, más bien a facilitar soluciones tecnológicas asociadas a las comunicaciones y a la función de Sense and Avoid. Como muestra de este interés cabe destacar la financiación de dos contratos con la industria para realizar un análisis tecnológico de los UAS de gran autonomía (LE-UAV).

El primero de los proyectos denominado «Digital Line of Sight & Beyond Line of Sight Data Links», está liderado por la empresa finlandesa Patria y tiene como contratista a la también finlandesa Instrumentointi Oy. El objeto de este proyecto es estudiar la transmisión de información entre el UAS y sus estaciones de control ya sea a través de satélites de comunicaciones o de estaciones repetidoras terrestres.

El segundo de los proyectos, denominado «Technology Demonstration Study On Sense & Avoid Technologies For Long Endurance Unmanned Air Vehicles», liderado por la empresa francesa SAGEM y con participa-



Estimaciones de la EDA sobre Integración

ción española, tiene como objeto estudiar las tecnologías actuales concernientes al sistema Sense and Avoid proponiendo soluciones tecnológicas a corto y medio plazo. Este último proyecto finalizó el pasado 2007

En enero de 2008, la EDA adjudicó un nuevo proyecto denominado «UAV Air Traffic Insertion Road Map» al consorcio «Air4All» constituido por BAE Systems, Alenia Aeronautica, Dassault Aviation, Diehl BGT Defence, EADS CASA, EADS Defence & Security Alemania, Galileo Avionica, QinetiQ, Rheinmetall Defence Electronics, SAAB AB, Sagem Defence Systems y Thales Aerospace.

Este proyecto pretende ayudar a los «stakeholders» europeos, como autoridades de aeronavegabilidad, gestión del tráfico aéreo, agencias de adquisición, industria e institutos de investigación, a desarrollar una agenda para identificar, programar y en su caso valorar, las actividades comunes europeas en relación a los UAS y su integración en el espacio aéreo.

La propia agencia ha publicado recientemente una estimación sobre las líneas a seguir para la consecución de la integración de UAS.

3.5. EUROCAE

EUROCAE (European Organisation for Civil Aviation Equipment), es una organización que reúne a las administraciones, líneas aéreas e industria para la realización de estudios y especificaciones de equipamiento aeronáutico. En EUROCAE existen diversos Grupos de Trabajo orientados a diferentes áreas, en particular el WG 73 creado en 2006 y que está orientado a la investigación de los temas clave relacionados con la operación del UAS en el contexto del ATM europeo.

El WG73, presidido por un representante de Eurocontrol y otro de la FAA, en coordinación con el RTCA SC-203 (Comité Especial 203) está preparando especificaciones de actuaciones de los UAS.

3.6. ASD

ASD (AeroSpace and Defence), es una asociación industrial que acoge a los más significativos fabricantes aeroespaciales de más de 20 países europeos. Fue creada en 2004 a partir de AECMA (Asociación Europea de Constructores de Material aeroespacial), Eurospace y EDIG (European Defence Industries Group).

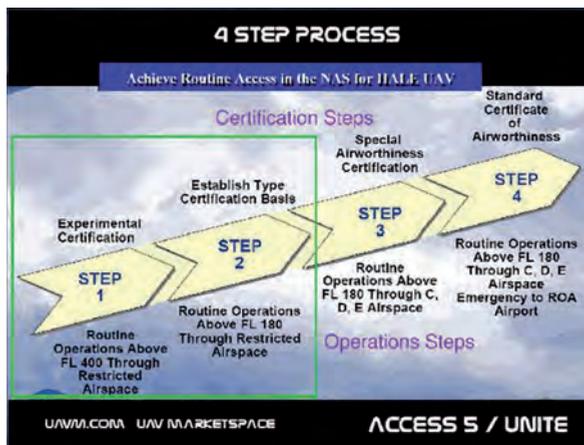
ASD ha creado un grupo de trabajo específico (ASD UAV Certification & Qualification WG) para representar a la industria en los aspectos relativos a las certificaciones y cualificaciones que otras organizaciones puedan desarrollar para los UAS.

4. Iniciativas en Estados Unidos

4.1. NASA/ACCESS 5

El proyecto Access 5, nacido en 2004 y cancelado en febrero de 2006 por la retirada de fondos a la NASA, aunó los estudios de la NASA, la FAA, el Ministerio de Defensa norteamericano (DoD), el Departamento de Seguridad Interior (Homeland Security) y el National Industry Team (UNITE), dirigidos a facilitar la integración de los UAS en el espacio aéreo civil.

Se definieron 4 etapas, de las que las dos primeras fueron financiadas por la NASA en su proyecto «HALE ROA in the NAS».



Fases previstas en el programa ACCESS 5

La Primera Fase se centraría en el desarrollo de recomendaciones a la FAA que permitirían la operación rutinaria de UAS en el NAS (National Airspace System) por encima de 43.000 ft. Así como en establecer criterios para la certificación experimental de aeronavegabilidad por parte de la FAA.

La segunda fase se dirigiría a la integración en el espacio aéreo entre 18.000 y 43.000 ft, y la correspondiente certificación de Tipo de los UAS. La consecución de estas dos fases se previó para 2009.

La tercera fase se interesaría en el espacio aéreo por debajo de los 18.000 ft en el espacio aéreo no restringido y en el desarrollo de certificados especiales de aeronavegabilidad para los UAS.

La cuarta fase desarrollaría las políticas, procedimientos y regulaciones para permitir el vuelo rutinario, desde cualquier aeropuerto civil y aterrizajes en aeropuertos decididos por los operadores del UAS, así como establecer criterios para que la FAA emita certificados de aeronavegabilidad para los UAS en producción.

Las dos etapas finales no formaron parte del Proyecto «HALE ROA in the NAS» y su financiación dependería en gran medida del éxito de las dos primeras fases. Los vuelos de prueba previstos en espacio aéreo restringido se llevarían a cabo con el Scaled Composites' Proteus volado en remoto por un piloto en tierra, aunque se dispondría de un piloto a bordo a modo de «backup».



Proteus

La participación de la industria, a través del UAV National Industry Team (UNITE) se inició mediante un acuerdo (Joint Sponsored Research Agreement) con la NASA e incluía a los 6 principales fabricantes de UAS en Estados Unidos: AeroVironment, Aurora Flight Sciences, Boeing, General Atomics Aeronautical Systems, Lockheed-Martin y Northrop Grumman.

4.2. DoD

El DoD emitió en agosto de 2005 el «UAS Roadmap 2005-2030», que recoge la situación de los UAS en Estados Unidos tanto técnicamente, como en su regulación y operación, estableciendo las líneas maestras para la consecución de la integración en el NAS, en coordinación con la FAA. En Diciembre de 2007 ha publicado el «Unmanned Systems Roadmap 2007-2032» con inclusión de los sistemas no tripulados aéreos, terrestres y marítimos.

Por otro lado ha desarrollado el documento «Airspace Integration Plan for Unmanned Aviation» publicado en Noviembre de 2004, que atiende a las siguientes áreas, reguladoras y técnicas:

- Tráfico aéreo
- Certificación de aeronavegabilidad
- Cualificación de tripulaciones
- See and Avoid
- Mando, control y comunicaciones (C3)
- Fiabilidad.

Este plan resume los elementos técnicos y reguladores que afectan a la integración de los UAS, en relación a la aplicabilidad de la 14 CFR, o la necesidad de elaborar especificaciones para Sense and Avoid compatible con la 14 CFR 91.113

4.3. FAA

La FAA norteamericana asume los resultados del trabajo conjunto realizado por la JAA/EASA y Eurocontrol y recogido en su Final Report. Por otro lado ha hecho público el documento «AFS-400 UAS Policy 05-01: Unmanned Aircraft Systems Operation in NAS», como guía de uso para determinar si un UAS puede ser autorizado a operar en el NAS, con la correspondiente emisión del necesario COA.

4.4. ASTM

ASTM International (antes denominado como «International American Society for Testing and Materials»), es una organización de Estados Unidos para el desarrollo de normativas y estándares para materiales, productos, sistemas y servicios. Desde 2003, el Comité F38 del ASTM colabora con la FAA en la elaboración de normativa de aeronavegabilidad

de UAS con vistas a su integración en el NAS (National Air Space) norteamericano.

El Comité F38 se ha organizado en tres Subcomités ad hoc relativos a la integración de los UAS:

- F38.01 Subcomité de aeronavegabilidad
- F38.02 Subcomité de operaciones de vuelo.
- F38.03 Subcomité de formación, cualificación y certificación del personal.

Por su parte, el Subcomité F38.01 ha publicado tres estándares:

- F2501-06: Standard Practices for Unmanned Aircraft System Airworthiness.
- F-2411-07: Standard Specification for Design and Performance of an Airborne Sense and Avoid System (edición de enero 2007).
- F-2395-05: Standard Terminology for Unmanned Air Vehicle Systems.

4.5. RTCA

La RTCA (Radio Technical Commission for Aeronautics) es una organización privada estadounidense sin ánimo de lucro que desarrolla recomendaciones, básicamente para la FAA, relacionadas con las comunicaciones, navegación, vigilancia y sistemas de gestión del tráfico aéreo. En 2004, se decidió la creación del SC-203 (Special Committee) para el desarrollo de estándares en relación a los UAS, estructurado en Grupos (WG) y Subgrupos (SG)

WG1 encargado de elaborar los MASPS (Minimum Aviation System Performance Standards), constituido a su vez por los siguientes Subgrupos:

- SG1 Document Integration
- SG2 Operations
- SG3 Systems.

WG2 encargado de los temas relativos al Detect Sense (See) and Avoid, estructurado en:

- SG1 System Safety
- SG2 Sensors
- SG3 Algorithms
- SG4 Human Factors

WG3, encargado de C3 (Command, Control and Communication), Data Link y Aviónica.

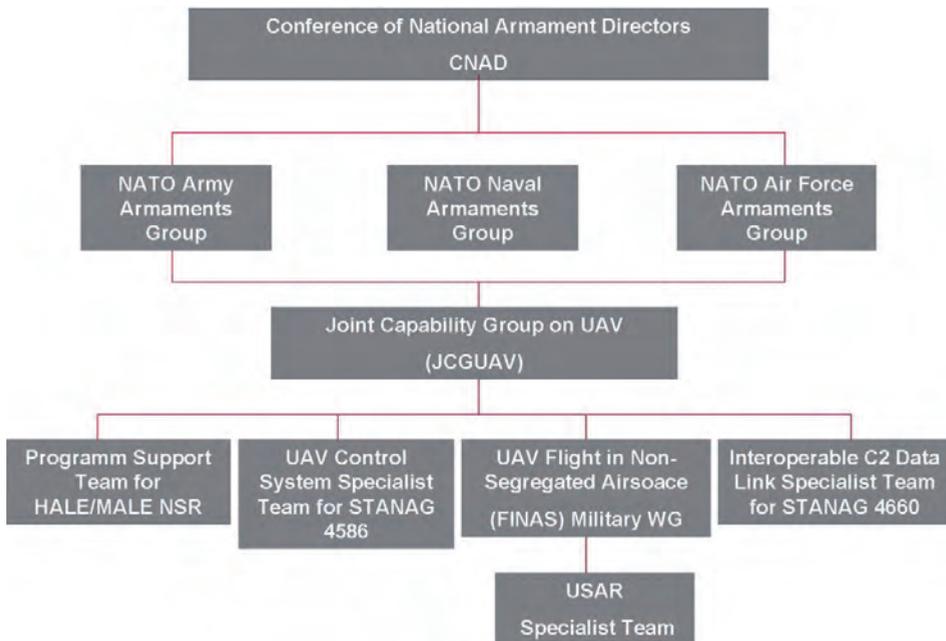
5. Iniciativas en OTAN

En el ámbito OTAN existen al menos cuatro entidades y grupos de trabajo interesados en diversos aspectos de los UAS:

- Joint Capability Group on Unmanned Aerial Vehicles (JCGUAV)
- NATO Standardization Agency (NSA) Joint UAV Panel
- Operations Research Division de la NATO Consultation, Command and Control Agency (NC3A)
- JAPCC (Joint Airpower Competence Centre)

5.1. JCGUAV

El JCGUAV, directamente dependiente de la CNAD (Conference of National Armament Directorate), creó en 2003, a través del NATO Air Force Armaments Group 7 (NAFAG 7), la denominada Iniciativa FINAS, en colaboración con el Reino Unido, Alemania, Canadá, España, Francia, Holanda, Italia, Polonia, Suecia y USA por un lado y la presen-



Iniciativa FINAS

cia de Eurocontrol, el EUROCAE WG-73, NATMC (NATO Air Traffic Management Comité), AGS (Alliance Ground Surveillance) y el RCTA SC-203 por otro.

La iniciativa tiene como objetivo establecer criterios de aplicación en los países de la OTAN sobre la autorización de operaciones «cross-border» de los UAS en espacio aéreo «No Segregado», bajo la premisa de que: *«Los UAS cuya operación sea aprobada en un país OTAN, deberá ser aceptables para realizar operaciones similares en otra nación de la OTAN, siguiendo los mismos sistemas de acuerdo multilateral que los establecidos para la aviación tripulada».*

El trabajo se ha estructurado en tres áreas principales:

- Certificaciones de aeronavegabilidad
- Relaciones con el ATM/ATC
- Cualificación de los operador

En estas áreas se desarrollan diversas «guías de armonización» cubriendo los temas de certificaciones de aeronavegabilidad, seguridad en Data Link, regulaciones de vuelo, Mantenimiento, ATM y diversas consideraciones legales.

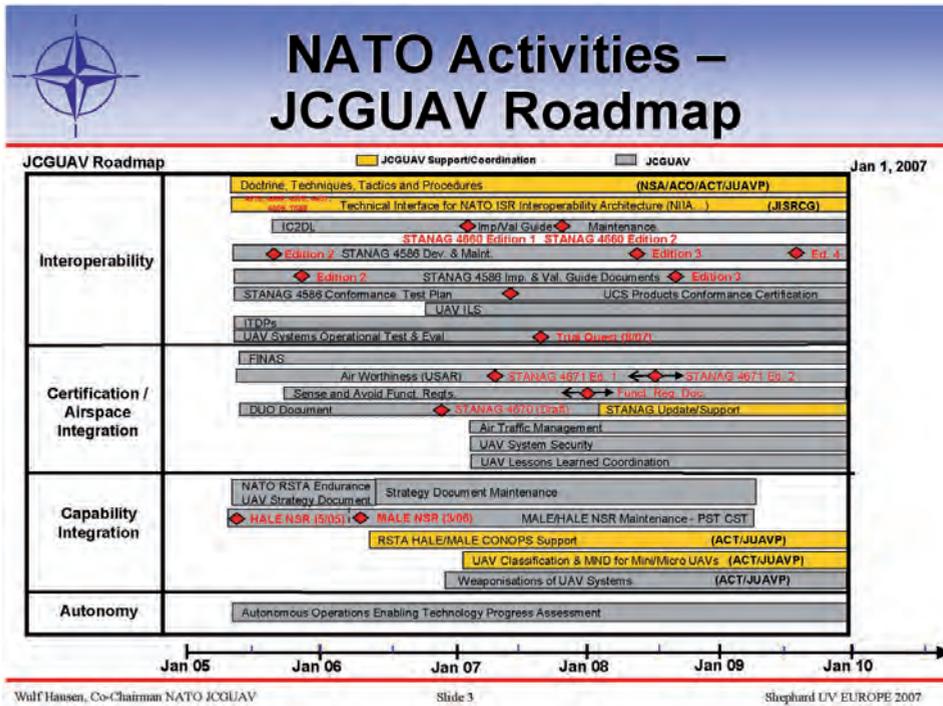
Adicionalmente, el FINAS Working Group participa en el desarrollo de los siguientes estándares:

- STANAG 4670: Training of Designated UAV Operators (DUO).
- STANAG 4671: NATO UAV Systems Airworthiness Requirements (USAR)
- STAAG sobre Sense and Avoid

El más avanzado de los trabajos es, precisamente, el relacionado con el desarrollo de normativa sobre aeronavegabilidad, en la forma del STANAG 4671.

El Grupo tiene en elaboración un Roadmap sobre UAS que recogerá el estado actual del desarrollo y utilización de UAS y las tecnologías asociadas y previsiones de futuro en el ámbito OTAN. Se prevé su publicación a finales del 2007.

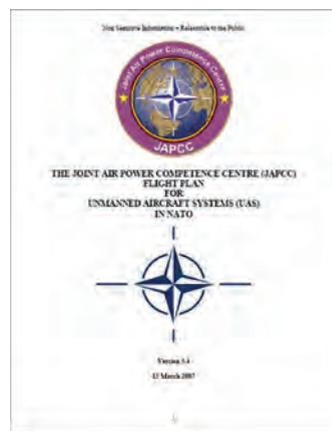
Un avance del Roadmap se muestra en la figura adjunta



JCGUAV Roadmap

5.2. JAPCC

Paralelamente a la iniciativa anterior, el JAPCC (Joint Airpower Competence Center), ha editado el «Flight Plan for Unmanned Aircraft Systems (UAS) in NATO», versión 5.4 de fecha 15 de Marzo de 2007, con el objetivo de desarrollar las futuras aplicaciones del UAS para mejorar la disponibilidad, interoperabilidad y la operación de los UAS en OTAN.



Flight plan for Unmanned Aircraft Systems in NATO

6. Participación industrial española

La participación española en actividades o estudios relacionados directamente con la integración de UAS en el espacio aéreo, con los sistemas de Sense and Avoid o las comunicaciones para UAS, se viene llevando a cabo, dadas las características de los procesos de integración, fundamentalmente a través de la participación en consorcios internacionales con patrocinios de la EDA o de los diferentes Programas Marco de la Comisión Europea. Se ofrece a continuación una breve reseña de la participación española.

Espelsa (Especialidades Eléctricas SA), filial de la constructora FCC, ha participado, como se ha mencionado anteriormente, en el Proyecto «Technology Demonstration Study on Sense and Avoid Technologies for LE UAV» de la EDA que, liderado por la francesa Sagem, contaba con la participación de Onera, y TNO.

La participación de Espelsa se desarrolló básicamente en los paquetes de trabajo relativos a la función «Avoid», estableciendo requisitos a dicha función (Las Reglas del Aire, requisitos establecidos por Eurocontrol y requisitos de autonomía), definiendo los datos que la función Avoid requiere de otros sistemas del UAS o de otros usuarios del espacio aéreo, creando escenarios, desarrollando la lógica apropiada para la toma de decisiones y realizando simulaciones.

Isdefe (Ingeniería de Sistemas para la Defensa) e **INNAXIS** (Fundación Instituto de Investigación) están implicados en el proyecto denominado INOUI (Innovative Operational UAV Integration), con cobertura financiera del 6ª Programa Marco de la CE, junto a DFS (Deutsche Flugsicherung GmbH) que actúa de coordinador del grupo, BR&TE (Boeing Research & Technology Europe, S.L.), ONERA (Office National d'Études et de Recherches Aéropatiales) y RDE (Rheinmetall Defence Electronics GmbH).

El Proyecto INOUI pretende Identificar conceptos operacionales para aplicaciones de UAS, identificar las actividades necesarias para la integración de UAS en el sistema ATM del año 2020, sugerir un plan óptimo de certificación de UAS tanto para pilotos y operadores como tecnologías, identificar aspectos de seguridad operacional relacionados con UAS y determinar los objetivos y requisitos de seguridad necesarios para que la operación sea segura.

Por otro lado, Isdefe está asimismo presente en otros Proyectos o Programas de financiación nacional, a través de los fondos del Programa CENIT, como el ATLANTIDA (Aplicación de Tecnologías Líder a Aeronaves No Tripuladas para la Investigación y Desarrollo en ATM), liderado por Boeing Research and Technology Europe y con participación del **CTA** (Centro de Tecnologías Aeronáuticas).

Asimismo colabora en el Proyecto UNICAIR (Demostrador Tecnológico para la Inserción de Vehículos No Tripulados en Espacio Aéreo Controlado) del año 2005, liderado por **Boeing Research and Technology Europe SL**. Se trata de un Proyecto de I+D del Programa Nacional de Medios de Transporte de la Dirección General de Política Tecnológica del Ministerio de Educación y Ciencia.

Por su parte el **INTA** ha puesto en marcha, con la financiación parcial del CDTI, el programa PLATINO (Plataforma Ligera Aérea de Tecnologías Innovadoras) que recoge, a su vez diversos proyectos, entre los cuales, el básico se denomina HADA (Helicóptero Adaptativo Avión), para el que han establecido unos proyectos complementarios: SATA (Sistema Avanzado de Aterrizaje Automático), COBOR (Comunicaciones Ópticas a Bordo), MINISARA (Radar de Apertura Sintética en miniatura) y el SANAS (Sistema Automático de Navegación Aérea Segura) que es en realidad un estudio de sistemas de Sense and Avoid.



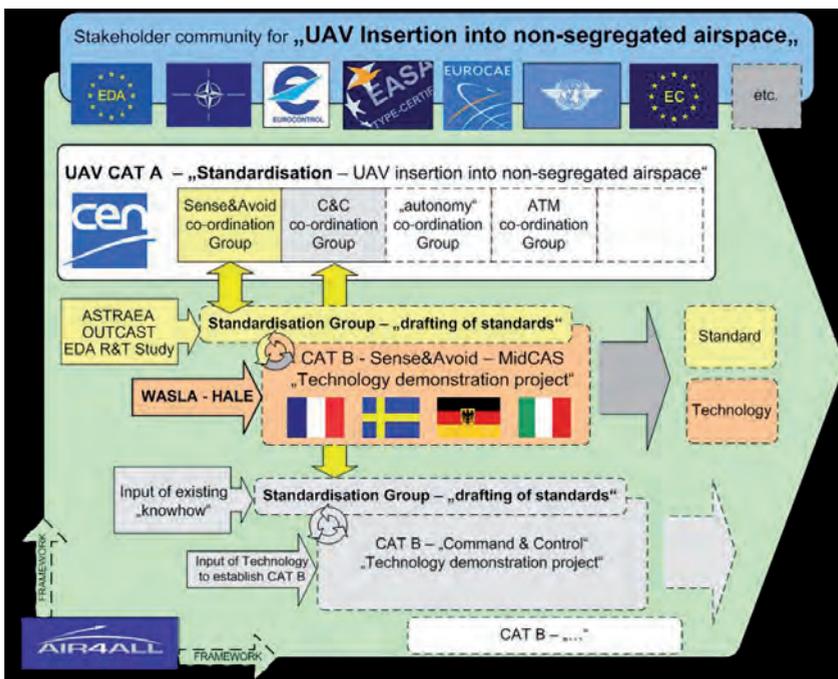
SISTEMA DE OBSERVACIÓN Y
PROSPECTIVA TECNOLÓGICA

CONCLUSIONES

Conclusiones

La integración de los UAS de más de 150 Kg de MTOW operando por encima de los 3.000ft (tácticos de largo alcance, MALE y HALE) en el Espacio Aéreo No Segregado pasa por la resolución de tres grandes retos.

El primero de ellos es el establecimiento de estándares para certificar la aeronavegabilidad de las plataformas y los equipos embarcados, la adecuación de los operadores y de los procesos de mantenimiento. En este aspecto, la previsible ratificación de los STANAG 4761 (NATO UAV Systems Airworthiness Requirements) y STANAG 4670 (Recommended Guidance for the Training of Designated UAV Operator (DUO), permitiría conseguir la plena certificación de estos sistemas.



EDA UAV Roadmap Study

El segundo y más complejo, es el del cumplimiento de las actuales Reglas de Aire vigentes, con el mismo nivel de seguridad (ELOS) que las aeronaves tripuladas, lo que implica a su vez dar una solución tecnológica a la ausencia de la tripulación a bordo, en particular en dos aspectos fundamentales: la capacidad de observación del entorno cercano en evitación de obstáculos y la consiguiente toma de decisiones, así como el mantenimiento de comunicaciones seguras y fiables, tanto las de mando y control de la plataforma, como las que se deban establecer (voz y datos) con el ATC.

Es en este segundo aspecto en el que las iniciativas para la integración encuentran más dificultades puesto que las tecnologías mencionadas, sobre todo aquellas que proporcionarán la capacidad Sense and Avoid, permitiendo el mantenimiento de las separaciones mínimas requeridas en cada condición, fase de vuelo o espacio aéreo y ejecutan (modo autónomo) o facilitan la ejecución (man in the loop) de las maniobras en evitación del tráfico aéreo conflictivo, están en fases iniciales no tanto por el desarrollo de nuevas tecnologías, sino por el desarrollo de las adecuadas especificaciones que permitirían certificar dichos sistemas.

Por último, ha de proporcionarse un sistema de comunicaciones (sobre todo de C2) seguro y fiable. Hay que hacer notar que hasta el 2011 no se prevén acuerdos internacionales para la asignación de frecuencias a los UAS.

A esto hay que añadir que las soluciones obtenidas para la integración han de ser soluciones comunes y asumidas por una gran diversidad de organizaciones, en el entorno de las operaciones aeronáuticas, hasta ser finalmente ratificadas por OACI, Eurocontrol o la FAA e implementadas paulatinamente, sin olvidar que el elevado coste asociado a todas estas actividades obliga al establecimiento de programas multinacionales, en algunos casos de alto riesgo y a establecer multitud de programas de investigación y desarrollo.

Como contrapartida, estas iniciativas están generando esfuerzos de investigación conjunta con la participación de todos los actores técnicos, reguladores, usuarios, empresas, etc, creando un tejido internacional de conocimiento y de capacitación industrial, con unas perspectivas de rentabilidad a medio y largo plazo muy favorables.

La resolución del problema de la integración en espacio aéreo no segregado, desbloqueará multitud de proyectos e iniciativas, tanto civiles como

militares, de UAS cuyas misiones se llevarán a cabo desde aeropuertos o bases aéreas desplazándose a zonas de trabajo en las que compartirán el espacio aéreo con la aviación convencional, en modo seguro.

En cuanto a la fecha estimada en la que se prevé disponer de UAS completamente integrados, los diferentes Roadmap elaborados por los Organismos que actúan como dinamizadores u observadores de estos procesos van cada año, ajustando y alejando ese hito, aunque parece estabilizarse en torno a los años 2015-2020.



SISTEMA DE OBSERVACIÓN Y
PROSPECTIVA TECNOLÓGICA

DOCUMENTACIÓN DE REFERENCIA

AMBITO	ORGANISMO	PROGRAMA/DOCUMENTO	EDICIÓN	TIPO
CE		Reglamento (CE) No 1702/2003 de la Comisión de 24 de septiembre de 2003 (sobre la certificación de aeronavegabilidad y medioambiental)	2003	Regulación
ESPAÑA		Real Decreto 1489/1994; Reglamento de Circulación Aérea Operativa.	1994	Regulación
ESPAÑA		Real Decreto 660/2001 de 22 de Julio (sobre la certificación de aeronaves civiles)	2001	Regulación
ESPAÑA		Real Decreto 2218/2004, de 26 de noviembre: Reglamento de Aeronavegabilidad de Defensa	2004	Regulación
ESPAÑA		Real Decreto 57/2002 18 de Enero: Reglamento de Circulación Aérea	2002	Regulación
EUROPA	OCCAR	«Essential Requirements for Airworthiness applicable to Military Aircraft». (Annex A to OCCAR Management Procedures (OMP) Airworthiness. Issue1. Draft1. 2007	2007	Regulación
EUROPA	EASA	Regulación EC 1592/2002	2002	Regulación
EUROPA	EASA	Advanced Notice of Proposed Amendment (NPA) No 16/2005: Policy for Unmanned Aerial Vehicle (UAV) certification.	2005	Estudio
EUROPA	EDA	UAV Roadmap		Roadmap
EUROPA	Eurocontrol UAV-OAT-TF	Specifications for the Use of Military Unmanned Aerial Vehicles as Operational Air Traffic Outside Segregated Airspace	2006	Especificación
EUROPA	Eurocontrol/IABG/CARE	Final Report. CARE Innovative Action Preliminary Study on Integration of Unmanned Aerial Vehicles into Future Air Traffic Management. Version 1.1	2001	Estudio
EUROPA	JAA-Eurocontrol UAV TF	Final Report: A Concept for European Regulations for Civil UAVs	2004	Estudio
EUROPA	UE	UAVNET Roadmap	2005	Roadmap

FRANCIA	DGA-DCE/CEV	USAR: UAV System Airworthiness Requirements	2005	Especificación
NATO	NAFAG	STANAG 4671 (Draft)	2004	Especificación
OACI	OACI	Anexo 2 de OACI (Rules of the Air)		Regulación
OACI	OACI	Anexo 11 de OACI (Air Traffic Services)		Regulación
OTAN	JAPCC	Flight plan for UAS in NATO v 5.4	2007	Roadmap
OTAN	FINAS	STANAG 4670: Recommended Guidance for the Training of Designated Unmanned Aerial Vehicle Operator (DUO)	TBD	Especificación
UK	CAA/DAP	CAP 722: UAV Operations in UK Airspace-Guidance	2005	Regulación
USA	FAA	AFS-400 UAS Policy 05-01: Unmanned Aircraft Systems Operation in NAS	2005	Regulación
USA	FAA	14 CFR Part. 91: General Operating and Flight Rules		Regulación
USA	NASA	ERAST (Environmental Research Aircraft and Sensor Technology) HALE UAS Certification and Regulatory Roadmap V 1.3		Roadmap
USA	US DoD	Unmanned Aerial Vehicles as Operational Air Traffic		Estudio
USA	US DoD	Airspace Integration Plan for Unmanned Aviation	2004	Estudio
USA	US DoD	UAS Roadmap 2005-2030	2005	Roadmap
USA	US DoD	Unmanned Systems Roadmap 2007-2032	2007	Roadmap
USA	NASA/ACCESS 5	HALE ROA Concept of Operations, v 2.0	2005	Estudio
USA	ASTM	ASTM F 2411-04 «Standard specification for design and performance of an airborne Sense and Avoid system»	2007	Especificación
USA		ACC/DR-UAV SMO Requisitos de Sense and Avoid para ROA	2004	