

Trabajo Fin de Grado

ESTUDIO DE IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA ADS-B EN AERONAVES MILITARES: VENTAJAS E INCONVENIENTES OPERACIONALES

David Bazaco Turch

Director académico: Dr. Juan Pablo Hierro Álvarez

Director militar: Cte. D. Daniel Blanco Vega

Centro Universitario de la Defensa-Academia General Militar

2023



Agradecimientos

En primer lugar, me complace agradecer a mi director académico, el doctor D. Juan Hierro Álvarez, y a mi tutor militar, el comandante D. Daniel Blanco Vega, por su apoyo, consejo, revisión y esfuerzo desinteresado demostrado durante la elaboración del presente proyecto.

En segundo lugar, agradecer a los componentes de la Unidad de Mantenimiento de la Base Coronel Maté de Colmenar Viejo y al comandante experto en la materia del Ejército del Aire, por su tiempo ofrecido a la hora de colaborar en la elaboración de las entrevistas.

Además, reconozco a los instructores, profesores, pilotos, operadores RPAS, mecánicos y aviónicos de la Academia de Aviación del Ejército de Tierra que ofrecieron su participación en el proceso de efectuar los cuestionarios, prestando su tiempo y brindando información valiosa con rigor y criterio que ha servido considerablemente tanto para la elaboración del trabajo como para mi desempeño personal y profesional.

Por último, y no menos importante, agradecer a mi familia por apoyarme, educarme y acompañarme, esforzándose para otorgarme el beneficio de estar donde estoy actualmente. Asimismo, reconocer su trabajo diario a la hora de enseñarme todo lo que el sistema educativo no es capaz de enseñar. Para terminar, dar las gracias por su capacidad orientativa, de comprensión y constante ayuda prestada conformando una estructura sólida para apoyarse durante todos estos años de formación.



RESUMEN

El ADS-B es una tecnología de control de tráfico aéreo basada en fuentes de localización GPS y WAAS, frente a los equipos actuales basados en sistemas radar. Los sistemas radar poseen cierta demora en la transmisión de información por lo que, para garantizar la seguridad de las aeronaves, se mantienen separaciones de seguridad ineficientes. Por esa razón, ante el aumento del número de aeronaves que comparten el espacio aéreo, se buscó implantar una tecnología que permitiese un mejor control y una reducción de la congestión de los cielos.

La aviación civil estadounidense fue la pionera en la introducción de estos equipos en sus aviones y tras observar las ventajas que se podían explotar de su uso, se comenzó a extender al resto del mundo convirtiéndose en un requisito para las aeronaves de muchos países.

No obstante, la capacidad de transmisión de información con gran número de detalles acerca de la posición, altura, indicativo y rumbo de la aeronave no resulta igual de beneficioso en todas ellas. Las aeronaves de estado; y en específico, las militares, tienen un amplio abanico de misiones a realizar, entre las cuales se encuentran misiones de carácter táctico en donde se busca no ser detectado por el enemigo para evitar vulnerabilidades. Por eso en este proyecto se busca estudiar la posibilidad de implementación del ADS-B en las aeronaves militares, y más en concreto los helicópteros militares dada la formación y empleo esperado del autor.

La incorporación de este sistema no resulta sencilla, puesto que existen muchas variables a tener en cuenta a la hora de introducir un equipo nuevo dentro de una aeronave. Para conseguirlo, se ha buscado analizar las ventajas e inconvenientes usando como herramienta principal el estudio comparativo entre la tecnología a implantar frente a la que se pretende sustituir. Además, se ha de tener en cuenta las diferencias existentes en dimensión territorial, estaciones instaladas y tipo de terreno entre España y otros países, a la hora de investigar el alcance del ADS-B. Por último, se ha evaluado la oportunidad de su uso en zona de operaciones a la vista de las dudas existentes acerca de su seguridad frente al enemigo.

Con los datos recopilados en la elaboración de este trabajo, se ha llegado a la conclusión de que la implantación del ADS-B es posible siempre y cuando se busque una incorporación que permita su uso en conjunto con el transpondedor modo S y modo 4/5. De esta forma, se mantiene la seguridad en todos los ámbitos de uso y simplemente supondría, con la autorización correspondiente, activar el sistema necesario e inhabilitar el resto.

PALABRAS CLAVE

Helicópteros militares y control aéreo.



ABSTRACT

ADS-B is an air traffic control technology based on GPS and WAAS location sources, as opposed to current equipment based on radar systems. Radar systems have a certain delay in the transmission of information and therefore, in order to ensure the safety of aircraft, inefficient safety separations are maintained. For this reason, as the number of aircraft sharing the airspace increased, a technology was sought that would allow better control and a reduction of congestion in the skies.

American civil aviation was the pioneer in the introduction of this equipment in its aircraft and after observing the advantages that could be exploited from its use, it began to spread to the rest of the world, becoming a requirement for the aircraft of many countries.

However, the ability to transmit highly detailed information about the aircraft's position, altitude, call sign and heading is not equally beneficial for all aircraft. State aircraft, and specifically military aircraft, have a wide range of missions to perform, including tactical missions where the aim is to avoid detection by the enemy in order to avoid vulnerabilities. For this reason, this project seeks to study the possibility of implementing ADS-B in military aircraft, and more specifically in military helicopters, given the author's training and expected use.

The incorporation of this system is not easy, as there are many variables to take into account when introducing new equipment into an aircraft. To achieve this, the advantages and disadvantages have been analyzed using the comparative study between the technology to be implemented and the technology to be replaced as the main tool. In addition, the existing differences in territorial dimension, installed stations and type of terrain between Spain and other countries have to be taken into account when investigating the scope of ADS-B. Finally, the appropriateness of its use in the area of operations has been assessed in view of the doubts about its security against the enemy.

Based on the data collected in the course of this work, it has been concluded that the implementation of ADS-B is possible as long as an incorporation is sought that allows its use in conjunction with the mode S and mode 4/5 transponder. In this way, security is maintained in all areas of use and would simply involve, with the appropriate authorization, activating the necessary system and disabling the rest.

KEYWORDS

Military helicopters and air traffic control.



INDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	I
RESUMEN.....	II
ABSTRACT	III
INDICE DE CONTENIDO	IV
INDICE DE FIGURAS	V
INDICE DE TABLAS	VI
ABREVIATURAS, SIGLAS Y ACRÓNIMOS	VII
1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS Y METODOLOGÍA.....	2
2.1. OBJETIVOS Y ALCANCE	2
2.2. METODOLOGÍA	2
2.2.1. Entrevista:	2
2.2.2. Cuestionario:.....	3
2.2.3. Matriz de decisión ponderada:	3
3. ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO.....	5
4. DESARROLLO: ANÁLISIS Y RESULTADOS	6
4.1. Descripción del sistema ADS-B.....	6
4.2. Opciones técnicas de transmisión de paquetes de información	7
4.3. Transpondedores radar actuales en uso	8
4.3.1. Transpondedor modo S	8
4.3.2. Transpondedor IFF modo 4 y 5	10
4.4. Ventajas del ADS-B frente a los transpondedores actuales.....	10
4.5. Alcance y situación actual del ADS-B.....	11
4.6. Aplicaciones de seguimiento del tráfico aéreo y el ADS-B. Flightradar24	15
4.7. Plan actual de incorporación del ADS-B en aeronaves de estado en España	16
4.8. Instalación del ADS-B	17
4.9. ADS-B IN y el TCAS	20
5. ANÁLISIS DE LA ENTREVISTA	21
5.1. Análisis del cuestionario	23
5.2. Análisis matriz ponderada de comparación.....	25
6. CONCLUSIONES	25
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	27
ANEXOS	29



INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Reducción de la congestión en el espacio aéreo con ADS-B. Fuente:	1
Figura 2. Funcionamiento del ADS-B OUT y ADS-B IN. Fuente: Elaboración propia.	6
Figura 3. Interrogación transponder Modo S. Fuente:	8
Figura 4. Respuesta transpondedor modo S. Fuente:	9
Figura 5. Clasificación del espacio aéreo. Fuente:	12
Figura 6. Receptor ADS-B Flightradar24 Modo S. Fuente: Flightradar24	16
Figura 7. Representación gráfica ADS-B IN. Fuente:	20
Figura 8. Áreas de precaución y alerta. Fuente:	32
Figura 9. Avisos de tráficos del TCAS. Fuente:	32
Figura 10. Proporciones de los tipos de encuestados. Fuente: Elaboración propia.....	34
Figura 11. Número de horas de la muestra. Fuente: Elaboración propia	34
Figura 12. Conocimiento del ADS-B de pilotos de +1000 horas. Fuente: Elaboración propia ...	34
Figura 13. Tipos de misiones aplicables al ADS-B. Fuente: Elaboración propia.....	35
Figura 14. Posibilidad de compatibilidad con el ADS-B. Fuente: Elaboración propia	35



INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Matriz ponderada de comparación.....	25
---	----



ABREVIATURAS, SIGLAS Y ACRÓNIMOS

ADS-B: Automatic Dependent Surveillance - Broadcast

ATC: Air Traffic Control

DOD: Department of Defense

EA: Ejército del Aire

ET: Ejército de Tierra

FAA: Federal Aviation Administration

FL: Flight Level

FIS-B: Flight Information Services - Broadcast

GPS: Global Position System

IFF: Identification Friend or Foe

ILS: Instrumental Landing System

METAR: METeorological Aerodrome Report

MLAT: Multilateración

MSSR: Monopulse Secondary Surveillance Radar

ND: Navegation Display

NDB: Non-Direccional Beacon

NM: Nautic Miles

NOTAM: Notice To AirMen

PFD: Primary Flight Display

RA: Resolution Advisory

RAIM: Receiver Autonomous Integrity Monitoring

RNAV: Radar Navigation

RPAS: Remotely Piloted Aircraft System

SSR: Secondary Surveillance Radar

TA: Traffic Advisory

TAF: Terminal Aerodrome Forecast

TCAS: Traffic and Collision Avoidance System

TCO: Third Country Operators

TDOA: Time Difference Of Arrival

TIS-B: Traffic Information Services - Broadcast

VOR: Very High Frequency Omnidireccional Range

VSI: Vertical Speed Indicator

WAAS: Wide Area Augmentation System



1. INTRODUCCIÓN

Conforme pasan los años, cada vez hay un mayor número de aeronaves utilizando el mismo espacio aéreo, lo que congestiona las rutas establecidas y los sistemas de vigilancia y control de tráfico aéreo. La aviación civil ha venido empleando durante la mayor parte de su evolución radio ayudas en tierra como VOR, ILS o NDB, como apoyo a la navegación. Estos instrumentos determinan una serie de aerovías por las que todas las aeronaves deben circular separadas por altitud y dirección.

El método utilizado para asegurar que los vuelos realizados a través de las aerovías se realicen con la seguridad establecida en términos de separación, depende de la información transmitida por la aeronave en vuelo. Actualmente, la tecnología que recibe dicha información está basada en radares, con desventajas considerables en tiempo entre ondas de recepción de información y limitados por el terreno perdiendo la señal con los controladores si la aeronave se encuentra en terreno muy montañoso y volando a baja altura. Para resolver este problema, la aviación civil desarrolló el ADS-B buscando una mayor seguridad.

Los helicópteros, y en especial aquellos que realizan misiones de ámbito militar, sufren los mismos problemas mencionados anteriormente que podrían hacerles perder la señal de contacto con los controladores en algún momento de su ruta; especialmente, si están en ambiente táctico. En este proyecto se buscará la posible compatibilidad de la solución ofertada por la aviación civil con las necesidades de un colectivo con problemas similares, los helicópteros militares.

El ADS-B es una abreviatura de vigilancia automática dependiente de transmisión o Automatic Dependent Surveillance-Broadcast que por su significado se puede llegar a la conclusión de que es una tecnología que envía información de manera periódica con dependencia de una fuente de posición por satélite de la aeronave, como el WASS o el GPS. Además, proporciona servicios de vigilancia similares al radar para ATC (Air Traffic Control) y la información se transmite aire-tierra entre la aeronave y las estaciones terrestres llamado ADS-B OUT y con posibilidad de transferir información aire-aire entre aeronaves en vuelo con el llamado ADS-B IN. (ADS-B Academy, 2022)

Por último, tiene un alcance que depende de diferentes factores como la altura de la antena, la altitud a la que esté volando la aeronave y el terreno que sea más o menos montañoso. Pero, en general, se puede afirmar que el alcance de las transmisiones aire-aire tiene un rango de entre 170 y 200 millas náuticas, y las transmisiones aire-tierra-aire de hasta 180 millas náuticas.

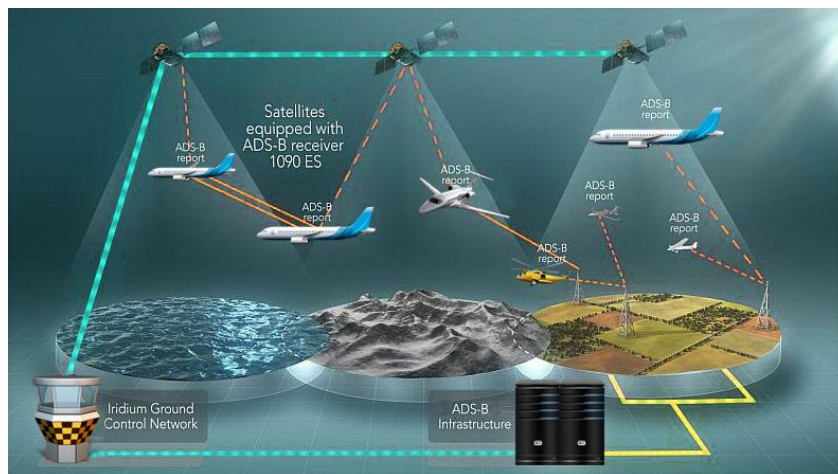


Figura 1. Reducción de la congestión en el espacio aéreo con ADS-B. Fuente: elInfochips



2. OBJETIVOS Y METODOLOGÍA

2.1. OBJETIVOS Y ALCANCE

Este proyecto busca analizar las ventajas e inconvenientes de la tecnología ADS-B en su uso actual dentro de la aviación civil, haciendo una explicación de la diferencia que existe en los requisitos y prestaciones que se obtienen de la tecnología dependiendo de los equipos que se instalen, diferenciando entre el ADS-B OUT y el ADS-B IN.

Por otro lado, se indagará en las restricciones del proyecto, centrándose en su uso en las diferentes operaciones que se realizan dentro del Ejército de Tierra y haciendo especial hincapié en la ciberdefensa y seguridad del ADS-B ante ataques enemigos. Se realizará un estudio acerca de los sistemas usados actualmente para el control del tráfico aéreo comparándolos con el ADS-B a fin de determinar si existe una evolución positiva.

En cuanto al alcance, se determinará qué aspectos del ADS-B son compatibles con los helicópteros militares y cuáles no lo son, identificando las misiones a las que su aportación sería positiva y eficiente tanto en tiempo de paz como en zona de operaciones. A partir de esta información se podrá llegar a la conclusión de si es efectivo su introducción en el Ejército de Tierra.

2.2. METODOLOGÍA

La metodología utilizada para este proyecto consta de métodos mixtos de obtención de información, los cuáles se han elegido con el objetivo de facilitar la comprensión del tema tratado además de aportar cierta solidez y rigor a las materias procesadas a lo largo del trabajo.

2.2.1. Entrevista:

El método que se ha utilizado durante la entrevista ha sido una entrevista mixta o semiestructurada, en la que se realizan una serie de preguntas abiertas al entrevistado donde se deja al experto hablar acerca del tema tratado sin guiarle hacia ningún tema específico. En una segunda parte, se sigue una serie de cuestiones predeterminadas con las que se consigue profundizar en los aspectos relevantes para el proyecto. Este estilo de entrevista está considerado como la más completa.

Se ha realizado una entrevista a un comandante del Ejército del aire experto en la materia con 2.000 horas de vuelo y quince años de servicio dentro de la península, además de cuatro misiones internacionales en Afganistán. El objetivo es conocer una opinión con un criterio elevado acerca de la posible implantación del ADS-B a las aeronaves militares, y en específico a los helicópteros. La entrevista fue vía telefónica, con una duración total de 29 minutos en el que se abordaron las siguientes cuestiones que se analizarán durante el apartado 4.10 del desarrollo del proyecto:

- ¿Qué ventajas, de todas las que ofrece esta tecnología, cree que es la más necesaria y explotable por parte de los helicópteros militares?
- ¿Cuál es la situación y necesidad de este sistema en España?
- ¿Por qué no se ha impulsado más su implementación en nuestro país?
- ¿En qué misiones ve más factible el uso e instalación de estos equipos?



- ¿Qué problemas o situaciones de peligro podría solucionar el ADS-B en helicópteros militares?
- ¿Qué inconvenientes o cambios puede generar su aplicación en las aeronaves de estado?

2.2.2. Cuestionario:

El cuestionario que se ha utilizado en el proyecto sigue la metodología de cuestionario en línea mediante un enlace distribuido por el foro compartido con los militares destinados de la base Coronel Maté. De esta manera, aumenta la eficiencia del cuestionario, obteniendo una muestra elevada de encuestados reduciendo el tiempo requerido para la misma al mínimo. Para determinar que tamaño de la muestra es necesaria para que sea estadísticamente representativa, está explicada en detalle en el Anexo I

El objetivo que se ha querido obtener con el cuestionario, se divide en dos secciones. Una primera sección, formada por tres preguntas, en la que se busca conocer acerca de la situación actual de conocimiento del sistema ADS-B dentro de la población de estudio.

La segunda sección, en cambio, aplica una condición para ser respondida; si el encuestado ha rellenado la primera parte afirmando su conocimiento acerca de la tecnología estudiada, entonces se le realizan otras cinco preguntas a fin de indagar en cuestiones más específicas acerca de la posible implementación del equipo a los helicópteros militares.

Las preguntas que conforman la primera sección son:

- ¿Cuál es su especialidad?
- ¿Cuántas horas de vuelo tiene?
- ¿Conoce el sistema ADS-B?

La segunda sección consta de las siguientes preguntas:

- ¿Cree que su uso mejora la seguridad en el vuelo?
- ¿A qué misiones serían aplicables esta tecnología?
- ¿Cree en su compatibilidad con el transpondedor IFF modo S?
- ¿Cree su compatibilidad de uso en zona de operaciones con el transpondedor modo 4/5?
- ¿Cree que se debería de conocer más este sistema dentro del Ejército?

Ambas secciones se analizarán en el apartado 4.11 del desarrollo utilizando como herramienta de apoyo gráficos obtenidos a partir de las respuestas.

2.2.3. Matriz de decisión ponderada:

La matriz de decisión ponderada es una herramienta de calidad utilizada para poder decidir entre diferentes opciones de forma objetiva y con criterio. Se ha decidido usar esta opción dentro del proyecto a fin de obtener un resultado gráfico y con un respaldo de calidad a la hora de comparar la nueva tecnología ADS-B a implantar, con su precedente el transpondedor modo S con estaciones radar SSR.

Esta matriz será realizada y evaluada en el apartado 4.12 del desarrollo basándose en los cuatro siguientes conceptos a comparar entre ambos sistemas de control del tráfico aéreo en una zona determinada del espacio aéreo:



- Alcance de recepción
- Capacidad de transmisión de datos
- Velocidad de emisión
- Coste de instalación y mantenimiento

Los pasos para realizar de manera correcta la comparación usando la matriz, consisten en determinar una ponderación, según su importancia, para cada uno de los conceptos a estudiar. Una vez identificados los porcentajes de relevancia; se indica el valor real de cada uno de los diferentes aspectos junto a un número representativo del 1 al 5, siendo el 5 el valor máximo.

Cuando se finaliza con la matriz completa, se multiplica los números representativos por su porcentaje de interés. Finalmente, se suman todos los valores obtenidos de las multiplicaciones para tener una cifra única en cada sistema; de estos resultados, se elige el mayor siendo éste el sistema óptimo entre los estudiados.



3. ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO

Ante el aumento del número de aeronaves en el espacio aéreo, en 1970 se incrementó el número de aerovías a fin de solucionar el problema gracias a la aparición del método de navegación RNAV y la tecnología GPS lo que permitió descongestionar las rutas ya establecidas. No obstante, esto no resolvía todo el problema ya que la separación mínima entre aeronaves dependía íntegramente de la información que se proporcionaba.

Los radares usados en el control del tráfico aéreo tienen en ocasiones hasta una demora de 12 segundos entre que reciben información. Esto puede no parecer un tiempo significativo pero un Boeing 747-8 recorre más de 3 kilómetros durante ese período. Además, los radares dependen de lo que reciben en los 360 grados de su movimiento con piezas móviles que están inermes al deterioro de sus materiales. (ADS-B Academy, 2022)

Existen aeronaves como los helicópteros, cuya área de actuación en muchas ocasiones se encuentra en las zonas más próximas al suelo, donde un sistema de control radar puede no alcanzar a ver a la aeronave si esta se encuentra en un terreno muy montañoso. Es por ello que apareció la tecnología ADS-B con el objetivo de mejorar la seguridad y vigilancia de los controladores aéreos trajo consigo un cambio de sistema de localización de las aeronaves. Se buscó dejar atrás a los sistemas basados en las ondas radar y modernizarse evolucionando hacia un sistema cuyo proveedor de posición fuese el GPS o el WAAS. Pero, ¿qué es y exactamente para qué sirve?

El WAAS es un sistema de satélites y estaciones terrestres que proporcionan correcciones de señal GPS, lo que le da hasta 5 veces mejor precisión a la hora de determinar una posición. Su precisión permite determinar un punto con un error de menos de tres metros el 95% de las veces sin necesidad de comprar equipos adicionales de recepción o pagar tarifas de servicio para utilizarlo.

El origen de este sistema viene de FAA y el Departamento de Transporte (DOT) donde desarrollaron el programa para su uso en aproximaciones de vuelo de precisión, puesto que el GPS por sí solo no cumplía con los requisitos en la navegación de exactitud, integridad y disponibilidad que establece la administración.

Actualmente, la cobertura por satélite WAAS sólo está disponible en Norteamérica donde consta de 25 estaciones terrestres que monitorean las señales de datos GPS, corrigiendo los errores de las mismas causados por perturbaciones ionosféricas, la sincronización y los errores de la órbita de los satélites, además, proporciona información de integridad vital con respecto a la salud de cada satélite GPS.

Sin embargo, este servicio sólo se encuentra disponible actualmente en Norteamérica, aunque en Europa está desarrollando un sistema diferencial similar basado en satélites con servicio de superposición de navegación geoestacionaria (EGNOS). Debido a sus ventajas a la hora de corregir los datos GPS, es cuestión de tiempo que todo el mundo tenga acceso a datos de posición precisos usando estos u otros sistemas compatibles.

Este cambio suponía una solución a los problemas mencionados anteriormente que existían con el uso único de los sistemas radar teniendo capacidad con el ADS-B de obtener mayor información, con un aumento en el flujo y circulación del espacio aéreo gracias a la mejora en los márgenes de seguridad a raíz de ese incremento en la calidad y rapidez de los datos recibidos. Además, esta tecnología permitía su instalación de manera sostenible y económica siendo compatible con los transpondedores radar secundarios ya implantados en las aeronaves actualmente. (Anon., 2020)



4. DESARROLLO: ANÁLISIS Y RESULTADOS

4.1. Descripción del sistema ADS-B

El funcionamiento del ADS-B es sencillo, requiriendo únicamente de tres componentes básicos en una aeronave: una fuente de posición, una antena y una pantalla en caso de necesitar transmitir aire-aire haciendo uso del ADS-B IN.

Con estos tres elementos, la aeronave puede funcionar en los dos modos nombrados anteriormente. En el caso del ADS-B OUT, un equipo calcularía su posición y enviaría un paquete de datos con identificación, velocidad y ruta a las estaciones terrestres de ADS-B y a otras aeronaves cada segundo ofreciendo a los controladores aéreos información mucho más exacta permitiendo la reducción segura de la separación entre aeronaves y, por ende, aprovechar mucho más el espacio aéreo disponible mejorando el flujo del mismo.

Sin embargo, el sistema tiene el doble de beneficios si se instala un equipo con capacidad ADS-B IN ya que se multiplica la información y las ventajas de la aeronave, pudiendo recibir datos de METAR (METeorological Aerodrome Report), TAF (Terminal Aerodrome Forecast), NOTAM (Notice To AirMen) y mucha más información de las estaciones terrestres ADS-B.

Además, el ADS-B IN permite recibir señales de otras aeronaves con ADS-B OUT incluso sin un terminal terrestre como intermediario, permitiendo que aeronaves equipadas con el ADS-B IN y OUT estén localizados entre ellos. (ADS-B Academy, 2022)

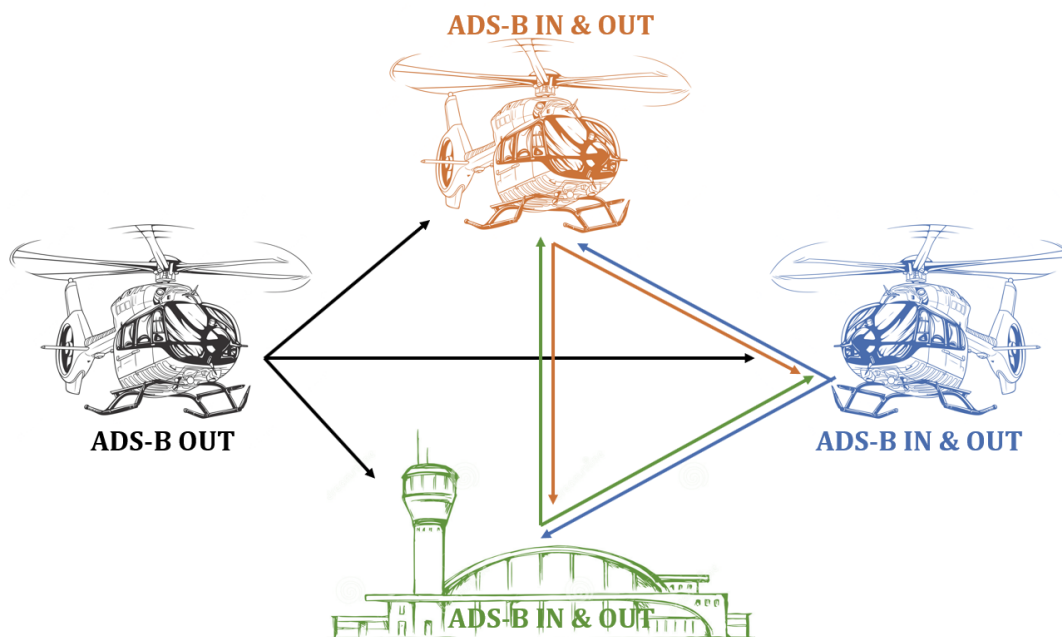


Figura 2. Funcionamiento del ADS-B OUT y ADS-B IN. Fuente: Elaboración propia.

En la figura 1 nos muestra un ejemplo donde el helicóptero negro es el único que posee solamente el ADS-B OUT mientras que el helicóptero azul y rojo cuentan con ADS-B IN y OUT.

El helicóptero negro, al sólo poseer ADS-B OUT, envía información a la estación en tierra y a aquellos tráficos que tengan instalados equipos con capacidad ADS-B IN, sin embargo, no recibe ningún dato externo ni de la estación ni de otras aeronaves.



El helicóptero azul y el naranja, al poseer equipos con capacidad de ADS-B IN y OUT, ambas aeronaves envían información a la estación en tierra además de recibir datos adicionales que se emiten desde la misma estación como NOTAMs, METAR, TAFs, etc. Añadido a esto, ambas aeronaves reciben información por parte del otro helicóptero y son capaces de ver al negro en sus pantallas pese a que el negro no pueda verlos a ellos.

La estación terrestre, recibe los datos de todos los helicópteros y transmite datos adicionales a aquellas que tengan capacidad ADS-B IN.

4.2. Opciones técnicas de transmisión de paquetes de información

Para transmitir los paquetes de información antes mencionados, existen dos opciones principales:

- Extended Squitter (ES) 1090 MHz
- Universal Access Transceiver (UAT) 978MHz

La FAA (Federal Aviation Administration) norteamericana ha aprobado una serie de requisitos en la utilización de cada uno de los métodos de transmisión.

Los equipos ES, son un requisito para aquellas aeronaves que vuelen en un nivel de vuelo mayor a 18.000 pies o FL180 (Flight Level 180) y para vuelos internacionales. También realiza las funciones básicas del ADS-B por debajo de FL180 y requiere un transpondedor modo S con capacidad ADS-B OUT; esto no supondría un problema puesto que, al estar ya instalados en helicópteros militares este tipo de transpondedor, se necesitaría simplemente a una actualización del software o una simple sustitución del transpondedor por uno más moderno del mismo modelo.

En cuanto a sus limitaciones, al no ser bidireccional, su uso en ADS-B IN se ve reducido; por ejemplo, no estaría disponible la información meteorológica de suscripción gratuita. Aun así, se tendría la posibilidad de instalar un UAT para obtener esa información complementaria que está fuera de alcance.

Otro aspecto negativo a tener en cuenta son las frecuencias de uso que tiene, pues comparte frecuencia con otros transpondedores modo A, C y S con riesgo de saturación de las mismas en espacios aéreos con mucho tránsito.

Por otra parte, los equipos UAT están autorizados en aquellas aeronaves que vuelen por debajo de FL180 y para vuelos locales. Esto nos ofrece una gran ventaja en especial a las aeronaves de estado ¹que suelen volar en estas condiciones como los helicópteros militares.

Es la tecnología más novedosa para el ADS-B y es bidireccional, permite transmitir la información en dos vías pudiendo enviar la posición actual de la aeronave al mismo tiempo que obtiene la información complementaria como información meteorológica y de tráfico aéreo.

¹ Se consideran aeronaves de estado aquellas aeronaves militares y no militares destinadas exclusivamente a servicios estatales no comerciales, como es el caso de los policías, bomberos y servicios de emergencia.



Además, la información y los datos se envíen de manera más eficiente por lo que pueda recibir a un mayor número de usuarios simultáneamente sin ningún problema.

Actualmente, no está contemplada como requisito en la mayor parte del mundo, de hecho, sólo se utiliza en Estados Unidos por debajo de FL180 y con un uso restringido en China, Japón y Corea del Sur. Como aspecto negativo, es la tecnología con menor producción y disponibilidad debido a su menor demanda.

Usando un UAT, se puede mantener el transpondedor modo S utilizado actualmente, pero se necesita instalar un transceptor por aeronave a diferencia del ES 1090 MHz que sólo requería de una actualización del transpondedor modo S.

Aun así, expertos en la materia tienen la creencia de que el UAT 978 MHz acabará siendo el transceptor estándar internacional para el uso del ADS-B por su robustez, bidireccionalidad y mayor proyección y capacidad de crecimiento y desarrollo que el ES 1090 MHz.

(ADS-B Academy, 2022)

4.3. Transpondedores radar actuales en uso

4.3.1. Transpondedor modo S

Actualmente los sistemas de vigilancia utilizados en los helicópteros militares dentro de territorio nacional son los transpondedores modo S para radares secundarios o SSR monopulso fabricados por Indra. Este tipo de sistema radar secundario se diferencia de los radares primarios al tener un dispositivo dentro de la aeronave denominado transponder.

El funcionamiento es similar a los radares primarios, donde una antena rotatoria emite pulsos de radio frecuencia a menor potencia. El dispositivo transponder instalado en la aeronave recibe la señal enviada por el radar y emite una respuesta a diferente frecuencia, con ello se evitan posibles reflexiones de obstáculos externos como los pájaros, la lluvia, la tierra o cualquier otra obstrucción que no sea una aeronave. La señal emitida desde la estación en tierra se denomina interrogación y se transmite a 1030MHz, la respuesta en cambio lo hace a 1090MHz.

La interrogación del Modo S, representada en la figura 2, consta de tres pulsos (P1, P2, P6) más un cuarto pulso de supresión de lóbulos laterales (P5). Además, cabe mencionar que en el pulso P6 va incluido el Aircraft ID, que puede ser de 56 o 112 bits en total.

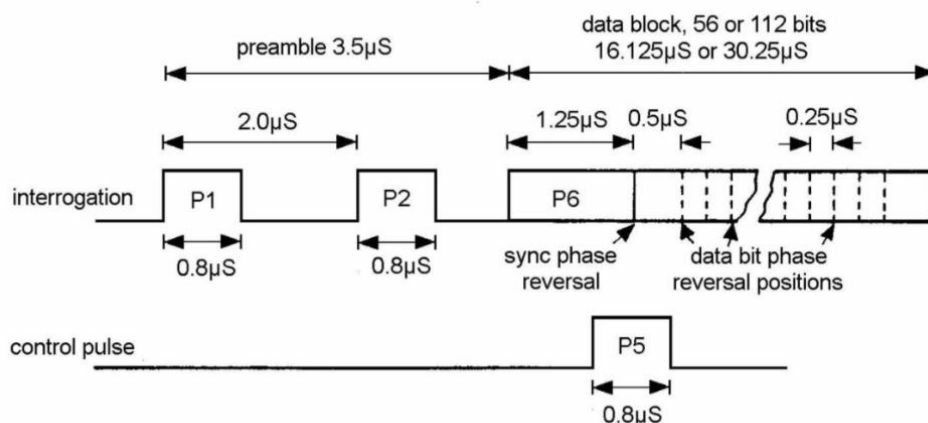


Figura 3. Interrogación transponder Modo S. Fuente: Avionteq



Por otra parte, la respuesta del modo S es la que se puede observar en la figura 3, ésta consta de un prefacio de cuatro pulsos y un conjunto de datos de 56 o 112 microsegundos de duración. Este conjunto de datos comienza 8 microsegundos después del prefacio.

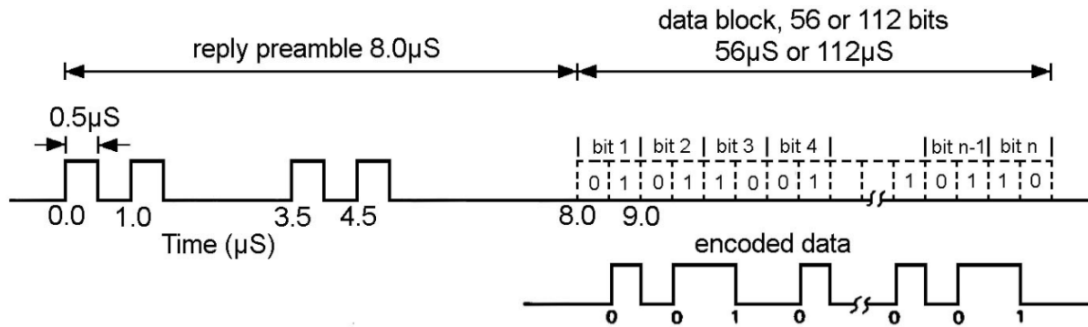


Figura 4. Respuesta transpondedor modo S. Fuente: Avionteq

El radar de Indra, representa la última generación de sistemas de radar en el dominio de vigilancia secundario. Es una versión totalmente digital, con potentes conjuntos avanzados de funcionalidades que garantizan que cualquier necesidad funcional sea satisfecha en todo momento. Es por ello, que sus actuaciones se encuentran muy por encima de los requisitos definidos.

Tiene capacidad de recibir, decodificar y realizar una integración inteligente de informes ADS-B generados por las aeronaves; esta característica exclusiva y revolucionaria mejora las actuaciones de la anterior MSSR (Monopulse Secondary Surveillance Radar) mientras que ofrece capacidades mejoradas en materia de vigilancia y seguridad.

El sistema proporciona máxima operatividad, versatilidad y flexibilidad mediante la utilización del concepto de configuración modular y tecnologías modernas lo que supone una recepción de cadena digital completa permitiendo a la unidad cumplir con todas las regulaciones con las más altas capacidades utilizando el modo S mejorado de vigilancia con todo el volumen de cobertura. Con la arquitectura redundante está comprobado que el diseño y los componentes brindan una excelente confiabilidad y disponibilidad.

Por último, una parte esencial en este sistema radar utilizado actualmente es, como ya se ha mencionado anteriormente, su capacidad de integración inteligente con el ADS-B:

- La unidad integra los informes ADS-B de las aeronaves mejorando las prestaciones y características (adquisición pasiva y en tierra, detección y mitigación de conflictos II/SI, reducción del cono de silencio, proceso de reflexión)
- Notificación de datos ADS-B continua e independiente incluso cuando se detiene la rotación de la antena.
- Antena sectorizada u omnidireccional.
- Amplia cobertura ADS-B (hasta 256NM) sin cono de silencio.
- Las sinergias entre las tecnologías MSSR y ADS-B se maximizan mientras se mantiene un uso eficiente de la infraestructura se mantiene.

(INDRA, 2022)



4.3.2. Transpondedor IFF modo 4 y 5

El ataque sorpresa de las fuerzas aéreas japonesas en Pearl Harbor la mañana del domingo 7 de diciembre de 1941, es un suceso conocido por el mundo entero. Unos años antes, la Armada estadounidense habían descubierto lo que hoy en día se entiende como tecnología radar, la posibilidad de detectar aeronaves a gran distancia utilizando longitudes de onda.

Sin embargo, en aquel momento, los radares de los americanos detectaban presencia de aeronaves sin ser capaces de distinguir si eran amigos o enemigos. Esta distinción actualmente se hace gracias a los sistemas IFF o de identificación amigo-enemigo. Básicamente, un sistema IFF necesita de un interrogador (un radar SSR) que codifica los mensajes en forma de pulsos modulados que son detectados y decodificados, siempre y cuando sean amigos. Una vez recibido el mensaje, el equipo transpondedor instalado en la aeronave, responde automáticamente con la información solicitada.

En la década de los 60 y tras el desarrollo de los modos 1, 2 y 3, se diseñó un modo militar cifrado y equipado con interrogaciones más complejas y datos de altitud. Este sistema se denomina el Mark XII Modo 4 y actualmente está utilizado por los países pertenecientes a la OTAN, como es el caso de España. Con el aumento de la densidad de tráfico aéreo civil, en los años 80 se comenzó a introducir un nuevo modo S, capaz de realizar las interrogaciones en numerosos formatos de forma selectiva para así evitar la respuesta de todos los transpondedores que estuviesen al alcance de la antena. Además, este modo S tiene mejor resolución pasando de 100 pies del modo C a 25, convirtiéndose en el estándar militar de la época.

En 1995, Estados Unidos buscó reemplazar el Mark XII Modo 4 IFF por uno que utilizase de manera equivalente el modo S. En 2002, la OTAN adoptó el Mark XIIA o modo 5 como nuevo estándar para los países de la organización; con un acuerdo de normalización o STANAG, estableciendo el modo 5 en el futuro de los integrantes.

Este nuevo modo 5 utiliza una nueva forma de onda con técnicas criptográficas, de codificación y modulación avanzada que superan el rendimiento y las limitaciones en aspectos de seguridad que presenta el modo 4. Además, está capacitado para proporcionar de forma segura la posición GPS y otros datos extendidos.

En 2016, se comenzó su incorporación en las aeronaves de Estados Unidos y actualmente, los transpondedores modo 5 y equipos de testeo, están siendo implantados en las fuerzas militares de varios países de la OTAN. Es así, que Airbus Helicopter en 2021 firmó un acuerdo de implementación de este transpondedor modo 5 en los helicópteros militares españoles como se desarrollará más adelante en el apartado 4.7 de este proyecto. (Cremades, 2016)

4.4. Ventajas e inconvenientes del ADS-B frente a los transpondedores actuales

Las ventajas que ofrece el ADS-B en comparación a los transpondedores actuales basados en tecnología radar son principalmente los siguientes:

- Información más exacta y en tiempo real, facilitando a los controladores reducir la separación entre aeronaves en vuelo manteniendo la seguridad en todo momento a la vez que se realiza un uso más eficiente del espacio aéreo con rutas más directas y con mayor capacidad de tráfico fomentando el flujo del mismo.



- Ante la desaparición de la principal desventaja de los sistemas radar, el retraso de información, se aumenta como consecuencia los márgenes de seguridad gracias al uso de fuentes de localización como el GPS cuya información no se demora como ocurría entre las ondas de los radares.
- Ahorro económico sin el sacrificio de la seguridad debido a que los terminales actuales de radar primario y secundario son significativamente menos económicos de instalar, operar y mantener que las estaciones terrestres ADS-B usadas en el control del tráfico aéreo.
- Aumento de la consciencia situacional de los pilotos, aquellas aeronaves que posean los equipos que les proporcionen la capacidad ADS-B IN podrá ver en su pantalla a otras aeronaves que tengan la tecnología ADS-B OUT de manera directa o indirecta a través de la estación terrestre. Esta tecnología no se limita a las aeronaves puesto que la estación ADS-B podría localizar vehículos que estén dentro del aeródromo (camiones logísticos de combustible, vehículos de contraincendios, etc.) que se muevan por la superficie del mismo siempre y cuando estén equipados con el ADS-B OUT.
- Aumento significativo de la cantidad de información que está al alcance de los pilotos gracias a la instalación de los equipos con capacidad ADS-B IN que reciben y envían paquetes de información adicional como por ejemplo METAR, TAF, NOTAM, etc.

(ADS-B Academy, 2022)

Por el lado contrario, los inconvenientes relacionados con el sistema ADS-B en su implantación en helicópteros militares son:

- Vulnerabilidad de información, en relación a la ciberdefensa ante ataques de inteligencia enemigos, debido a que es una tecnología que ofrece un mayor número de datos relacionados con la situación de la aeronave en todo momento en comparación con el transpondedor modo S utilizado actualmente. Añadido a esto, el ADS-B carece de cualquier tipo de cifrado por lo que es completamente vulnerable, sin posibilidad de protegerse ante hostigamientos enemigos.
- Necesidad de procesos adicionales a la implementación de la tecnología, como solicitud de redacción de permisos extraordinarios para su uso por aeronaves de estado con posibilidad de anularlo en el caso de que la misión lo requiera.
- Inversión económica inicial de adquisición de los equipos necesarios para poseer las capacidades deseadas del ADS-B dentro de cada uno de los helicópteros del ejército de tierra. Siendo esta inversión aún mayor en el caso de que se quiera introducir el ADS-B IN debido al requerimiento de una pantalla para proyectar la información.

4.5. Alcance y situación actual del ADS-B

El alcance del ADS-B al ser una tecnología nueva que busca reemplazar a los sistemas actuales radar de control de tránsito aéreo, supondrá que en un futuro sea obligatorio en todos los países a nivel mundial que realicen vuelos dentro del espacio aéreo controlado. El espacio aéreo se clasifica por alturas o niveles de vuelo y servicios ofrecidos de la letra "A" a la letra "G" siendo controlados de la "A" a la "E" y no controlado la "F" y la "G".

La fecha de implantación de la tecnología ADS-B en la aviación civil depende de cada país, pero la meta que se puso incluyendo España fue el año 2020. Independientemente de la fecha en la que pase a ser un requisito esta tecnología, hay que tener en cuenta que finalmente todos los aviones y helicópteros que vuelen en espacio aéreo controlado tendrán que incorporar el



ADS-B. Esto ha provocado que se produzca una revalorización de aquellas aeronaves que no cuentan con dichos equipos puesto que, si un comprador quiere adquirirla, tiene que ser consciente de que le supondrá una inversión extraordinaria.

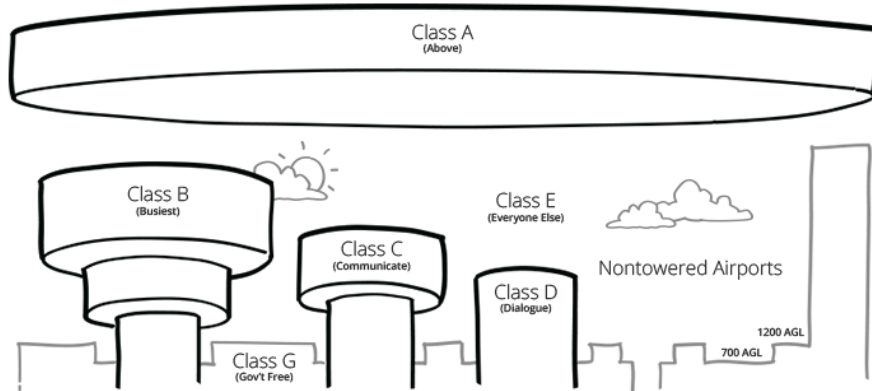


Figura 5. Clasificación del espacio aéreo. Fuente: Aeroservicio

Algunos ejemplos de países que ya cuentan con el ADS-B como requisito obligatorio son:

- **Estados Unidos:** Todas las aeronaves en espacio aéreo estadounidense desde el 1 de enero de 2020 deben tener por lo menos instalado el ADS-B OUT siempre que vuelen en cualquier espacio aéreo que requiera de transpondedor modo C, en espacio aéreo de clase A, B y C o clase E desde FL100, a menos de 30 NM (Nautic Miles) de la clase B, sobre espacio aéreo B o C hasta FL100 y cruzando fronteras internacionales.

Además, el ADS-B no sólo se ha limitado a las aeronaves civiles, sino que ha llegado a las aeronaves de Estado. Es por ello que la FAA ha tenido que publicar una nueva ley que permite a las aeronaves del gobierno federal, estatal y local de Estados Unidos que realizan operaciones delicadas ahora pueden volar con sus dispositivos electrónicos de informe de posición de transmisión de vigilancia dependiente automática (ADS-B) instalados apagados.

Según la nueva ley, las aeronaves que realizan operaciones relacionadas con la seguridad nacional, el cumplimiento de la ley, la defensa nacional y la inteligencia que podrían verse comprometidas al transmitir información de posición de aeronaves en tiempo real pueden desactivar las transmisiones ADS-B después de obtener la autorización adecuada de la FAA.

Las preocupaciones de seguridad asociadas con ADS-B OUT no se deben únicamente a las capacidades de los transpondedores ADS-B, sino a la proliferación y amplia disponibilidad de nuevos receptores y aplicaciones terrestres ADS-B de bajo costo que pueden rastrear vuelos equipados con ADS-B durante 100 a 300 millas. En comparación con los transpondedores de Modo S más antiguos, ADS-B proporciona información más detallada, incluido el número de registro de la aeronave, la longitud, la latitud, las dimensiones y la velocidad.

De acuerdo con una descripción de la nueva política, se consideraron varias alternativas a la nueva ley que, en última instancia, la FAA consideró demasiado lenta para cumplir con el mandato ADS-B OUT del 1 de enero de 2020, o requirió inversiones costosas por parte del DOD (Department of Defense) y otras agencias.

Una alternativa era enmascarar la identidad de las aeronaves del DOD equipadas con



ADS-B Out, que los funcionarios de defensa determinaron que aún no cumplirían con sus necesidades porque terceros aún podrían identificar la ubicación, la velocidad y la altitud de la aeronave.

Otras alternativas incluyeron el uso de encriptación para aeronaves sensibles o un nuevo proceso de exención en el que las agencias podrían solicitar a la FAA la autoridad para desactivar las transmisiones ADS-B OUT. Sin embargo, dado que actualmente no existe una solución de encriptación para ADS-B y un proceso de exención requiere que las agencias presenten sus solicitudes al menos 120 días antes de la necesidad de exención, estas alternativas también se rechazaron.

Con el cambio de ley, la FAA ha asignado a su división de seguridad de operaciones del sistema la tarea de aceptar solicitudes de cada agencia individual que requiera la autoridad para apagar sus transmisiones ADS-B OUT. Un objetivo importante para la FAA es evitar la coordinación de cancelaciones de transmisión ADS-B OUT por misión. En cambio, la división de operaciones de sistemas revisará las solicitudes enviadas por el nivel más alto posible de organización de la agencia. (Federal Aviation Administration, 2019)

“Una vez que una agencia ha determinado los amplios conjuntos de misiones que deben estar exentos del requisito de transmisión utilizando sus políticas internas y criterios de evaluación, debe comunicarse con la FAA para obtener autorización para realizar ese tipo de misiones”, escribieron los funcionarios de la FAA en una declaración. (Federal Aviation Administration, 2019)

- **Unión Europea:** De acuerdo con el artículo TCO.205 de la Parte-TCO, el operador de un tercer país, cuando realice operaciones dentro del espacio aéreo sobre el territorio al que se aplica el Tratado de la Unión Europea, equipará sus aeronaves y operará los equipos de navegación, comunicación y vigilancia necesarios en ese espacio aéreo.

Para todos los vuelos que operen de acuerdo con las reglas de vuelo por instrumentos en el espacio aéreo dentro de las regiones EUR y AFI de la OACI donde los Estados miembros son responsables de la prestación de servicios de tránsito aéreo, el Reglamento (UE) n.º 1207/2011, modificado por el Reglamento (UE) n.º 1028/2014 y el Reglamento (UE) 2017/386, por el que se establecen los requisitos para el funcionamiento y la interoperabilidad de la vigilancia del cielo único europeo.

Este Reglamento introduce requisitos para el transporte de ADS-B y Modo S, lo que incluye equipar a las aeronaves con transpondedores de radar de vigilancia secundarios que tengan las capacidades que se indican a continuación.

Todas las aeronaves deben estar equipadas con transpondedores de radar de vigilancia secundaria (SSR) que tengan las capacidades establecidas en la Parte A del Anexo II del Reglamento (UE) n.º 1207/2011, lo que exige que estas aeronaves cumplan con la Vigilancia elemental en Modo S.

En lo referente a los helicópteros en la Unión Europea, la Agencia Europea de Seguridad Aérea o EASA, por sus siglas en inglés, dice que como fecha límite el 7 de junio de 2020, los operadores garantizarán el cumplimiento de estos requisitos, tanto para las aeronaves adaptadas como para las de nueva fabricación.



En específico, las aeronaves de ala no fija con una masa máxima certificada de despegue superior a 5.700 kg o con una capacidad máxima de velocidad aerodinámica real de crucero superior a 250 nudos deben estar equipadas con transpondedores de radar de vigilancia secundarios que tengan las capacidades establecidas en la parte A del anexo II de Reglamento (UE) n.º 1207/2011, que exige que estas aeronaves cumplan con la Vigilancia elemental en Modo S y las capacidades establecidas en la Parte B del Anexo II del Reglamento (UE) n.º 1207/2011, que exige que estas aeronaves también cumplan con ADS -B fuera de los requisitos. (Official Journal of the European Union, 2020) (Official Journal of the European Union, 2011)

Todas las disposiciones anteriores son aplicables a todos los vuelos que operen de acuerdo con las reglas de vuelo por instrumentos dentro del espacio aéreo del Cielo Único Europeo.

Este Reglamento se actualizó con el Reglamento (UE) 2020/587 donde añadía que los operadores de aeronaves con un primer certificado de aeronavegabilidad emitido antes del 7 de diciembre de 2020 deberán cumplir antes del 7 de junio de 2023 con los requisitos ADS-B OUT y Modo S, siempre que:

- Hayan establecido antes del 7 de diciembre de 2020 un programa de modernización que demuestre el cumplimiento
- Dichas aeronaves no se hayan beneficiado de ninguna financiación de la Unión concedida para que dichas aeronaves cumplan los requisitos.

Los requisitos de ADS-B OUT y Modo S no se aplicarán a las aeronaves que pertenezcan a una de las siguientes categorías:

- Están siendo volados para someterse a mantenimiento
 - Están siendo volados para la exportación
 - Sus operaciones cesarán el 31 de octubre de 2025.
- **España:** En el caso de España como parte de la Unión Europea, ésta se ciñe a las fechas previstas de implantación de la tecnología ADS-B OUT cumpliendo con los requisitos que marca la organización competente en la materia de seguridad en Europa, EASA. Para la inserción y culminación de los equipos en la península, EASA certificó en 2022 al gestor nacional de la navegación aérea en España, ENAIRE, como proveedor de los servicios ADS-B.

ENAIRE presta servicio de control de rutas a todos los vuelos mediante cinco centros localizados en en Madrid, Barcelona, Sevilla, Gran Canaria y Palma de Mallorca. Además, es el cuarto gestor del tráfico aéreo en Europa con un sólido compromiso con el Cielo Único tal y como demuestran a sus numerosas alianzas internacionales.

Las tres primeras estaciones en ser certificadas por EASA para el control de tráfico aéreo utilizando los equipos de vigilancia ADS-B han sido las estaciones de ENAIRE en Alicante, Granada y Menorca. Después de las tres mencionadas, ENAIRE tiene como objetivo poner en servicio dos estaciones más situadas en Vejer de la Frontera (Cádiz) y Yeste (Albacete). (Avion Revue, 2020)

Por otro lado, ya se han subastado otras tres terminales ADS-B con el fin de dar cobertura al sector cantábrico como parte de un plan de futuro para la instalación de sensores en emplazamientos estratégicos en todo el territorio nacional y así cumplir con la regulación europea estipulada por EASA.



En cuanto a la dotación de las estaciones de vigilancia ADS-B para su posterior despliegue y puesta en servicio por parte de ENAIRE en el sector cantábrico, la empresa ha depositado su confianza en el grupo líder mundial en tecnologías avanzadas Thales.

“Nuestra experiencia en sistemas de navegación aérea, así como nuestras soluciones tecnológicas, harán posible la mejora de la vigilancia en el Sector Cantábrico para ENAIRE” declaró Jesús Sánchez Bargos, presidente de Thales España.

Entre todos los diferentes clientes que colabora y suministra Thales, en específico se interesa por aquellos que se encuentran en los ámbitos de defensa, la aeronáutica, el transporte y la identidad digital y la seguridad. Es por ello que la tecnología ADS-B entra dentro de sus intereses.

Las estaciones de vigilancia que proveerá Thales serán un total de seis terminales que se situarán en la cercanía de aeropuertos en Bilbao, Burgos, Pamplona, Vitoria y San Sebastián. Su función será ofrecer una cobertura de vigilancia a los procedimientos de aproximación hacia dichas instalaciones, así mismo complementará la cobertura de vigilancia existente en ruta. Se mitigará gracias a esto los efectos de posibles errores o fallos de cobertura temporales de radares próximos, que hasta ahora se cubrían con radares de terceros, como por ejemplo militares. (Thales, 2022)

Este nuevo servicio supondrá un aumento de la sostenibilidad gracias a la cobertura de zonas que previamente no estaban cubiertas por sensores con un impacto medioambiental mínimo.

El sistema ADS-B en estos casos nos beneficia en gran medida a aquellas aeronaves que utilizan principalmente aquellas zonas que, por diversos motivos ya abordados previamente, se encuentran sin o con escasa cobertura radar. De esta forma, con las estaciones instaladas y cubriendo aquellas zonas más recónditas, el controlador podrá obtener información en su pantalla junto con los datos otorgados por los diferentes radares siempre y cuando la aeronave esté equipada con la tecnología ADS-B.

4.6. Aplicaciones de seguimiento del tráfico aéreo y el ADS-B. Flightradar24

Flightradar24 es una aplicación de seguimiento de vuelo de aeronaves que permite un rastreo del tráfico aéreo de una zona en tiempo real. Este tipo de aplicaciones usan la misma tecnología ADS-B que se ha tratado a lo largo del proyecto y sólo requieren acceso a internet y la posibilidad de copiar y pegar un URL en la barra de búsqueda, por ende, supone una vía directa de observación y monitorización de las rutas y cambios producidos en situaciones de tensión.

Por ejemplo, en la reciente guerra con Ucrania se produjeron colas de hasta 25 minutos por el alto volumen de personal entrando a este tipo de páginas. Este tipo de fenómenos no ocurren en un caso aislado y suelen coincidir con catástrofes, guerras o acontecimientos significativos.

El funcionamiento de Flightradar24 se realiza gracias a dos métodos principales:

- Utilizando la función ADS-B Modo ES, mencionada anteriormente a través del canal de 1090MHz donde es necesario que la aeronave posea un receptor ADS-B Flightradar24 conectado a los servidores de la web. La distancia de recepción está limitada a 250-400 km en todas direcciones debido a la frecuencia 1090MHz.



Figura 6. Receptor ADS-B Flightradar24 Modo S. Fuente: Flightradar24

- Aquellas aeronaves no equipadas con ADS-B se usa la MLAT o multilateración usando la metodología de diferencia de tiempo de llegada (TDOA).

“Midiendo el tiempo que se tarda en recibir la señal de los aviones con un transpondedor Mode S más antiguo, es posible calcular la posición de estos aviones” aclaran desde la web.

Europa y Norteamérica se encuentran en su mayoría cubierta con MLAT por encima de 3.000-10.000 pies.

Esto puede provocar un sentimiento de preocupación en lo respecto al uso del ADS-B de cara a la seguridad como ya han tenido en consideración la FAA autorizando la desactivación de la tecnología en misiones tácticas o que requieran de cierta confidencialidad realizadas por aeronaves de estado. En respuesta, la propia la página responde con la negación a la pregunta de si se puede utilizar su plataforma para ver aeronaves de estado y por ende producir vulnerabilidades de información explotables por el enemigo.

“Por razones de seguridad y privacidad, la información sobre algunos aviones está limitada o bloqueada. Esto incluye la mayoría de los aviones militares y algunos aviones de alto perfil, como el Air Force One”, precisan desde la plataforma. (García, 2022)

4.7. Plan actual de incorporación del ADS-B en aeronaves de estado en España

Pese a las dudas de seguridad con respecto al ADS-B, España ha implementado la tecnología invirtiendo en sus fuerzas armadas delegando la instalación en empresas como Airbus Helicopters, CETA e Indra.

A mediados del año 2021, el Ministerio de Defensa fue autorizado por el Consejo de Ministros para celebrar un acuerdo a fin de proveer a los helicópteros militares de un sistema IFF por un precio de 29 millones de euros. El contrato fue concedido a Airbus Helicopters por un valor de 26,2 millones de euros.



El contrato incluye la certificación e instalación de siete prototipos:

- 1 HU-21 Super Puma del Ejército de Tierra
- 1 HT-27 UL Cougar del ET
- 1 HT-27 UL Cougar del Ejército del Aire
- 2 HD-21 Super Puma del EA
- 1 AB-212 de la Armada
- 1 SH-60B de la Armada

La implementación e instalación del Modo 5/S en los helicópteros:

- 15 HU-21 Super Puma del Ejército de Tierra
- 11 HT-27 UL Cougar del Ejército de Tierra
- 6 HT-27 AL Cougar del Ejército del Aire
- 6 AB-212 de la Armada
- 11 SH-60B de la Armada

El abastecimiento inicial de repuestos y equipos de apoyo, además de la enseñanza de uso y mantenimiento a los especialistas y demás personal.

La actualización supone la sustitución del actual transpondedor por uno que pueda implementar el modo 5 nivel 1 y 2 en edición STANAG 4193, modo S y ADS-B, además de obtener la certificación OTAN para el equipo, el certificado de aeronavegabilidad y otros que puedan ser pertinentes para el vuelo o que pueda ser requeridos por los Estados afectados por el vuelo para la integración completa del sistema. (García, 2022)

4.8. Instalación del ADS-B

Para cumplir con los requisitos que se establecen con el ADS-B, existen diferentes maneras dependiendo del tipo de aeronave y de los equipos que se encuentren ya instalados en la misma. Además, en función del tipo de operación que vaya a ejecutar la aeronave, esta llevará un equipamiento diferente instalado.

Con el fin de determinar qué equipo hay que instalar en la aeronave, se deben de tener en cuenta varios aspectos:

- **¿Cuál es el equipamiento actual de la aeronave?**

En este caso, los helicópteros militares tienen actualmente instalados el transpondedor Modo S utilizando como fuente de control los sistemas radar secundarios o SSR. La propia antena del transpondedor se podría utilizar para realizar las transmisiones propias del ADS-B sin necesidad de una antena especial.

Además, los helicópteros poseen una fuente aprobada de posición, teniendo una tarjeta GPS por aeronave y una antena asociada a la misma. No obstante, para gozar de los beneficios adicionales del ADS-B IN puede ser que se necesite una antena adicional.



- **¿Cuál es su área de actuación?**

Como ya se ha mencionado anteriormente en los apartados 4.2 y 4.5 dependiendo de cuál sea la zona de trabajo dentro de la clasificación del espacio aéreo existen requisitos diferentes, añadido a la variabilidad de los mismos dependiendo del país en el que se realicen las operaciones. Basándose en lo anterior, se elige un equipo que cumpla con todas las necesidades.

En el caso de estudio, los helicópteros operan la mayor parte del tiempo en zonas no controladas F y G a 1.000 pies o inferior en caso de vuelos visuales y con una altitud máxima de 20.000ft de techo operable en instrumental, siendo éste normalmente de 10.000 ft a causa de la hipoxia que sufren los pilotos a partir de dicha altura por la falta de oxígeno en una cabina no presurizada. En caso de superar los 10.000 ft de altura se tendría un tiempo de actuación de aproximadamente 30 minutos antes de sufrir los efectos de la falta de oxígeno.

Sabiendo esto, los equipos que serían más idóneos en este marco de trabajo son:

- Instalar un UAT puesto que cumple los requisitos del ADS-B para aquellas aeronaves que vuelan por debajo de FL180 y para vuelos locales como aparece en el punto 4.2.

Añadido a lo anterior, se puede mantener el transpondedor modo S instalado en los helicópteros como ya se ha mencionado en el punto 4.3 que permite transmitir la información en dos vías pudiendo enviar la posición actual de la aeronave al mismo tiempo que obtiene la información complementaria como información meteorológica y de tráfico aéreo.

De esta manera no se sacrifican los beneficios del ADS-B IN como ocurre utilizando el Extended Squitter (ES).

- En lo relacionado con los países en los que se va a operar, tal y como aparece en el punto 4.5, los helicópteros militares españoles realizan misiones dentro del territorio nacional y en el extranjero; por lo que necesitaría contar con la tecnología ADS-B OUT como mínimo marcado por la EASA para aquellas aeronaves que se muevan por los países europeos.

- **¿Qué tecnología implementar; el ADS-B OUT o ADS-B OUT y ADS-B IN?**

Este aspecto difiere según cuál sea el objetivo del piloto al mando de la aeronave. Si sólo busca cumplir el requisito legal de la EASA, entonces se instalará tan sólo el ADS-B OUT.

Para cumplir con el requisito del ADS-B OUT, los helicópteros militares ya cuentan con una fuente de posición autorizada de GPS y una antena para transmitir la información que se usaría la antena del propio GPS como se explica en la primera pregunta de este mismo apartado. Sin embargo, se necesita un equipo con capacidad para transmitir ADS-B OUT y con el transpondedor modo S instalado en el helicóptero no es suficiente.

Solamente tiene esta capacidad el transponder modo S con ES y aun así no todos los transpondedores modo S disponen del hardware y el software para difundir datos ADS-B OUT. Como ya se refiere en el apartado 4.2, algunos necesitarían una actualización o un cambio por una versión más moderna.

Asimismo, es necesario una fuente de posición autorizada con integridad basada en RAIM (Receiver Autonomous Integrity Monitoring), es decir, que tenga la capacidad para detectar cuando los datos recibidos por el GPS no son correctos o suficientes para definir la posición de la aeronave con la exactitud necesaria y que pueda sufrir fallos en el equipo, satélites,



errores en los cálculos o una mala geometría satelital. Cuando ocurre esto, la fuente avisa de este problema al ATC a fin de que se puedan tomar medidas en términos de seguridad y separación de tráficos. Si, por otro lado, el fallo ocurre en tierra, se buscará una reparación del equipo dañado lo antes posible.

La solución para obtener la capacidad ADS-B OUT en nuestros helicópteros con transpondedor modo S sería, la ya tratada en la segunda pregunta de este apartado, la instalación de un UAT. De esta forma, tendríamos un equipo de ADS-B con la posibilidad de uso en ADS-B OUT y ADS-B IN como se explicó en el apartado 4.2.

A raíz de esta solución alcanzada se puede pensar en dos cuestiones que a primera vista parecen no tienen un sentido lógico o son contradictorios:

- El primer elemento contradictorio sería el por qué, pese a explicar en numerosas ocasiones a lo largo del proyecto que el ADS-B es más económico y eficiente, hay que invertir en equipos. Es cierto que la implementación de los equipos de ADS-B suponen una inversión tanto para la adquisición de aquellos que van en las aeronaves como para las estaciones ADS-B en tierra.

No obstante, una vez puesta en marcha la tecnología, hay muchos ahorros en relación a que una menor separación entre aeronaves en las rutas supone vuelos más cortos y, por ende, de menor coste de combustible sin sacrificar la seguridad.

Asimismo, la instalación y la conservación de las estaciones terrestres ADS-B supone un ahorro ingente con un costo de 4 millones de dólares en comparación a los 30 millones de dólares que llega a costar una estación terrestre de radar SSR.

- El segundo factor que parece no tener un sentido lógico, es el hecho de por qué pagar por el ADS-B IN si sólo se exige ADS-B OUT. El problema recae en el hecho de que equipando la aeronave con el ADS-B OUT supondrá una inversión más o menos importante y es posible que no se note ninguna ventaja o realce en el momento del vuelo.

Simplemente se transmiten datos a otras aeronaves y a los controladores aéreos, cuando ese mismo objetivo ya se alcanza con el transpondedor modo S. Es por ello que, con una inversión adicionales posible obtener acceso a todas las ventajas y beneficios adicionales que trae consigo el ADS-B IN: adquirir información de tráfico desde una estación terrestre o de otras aeronaves ADS-B de forma directa y disponer de información meteorológica añadida como METAR TAF o NOTAM como ya se hizo alusión en el punto 4.1.

Si el objetivo del piloto es obtener una información adicional de los tráficos que tiene a su alrededor en todo momento, entonces se instalará los equipos necesarios para obtener las capacidades de ADS-B IN a fin de recibir las señales ADS-B nombradas anteriormente.

Para ello necesitará incorporar una pantalla y aun así no significa que se muestren todas las aeronaves cercanas en ella, sino que sólo aparecerán aquellas que tengan equipos instalados ADS-B ya que este sistema no funciona como un radar.

Es por eso, que existe una necesidad añadida en un futuro cercano de restringir los espacios aéreos, prohibiendo la entrada de aquellas aeronaves que no cuenten con equipos ADS-B instalados.



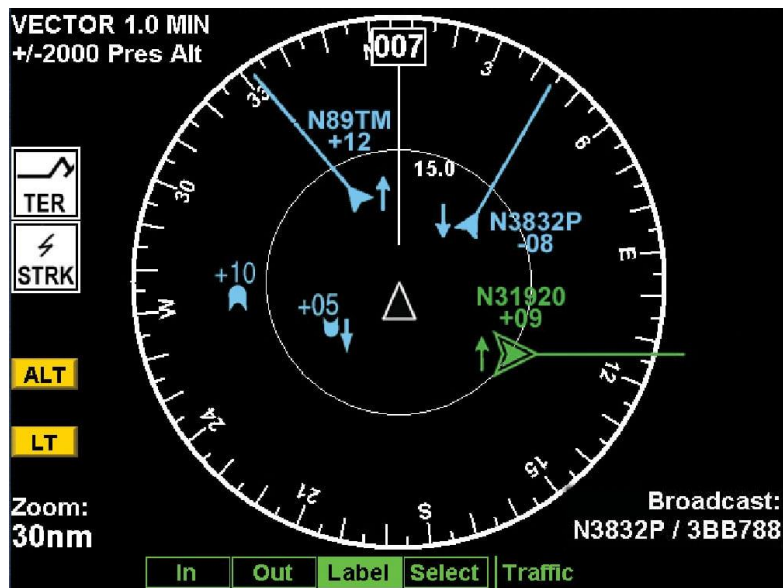
Por último, la información que puede recibir el ADS-B IN se divide en dos tipos, el FIS-B y TIS-B. La Flight Information Services y Traffic Information Services (TIS) dependen de que los datos sean transmitidos a través de una estación en tierra a las aeronaves equipadas con ADS-B IN y así puedan usar este tipo de información. De momento, sólo existen 700 estaciones en Estados Unidos, pero se espera que haya más estaciones de este tipo en España a medida que el ADS-B se implemente teniendo en cuenta su gran aportación a los vuelos eficientes y seguros. (ADS-B Academy, 2022)

4.9. ADS-B IN y el TCAS

La posibilidad de conseguir información de los tráficos cercanos con el ADS-B IN, da lugar a una serie de cuestiones acerca de su funcionamiento conjunto con otros sistemas con funcionalidades similares para ver tráficos que ya estén instalados en la aeronave.

El sistema TCAS, introducido y explicado en el Anexo II, provoca dudas acerca de su compatibilidad con el sistema ADS-B IN por el hecho de trabajar bajo los mismos principios a la hora de mostrar información adicional para el piloto.

En el caso de tener un transceptor capaz de recibir e interpretar ambos sistemas, su funcionamiento en conjunto con el ADS-B IN consistiría en comparar la información aportada por el input del ADS-B IN y el del TCAS. Si la aeronave es identificada por ambos sistemas al mismo tiempo, se le dará preferencia, en el momento de mostrar la información en la pantalla, a aquel dispositivo que tenga la mejor integridad y precisión.





- En anillo que rodea la aeronave indica un radio de cercanía con la aeronave de 900 pies de distancia, siendo comparable al área de precaución de aviso de tráfico (TA) que aparece en el TCAS.
- Las demás aeronaves vienen representadas de diferente forma dependiendo de si están en una ruta de navegación planeada previamente (como es el caso de las mostradas como un triángulo) y las que están en vuelo sin seguir una navegación específica (las descritas como una medialuna)
- La actitud de vuelo de los tráfico se puede determinar a partir de la flecha que se encuentra en el lateral de su icono de representación. Si tiene una flecha hacia arriba significa que la aeronave está ascendiendo; si está la flecha hacia abajo, estará descendiendo y si no hay ninguna flecha significa que está volando a nivel, es decir, ni asciende ni desciende.
- La distancia con respecto a la aeronave de referencia viene marcada por el número que aparece con el icono del tráfico en cuestión. Este número representa los pies de distancia en paquetes de 100 pies, en otras palabras, si el número representado es un 05, la aeronave se encuentra a 500 pies de distancia.
- Para determinar si se encuentra a un nivel de vuelo por encima o por debajo del que está volando nuestra aeronave, viene descrito con un signo +, - o nada. Si seguido al número que indica la distancia del tráfico se encuentra un signo +, significa que está volando por encima; si es un signo -, estará circulando por debajo y si no hay signo entonces estará pilotando en el mismo nivel de vuelo.

Es importante recordar que los equipos ADS-B IN detectan y muestran aeronaves equipadas con el ADS-B OUT, pero no tienen capacidad de detección para aquellas aeronaves sin la tecnología instalada. Por otro lado, el TCAS no necesariamente posee la aptitud para recibir información ADS-B IN por lo que no siempre se mostrarán las aeronaves ADS-B sólo gracias a esa señal. Los equipos nuevos TCAS para los aviones comerciales cada vez cuentan más con esta capacidad y en un futuro se buscará una integración completa de ambos sistemas.

Los helicópteros militares por sus dimensiones y otros factores, no poseen el sistema TCAS en su equipamiento y se encuentra en aeronaves militares de gran tamaño como se trata en el Anexo II. La implantación de la tecnología del ADS-B IN podría servir como complemento y apoyo de la transmisión de información de tráfico frente al control del espacio aéreo tradicional realizado por los controladores en las estaciones en tierra. Además, como ambos equipos tienen una interfaz y funcionamiento similares, se puede gozar de los beneficios que aporta el TCAS en aquellas aeronaves de menor tamaño como los helicópteros.

(Armendáriz, 2017)

4.10. Análisis de la entrevista

La entrevista realizada al experto, un comandante del Ejército del aire con más de 2.000 horas de vuelo y quince años de servicio militar en España, ha dado un punto de vista crítico acerca de la posible implantación del ADS-B en helicópteros militares.

Siguiendo las preguntas nombradas en el apartado 2.2.1 en este apartado se realizará un análisis de las respuestas aportadas por el comandante con el objetivo de alcanzar una conclusión acertada ante la temática propuesta.



Las ventajas ofrecidas por la tecnología ADS-B que son más explotables por los helicópteros militares, según el experto, son aquellas que se obtienen de la instalación del ADS-B IN. La información de los tráficos adyacentes y cercanos a la posición de una aeronave es uno de los aspectos más importantes a tener en cuenta durante un vuelo. El conocimiento y consciencia situacional que el ADS-IN aporta al piloto en su pantalla permite prescindir de estaciones en tierra para realizar esta tarea, esto permite a las estaciones tener menor carga de trabajo a la hora de realizar en control del espacio aéreo.

La implantación del ADS-B en España no se ha visto tan necesaria como se podría observar en Estados Unidos debido a que en la península no existe un problema grave en el ámbito de control de los cielos. España es un país de menor dimensión con muchas estaciones radar en tierra, por lo que no había problemas de falta de cobertura radar en el espacio aéreo español más allá de los provocados por el terreno o por un vuelo a baja altura como es el caso de los helicópteros. En cambio, Estados Unidos tiene una vasta extensión en su territorio por lo que existían zonas desiertas a las que las estaciones radar en tierra no eran capaces de cubrir. A raíz de este problema que tenían los norteamericanos, se desarrollaron tecnologías significativas de seguridad aérea que han llegado a España, como el ya mencionado TCAS.

El inconveniente que tiene el TCAS es el hecho de que está instalado en aviación civil y en aviones militares de grandes dimensiones, por lo que los helicópteros militares carecen de esa consciencia situacional de los tráficos que se encuentran a su alrededor durante el vuelo.

Por eso el experto defiende que los beneficios que se podrían obtener serían considerables si se implantase la tecnología ADS-B en aeronaves de menor tamaño y gran maniobrabilidad.

En lo relacionado a las misiones en las que el ADS-B podría desempeñar un buen papel en este tipo de aeronaves de ala rotatoria, el experto menciona principalmente dos:

- Misiones de enseñanza o instrucción
- Misiones de evacuación sanitaria y emergencias

En específico habla acerca de situaciones de alta peligrosidad que pueden ocurrir en misiones de instrucción donde se trabaja en una misma zona muchas aeronaves al mismo tiempo.

Esta condición se da en las academias donde se preparan a los futuros pilotos, donde al día salen a volar entre cinco y siete aeronaves a la misma hora, utilizando unas zonas de enseñanza limitadas dentro del área autorizada para la misión, y regresan todas las aeronaves al mismo tiempo.

En estos casos, se produce una saturación considerable de las comunicaciones debido a que la única alternativa que existe para realizar el control de tráficos en estas zonas es a través del controlador por la radio principal y a través de la radio táctica entre aeronaves dentro de la misma zona de trabajo.

Estos contextos de congestión en las comunicaciones entre el controlador y la aeronave o entre dos aeronaves a la hora de explicar cuál es su posición pueden ser potencialmente peligrosos. Mientras se están entendiendo la estación y la aeronave, el resto de tráficos no tienen comunicación con los controladores por lo que pierden por unos segundos la consciencia situacional.

Añadido a esto, mientras se realizan las notificaciones de posición, si dos aeronaves se encuentran cercanas entre sí y no se han notificado debido a que las radios estaban ocupadas, ese tiempo hasta que la radio se libera puede provocar un incidente grave o incluso un accidente.



En las situaciones de emergencia como los incendios, el caso mencionado se agrava aún más, puesto que son numerosas aeronaves apoyando a la extinción del fuego en un área reducida a la extensión del mismo. Si, tanto en la condición anterior como en ésta, las aeronaves llevasen instaladas el ADS-B IN, las situaciones de peligro se eliminarían gracias a que el piloto poseería en todo momento la información referida a los tráficos que se encuentran en las inmediaciones de su aeronave.

Por otra parte, el experto comenta la necesidad que existe de establecer una serie de restricciones de uso a fin de evitar filtraciones de información que pudiesen ser beneficiosas para el enemigo. Teniendo un seguimiento de nuestras aeronaves militares podrían obtener documentación acerca de nuestras zonas de instrucción, velocidades y prestaciones de los helicópteros.

Además, por su vuelo en áreas restringidas a la instrucción de aeronaves militares, se necesitaría una serie de permisos extraordinarios para determinar que ese sistema ADS-B es de una aeronave de estado y no de cualquier otro tipo de aeronave.

4.11. Análisis del cuestionario

El cuestionario de este proyecto fue elegido con el objetivo de llegar al mayor número de profesionales en el mundo de la aviación en el menor tiempo posible, a fin de obtener un resultado que sirva como referencia, manteniendo unos niveles de rigor y criterio elevados.

En este apartado se analizarán los resultados obtenidos a partir de las preguntas realizadas a los militares destinados en la base Coronel Maté de Colmenar Viejo, donde se encuentran el mayor número de batallones de helicópteros militares en España. Así mismo, se apoyará el estudio de cada una de las preguntas en una serie de gráficos y diagramas (en el Anexo III) con el propósito de mejorar la comprensión de los datos mediante estímulos visuales.

Considerando lo mencionado en el apartado 2.2.2, tomando un nivel de confianza del 95% y un margen de error de un 8.05%; el cuestionario se puede considerar un éxito al haber sido contestado por 100 militares de un total de 300, esto supone una muestra estadísticamente significativa con respecto de la población total de encuestados que podrían haber contestado al cuestionario.

La estructura será siguiendo el orden de las preguntas que conforman el cuestionario e introducidas en el apartado 2.2.2:

El cuestionario ha sido respondido por cuatro grupos principales de militares, un 70% de pilotos, y un 30% dividido entre mecánicos, aviónicos y operadores RPAS. De esta forma, se pueden estudiar las respuestas y opiniones de los pilotos de helicópteros acerca de la tecnología ADS-B desde su punto de vista, sin dejar de lado la opinión de los encargados de mantener la aeronave preparada para el vuelo.

Los mecánicos y aviónicos tienen un contacto más directo con todos los componentes internos de los helicópteros por lo que los conocen en profundidad, incluido el transpondedor modo S. Este grupo dentro del cuestionario, aun estando en menor proporción respecto a los pilotos, tienen especial relevancia en el momento de determinar la posibilidad de implementar el ADS-B al tener un conocimiento importante del equipo que busca sustituir. Por otro lado, los operadores RPAS, tratan con métodos de localización de aeronaves en el espacio aéreo puesto que el control de los drones y aeronaves no tripuladas necesitan de un equipo que lo tenga ubicado en todo momento.



Una vez analizados los militares que han contestado el cuestionario, se puede determinar que todos los encuestados tienen criterio y rigor para dar una opinión con precisión acerca del tema tratado en este proyecto.

Las horas de vuelo registradas en la segunda pregunta del cuestionario, muestran que un 75% tienen más de 1000 horas de vuelo, seguido de un 13% que tienen entre 500 y 1000 y un 12% restante de pilotos de menos de 100 horas de vuelo. Aquellos encuestados de menos de 100 horas son futuros pilotos que están formándose en academias, estos sirven como elemento de control para comparar el conocimiento de la tecnología entre los pilotos experimentados y los que se están construyendo como pilotos actualmente.

El nivel de conocimiento del ADS-B que se ha recibido es de un 68% frente a un 32% de desconocimiento. Los pilotos experimentados de más de 1000 por lo general, un 70% han demostrado saber acerca de la existencia de la tecnología pese a no tener una comprensión en profundidad, frente al 30% restante. Por otro lado, los pilotos menos experimentados de las academias no eran conocedores de este sistema en su totalidad. Los mecánicos y aviónicos que se han entrevistado, aproximadamente un 50% tenían alguna noción del ADS-B como sucesor del transpondedor modo S.

En la segunda sección del cuestionario, aquellos que conocían la existencia del ADS-B, respondieron íntegramente que este equipo mejoraba la seguridad de los helicópteros mejorando el control del tráfico aéreo. Además, en la cuestión de su compatibilidad con el transpondedor modo S, se volvió a producir el mismo efecto; coincidiendo el total de la muestra en que era posible su uso en conjunto con el mismo.

En cambio, la compatibilidad del ADS-B con el transpondedor modo 4/5 en zona de operaciones obtuvo una división de opiniones. Un 56% de la muestra opinó que no existía una compatibilidad con el transpondedor cifrado para su uso en zona de operaciones, frente al 44% que afirmó su posible incorporación conjunta con el mismo.

Esa división marcada que aparece en los puntos de vista del cuestionario, muestra la incertidumbre que existe respecto a su uso combinado con el transpondedor IFF y se ve respaldada por los hechos; como ya se trató en el apartado 4.5, la FAA defiende desactivar el ADS-B en aeronaves militares que realicen misiones de carácter táctico, en cambio, la EASA no se ha manifestado.

Según los datos obtenidos en la pregunta 5, las misiones que la muestra opina que son mas compatibles para la utilización de la tecnología son principalmente dos: las misiones de instrucción y de enseñanza y las misiones de evacuación sanitaria y de emergencias. Este resultado coincide con el obtenido a partir de la entrevista del apartado 4.10 ganando coherencia los resultados obtenidos en esta pregunta.

Por último, todos los encuestados están de acuerdo en que la tecnología ADS-B debería de conocerse más dentro del Ejército de Tierra pues supone un avance en la seguridad del vuelo de sus helicópteros dentro del espacio aéreo.



4.12. Análisis matriz ponderada de comparación

Tabla 1. Matriz ponderada de comparación. Fuente: Elaboración propia

	Ponderación %	Transpondedor Modo S		ADS-B	
Alcance de recepción	30	474 km	5	400 km	4
Capacidad de transmisión de datos	20	56 o 112 bits	5	56 o 112 bits	5
Velocidad de emisión	30	Cada 8 s o más	1	Cada 1 s	5
Coste de instalación y mantenimiento	20	30 millones	1	4 millones	5
TOTAL	100	VALOR	3	VALOR	4.7

La matriz ponderada de comparación muestra que el mayor valor es el obtenido a partir del sistema ADS-B frente al transpondedor modo S; esto significa que, de los aspectos estudiados en ambos sistemas, la tecnología ADS-B debería ser elegida entre las dos opciones.

La comparación entre los dos equipos se muestra con mucha claridad con este método ya que el ADS-B pese a tener unos pocos km menos de alcance; mantiene la capacidad de transmisión de los datos, reduciendo significativamente tanto la velocidad de emisión como su coste de instalación y mantenimiento. Este hecho de mejorar el 50% de las características de estudio, sin perjudicar a la otra mitad de los aspectos analizados supone una mejora muy efectiva en términos de calidad.

5. CONCLUSIONES

La tecnología ADS-B para el control aéreo de tráfico, surgió en la aviación civil como solución a un problema de congestión y sobreexplotación de los cielos causado por las limitaciones de los sistemas radar. Su objetivo era mejorar el flujo del espacio aéreo, realizando un seguimiento de las aeronaves más seguro y eficaz, lo que reducía la separación mínima entre las mismas.

Con esta tecnología implantada en la aviación civil de algunos países como Estados Unidos y con vista de futuro en su integración a las aeronaves a escala mundial, han surgido preguntas acerca de la posible introducción de los equipos ADS-B en las aeronaves de estado; más en concreto, en los helicópteros militares.

Tomando como referencia esta posibilidad, se han analizado las principales ventajas e inconvenientes del ADS-B durante su uso actual en comparación con su equivalente; el transpondedor modo S, utilizado en los helicópteros del ejército español. Este propósito se ha cumplimentado en los apartados 4.4, 4.5 y 4.6.

En el 4.4, se explican las ventajas de los equipos ADS-B que se podrían explotar en los helicópteros militares frente a las capacidades que poseen actualmente con el transpondedor modo S. Los beneficios principales de esta tecnología radican en la utilización como fuente de localización principal el GPS o WAAS frente a los radares, gracias a esto la transmisión de información es más exacta en tiempo real, facilitando la labor de los controladores.



Esta información más precisa permite reducir la separación entre aeronaves manteniendo la misma seguridad, de manera que se fomenta la fluidez de las rutas establecidas y se descongiona el espacio aéreo. Simplemente con esta mejora ya se solucionarían los problemas abordados en este proyecto, no obstante, aún hay más aspectos positivos vinculados al ADS-B. Pese a la inversión inicial de dinero en la compra de los equipos, la operación y mantenimiento de las estaciones y transpondedores ADS-B suponen un gran ahorro en comparación con las estaciones radar SSR y los transpondedores modo S.

Además, el modo de funcionamiento ADS-B IN es el motor principal del estudio para la implantación de estos equipos en los helicópteros militares españoles. Tener toda la información de los tráficos adyacentes a la aeronave a la vista dentro de una pantalla supone un aumento considerable de la conciencia situacional del piloto, tan necesaria en situaciones críticas donde hay muchas aeronaves distintas en un mismo espacio aéreo. Esto ocurre en academias de formación o en misiones de emergencia mencionadas en la entrevista al experto (apartado 4.10).

El alcance y situación actual del ADS-B se ha explicado en el apartado 4.5 donde se muestra que el sistema ha sido implantado originalmente en Estados Unidos tanto en la aviación civil como en las aeronaves de estado, demostrando que existe la posibilidad de incorporar el ADS-B en el ámbito militar. Así mismo, los inconvenientes relacionados con estos equipos emanan de los posibles problemas de seguridad vinculados a un dispositivo capaz de proporcionar información más detallada, incluido el número de registro de la aeronave, la longitud, la latitud, las dimensiones y la velocidad.

Esta información es muy sensible y produciría vulnerabilidades significativas en caso de que el enemigo consiguiera estos datos. Por esta razón, al igual que la FAA autoriza a las aeronaves militares a desactivar el ADS-B en caso necesario; los helicópteros militares deberán de implementar la tecnología en conjunto con el transpondedor IFF modo 4/5 de tal forma que sea posible inhabilitar el ADS-B si fuese preciso.

Actualmente en España, existe un plan de incorporación en aeronaves de estado del ADS-B siguiendo las pautas mencionadas en el párrafo anterior. Dicho plan se explica en profundidad en el punto 4.7 y se basa en una actualización que supone la sustitución del actual transpondedor por uno que pueda implementar el modo 5 nivel 1 y 2, modo S y ADS-B.

La clave del éxito de su implementación en helicópteros militares es este plan en concreto, ya que une en un solo transpondedor todas las capacidades y funciones posibles. Con el modo 5, se podría llevar dicho helicóptero a zona de operaciones; usando el modo S, la aeronave obtendría control aéreo mediante radar y; utilizando el ADS-B, gozaría de todas las funciones y capacidades mencionadas a lo largo del proyecto.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADS-B Academy, 2022. *Aeroservicio*. [En línea]

Available at: <http://www.aeroservicio.com/adsb-academy/>

[Último acceso: 18 octubre 2022].

Anon., 2020. *Carvalza*. [En línea]

Available at: <https://www.carvalza.es/sistema-waas-gps/>

[Último acceso: 26 octubre 2022].

Anon., s.f. *Panorama del ADS-B OUT*, s.l.: s.n.

Armendáriz, R. M., 2017. *Evitando Colisiones Aéreas... ¿Qué es el TCAS?*. [En línea]

Available at: <https://www.transponder1200.com/evitando-colisiones-aereas-que-es-el-tcas/>

[Último acceso: 26 octubre 2022].

Aviación Digital, 2020. *Aviación Digital*. [En línea]

Available at: <https://aviaciondigital.com/la-faa-investiga-como-utilizar-los-datos-del-ads-b-para-predecir-turbulencias/>

[Último acceso: 18 octubre 2022].

Avion Revue, 2020. *Avion Revue*. [En línea]

Available at: <https://www.avionrevue.com/aviacion-militar/indra-modernizara-el-sistema-espanol-de-defensa-aerea/>

[Último acceso: 18 octubre 2022].

CETA, 2021. *CETA*. [En línea]

Available at: <https://www.ceta.aero/post/ceta-dotar%C3%A1-a-los-aviones-de-la-polic%C3%ADa-de-la-capacidad-pbn-y-ads-b>

[Último acceso: 18 octubre 2022].

Clavo, L., 2022. *Flynews*. [En línea]

Available at: <https://fly-news.es/aviacion-comercial/aeropuertos/enaire-aeropuertos/enaire-certificado-easa-proveedor-servicios-ads-b-ads-b/>

[Último acceso: 18 octubre 2022].

Cremades, J. C., 2016. *El modo 5 IFF como presente y futuro para las fuerzas militares de la OTAN*. [En línea]

Available at: <https://actualidad aeroespacial.com/18942-2/>

[Último acceso: 26 octubre 2022].

EASA, 2019. *EASA Pro*. [En línea]

Available at: <https://www.easa.europa.eu/en/newsroom-and-events/news/entry-force-airspace-requirement-ads-b-and-mode-s>

[Último acceso: 18 octubre 2022].

EASA, 2020. *EASA Pro*. [En línea]

Available at: <https://www.easa.europa.eu/en/newsroom-and-events/news/amendment-airspace-requirements-ads-b-and-mode-s>

[Último acceso: 18 octubre 2022].



Federal Aviation Administration, 2019. *FAA MILITARY AIRCRAFTS 2019-15248*, s.l.: s.n.

García, J., 2022. *Xataka*. [En línea]

Available at: <https://www.xataka.com/servicios/hay-nueva-querra-primero-que-han-hecho-miles-personas-abrir-flightradar>

[Último acceso: 18 octubre 2022].

García, J. M. N., 2021. *Defensa*. [En línea]

Available at: <https://www.defensa.com/espana/airbus-helicopters-implementara-iff-modo-5-s-helicopteros-armada>

[Último acceso: 18 octubre 2022].

García, J. M. N., 2022. *Defensa*. [En línea]

Available at: <https://www.defensa.com/espana/ejercito-aire-modernizara-cuatro-aviones-c-212-3-1-millones>

[Último acceso: 18 octubre 2022].

Gutiérrez, D. P., s.f. *SISTEMA ADS-B INDRA*, s.l.: s.n.

Hispaviación, 2020. *Hispaviación*. [En línea]

Available at: <https://www.hispaviacion.es/el-sistema-de-defensa-aerea-espanol-sera-reforzado-por-indra/>

[Último acceso: 18 octubre 2022].

III, W. B., 2019. *Avionics International*. [En línea]

Available at: <https://www.aviationtoday.com/2019/07/23/new-rule-allows-military-aircraft-turn-ads-b-transmissions-off/>

[Último acceso: 18 octubre 2022].

INDRA, 2022. *MSSR mode S*, Madrid: s.n.

Martín, N., s.f. *Plan de implantación ADS-B en el espacio aéreo ENAIRE*, s.l.: s.n.

Official Journal of the European Union, 2011. *COMMISSION IMPLEMENTING REGULATION (EU) No 1207/2011*. s.l.:s.n.

Official Journal of the European Union, 2020. *COMMISSION IMPLEMENTING REGULATION (EU) 2020/587*, s.l.: s.n.

Thales, 2022. *Thales Group*. [En línea]

Available at: <https://www.thalesgroup.com/es/espana/news/thales-dotara-enaire-seis-estaciones-vigilancia-ads-b-para-su-despliegue-puesta>

[Último acceso: 18 octubre 2022].



ANEXOS

Anexo I. Muestra estadísticamente significativa	30
Anexo II. TCAS	31
Anexo III. Cuestionario	34



Anexo I. Muestra estadísticamente significativa

Para conformar el tamaño de la muestra para que sea estadísticamente significativa se ha de tener en cuenta tres términos claves:

- **Tamaño de la población:** La cantidad total de personas en el grupo que se quiere estudiar. En el caso de este proyecto se ha querido hacer llegar el cuestionario a los 300 militares pilotos, mecánicos, aviónicos y operadores RPAS (Remotely Piloted Aircraft System) que se encuentran aproximadamente en la base Coronel Maté.
- **Margen de error:** Es un porcentaje que indica en qué medida se puede esperar que los resultados obtenidos en la encuesta reflejen la opinión de la población total estudiada. Cuanto más pequeño sea este margen, más correcta será la respuesta obtenida. En el caso de estudio se ha supuesto un error del 8.05%.
- **Nivel de confianza del muestreo:** Porcentaje que revela la confianza que se puede tener en que la población elija una respuesta dentro de un rango determinado. Un nivel de confianza del 95% supone una seguridad del 95% de que los resultados oscilarán entre los números x e y. En este estudio se usará un 95% de nivel de confianza.

Con los datos anteriores obtenidos, se utiliza la siguiente fórmula para calcular el número exacto de la muestra estadísticamente representativa:

$$n = \frac{\frac{z^2 \times p(1-p)}{e^2}}{1 + \left(\frac{z^2 \times p(1-p)}{e^2 N} \right)}$$

Donde:

- n = muestra estadísticamente representativa.
- z = cantidad de desviaciones estándar que una proporción determinada se aleja de la media. Para un 95% de nivel de confianza deseado la z es 1.96
- p = porcentaje de éxito de que suceda un suceso. Si no se conoce cuál es, se elige $p = 50\%$
- N = población total



Anexo II. TCAS

En aeronaves militares de gran tamaño, como el avión de transporte español Airbus A-400M, se utiliza un sistema de detección de tráficos denominado TCAS por sus siglas en inglés Traffic and Collision Avoidance System. La historia del sistema, por otra parte, se remonta a mediados de los años cincuenta tras un fatídico accidente aéreo en el Gran Cañón en Estados Unidos, dónde un Lockheed L-1049 Super Constellation colisionó en vuelo con un DC 7 de United Airlines provocando 128 muertes.

A raíz de este siniestro, se comenzó en desarrollo de un sistema capaz de advertir a los pilotos acerca de una posible colisión con otra aeronave en vuelo. De ahí que en 1981 la FAA tuviese la iniciativa de crear un dispositivo completamente independiente de estaciones en tierra o instrumentos de navegación de la aeronave. En 1987 se instalaron los primeros TCAS en aeronaves Boeing 737-200 y DC 8-73.

No fue hasta 1989, que comenzó a ser obligatorio por orden del congreso de los Estados Unidos tras el accidente que sucedió en Cerritos, California, en 1986 donde un DC9 y un Piper PA-28 colisionaron en el espacio aéreo B de los Ángeles.

Su funcionamiento se basa en un sistema independiente instalado dentro de la aeronave, capaz de comunicarse con los transpondedores de otras aeronaves en vuelo, de esta forma, predice la ruta que sigue y alerta ante una posible amenaza de colisión sugiriendo las acciones correctivas para evitar el peligro.

Existen dos tipos de TCAS dependiendo de las funciones y capacidades que ofrecen al piloto:

- TCAS I: Emite solamente avisos de tráficos.
- TCAS II: Emite alertas de tráfico y ofrece resolución de conflictos.

El hardware que constituye el sistema, consta de dos antenas instalada una en la parte superior del fuselaje (antena direccional) y otra localizada en la parte inferior del fuselaje (antena omnidireccional)

Las alertas sonoras en la cabina y los anuncios visuales se proyectan en el PFD (Primary Flight Display) o pantalla principal de vuelo, en la pantalla de navegación o ND (Navegation Display) y en el indicador de velocidad vertical o VSI digital (Vertical Speed Indicator)

El sistema realiza un escaneo del espacio aéreo situado alrededor de la aeronave cada segundo estableciendo un área de seguridad. Una vez creada esa área segura, interroga a las demás aeronaves que se encuentren en la cercanía y tengan instalados un transpondedor; una vez se recibe la respuesta con los datos del resto de aeronaves, el TCAS predice su ruta en vuelo.

En el caso de que el TCAS detectase que una aeronave va a ingresar en su área segura y que, por ende, existe una posibilidad de colisión; el sistema divide dicha área de seguridad en dos áreas más pequeñas circundantes a la aeronave, un área de precaución y un área de alerta.

La diferencia entre ambas áreas reside en su perímetro, siendo el perímetro del área de precaución es de 40 a 45 segundos desde que una aeronave entra en el área protegida hasta el impacto. El perímetro del área de alerta es de entre 20 y 25 segundos desde que la aeronave accede hasta la colisión. Dependiendo de la altitud y velocidad del vuelo, los valores de tiempo de las áreas pueden ser modificados.

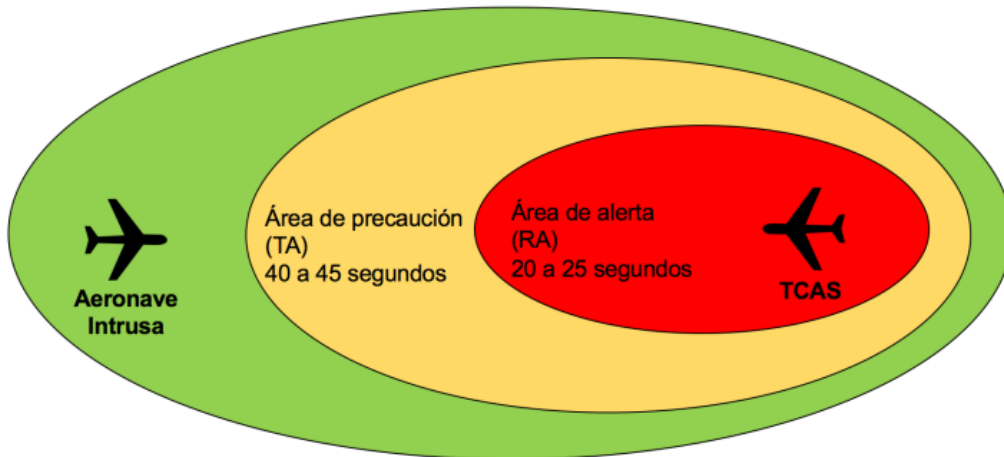


Figura 8. Áreas de precaución y alerta. Fuente: Transponder1200

En el caso de que una aeronave ingrese en el área de precaución en rumbo directo de colisión, el dispositivo TCAS I y II emiten una alerta sonora TA (Traffic Advisory): TRAFFIC! TRAFFIC!

Si la aeronave continua con la misma trayectoria ingresando en el área de alerta, únicamente el TCAS II transmite una alerta de resolución o RA con el objetivo de corregir o prevenir el choque, indicando al piloto la maniobra a realizar ya sea un ascenso o un descenso según sea el caso. Esta alerta también es sonora.

Asimismo, si existiese alguna discrepancia entre el ATC o controlador de tráfico aéreo y el TCAS, el piloto deberá de atender a la instrucción marcada por la RA del TCAS, a causa de la gran fiabilidad del mismo.



Figura 9. Avisos de tráfico del TCAS. Fuente: Transponder1200



En la figura 9 podemos observar tres tráficos que aparecen en el PFD del TCAS:

- El rombo de arriba a la izquierda muestra un tráfico sin amenaza el cual se encuentra volando nivelado, a 1.000 pies de distancia y a la misma altura que nuestra aeronave.
- El rombo de arriba a la derecha muestra un aviso de tráfico (TA) de una aeronave descendiendo y volando a 1.000 pies de distancia por debajo de la altura de nuestra aeronave.
- El círculo amarillo más cercano al icono de un avión muestra una aeronave en alerta de resolución (RA) ascendiendo y volando a 200 pies de distancia por debajo de la altura de nuestra aeronave. Antes esta situación, el TCAS indicaría el régimen de descenso o ascenso que debería de poner en los instrumentos para evitar la colisión inminente.



Anexo III. Cuestionario



Figura 10. Proporciones de los tipos de encuestados. Fuente: Elaboración propia

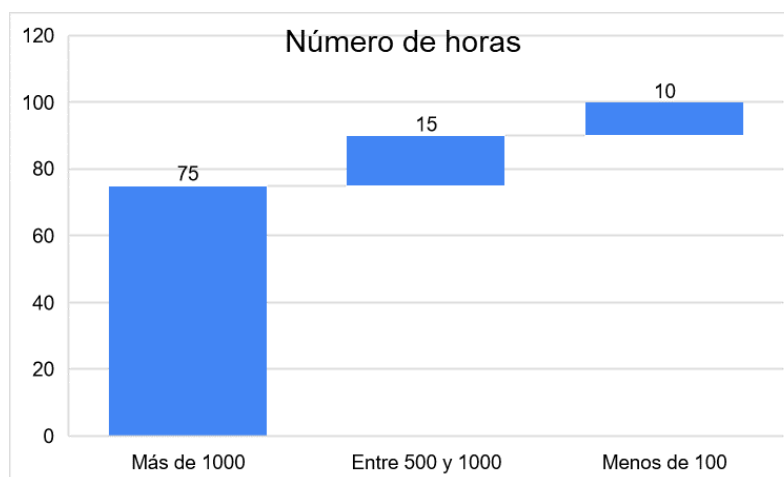


Figura 11. Número de horas de la muestra. Fuente: Elaboración propia



Figura 12. Conocimiento del ADS-B de pilotos de +1000 horas. Fuente: Elaboración propia

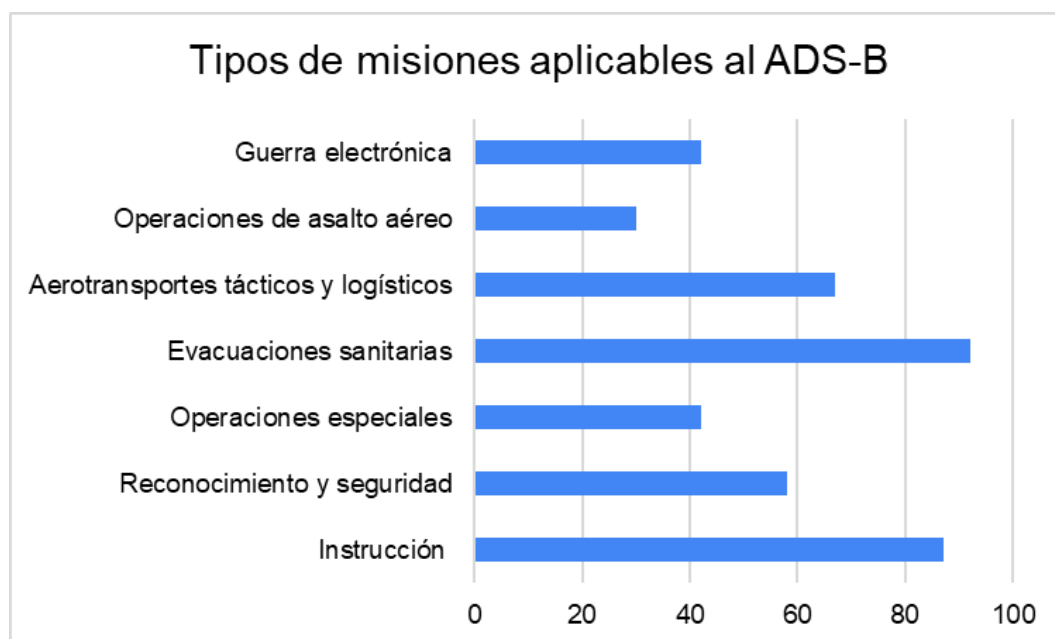


Figura 13. Tipos de misiones aplicables al ADS-B. Fuente: Elaboración propia

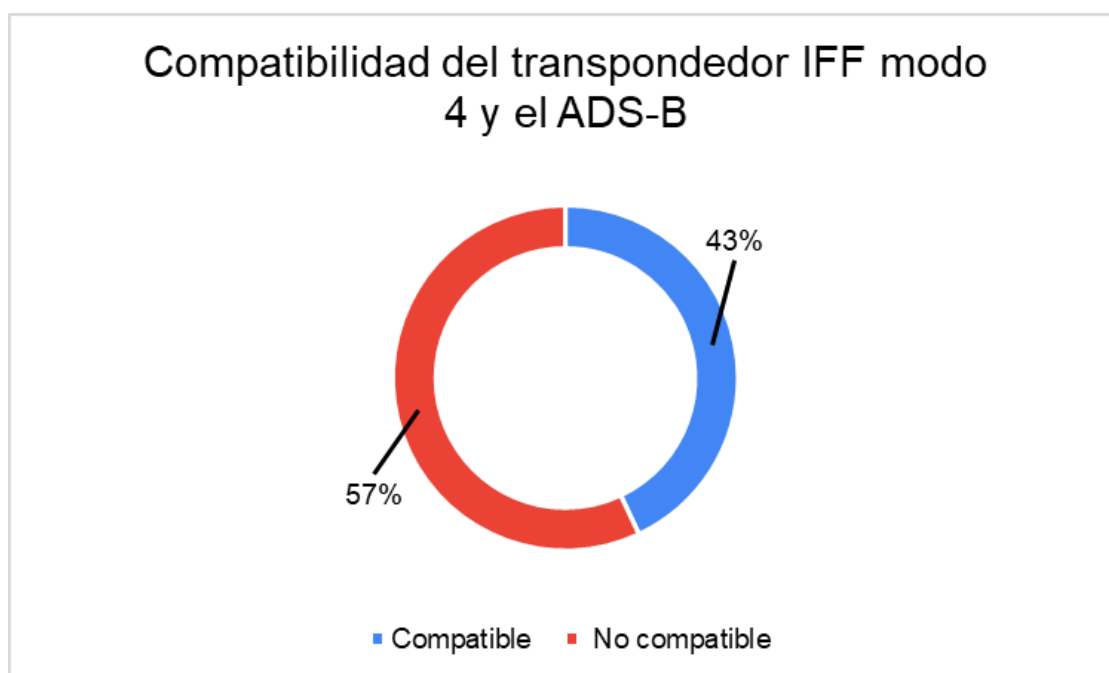


Figura 14. Posibilidad de compatibilidad con el ADS-B. Fuente: Elaboración propia