

Espectro radioeléctrico para sistemas de aeronaves no tripuladas

1 Introducción

La Organización de Aviación Civil Internacional (OACI/ICAO) define los sistemas de aeronaves no tripuladas (UAS) como una aeronave y sus elementos asociados que operan sin ningún piloto a bordo. Existen dos tipos de UAS, las aeronaves pilotadas por control remoto (RPA) y las aeronaves programadas para ser completamente autónomas, cuyo uso en el espacio aéreo español no está permitido.

A bordo de las aeronaves no tripuladas (UA) pueden instalarse cámaras fotográficas o de vídeo para aplicaciones en la agricultura, los enlaces de comunicaciones, la fotografía aérea, la cartografía, la gestión de emergencias, la investigación científica, la gestión del medio ambiente, el cumplimiento de la ley. También pueden utilizarse las UA para el transporte de mercancías o, incluso, personas.

Aunque tradicionalmente las aeronaves no tripuladas venían utilizando un espacio aéreo segregado para garantizar la separación con otros tráficos aéreos, ahora se contempla que las aeronaves no tripuladas puedan integrarse en espacios aéreos no segregados, compartidos con aeronaves tripuladas, y siempre con las mismas garantías de seguridad que cualquier otra aeronave. Esto conlleva a un control total de la aeronave no tripulada que, en algunos casos, incorporan sistemas de radar para evitar la colisión con otras aeronaves o con cualesquiera otros obstáculos (radar anti-colisión).

El control remoto de las UA se realiza mediante telemandos que se transmiten en radiofrecuencia desde una estación de control de la aeronave no tripulada (UACS) operada por el piloto remoto.

Este documento se centra en los aspectos de espectro radioeléctrico necesarios para el manejo de las aeronaves no tripuladas, e incluye breves anexos sobre terminología relativa a aeronaves no tripuladas (Anexo I), operación de aeronaves no tripuladas pilotadas por control remoto (Anexo II) y comercialización y uso de sistemas de aeronaves no tripuladas (Anexo III).

2 Enlaces radioeléctricos en un sistema de aeronave no tripulada

Teniendo en cuenta que el piloto está localizado fuera de la UA, se necesitan enlaces de comunicaciones en radiofrecuencia para transmitir, entre otras cosas, los datos de telemetría de la UA, los mensajes de telemandos y la transmisión de comunicaciones ATC, con la robustez suficiente frente a las interferencias. Dado que esta conexión se utilizará para garantizar la seguridad de la vida y la propiedad, se requieren enlaces de comunicaciones fiables y de alta disponibilidad en un espectro radioeléctrico libre de interferencias perjudiciales.

En los sistemas que operan manteniendo, en todo momento, el contacto visual (VLoS) con la aeronave se distingue la aeronave no tripulada (UA) y la estación de control de la aeronave no tripulada (UACS). En estos casos, habrá enlaces radioeléctricos UACS-UA y UA-UACS.

En los casos en los que la operación se realice más allá del alcance visual (BVLoS) de la aeronave, existirá alguna estación espacial (SAT) que actuará de intermediaria entre la UACS y la UA, con sus correspondientes enlaces ascendentes UACS-SAT y SAT-UA y descendentes UA-SAT y SAT-UACS.

Además, en ambos casos, puede existir en Tierra una torre de Control del tráfico aéreo (ATC) que se encuentre en comunicación directa con el vuelo de la UA, al igual que ocurre con las aeronaves tripuladas (Fig. 1).

Fig. 1. Enlaces en un sistema de aeronave no tripulada. Fuente Ministerio de Defensa



Los enlaces radioeléctricos de control y comunicaciones sin carga útil (CNPC) utilizados para intercambiar información entre la UA y la UACS, que garantizan una operación de vuelo segura, confiable y eficaz, pueden contener diferentes tipos de información, tales como mensajes de telecomunicaciones, datos de telemida sin carga útil, soporte para ayudas de navegación, retransmisión de voz de control de tráfico aéreo, retransmisión de datos de servicios de tráfico aéreo, datos de pistas de destino, datos de enlace descendente de radar meteorológico aerotransportado, datos de enlace descendente de vídeo sin carga útil.

El Informe M.2233 presenta ejemplos de características técnicas de los enlaces CNPC, terrenales y espaciales, de los sistemas de aeronave no tripulada (UAS) en las bandas de frecuencias 960-1.164 MHz y 5.000-5.150 MHz dentro del alcance visual (VLoS), y en las bandas de frecuencia 1.545-1.555 MHz, 1.610-1.626,5 MHz, 1.646,5-1.656,5 MHz, 5.030-5.091 MHz, 12/14 GHz y 20/30 GHz más allá del alcance visual (BVLoS).

Por otra parte, algunas UA también se encuentran equipadas con el sistema Detectar y Evitar (Sense and Avoid, S&A), como en las aeronaves tripuladas, que es un radar anti-colisión para

detectar la presencia próxima de otras aeronaves u obstáculos cercanos que deben ser evitados.

En consecuencia, desde el punto de vista radioeléctrico, en un sistema de aeronave tripulada por control remoto se identifican, por un lado, los radioenlaces para el mando y control a distancia de la aeronave y, por otro lado, las señales de radar para evitar colisiones.

Las formas de comunicación de los sistemas de aeronaves no tripuladas son las siguientes:

- Enlace ascendente: telemandos desde la UACS a la aeronave UA, en su caso a través de satélite (SAT), para el control de los equipos de vuelo y navegación.
- Enlace descendente: teledata desde la UA a la UACS, en su caso a través de satélite (SAT), para información del estado y condiciones del vuelo, en algunos casos, los flujos de vídeo.
- Sistema Detectar y Evitar (S&A): radiodeterminación de obstáculos próximos. Los datos obtenidos por los sensores pueden ser procesados directamente dentro de la UA o transmitidos a la UACS.

Las operaciones seguras de los UAS en el espacio aéreo no segregado requieren comunicaciones redundantes para garantizar una alta fiabilidad de los enlaces de comunicaciones esenciales.

El impacto del retardo en los sistemas de mando y control de la UAS es primordial para garantizar la seguridad de las operaciones.

El uso del espectro radioeléctrico para el enlace de mando y control de una aeronave no tripulada se rige por la normativa reguladora de las telecomunicaciones y, en particular, por el Reglamento sobre el uso del dominio público radioeléctrico (RUER) y el Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias (CNAF), siendo necesaria la obtención del correspondiente título habilitante cuando sea exigible conforme a la citada normativa (Real Decreto 1036/2017).

Considerando que algunos UAS pueden no tener las mismas capacidades que las aeronaves tripuladas para integrarse de manera segura y eficiente en el espacio aéreo no segregado, pueden requerir un rendimiento de enlace de comunicaciones que exceda el requerido para las aeronaves tripuladas. Un componente crítico de la seguridad de los UAS es el enlace de comunicación entre la estación de control del piloto remoto (UACS) y la UA.

3 Equipamiento que constituye un sistema de aeronave no tripulada

Los sistemas de aeronaves no tripuladas (UAS) deben contar con los equipos requeridos para el vuelo seguro en el espacio aéreo, conforme a las normas aeronáuticas aplicables, y en particular con los siguientes elementos:

- a) Equipo de comunicaciones adecuado capaz de sostener comunicaciones bidireccionales con las estaciones aeronáuticas y, en su caso, espaciales, en las frecuencias apropiadas para cumplir los requisitos aplicables al espacio aéreo en que opere.
- b) Sistema para la terminación segura del vuelo. En el caso de operaciones sobre reuniones de personas al aire libre o sobre aglomeraciones de edificios en ciudades, pueblos o lugares habitados, estará provisto de un dispositivo de limitación de la energía del impacto.
- c) Equipos para garantizar que la aeronave opere dentro de las limitaciones previstas, incluyendo el volumen del espacio aéreo en el que, en su caso, se pretende que quede confinado el vuelo.
- d) Medios para que el piloto conozca en todo momento la posición de la aeronave durante el vuelo.
- e) Luces u otros dispositivos o pintura adecuada para garantizar su visibilidad.

Adicionalmente, en caso de operaciones más allá del alcance visual del piloto (BVLoS), la aeronave no tripulada (UA) debe tener instalado un sistema de visión orientado hacia adelante.

El responsable del UAS debe asegurarse de que la aeronave no tripulada y los equipos de telecomunicaciones que incorpora cumplan con la normativa reguladora de las telecomunicaciones y, en particular, cuando sea necesario, con los requisitos establecidos para la comercialización, la puesta en servicio y el uso de equipos radioeléctricos (Anexo III).

4 Factores físicos que determinan las características de las UAS por satélite

En las aeronaves no tripuladas que utilizan satélites para el mando y control los siguientes factores físicos son determinantes:

1. Tamaños de antena, mínimos y máximos, así como las ganancias de antena, transmisora y receptora, correspondientes de la estación terrena y de la estación de aeronave.
2. Potencias isotropa radiada equivalente (p.i.r.e.), mínimas y máximas, así como las densidades de flujo de potencia de la estación terrena y de la estación de aeronave.
3. Relación G/T mínima entre la ganancia de antena receptora y la temperatura de ruido térmico del receptor de la estación terrena receptora y de la estación de aeronave.
4. Tasas de lluvia en las que deben funcionar los enlaces radioeléctricos y cualquier otra condición de propagación.
5. Disponibilidad mínima requerida en el enlace ascendente y en el enlace descendente, tanto saliente como entrante, así como de ciertos enlaces de doble salto; por ejemplo, las comunicaciones ATC hacia UA transmitidas a través de un enlace UACS-UA.
6. Diagramas de ganancia fuera del eje de las antenas transmisoras y receptoras de la estación terrena y de la estación de aeronave.

7. Apuntamiento preciso de las antenas de la estación de control de la aeronave no tripulada (UACS) y de la estación de aeronave (UA).
8. Zona de cobertura geográfica en la que deberán cumplirse los requisitos del UAS.
9. Características de la frecuencia portadora (velocidad de información, tipo de modulación, ancho de banda asignado, ancho de banda ocupado, tasa de corrección de errores, relación mínima requerida de portadora a interferencia más ruido para el enlace SAT-UA y el enlace SAT-UACS, y la latencia mínima y máxima aceptable en la transmisión hacia y desde la UA y la UACS).

5 Identificación de las estaciones que intervienen en un UAS

Un sistema de aeronave no tripulada (UAS), que opera dentro del alcance visual (VLoS), es un servicio de radiocomunicación móvil entre una estación en tierra y una estación en aeronave, que encaja en la definición del servicio móvil aeronáutico (SMA), en el que se distinguen las siguientes estaciones radioeléctricas (Anexo I):

- La estación piloto remota o estación de control de aeronave no tripulada (UACS) que cumple con la definición de “estación aeronáutica” del Reglamento de Radiocomunicaciones (RR).
- La aeronave no tripulada (UA) que corresponde a la definición de “estación de aeronave” del RR.

En un sistema de aeronave no tripulada (UAS), que opera más allá del alcance visual (BVLoS), existe al menos un satélite (SAT) con visibilidad directa (LoS) tanto con la estación piloto en tierra (UACS) como con la estación de aeronave no tripulada (UA), en la que se presenta un enlace ascendente UACS-SAT-UA y un enlace descendente UA-SAT-UACS. En este caso, se distingue si la estación UACS en tierra está en movimiento o está fija.

En un sistema BVLoS, si la estación de control de aeronave no tripulada (UACS) es móvil se distinguen las siguientes estaciones radioeléctricas (Anexo I):

- La estación piloto remota móvil (UACS) que cumple con la definición de “estación terrena móvil” del Reglamento de Radiocomunicaciones (RR).
- La estación espacial situada en un satélite (SAT).
- La aeronave no tripulada (UA) que corresponde a la definición de “estación terrena de aeronave” del RR.

Por lo tanto, los enlaces UACS-SAT y SAT-UACS, en los que no está implicada la UA, corresponden al servicio móvil por satélite (SMS) salvo móvil aeronáutico, mientras que los enlaces SAT-UA y UA-SAT corresponden al servicio móvil aeronáutico por satélite (SMAS), aunque también podrían utilizar bandas de frecuencias atribuidas al servicio móvil por satélite (SMS) que engloba al SMAS (Anexo I).

En un sistema BVLOS, si la estación de control de aeronave no tripulada (UACS) es fija se distinguen las siguientes estaciones radioeléctricas (Anexo I):

- La estación piloto remota fija (UACS) que cumple con la definición de “estación terrena” y también con la definición de “estación terrena aeronáutica” del Reglamento de Radiocomunicaciones (RR).
- La estación espacial situada en un satélite (SAT).
- La aeronave no tripulada (UA) que corresponde a la definición de “estación terrena de aeronave” del RR.

Por lo tanto, los enlaces UACS-SAT y SAT-UACS, en los que no está implicada la UA, corresponden al servicio fijo por satélite (SFS) como estación terrena UACS, mientras que los enlaces SAT-UA y UA-SAT corresponden al servicio móvil aeronáutico por satélite (SMAS), aunque también podrían utilizar bandas de frecuencias atribuidas al servicio móvil por satélite (SMS) que engloba al SMAS (Anexo I).

6 Compartición de bandas destinadas a los enlaces de mando y control

Si las aeronaves no tripuladas UA van a operar en un espacio aéreo civil no segregado, deben integrarse de manera segura y adherirse a prácticas de funcionamiento que proporcionen un nivel aceptable de seguridad comparable al de una aeronave tripulada convencional. En algunos casos, esas prácticas serán idénticas a las de las aeronaves tripuladas.

Por lo tanto, se prevé que las UA operarán junto con aeronaves tripuladas en el espacio aéreo no segregado utilizando métodos de mando y control que puedan hacer que la ubicación del piloto sea transparente para las autoridades de control del tráfico aéreo (ATC) y los reguladores del espacio aéreo.

Entre las diferentes bandas de frecuencias atribuidas al servicio móvil aeronáutico (SMA) y al servicio móvil aeronáutico por satélite (SMAS) se presentan las siguientes situaciones:

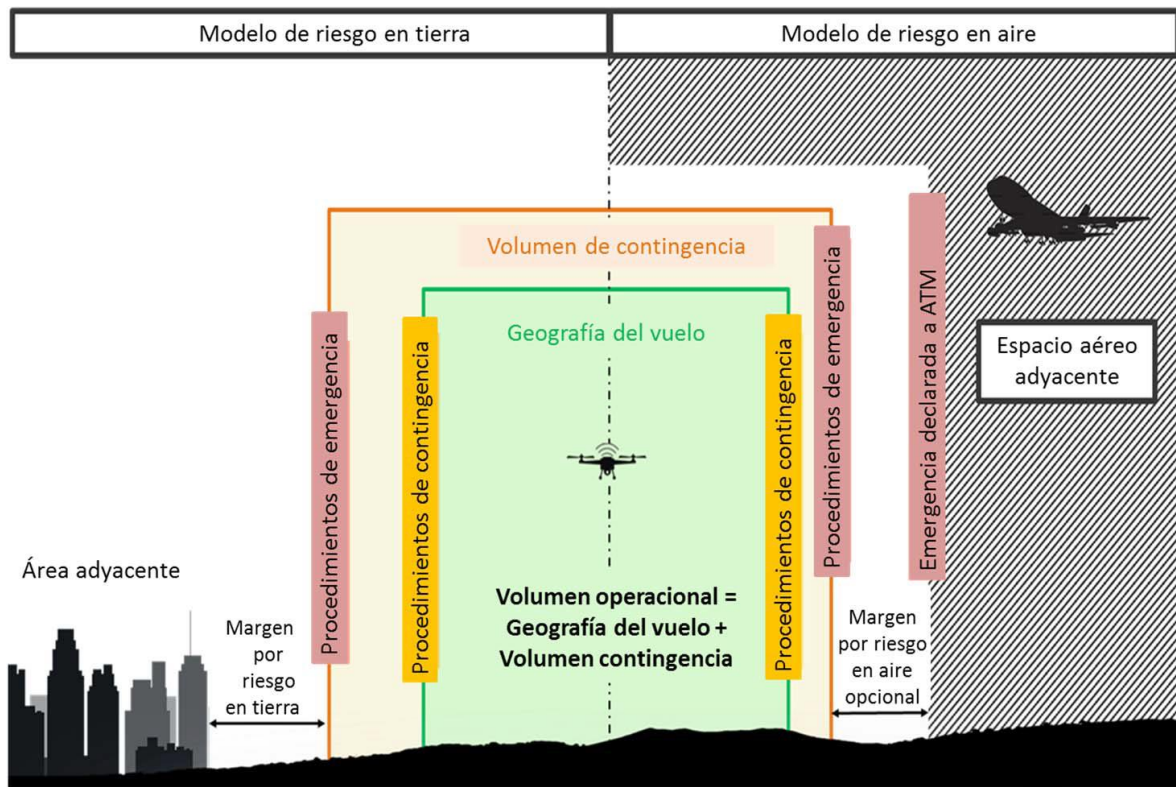
1. Bandas atribuidas explícita y exclusivamente al SMA y al SMAS.
2. Bandas atribuidas explícitamente al SMA y al SMAS pero compartidas con otros servicios de aviación gestionados por las autoridades de aviación civil.
3. Bandas atribuidas explícitamente al SMA y al SMAS pero compartidas con otros servicios distintos de los gestionados por las autoridades de aviación civil.
4. Bandas atribuidas al servicio móvil (SM) o al servicio móvil por satélite (SMS) que podrían ser utilizadas por el SMA o por el SMAS compartidas con otros servicios distintos de los gestionados por las autoridades de aviación civil.

Únicamente, las dos primeras situaciones garantizarían un uso seguro para la aviación.

7 Sistema de radar anti-colisión Detectar y Evitar (S&A)

Aparte de los enlaces radioeléctricos para el mando y control de la aeronave no tripulada, se requiere también espectro radioeléctrico para varias aplicaciones de sensores que son parte integral de las operaciones en algunos sistemas de aeronaves no tripuladas (UAS), incluidos los radares S&A para rastrear aeronaves cercanas, terrenos próximos y obstáculos a la navegación (Fig. 2). Al igual que las aeronaves tripuladas, las UA deben evitar dichos objetos.

Fig. 2. Modelos de riesgo. Fuente AESA.



Por lo tanto, la seguridad del vuelo de una aeronave no tripulada (UA) requiere recurrir a técnicas avanzadas que permitan detectar y realizar un seguimiento de las aeronaves, del terreno y de otros obstáculos a la navegación situados en las inmediaciones con el fin, llegado el caso, de esquivarlos. El piloto remoto debe ser consciente del entorno en el que está funcionando la aeronave, poder identificar las posibles amenazas al funcionamiento seguro de la aeronave y tomar las medidas apropiadas para evitar el peligro. La función primordial del radar anti-colisión utilizado en la radionavegación aeronáutica de aeronaves no tripuladas es proporcionar la capacidad de detectar, rastrear e informar del tráfico aéreo al piloto remoto para que mantenga la separación adecuada respecto de las demás aeronaves y obstáculos. El radar facilita la información para que sea el piloto remoto de la aeronave quien tome la decisión definitiva respecto a las maniobras para evitar las colisiones.

La integración en el sistema de control del tráfico aéreo de las UA en el espacio aéreo no segregado requiere la incorporación del sistema Detectar y Evitar (S&A) para el funcionamiento seguro y garantizar la seguridad de la vida y de la propiedad, evitando la colisión con otras aeronaves y manteniendo la aeronave no tripulada bien alejado de otros obstáculos. También este radar permite responder a determinadas condiciones meteorológicas. Existen dos tipos de sistemas S&A, los sensores o sistemas electrónicos instalados a bordo (ABS&A) y los dispositivos que controlan el espacio aéreo desde el suelo (GBS&A).

Los sistemas de radar anti-colisión S&A corresponden a un servicio de seguridad basado en la radiodeterminación (Anexo I) y, por lo tanto, operan en las bandas de frecuencias atribuidas al servicio de radionavegación aeronáutica (SRNA). Existen numerosas bandas de frecuencias atribuidas a nivel mundial al SRNA pero no todas son adecuadas para cualquier UA porque factores como el tamaño de la antena, que descarta las frecuencias más bajas, o la atenuación debida a la lluvia u otros meteoros, que descarta las frecuencias más altas, así como otras consideraciones sobre la compatibilidad radioeléctrica con otros servicios que tienen atribuida la misma banda de frecuencias o las bandas adyacentes, limitan considerablemente las opciones disponibles (Informe UIT-R M.2204).

8 Funcionamiento del radar anti-colisión Detectar y Evitar (S&A)

Los UAS deben disponer de la función de Detectar y Evitar (S&A) para su funcionamiento rutinario en un espacio aéreo no segregado. El mantenimiento de la sensibilidad del sistema de sensores de S&A resulta esencial a la hora de garantizar que se detectarán a tiempo las aeronaves próximas a la UA, así como otros obstáculos, para evitar colisiones. A fin de velar por el mantenimiento de una distancia de seguridad respecto de las demás aeronaves se necesita una función de búsqueda activa que mantenga una distancia de separación suficiente. Los parámetros de la función de búsqueda pueden incluir el tiempo, la distancia, la velocidad de acercamiento, el ángulo de aproximación y la maniobrabilidad.

La función de auto-separación funciona con un margen de tiempo suficiente para maniobrar la UA a fin de evitar la activación de la función anti-colisión. La maniobra anti-colisión es el último recurso para evitar la colisión. Esta función se pone en marcha cuando fallan todos los modos de garantía de la separación para mantener una distancia de seguridad. En el volumen de colisión, el UAS dispone de poco tiempo para maniobrar a fin de evitar las colisiones en el aire. Esta función debe ser capaz de interpretar los datos de los sensores y de generar las maniobras apropiadas correspondientes.

Los datos de los sensores pueden incluir la sección transversal y el alcance del radar. Si se reduce la relación señal/ruido, la distancia de detección también se reduce. Además, puede producirse una variación importante debida a la atenuación atmosférica, por lo que se requiere también una amplia tolerancia en cuanto a la distancia operativa.

9 Criterios de protección contra la interferencia de los radares anti-colisión S&A

En las Recomendaciones UIT-R M.2007 y UIT-R M.2008 se describen las características del radar anti-colisión de los sistemas de Detectar y Evitar (S&A) instalados en las aeronaves no tripuladas en las bandas de frecuencias 5.150-5.250 MHz y 13,25-13,40 GHz, respectivamente. Sobre la base de esas características se establecen los criterios de protección contra la interferencia de los radares anti-colisión en dichas bandas.

En la banda de frecuencias 5.150-5.250 MHz, si se introduce una interferencia en un receptor de radar, la contribución de la potencia media de la interferencia (I) se sumará a la potencia de ruido inherente del radar (N), y esas potencias sumadas tenderán a enmascarar la detección de los objetivos deseados. En la banda de 5 GHz el criterio de protección I/N debe ser igual a -6 dB con el fin de proteger plenamente el funcionamiento de los radares.

En la banda de frecuencias 13,25-13,40 GHz, el efecto de desensibilización en los radares debida a interferencia de otros servicios, con señal de onda continua o modulación de tipo ruido, se relaciona con su intensidad de campo. En todo sector acimutal en el que llegue dicha interferencia, su densidad espectral de potencia se añade a la densidad espectral de potencia del ruido térmico del receptor del radar. Si se denomina N a la densidad espectral de potencia del ruido en el receptor del radar en ausencia de interferencia e I a la interferencia, la densidad espectral de potencia de ruido efectiva resultante es la suma $I + N$. En el servicio de radionavegación, asociado a la seguridad de la vida humana, un aumento de 0,5 dB aproximadamente constituye una degradación significativa. Dicho aumento corresponde a una relación I/N de -10 dB.

Estos criterios de protección representan los efectos acumulados de múltiples fuentes de interferencias. La relación I/N tolerable para una fuente interferente individual depende del número de fuentes de interferencia y de su geometría, y se ha de evaluar a lo largo del análisis de una situación determinada. El factor de acumulación puede ser elevado en el caso de ciertos sistemas de comunicaciones en los que pueden instalarse un gran número de estaciones.

El efecto de la interferencia impulsiva es más difícil de cuantificar, y depende en gran medida del diseño y el modo de funcionamiento del receptor y del procesador. En particular, las ganancias del procesamiento diferencial para el retorno válido del objeto a detectar, que es impulsivo de manera sincronizada, y los impulsos de la interferencia, que generalmente son asíncronos, suelen tener efectos importantes en la repercusión de determinados niveles de interferencia impulsiva. Este tipo de desensibilización puede dar lugar a diversas formas de degradación de la calidad de funcionamiento.

10 Bandas para un sistema anti-colisión S&A de aeronave no tripulada

Para garantizar unas operaciones de vuelo seguras con otras aeronaves en el espacio aéreo no segregado, el sistema S&A puede requerir operaciones en varias bandas del servicio de

radionavegación aeronáutica (SRNA). Las atribuciones al SRNA pueden estar destinadas a radares aéreos, a radares terrestres y a otras aplicaciones. Por lo tanto, el sistema ABS&A no puede utilizar bandas reservadas para sistemas SRNA terrestres y GBS&A no puede utilizar bandas reservadas para sistemas SRNA aeronáuticos.

En los radares es necesaria una gran anchura de banda para lograr que sus funciones sean óptimas y la navegación sea precisa para determinar la velocidad y el rumbo, en todas las condiciones meteorológicas y de forma continua durante todo el vuelo.

Las bandas de frecuencias atribuidas al SRNA en todo el mundo con categoría primaria, que se pueden utilizar para sistemas de radar aerotransportado (ABS&A), se presentan en el Cuadro I.

Cuadro I. Atribuciones primarias al SRNA para radares aéreos

Banda	Notas RR y notas CNAF	Rec. UIT-R
4.200-4.400 MHz	5.438, 5.440, UN-154, UN-161	M.2059, M.2085
5.350-5.470 MHz	5.449, 5.448B, 5.448C, 5.448D, UN-145, UN-154	M.1638
8.750-8.850 MHz	5.470, UN-145	M.1796
9.300-9.800 MHz	5.474, 5.475, 5.475A, 5.475B, 5.476A, UN-60, UN-86, UN-145, UN-159	M.1796
13,25-13,40 GHz	5.497, 5.498A	M.2008

5.438	Radioaltímetros a bordo y transpondedores asociados en tierra
5.440	Frecuencias patrón y señales horarias
5.448B	SETS y SIE no causarán interferencias
5.448C	SIE no causará interferencias
5.448D	SRL no causará interferencias
5.449	Radares aerotransportados y balizas a bordo asociadas
5.470	Ayudas a la navegación a bordo
5.474	Transpondedores de búsqueda y salvamento (SART)
5.475	Radares meteorológicos en aeronaves y en tierra
5.475A	SETS y SIE
5.475B	SRL no causará interferencias
5.476A	SETS y SIE no causarán interferencias
5.497	Ayudas a la navegación a bordo
5.498A	SETS y SIE no causarán interferencias
UN- 60	9.500-9.800 MHz preferencia sistemas de Defensa
UN- 86	Dispositivos de baja potencia para detección de movimiento y vigilancia
UN-145	Dispositivos para medida de niveles de líquidos
UN-154	Radares para sondeos de suelos y paredes
UN-159	9.300-9.500 MHz preferencia SRL de Defensa
UN-161	Sistema de localización y seguimiento de camiones

Las bandas de frecuencias atribuidas al SRNA en todo el mundo con categoría primaria, que se pueden utilizar para sistemas de radar en tierra (GBS&A) se presentan, en el Cuadro II.

Cuadro II. Atribuciones primarias al SRNA para radares terrestres

Banda	Notas RR y notas CNAF	Rec. UIT-R
1.215-1.240 MHz	5.328B, 5.329, 5.329A, 5.332, UN-53, UN-122, UN-152, UN-154	M.1463, M.1902, M.1904
1.240-1.300 MHz	5.282, 5.329, 5.329A, 5.332, UN-53, UN-122, UN-152, UN-154	M.1463, M.1902, M.1904
1.300-1.350 MHz	5.337, 5.337A, UN-53, UN-122, UN-154	M.1463, M.1584
2.700-2.900 MHz	5.337, 5.423, UN-53, UN-154	M.1464
9.000-9.200 MHz	5.337, 5.473A, 5.475A, UN-145	M.1796

5.282	SAS no causará interferencias
5.328B	SRNS coordinación
5.329	SRNS no causará interferencias
5.329A	SRNS no para seguridad
5.332	SETS y SIE no causarán interferencias
5.337	Radares terrestres y respondedores aerotransportados asociados
5.337A	SRS y SRL no causarán interferencias
5.423	Radares de meteorología en tierra en igualdad
5.473A	SRL no causará interferencias
5.475A	SETS y SIE
UN-53	1.215-1.350 MHz y 2.700-2.900 MHz preferencia SRL de Defensa
UN-122	Sistema Galileo de navegación por satélite (GNSS)
UN-145	Dispositivos para medida de niveles de líquidos
UN-152	Repetidores de radionavegación por satélite
UN-154	Radares para sondeos de suelos y paredes

Existen también otras bandas de frecuencia atribuidas al SRNA, con categoría primaria, que se pueden utilizar para diversas aplicaciones de radionavegación aeronáutica y, en particular, algunas de estas bandas podrían ser apropiadas para radares ABS&A o GBS&A. Estas bandas se presentan en el Cuadro III.

Cuadro III. Otras atribuciones primarias al SRNA

Banda	Notas RR y notas CNAF	Rec. UIT-R
255-405 kHz	UN-114, UN-117	
415-435 kHz	UN-114, UN-117	
505-526,5 kHz	UN-114, UN-117	
74,8-75,2 MHz	5.180, UN-154	
108-117,975MHz	5.197A	
328,6-335,4 MHz	5.258, UN-154	
960-1.215 MHz	5.327A, 5.328, 5.328A, 5.328AA, UN-122, UN-152, UN-154	M.1904, M.1905
5.000-5.030 MHz	5.328B, 5.367, 5.443AA, 5.443B, UN-122, UN-145, UN-154	M.1906, M.2031
5.030-5.150 MHz	5.367, 5.443C, 5.443D, 5.444, 5.444A, 5.444B, 5.447B, UN-145, UN-154	
5.150-5.250 MHz	5.367, 5.444, 5.444A, 5.447B, UN-128, UN-145, UN-154	M.1454, M.2007, S.1426, S.1427
15,400-15,700 GHz	5.511A, 5.511C, 5.511E	S.1340, S.1341

5.180	Radiobalizas aeronáuticas
5.197A	SMA(R)
5.258	Sistemas de aterrizaje con instrumentos
5.327A	SMA(R) solo conforme a normas aviación
5.328	Ayudas a la navegación aérea a bordo y estaciones en tierra asociadas
5.328A	SRNS no reclamará protección del SRNA
5.328AA	SMAS(R) no reclamará protección
5.328B	SRNS coordinación
5.367	SMAS(R)
5.443AA	SMAS(R) coordinación
5.443B	SRNS no causará interferencias
5.443C	SMA(R) solo conforme a normas aviación
5.443D	SMA(R) solo conforme a normas aviación
5.444	Sistemas de aterrizaje con instrumentos
5.444A	SFS para enlaces de conexión del SMS con coordinación
5.444B	SMA(R) solo en aeropuertos y telemedida en aeronaves
5.447A	SFS para enlaces de conexión del SMS con coordinación
5.447B	SFS para enlaces de conexión del SMS con coordinación
5.511A	SFS para enlaces de conexión del SMS con coordinación
5.511C	SFS no causará interferencias
5.511E	SRL no causará interferencias
UN-114	Aplicaciones de bucle inductivo
UN-122	Sistema Galileo de navegación por satélite (GNSS)
UN-128	Redes de área local
UN-145	Dispositivos para medida de niveles de líquidos
UN-152	Repetidores de radionavegación por satélite
UN-154	Radars para sondeos de suelos y paredes

11 Tamaño físico de la antena del radar anti-colisión S&A

El tamaño físico de la antena es inversamente proporcional a la anchura del haz de la antena a 3 dB. Los estudios han demostrado que para tener una tasa razonable de cuasi colisión en vuelo (NMAC), la precisión angular del radar debe ser del orden de un grado y, en estas condiciones, el ancho del haz de la antena a 3 dB debe ser del orden de 10°. Esto significa que en un radar ABS&A, para que la antena pudiera instalarse en la UA, la frecuencia más baja estaría en la banda de 5 GHz.

Otra consideración importante relacionada con la selección de la frecuencia destinada a un sensor de radar ABS&A es la incertidumbre inherente a determinar y establecer el trayecto de un objeto en movimiento. Si la determinación del trayecto es incorrecta, el soporte lógico para evitar colisiones podría llevar a una conclusión errónea sobre la probabilidad de una colisión y haría un cálculo incorrecto de una maniobra óptima para evitar colisiones.

Por lo tanto, la selección de la frecuencia adecuada es crítica para el éxito del radar anti-colisión ABS&A. Si la frecuencia seleccionada es demasiado baja, la antena será demasiado grande para la UA y si la frecuencia es demasiado alta, la atenuación meteorológica o atmosférica requerirá más potencia a bordo de la UA y aumentará el tamaño y el peso de los componentes necesarios para el radar ABS&A.

Además, los sistemas ABS&A también tienen restricciones debidas al tamaño, peso y potencia (SWaP) de la UA, mientras que los sistemas GBS&A no se encuentran tan restringidos por consideraciones de SWaP y son menos afectados por el clima y la atenuación atmosférica.

12 Requisitos de espectro para las aeronaves no tripuladas

En general, el despliegue de sistemas de aeronaves no tripuladas (UAS) requiere acceso tanto al espectro terrestre para las comunicaciones VLoS como al espectro de satélites para las comunicaciones BVLoS.

Cuadro IV. Ancho de banda requerido en vuelo VLoS

Enlace	Sistema terrestre VLoS
UACS a UA	4,6 MHz
UA a UACS	29,4 MHz
Total	34,0 MHz

La cantidad de ancho de banda requerido en un único UAS para cada una de las principales comunicaciones (mando y control, comunicación con la torre ATC, sistema de radar anti-colisión S&A y, en su caso, el flujo de vídeo de las imágenes captadas en vuelo) se presentan en el Cuadro IV para las comunicaciones VLoS y en el Cuadro V para las comunicaciones BVLoS (Informe UIT-R M.2171).

Cuadro V. Ancho de banda requerido en vuelo BVLoS con satélite de haz puntual o regional

Enlace	Sistema espacial BVLoS	
	Haz puntual	Haz regional
UACS a SAT	4,1 MHz	4,10 MHz
SAT a UA	4,1 MHz	4,10 MHz
UA a SAT	18,9 MHz	24,05 MHz
SAT a UACS	18,9 MHz	24,05 MHz
Total	46,0 MHz	56,00 MHz

Por lo tanto, se prevé que se necesitarán 34 MHz de espectro terrenal y 56 MHz de espectro espacial para acoger el crecimiento previsto de las operaciones de los UAS en el espacio aéreo no segregado. Cabe señalar que, para satisfacer las necesidades del espectro BVLoS con una cobertura regional por satélite en las operaciones de control de aeronaves no tripuladas, serán necesarios tres o más satélites prestando servicio en la misma zona de cobertura.

13 Criterios para identificar posibles bandas de frecuencia para UAS

Los criterios para examinar las bandas de frecuencia que serían más adecuadas para el funcionamiento seguro, fiable y eficaz de los sistemas de aeronaves no tripuladas (UAS) son los siguientes:

1. El acceso a la banda de frecuencias debe encontrarse controlado para permitir la limitación y predicción de los niveles de interferencia.
2. Las bandas atribuidas al servicio móvil aeronáutico (SMA) y al servicio móvil aeronáutico por satélite (SMAS) que se utilicen para el mando y control de los UAS y la comunicación con ATC, y las bandas atribuidas al servicio de radionavegación aeronáutica (SRNA) que se utilicen para el S&A, no afecten negativamente los sistemas aeronáuticos existentes.
3. La compatibilidad con otros servicios de radiocomunicaciones y la negociación de la coordinación de frecuencias requerida entre países.
4. La atribución mundial del espectro para lograr la armonización global y que el equipo UA pueda funcionar en cualquier parte del mundo.
5. La anchura de banda potencialmente disponible en la banda de frecuencias.
6. La distancia a la que la aeronave no tripulada podrá volar más allá de su estación de control sin el apoyo de estaciones de control adicionales.
7. La disponibilidad del enlace en función de la meteorología porque las frecuencias más altas son más susceptibles a la degradación de la señal debido a las precipitaciones.
8. Las características de transmisión por satélite que proporcionen la integridad y fiabilidad necesarias para satisfacer la disponibilidad necesaria del enlace para las comunicaciones a través de plataformas espaciales hacia y desde la UA.
9. La compatibilidad entre los radioenlaces de control del UAS con los receptores de otros sistemas instalados en la misma UA o en la UACS.
10. El tamaño, peso y potencia (SWaP) del equipo aerotransportado y, en particular, el tamaño de las antenas a bordo de la aeronave no tripulada, que conviene que sean omnidireccionales.

En la actualidad, no existe en el Reglamento de Radiocomunicaciones (RR) ninguna banda de frecuencias expresamente destinada a los enlaces de mando y control o al radar anti-colisión de las aeronaves no tripuladas.

En España, en la nota UN-50 del Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias (CNAF), únicamente la banda de frecuencias 2.390-2.400 MHz, atribuida al servicio móvil (SM), que engloba al servicio móvil aeronáutico (SMA), se encuentra expresamente destinada al mando y control de los sistemas de aeronaves no tripuladas (UAS) en forma compartida por diferentes usuarios.

14 Análisis de compatibilidad en diversas bandas de frecuencias

En el Sector de Radiocomunicaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT-R) se ha analizado la compatibilidad entre servicios de radiocomunicaciones que comparten la misma banda de frecuencias, o tienen atribuciones en bandas adyacentes, con vistas a su posible utilización por los enlaces de mando y control o por el radar anti-colisión de las aeronaves no tripuladas. Estos análisis se han recogido en numerosos informes cuyos resultados se muestran a continuación.

En el Informe UIT-R M.2205 se estudian las atribuciones al SMAS en las bandas de frecuencias 960-1.164 MHz para la componente terrenal y 5.030-5.091 MHz para la componente espacial de enlaces de control y comunicaciones sin carga útil (CNPC) de los UAS para que puedan funcionar de forma segura, fiable y eficaz sin causar interferencia perjudicial a otros servicios y sistemas.

Aunque gran parte de la banda 960-1.164 MHz es muy utilizada por los sistemas de navegación tradicionales, los sistemas de ayuda aeronáutica no utilizan las sub-bandas sustanciales 960-976 MHz ni 1.151-1.156 MHz. En esta banda, las propiedades físicas inherentes son muy favorables para los enlaces de control UAS; la atenuación debida a la lluvia es insignificante, y las pérdidas en espacio libre son lo suficientemente bajas como para permitir una comunicación VLoS confiable de largo alcance, con potencias relativamente baja, utilizando antenas omnidireccionales y de ganancia mediana. Las antenas omnidireccionales por tamaño son adecuadas para uso aéreo. Estas características de propagación y antena son particularmente interesantes para su uso por las UA más pequeñas, cuyo tamaño, peso y potencia (SWAP) no permiten el uso de terminales de satélite. La banda no se puede utilizar para cumplir con los 34 MHz requeridos de espectro terrenal para las operaciones de UAS, pero 10,4 MHz de espectro dentro de esta banda sería suficiente para cumplir con todos los requisitos de CNPC, excepto para enlaces de redundancia, video y descarga de datos aerotransportados de radar meteorológico.

Los estudios muestran que es posible diseñar un sistema SMAS que comparta la banda 5.030-5.091 MHz con el sistema de aterrizaje en microondas (MLS) del SRNA, tanto para el enlace UA-SAT como para el enlace SAT-UA, si se cumplen los criterios de protección para MLS (nivel en banda por debajo de -130 dBm/150 kHz).

En el Informe UIT-R M.2229, se analiza la compatibilidad entre los sistemas que operan en el servicio móvil aeronáutico (en ruta) y otros servicios en la banda de frecuencias 15,4-15,5 GHz y en la banda adyacente inferior 15,35-15,4 GHz.

El servicio de radiolocalización en la banda de frecuencias 15,4-15,5 GHz requiere unas distancias de separación de más de 400 km para evitar la interferencia perjudicial del transmisor UACS y superiores a 827 km para no causar interferencias a los receptores en la UA. Por lo tanto, no pueden funcionar en las mismas frecuencias.

El servicio de radionavegación aeronáutica en la banda de frecuencias 15,4-15,5 GHz requiere distancias de separación superiores a 903 km para evitar la interferencia perjudicial del transmisor UA. La compartición requeriría una planificación de los emplazamientos cuya ejecución sería muy difícil debido a los numerosos UAS que se espera que operen simultáneamente en el espacio aéreo no segregado.

El servicio de radioastronomía en la banda de frecuencia adyacente 15,35-15,4 GHz podría ser compatible limitando la p.i.r.e. fuera de banda del transmisor UA a -68 dBW en un ancho de banda de 50 MHz.

En el Informe M.2230 se analizan varias bandas de frecuencias superiores a 10 GHz para los enlaces de control de la UAS más allá del alcance visual (BVLoS) en el espacio aéreo no segregado, teniendo en cuenta los niveles adecuados de disponibilidad de los enlaces para una operación UA segura.

En dicho informe se considera la banda de frecuencias 13,25-13,40 GHz para el enlace descendente SAT-UA y la banda de frecuencias 15,4-15,7 GHz para el enlace ascendente UA-SAT.

La banda de frecuencias 13,25-13,40 GHz está atribuida, con categoría primaria, al servicio de radionavegación aeronáutica (SRNA), al servicio de exploración de la Tierra por satélite (SETS) y al servicio de investigación espacial (SIE). Los sistemas de navegación aérea en esta banda de frecuencia se instalan en las aeronaves para aplicaciones especializadas tales como la determinación continua de la velocidad en tierra y la información del ángulo de deriva de una aeronave con respecto al suelo. El radar a bordo de aeronaves no tripuladas utilizado para evitar colisiones también está previsto en esta banda con los parámetros técnicos especificados en la Recomendación UIT-R M.2008.

Si la altura operacional de la UA es inferior a 15 km sobre el nivel medio del mar, en la banda de frecuencias 13,25-13,40 GHz se produciría una posible interferencia de los sistemas de radar sobre el receptor de la UA en el enlace descendente SAT-UA. La relación interferencia/ruido puede ser de 23,6 dB (para el caso en que la transmisión desde el lóbulo lateral de la antena del radar es recibida por el lóbulo trasero de la antena UA). El nivel mínimo de interferencia de los transmisores de radar de las aeronaves en la banda de 13,25-13,4 GHz sobre los receptores UA es de, al menos, 23,63 dB por encima del ruido térmico de recepción. Esto corresponde a un nivel de interferencia inaceptable.

Con el fin de cumplir el criterio de interferencia del sistema de radar (-10 dB), la ganancia de la antena receptora del sistema de radar hacia el satélite en órbita geoestacionaria (GSO) debe ser menor o igual a 17,6 dBi. Considerando que la antena del sistema de radar apunta hacia la Tierra, la ganancia de la antena en la dirección hacia el satélite GSO debe ser significativamente inferior a 17,6 dBi. Por lo tanto, el uso compartido de frecuencias entre el radar y el enlace de telemandos UA en la banda de frecuencia de 13,25-13,4 GHz no es factible, porque el nivel de interferencia del sistema de radar al receptor UA está en un valor inaceptable.

La banda de frecuencias 15,4-15,7 GHz está atribuida con categoría primaria al servicio de radionavegación aeronáutica. Una porción de 200 MHz de este espectro (15,43-15,63 GHz) está atribuida tanto al servicio de radionavegación aeronáutica (SRNA) como al servicio fijo por satélite (SFS), en dirección Tierra-espacio, para los enlaces de conexión de los sistemas de satélites no-GSO del servicio móvil por satélite (SMS).

La distancia requerida entre un transmisor UA y un receptor de radar es de 200 km a 900 km. El nivel de interferencia en el receptor del radar puede aumentar significativamente cuando haya varias aeronaves no tripuladas. Por lo tanto, no es factible el uso compartido de frecuencias entre el radar y la UA en la banda de frecuencia de 15,4-15,7 GHz para el enlace ascendente UA-SAT, porque el nivel de interferencia del radar sobre el receptor del satélite es significativamente alto, al menos, 3 dB más alto que el ruido térmico del satélite y, en el peor de los casos, el nivel puede ser 10 dB o más por encima del ruido térmico, que es un valor inaceptable. Además, la distancia entre los transmisores UA y los receptores de radar no es práctica. La UAS no puede funcionar con seguridad en este entorno de interferencia.

En consecuencia, las bandas de frecuencias 13,25-13,4 GHz y 15,4-15,7 GHz no pueden soportar enlaces de control de los sistemas de aeronave no tripulada (UAS) en el espacio aéreo no segregado porque el uso compartido de frecuencias con otros servicios atribuidos en estas bandas no es factible. Sin embargo, si estas bandas de frecuencia fueran consideradas para enlaces de control UAS, entonces sería necesario utilizar la banda 13,25-13,4 GHz para el enlace ascendente UA-SAT y evitar los sistemas SRNS (S&A) y de radiolocalización en la banda 15,4-15,7 GHz, pero tendrían que tenerse en cuenta la posible interferencia de los enlaces de control de la UAS en la banda de frecuencias 15,4-15,7 GHz a los servicios pasivos (servicios de exploración de la Tierra por satélite, radioastronomía e investigación espacial) en la banda de frecuencia adyacente 15,35-15,4 GHz.

El Informe M.2236 presenta un análisis de compatibilidad en la banda de frecuencia 5.000-5.010 MHz en el que se demuestra que, en general, la transmisión UA-UACS no es factible porque no se puede garantizar la compatibilidad con el SRNS. Únicamente, con limitaciones en la p.i.r.e. de la UA a -4,5 dBW y fuera de banda en 4.990-5.000 MHz a -106 dBW/MHz y fuera de banda en 5.010-5.030 MHz a -75 dBW/MHz y establecimiento de una banda de guarda por debajo de 5.010 MHz para proteger al SRNS en la banda de frecuencia contigua 5.010-5.030 MHz, el uso compartido podría ser factible. Por otra parte, el análisis de

compatibilidad en la banda de frecuencia 5.010-5.030 MHz entre el SMAS y el SRNS no es factible.

El Informe UIT-R M.2237 contiene los estudios de compartición en la banda 5.030-5.091 MHz del servicio móvil aeronáutico por satélite (SMAS) con el servicio radionavegación aeronáutica (SRNA), así como con los enlaces de conexión del servicio de radionavegación por satélite (SRNS) en la banda adyacente 5.010-5.030 MHz.

En la banda 5.030-5.091 MHz se concluye que la compartición entre el SMAS con SRNS es posible aplicando técnicas de mitigación tales como planificación de frecuencias, separación geográfica y control de potencia. En caso de operación del UAS en el mismo ancho de banda ocupado (150 kHz) que el sistema de aterrizaje en microondas (MLS) en la banda 5.030-5.091 MHz, sería difícil lograr la compatibilidad entre estos dos sistemas.

En cuanto a la banda adyacente 5.010-5.030 MHz la compatibilidad con los enlaces de conexión del SRNS es posible con la suficiente separación geográfica.

El Informe UIT-R M.2238 analiza la compatibilidad en la banda de frecuencia 5.091-5.150 MHz entre los sistemas SMAS para la componente terrestres de los UAS, incluidos los transmisores y receptores UACS y UA, y los servicios existentes.

La banda de frecuencias 5.091-5.150 MHz está atribuida, con categoría primaria, al servicio de radionavegación aeronáutica (SRNA), al servicio móvil aeronáutico (SMA) al servicio móvil aeronáutico por satélite (SMAS) y al servicio fijo por satélite (SFS, Tierra-espacio) para la aproximación y el aterrizaje de precisión. En el SRNA esta banda se encuentra destinada al sistema de aterrizaje por microondas (MLS). En el SMA esta banda se limita a las aplicaciones de superficie en los aeropuertos, a la telemedida aeronáutica desde estaciones de aeronave y a las transmisiones de seguridad aeronáutica. En el SMAS esta banda está limitada a los sistemas aeronáuticos normalizados a nivel internacional. En el SFS (Tierra-espacio) se limita a los enlaces alimentación de sistemas de satélites no geoestacionarios (no-GSO) del servicio móvil por satélite (SMS).

Los estudios de compatibilidad en la banda de frecuencias 5.091-5.150 MHz entre los enlaces de CNPC terrenales de UAS y los servicios que tienen atribuida esta banda presentan los siguientes resultados:

- La compatibilidad con el SRNA requiere distancias de separación geográfica del orden de decenas de kilómetros, que impedirían a los UAS operar en grandes áreas alrededor de aeropuertos porque pondría en riesgo las comunicaciones relacionadas con la seguridad.
- La compatibilidad con el SMA requiere distancias de separación geográfica del orden de cientos de kilómetros, que obligarían a los UAS operar muy alejados de las estaciones de telemedida móvil aeronáutica.
- El aumento de la temperatura del ruido en los satélites SFS excedería los límites aceptables y evitaría el uso de ambos enlaces UAS ascendente y descendente. El uso de antenas de seguimiento UACS no reduciría la interferencia a límites aceptables debido al hecho de que

el satélite SFS no-GSO puede estar en cualquier parte del cielo y la antena UACS rastreará la UA en todas direcciones. Por lo tanto, no es posible que la antena UACS evite apuntar hacia el satélite ni interrumpir la transmisión UACS durante períodos potencialmente largos debido a la necesaria disponibilidad del enlace UA a UACS.

15 Conclusiones

Un sistema de aeronave no tripulada (UAS) está constituido por una aeronave no tripulada (UA) y una estación de control de la UA (UACS) operada por un piloto remoto y, cuando no existe visibilidad directa entre ambas, interviene alguna estación espacial.

Cuando la UA y la UACS tienen comunicación directa, los enlaces de mando y control pertenecen al servicio móvil aeronáutico (SMA), en el que la UA es la estación de aeronave y la UACS es la estación aeronáutica. Sin embargo, en la actualidad, no existen bandas de frecuencias atribuidas al SMA específicamente destinadas a nivel mundial para los enlaces de mando y control de los UAS. En España, la banda de frecuencias 2.390-2.400 MHz atribuida al servicio móvil (SM), que engloba al servicio móvil aeronáutico (SMA), se encuentra expresamente destinada a los enlaces de mando y control de los UAS (UN-50 CNAF).

En cambio, cuando la UA y la UACS se comunican a través de satélite, la UA es una estación terrena de aeronave del servicio móvil aeronáutico por satélite (SMAS), mientras que la UACS, si está en movimiento, en general, es una estación terrena móvil que funciona en frecuencias atribuidas al servicio móvil por satélite (SMS), salvo móvil aeronáutico, y si está fija, en general, es una estación terrena que funciona en frecuencias atribuidas al servicio fijo por satélite (SFS). Sin embargo, en la actualidad, no existen bandas de frecuencias atribuidas al SMAS específicamente destinadas a nivel mundial para los enlaces de mando y control de los UAS.

Debido a la compartición de bandas de frecuencias entre diferentes servicios de radiocomunicaciones, la selección de las bandas de frecuencias más adecuadas para los enlaces seguros de mando y control de los UAS corresponderían a las atribuidas exclusivamente al SMA y al SMAS, o serían las compartidas con otros servicios de aviación gestionados por las autoridades de aviación civil.

Por otra parte, las aeronaves no tripuladas (UA) pueden disponer de un sistema de radar anti-colisión Detectar y Evitar (S&A) que funcione en las bandas de frecuencias atribuidas al servicio de radionavegación aeronáutica (SRNA). Aunque existen numerosas bandas de frecuencias atribuidas a nivel mundial con categoría primaria al SRNA, no todas son adecuadas porque factores como el tamaño de la antena o la atenuación debida a la lluvia restringen las opciones. Además, estos radares requieren una gran anchura de banda que dificulta la determinación de una banda de frecuencias, libre de interferencias, específicamente destinadas a nivel mundial a los radares anti-colisión de los UAS.

Los requisitos de espectro para las principales comunicaciones de un único UAS (mando y control, comunicación ATC, radar anti-colisión S&A y, en su caso, el flujo de vídeo) se ha evaluado en 34 MHz si la aeronave no tripulada se controla con visibilidad directa y en 56 MHz si se controla a través de satélite.

La compatibilidad radioeléctrica entre los diferentes servicios de radiocomunicaciones involucrados ha sido analizada en el seno de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) y los resultados muestran las dificultades de compartición de la misma banda de frecuencias y, en algunos casos, incluso de las bandas adyacentes, de los servicios aeronáuticos con otros servicios.

16 Referencias

Reglamento de Radiocomunicaciones (RR), de la Unión Internacional de Telecomunicaciones, 2020.

Reglamento sobre el uso del dominio público radioeléctrico (RUEP), Real Decreto 123/2017, de 24 de febrero.

Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias (CNAF), Orden ETD/1449/2021, de 16 de diciembre.

Utilización civil de las aeronaves pilotadas por control remoto, Real Decreto 1036/2017, de 15 de diciembre.

Recomendación UIT-R S.1340 Compartición entre los enlaces de conexión del servicio móvil por satélite y el servicio de radionavegación aeronáutica en el sentido Tierra-espacio en la banda 15,4-15,7 GHz

Recomendación UIT-R S.1341 Compartición entre los enlaces de conexión del servicio móvil por satélite y el servicio de radionavegación aeronáutica en el sentido espacio-Tierra en la banda 15,4-15,7 GHz y protección del servicio de radioastronomía en la banda 15,35-15,4 GHz.

Recomendación UIT-R S.1426 Límites de densidad de flujo de potencia combinada en la órbita de los satélites del SFS para los transmisores de redes radioeléctricas de área local (RLAN) que funcionan en la banda 5.150-5.250 MHz y comparten frecuencias con el SFS.

Recomendación UIT-R S.1427 Metodología y criterio para evaluar la interferencia producida por transmisores de sistema de acceso inalámbrico/redes radioeléctricas de área local terrenales a los enlaces de conexión del servicio móvil por satélite en las redes de satélites no geostacionarios en la banda 5.150-5.250 MHz.

Recomendación UIT-R M.1454 Límite de la densidad de la p.i.r.e. y restricciones operacionales para las RLAN u otros transmisores de acceso inalámbrico a fin de asegurar la protección de los enlaces de conexión de los sistemas no geostacionarios del servicio móvil por satélite que funcionan en la banda de frecuencias 5.150-5.250 MHz.

Recomendación UIT-R M.1463 Características y criterios de protección para los radares que funcionan en el servicio de radiodeterminación en la banda de frecuencias 1.215-1.400 MHz.

Recomendación UIT-R M.1464 Características de los radares de radiolocalización no meteorológicos y características y criterios de protección para estudios de compartición de los radares de radionavegación aeronáutica y del servicio de radiodeterminación que funcionan en la banda de frecuencias 2.700-2.900 MHz.

Recomendación UIT-R M.1584 Método para calcular las distancias de separación entre las estaciones terrenas del servicio de radionavegación por satélite (Tierra-espacio) y los radares del servicio de radiolocalización y del servicio de radionavegación aeronáutica en la banda de frecuencias 1 300-1 350 MHz.

Recomendación UIT-R M.1638 Características y criterios de protección para los estudios de compartición de los radares de radiolocalización, salvo los radares meteorológicos en tierra, y de radionavegación aeronáutica que funcionan en las bandas de frecuencias entre 5.250 y 5.850 MHz.

Recomendación UIT-R M.1796 Características y criterios de protección de los radares que funcionan en el servicio de radiodeterminación en la banda de frecuencias 8.500-10.680 MHz.

Recomendación UIT-R M.1829 Método para determinar las distancias de separación geográfica necesarias en la banda de 5 GHz entre las estaciones del sistema de aterrizaje por microondas (MLS) internacional normalizado del servicio de radionavegación aeronáutica y los transmisores del servicio móvil aeronáutico (SMA) para la telemedida.

Recomendación UIT-R M.1902 Características y criterios de protección de las estaciones terrenas receptoras del servicio de radionavegación por satélite (espacio-Tierra) que funcionan en la banda 1.215-1.300 MHz.

Recomendación UIT-R M.1904 Características, requisitos de calidad de funcionamiento y criterios de protección de las estaciones receptoras del servicio de radionavegación por satélite (espacio-espacio) que funcionan en las bandas de frecuencias 1.164-1.215 MHz, 1.215-1.300 MHz y 1.559-1.610 MHz.

Recomendación UIT-R M.1905 Características y criterios de protección de las estaciones terrenas receptoras del servicio de radionavegación por satélite (espacio-Tierra) que funcionan en la banda 1.164-1.215 MHz.

Recomendación UIT-R M.1906 Características y criterios de protección de las estaciones espaciales receptoras y características de las estaciones terrenas transmisoras del servicio de radionavegación por satélite (Tierra-espacio) que funcionan en la banda 5.000-5.010 MHz.

Recomendación UIT-R M.2007 Características y criterios de protección de los radares que funcionan en el servicio de radionavegación aeronáutica (SRNA) en la banda de frecuencias 5.150-5.250 MHz.

Recomendación UIT-R M.2008 Características y criterios de protección de los radares que funcionan en el servicio de radionavegación aeronáutica en la banda de frecuencias 13,25-13,40 GHz.

Recomendación UIT-R M.2031 Características y criterios de protección de las estaciones terrenas receptoras y características de las estaciones espaciales transmisoras del servicio de radionavegación por satélite (espacio-Tierra) que funcionan en la banda 5.010-5.030 MHz.

Recomendación UIT-R M.2059 Características técnicas y de funcionamiento y criterios de protección de altímetros radioeléctricos que utilizan la banda de frecuencias 4.200-4.400 MHz.

Recomendación UIT-R M.2085 Condiciones técnicas para la utilización de sistemas aviónicos de comunicaciones internas que funcionan en el servicio móvil aeronáutico (R) en la banda de frecuencias 4.200-4.400 MHz.

Informe UIT-R M.2171 Características de sistemas de aeronaves no tripuladas y requisitos de espectro para su funcionamiento seguro en el espacio aéreo no segregado.

Informe UIT-R M.2204 Características y consideraciones del espectro para sistemas Detectar y Evitar colisiones en el uso de sistemas de aeronaves no tripuladas.

Informe UIT-R M.2205 Resultados de los estudios de la atribución al SMA(R) en la banda 960-1.164 MHz y de la atribución al SMAS(R) en la banda 5.030-5.091 MHz para enlaces de control y de comunicaciones sin carga útil de sistemas de aeronaves no tripuladas.

Informe UIT-R M.2229 Estudio de compatibilidad para permitir el control en línea de vista y los enlaces de comunicaciones sin carga útil para los sistemas de aeronaves no tripuladas propuestos en la banda de frecuencia 15,4-15,5 GHz.

Informe M.2230 Compartición de frecuencias entre sistemas de aeronaves no tripuladas fuera de la línea de control de visión y de enlaces de comunicaciones sin carga útil y otros servicios existentes y previstos en las bandas de frecuencia 13,25-13,40 GHz, 15,4-15,7 GHz, 22,5-22,55 GHz y 23,55-23,60 GHz.

Informe M.2233 Ejemplos de características técnicas para el control de aeronaves no tripuladas y enlaces de comunicaciones sin carga útil.

Informe M.2236 Estudio de compatibilidad para permitir el control dentro del alcance visual y enlaces de comunicación sin carga útil para sistemas de aeronaves no tripuladas propuestos en las bandas de frecuencia 5000-5010 MHz y 5010-5030 MHz.

Informe UIT-R M.2237 Estudio de compatibilidad para soportar los enlaces de control y comunicaciones sin carga útil con visibilidad directa de sistemas de aeronaves no tripuladas propuestos en la banda de frecuencias 5030-5091 MHz.

Informe UIT-R M.2238 Estudio de compatibilidad para soportar los enlaces de control y comunicaciones sin carga útil con visibilidad directa de sistemas de aeronaves no tripuladas propuestos en la banda de frecuencias 5.091-5.150 MHz.

Anexo I

Terminología relativa a aeronaves no tripuladas

Sigla	Término	Definición
ANT	Aeronave no tripulada	Aeronave destinada a operar de forma autónoma o para ser controlada a distancia sin un piloto a bordo.
UA	Unmanned Aircraft	
	Aeronave no tripulada de construcción privada	Aeronave fabricada para el uso propio del constructor, excluyendo el montaje a partir de un conjunto de componentes introducido en el mercado por el fabricante en forma de kit.
	Unmanned aircraft of private construction	
RPA	Aeronave pilotada por control remoto	Aeronave no tripulada, dirigida a distancia desde una estación de pilotaje remoto.
	Remotely piloted aircraft	
	Carga útil	Cualquier instrumento, mecanismo, equipo, componente, aparato, añadido o accesorio, incluido el equipo de comunicación, que esté instalado o fijado en la aeronave y no se utilice ni esté destinado a utilizarse para el manejo o el control de una aeronave en vuelo y no forme parte del fuselaje, el motor o la hélice.
	Payload	
LUC	Certificado de operador de UAS ligeros	Certificado concedido a un operador de UAS por una autoridad competente.
	Lightweight UAS-operator Certificate	
CTA	Control de tráfico aéreo	Subsistema de comunicaciones (no necesariamente transmitido a través de la UA).
ATC	Air traffic control	
CNPC	Control y comunicaciones sin carga útil	Enlaces de radio utilizados para intercambiar información entre la UA y la UACS, que garantizan una operación de vuelo UA segura, confiable y eficaz.
	Control and non-payload communications	
NMAC	Cuasi colisión en vuelo	Suceso en el que la aeronave casi colisiona contra otra aeronave o contra un obstáculo.
	Near-miss aircraft collision	
VLoS	Dentro del alcance visual	Operación en la que el piloto remoto mantiene contacto visual directo y continuo con la aeronave no tripulada, sin la ayuda de instrumentos, y puede controlar la trayectoria de la nave.
	Visual line-of-sight	
EVLoS	Dentro del alcance visual aumentado	Operación en la que el contacto visual directo con la aeronave no tripulada se satisface utilizando medios alternativos.
	Extended visual line-of-sight	
S&A	Detectar y evitar	Capacidad de ver, captar o descubrir la existencia de aeronaves en conflicto u otros obstáculos cercanos en los que el piloto es responsable de garantizar la debida separación.
	Sense and avoid	
ABS&A	Detectar y evitar basado en aeronaves	Sistema de radar anti-colisión instalado en la aeronave.
	Aircraft-based sense and avoid	
GBS&A	Detectar y evitar basado en tierra	Sistema de radar anti-colisión instalado en tierra.
	Ground-based sense and avoid	
	Enlace de control	Enlace de comunicación entre la UA y la UACS que transporta telecomandos del piloto a la UA y telemetría de la UA al piloto.
	Control link	
	Equipo para controlar UAS de forma remota	Cualquier instrumento, equipo, mecanismo, aparato, añadido, programa informático o accesorio que sea necesario para el funcionamiento seguro de una ANT que no sea un componente de esta y que no vaya a bordo de ella.
	Equipment to control unmanned aircraft remotely	
	Espacio aéreo no segregado	Espacio aéreo distinto de los designados como espacio aéreo segregado.
	Non-segregated Airspace	

	Espacio aéreo segregado	Volumen definido del espacio aéreo restringido para uso específico de una actividad, en el que no se permite el tránsito de otro tráfico.
	Segregated Airspace	
	Estación aeronáutica	Estación terrestre del servicio móvil aeronáutico.
	Aeronautical station	
	Estación de aeronave	Estación móvil del servicio móvil aeronáutico instalada a bordo de una aeronave, que no sea una estación de embarcación o dispositivo de salvamento.
	Aircraft station	
UACS	Estación de control de aeronave no tripulada	Instalaciones desde las que se controla una UA de forma remota.
	Unmanned Aircraft Control Station	
	Estación de pilotaje remoto	Componente de un sistema de aeronave pilotada por control remoto (RPAS) que contiene los equipos utilizados para pilotar la aeronave.
	Remote pilot station	
	Estación espacial	Estación situada en un objeto que se encuentra, que está destinado a ir o que ya estuvo, fuera de la parte principal de la atmósfera de la Tierra.
	Space station	
	Estación terrena	Estación situada en la superficie de la Tierra o en la parte principal de la atmósfera terrestre destinada a establecer comunicación: con una o varias estaciones espaciales; o con una o varias estaciones de la misma naturaleza, mediante el empleo de uno o varios satélites reflectores u otros objetos situados en el espacio.
	Earth station	
	Estación terrena aeronáutica	Estación terrena del servicio fijo por satélite, o, en algunos casos, del servicio móvil aeronáutico por satélite instalada en tierra en un punto determinado, con el fin de establecer un enlace de conexión en el servicio móvil aeronáutico por satélite.
	Aeronautical earth station	
	Estación terrena de aeronave	Estación terrena móvil del servicio móvil aeronáutico por satélite instalada a bordo de una aeronave.
	Aircraft earth station	
	Estación terrena móvil	Estación terrena del servicio móvil por satélite destinada a ser utilizada en movimiento o mientras esté detenida en puntos no determinados.
	Mobile earth station	
BVLoS	Más allá del alcance visual	Operación que el piloto remoto realiza sin alcance visual directo con la aeronave no tripulada.
	Beyond visual line-of-sight	
MMD	Masa máxima al despegue	Masa máxima de la aeronave no tripulada, incluyendo la carga útil y el combustible o la batería, con la que dicha aeronave puede despegar con seguridad.
MTOM	Maximum takeoff mass	
IFR	Normas de vuelo por instrumentos	Conjunto de normas y procedimientos que regulan el vuelo de aeronaves con instrumentos para la navegación, sin necesidad de contacto visual.
	Instrument flight rules	
	Piloto remoto	Persona física, designada por el operador, que controla la operación segura del vuelo de una aeronave no tripulada.
	Remote pilot	
RD	Radiodeterminación	Determinación de la posición, velocidad u otras características de un objeto, u obtención de información relativa a estos parámetros, mediante las propiedades de propagación de las ondas radioeléctricas.
	Radiodetermination	
RN	Radionavegación	Radiodeterminación utilizada para fines de navegación, inclusive para señalar la presencia de obstáculos.
	Radionavigation	

SRN	Servicio de radionavegación	Servicio de radiodeterminación para fines de radionavegación.
RNS	Radionavigation service	
SRNA	Servicio de radionavegación aeronáutica	Servicio de radionavegación destinado a las aeronaves y a su explotación en condiciones de seguridad.
ARNS	Aeronautical radionavigation service	
SRNAS	Servicio de radionavegación aeronáutica por satélite	Servicio de radionavegación por satélite en el que las estaciones terrenas están situadas a bordo de aeronaves.
ARNSS	Aeronautical radionavigation-satellite service	
SFS	Servicio fijo por satélite	Servicio de radiocomunicación entre estaciones terrenas situadas en emplazamientos dados cuando se utilizan uno o más satélites.
FSS	Fixed-satellite service	
SM	Servicio móvil	Servicio de radiocomunicación entre estaciones móviles y estaciones terrestres o entre estaciones móviles.
MS	Mobile service	
SMA	Servicio móvil aeronáutico	Servicio móvil entre estaciones aeronáuticas y estaciones de aeronave, o entre estaciones de aeronave.
AMS	Aeronautical-mobile service	
SMA(R)	Servicio móvil aeronáutico (R)	Servicio móvil aeronáutico reservado a las comunicaciones aeronáuticas relativas a la seguridad y regularidad de los vuelos, principalmente en las rutas (R) nacionales o internacionales de la aviación civil.
AM(R)S	Aeronautical-mobile (route) service	
SMAS(R)	Servicio móvil aeronáutico por satélite (R)	Servicio móvil aeronáutico por satélite reservado a las comunicaciones relativas a la seguridad y regularidad de los vuelos, principalmente en las rutas (R) nacionales o internacionales de la aviación civil.
AMS(R)S	Aeronautical-mobile satellite (route) service	
SMS	Servicio móvil por satélite	Servicio de radiocomunicación entre estaciones terrenas móviles y una o varias estaciones espaciales.
MSS	Mobile-satellite service	
SANT	Sistema de aeronave no tripulada	Aeronave no tripulada y equipo destinado a controlarla de forma remota.
UAS	Unmanned Aircraft System	
RPAS	Sistema de aeronave pilotada por control remoto	Conjunto integrado por una aeronave pilotada por control remoto, su estación de pilotaje remoto, los enlaces de mando y control y cualquier otro elemento necesario para la operación de vuelo.
	Remotely piloted aircraft system	
MLS	Sistema de aterrizaje por microondas	Sistema de precisión para ayuda al aterrizaje que permite múltiples sendas de aproximación y tiene en cuenta la presencia de irregularidades en el terreno.
	Microwave landing system	
SWaP	Tamaño, peso y potencia	Características físicas de la aeronave.
	Size, weight and power	
UAV	Vehículo aéreo no tripulado	Vehículo aéreo destinado a operar de forma autónoma o para ser controlado a distancia sin un piloto a bordo.
	Unmanned aerial vehicle	

Anexo II

Operación de aeronaves no tripuladas pilotadas por control remoto (RPA)

Las aeronaves no tripuladas (UA) reciben distinto tratamiento en función de que su masa máxima al despegue (MMD) sea de hasta 250 g, de hasta 2 kg, de hasta 10 kg, de hasta 25 kg, de hasta 150 kg o superior a esa masa; así como por la altura sobre la superficie de la Tierra que puedan alcanzar hasta 120 m o superior a esa elevación, o la distancia al piloto remoto sea de hasta 100 m, de hasta 500 m o más.

En función del nivel de riesgo, se establecen las siguientes categorías de operaciones en los sistemas de aeronaves no tripuladas (UAS):

- Categoría “abierta” cuando las operaciones de vuelo presentan el riesgo más bajo, y los UAS no sujetos a procedimientos estándar de conformidad aeronáutica. Las operaciones de UAS realizadas en la categoría “abierta” no están sujetas a ninguna autorización previa ni a una declaración operacional del operador de UAS antes de que se realice la operación. En esta categoría, la masa máxima al despegue de la aeronave no tripulada es inferior a 25 kg y, durante el vuelo, la aeronave no tripulada no se elevará más de 120 m del punto más próximo de la superficie terrestre, salvo cuando sobrevuele un obstáculo.

- Categoría “específica” cuando las operaciones de vuelo tienen un riesgo más elevado y respecto a las cuales deba realizarse una evaluación del riesgo exhaustiva para determinar qué requisitos deben aplicarse a los UAS para que su funcionamiento sea seguro. En las operaciones de UAS realizadas en la categoría “específica”, el operador llevará a cabo una evaluación del riesgo y la presentará, acompañada de medidas de atenuación del riesgo, junto con la solicitud para obtener la autorización operacional expedida por la autoridad competente. En esta categoría, la masa máxima al despegue de la aeronave no tripulada es superior a 25 kg o, durante el vuelo, la aeronave no tripulada se elevará más de 120 m del punto más próximo de la superficie terrestre.

- Categoría “certificada” cuando las operaciones de vuelo están sujetas, por principio, a normas sobre la certificación de los operadores y la concesión de licencias de pilotos remotos. Las operaciones de UAS realizadas en la categoría “certificada” requieren la certificación del UAS, además de la certificación del operador de UAS y, en su caso, la obtención de una licencia por parte del piloto remoto. En esta categoría, la operación de vuelo se realiza sobre concentraciones de personas, o conlleva el transporte de personas, o conlleva el transporte de mercancías peligrosas que pueden entrañar un riesgo elevado para terceros en caso de accidente.

Por lo tanto, tanto en la categoría “específica” como en la categoría “certificada”, se puede exigir un certificado expedido por las autoridades competentes para la utilización de aeronaves no tripuladas, así como para el personal, en particular los pilotos remotos, y las organizaciones que participen en tales actividades.

La categoría “específica” se utiliza para operaciones especializadas tales como realización de trabajos técnicos o científicos y para vuelos de prueba de producción y mantenimiento, de demostración, de investigación y desarrollo de nuevos productos o para demostrar la seguridad de las operaciones.

Los estudios han demostrado que las aeronaves no tripuladas con una masa máxima al despegue (MMD) de 250 g o superior entrañan riesgos a la seguridad y, por lo tanto, los operadores de estas aeronaves no tripuladas tienen la obligación de registrarse cuando las utilicen en la categoría “abierta”.

Las organizaciones que fabriquen en serie aeronaves no tripuladas, cuya masa máxima al despegue (MMD) sea superior a 25 kg, deben ser aprobadas por la Agencia Estatal de Seguridad Aérea (AESA) previa acreditación del cumplimiento de los requisitos esenciales.

Las aeronaves no tripuladas pilotadas por control remoto (RPA) deben operar de día y en condiciones meteorológicas dentro del alcance visual (VLoS). La realización de vuelos nocturnos requiere la autorización expresa de la Agencia Estatal de Seguridad Aérea (AESA), previa solicitud del operador acompañada del estudio aeronáutico de seguridad, realizado por el operador de la aeronave, en el que se contemplen todos los posibles fallos de la aeronave y sus sistemas de control, incluyendo la estación de pilotaje remoto y el enlace de mando y control, así como sus efectos. El certificado de aeronavegabilidad expedido por la AESA podrá establecer una altitud mínima para la realización de la operación y otras limitaciones y condiciones a las que deberán ajustarse las operaciones de vuelo.

Todas las aeronaves tripuladas por control remoto (RPA), que no dispongan de certificado de aeronavegabilidad, pueden realizar operaciones aéreas especializadas en zonas fuera de aglomeraciones de edificios en ciudades, pueblos o lugares habitados o alejadas de reuniones de personas al aire libre, en el espacio aéreo no controlado y fuera de una zona de información de vuelo (FIZ), siempre que la operación se realice dentro del alcance visual del piloto (VLoS), o de observadores que estén en contacto permanente por radio con aquél (EVL0S), a una distancia horizontal del piloto, o en su caso de los observadores, no mayor de 500 m y a una altura sobre el terreno no mayor de 120 m, o sobre el obstáculo más alto situado dentro de un radio de 150 m desde la aeronave.

Además, en zonas fuera de aglomeraciones de edificios en ciudades, pueblos o lugares habitados o alejadas de reuniones de personas al aire libre, en espacio aéreo no controlado y fuera de una zona de información de vuelo (FIZ), más allá del alcance visual del piloto (BVLoS) pero siempre dentro del alcance directo del enlace radioeléctrico de la estación de pilotaje remoto de manera que permita un enlace de mando y control efectivo, cuando se cuente con sistemas certificados o autorizados que permitan detectar y evitar a otros usuarios del espacio aéreo, pueden realizarse operaciones aéreas especializadas:

a) Por aeronaves pilotadas por control remoto (RPA) cuya masa máxima al despegue sea de hasta 2 kg, y la operación se realice a una altura máxima sobre el terreno no mayor de 120 m, o sobre el obstáculo más alto situado dentro de un radio de 150 m desde la aeronave.

b) Por aeronaves pilotadas por control remoto (RPA), cuando se cuente con sistemas, aprobados por la Agencia Estatal de Seguridad Aérea (AESA), que permitan a su piloto detectar y evitar a otros usuarios del espacio aéreo. En caso contrario, estos vuelos fuera del alcance visual del piloto (BVLoS) solamente pueden realizarse en espacio aéreo temporalmente segregado (TSA).

Asimismo, pueden realizarse operaciones aéreas especializadas sobre aglomeraciones de edificios en ciudades, pueblos o lugares habitados o cerca de reuniones de personas al aire libre, en espacio aéreo no controlado y fuera de una zona de información de vuelo (FIZ), únicamente por aeronaves pilotadas por control remoto (RPA) cuya masa máxima al despegue no exceda de 10 kg, dentro del alcance visual del piloto (VLoS), a una distancia horizontal máxima del piloto de 100 m, y a una altura máxima sobre el terreno no mayor de 120 m, o sobre el obstáculo más alto situado dentro de un radio de 600 m desde la aeronave. Estas operaciones, deben realizarse sobre zonas acotadas en la superficie en las que, la autoridad competente haya limitado el paso de personas o vehículos o, en otro caso, manteniendo una distancia horizontal mínima de seguridad de 50 m respecto de edificios u otro tipo de estructuras y respecto de cualquier persona, salvo personal del operador o personal que esté involucrado en el desarrollo de la operación.

Los vuelos experimentales solamente podrán realizarse dentro del alcance visual del piloto (VLoS), o, en otro caso, en una zona del espacio aéreo segregada al efecto y siempre en zonas fuera de aglomeraciones de edificios en ciudades, pueblos o lugares habitados o alejadas de reuniones de personas al aire libre, así como en espacio aéreo no controlado y fuera de una zona de información de vuelo (FIZ).

La operación debe realizarse fuera de la zona de tránsito de aeródromo y a una distancia mínima de 8 km del punto de referencia de cualquier aeropuerto o aeródromo y la misma distancia respecto de los ejes de las pistas y su prolongación, en ambas cabeceras, hasta una distancia de 6 km contados a partir del umbral en sentido de alejamiento de la pista o, para el caso de operaciones más allá del alcance visual del piloto (BVLoS), cuando la infraestructura cuente con procedimientos de vuelo instrumental, a una distancia mínima de 15 km de dicho punto de referencia. Esta distancia mínima podrá reducirse cuando así se haya acordado con el gestor de aeropuertos o responsable de la infraestructura y, si lo hubiera acordado con el proveedor de servicios de tránsito aéreo del aeródromo, y la operación se ajusta a lo establecido por éstos en el correspondiente procedimiento de coordinación.

Asimismo, la operación debe realizarse en espacio aéreo no controlado y fuera de una zona de información de vuelo (FIZ), salvo que mediante un estudio aeronáutico de seguridad, realizado al efecto por el operador y coordinado con el proveedor de servicios de tránsito aéreo designado en el espacio aéreo de que se trate, se constate la seguridad de la operación. En tales casos la operación se realizará con sujeción a las condiciones y limitaciones y establecidas en dicho estudio aeronáutico de seguridad y previa autorización

del control de tránsito aéreo o comunicación al personal de información de vuelo de aeródromo (AFIS).

El operador deberá establecer un área de protección para el despegue y el aterrizaje, de manera que en un radio mínimo de 30 m no se encuentren personas que no estén bajo el control directo del operador, salvo en el caso de aeronaves de despegue y aterrizaje vertical, en cuyo caso el radio podrá reducirse hasta un mínimo de 10 m. Además, el operador debe establecer zonas de recuperación segura en el suelo de manera que, en caso de fallo, se puedan alcanzar en cualquier momento sin riesgo de causar daños a terceras personas y bienes en el suelo. Para su delimitación el operador tendrá en cuenta el resultado del estudio aeronáutico de seguridad.

Referencias

Utilización civil de las aeronaves pilotadas por control remoto, Real Decreto 1036/2017, de 15 de diciembre.

Normas y los procedimientos aplicables a la utilización de aeronaves no tripuladas, Reglamento de Ejecución (UE) 2019/947 de la Comisión, de 24 de mayo de 2019

Sistemas de aeronaves no tripuladas y los operadores de terceros países de sistemas de aeronaves no tripuladas, Reglamento Delegado (UE) 2019/945 de la Comisión, de 12 de marzo de 2019.

Anexo III

Comercialización y uso de sistemas de aeronaves no tripuladas

Como todo equipo radioeléctrico, los sistemas de aeronaves no tripuladas (UAS) deben acreditar la conformidad con los requisitos esenciales que han de cumplir todos los equipos radioeléctricos para su puesta en el mercado, libre circulación y uso.

Estos requisitos esenciales tienen por objetivos garantizar la compatibilidad radioeléctrica, hacer un uso eficaz del espectro radioeléctrico y garantizar la seguridad del usuario, y son exigidos en virtud de la Directiva 2014/53/UE, del Parlamento Europeo y del Consejo (conocida como Directiva RED), relativa a la armonización de las legislaciones de los Estados miembros sobre la comercialización de equipos radioeléctricos, y disponer del mercado CE.

En España, el Real Decreto 188/2016, por el que se aprueba el reglamento que regula el procedimiento para la evaluación de la conformidad, establece los requisitos para la comercialización, puesta en servicio y uso de equipos radioeléctricos, así como la vigilancia del mercado y el régimen sancionador de los equipos radioeléctricos.

A fin de que los agentes económicos puedan demostrar que los UAS comercializados destinados a ser utilizados en la categoría “abierta” o, en su caso, en la categoría de operaciones “específica”, cumplen los requisitos esenciales, y que las autoridades competentes puedan comprobarlo, existe un procedimiento de evaluación de la conformidad y, en su caso, puede ser necesaria la intervención de organismos de evaluación de la conformidad.

Los sistemas de aeronaves no tripuladas (UAS) destinados a ser utilizados en la categoría “abierta” que, en condiciones normales de utilización, no pongan en peligro la salud y la seguridad de las personas, los animales domésticos o los bienes, no se someten a los procedimientos clásicos de conformidad aeronáutica.

Los UAS cuya utilización presente los mayores riesgos de ocasionar daños a terceras personas en caso de accidentes deben estar sujetos a certificación en el diseño, la producción y el mantenimiento.

El Real Decreto 188/2016 se aplica a las aeronaves no tripuladas que no estén sujetas a certificación aeronáutica y que no estén destinadas a utilizarse exclusivamente en bandas de frecuencias atribuidas por el Reglamento de Radiocomunicaciones (RR) para un uso aeronáutico protegido.

Adicionalmente, el Real Decreto 186/2016 se aplica a las aeronaves no tripuladas que no estén sujetas a certificación aeronáutica y que no estén destinadas a utilizarse exclusivamente en frecuencias atribuidas por el Reglamento de Radiocomunicaciones (RR) para un uso aeronáutico protegido, si no entran dentro del ámbito de aplicación del Real Decreto 188/2016.

Referencias

Sistemas de aeronaves no tripuladas y los operadores de terceros países de sistemas de aeronaves no tripuladas, Reglamento Delegado (UE) 2019/945 de la Comisión, de 12 de marzo de 2019.

Normas comunes en el ámbito de la aviación civil y por el que se crea una Agencia de la Unión Europea para la Seguridad Aérea, Reglamento (UE) 2018/1139 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 4 de julio de 2018.

Reglamento sobre la comercialización, puesta en servicio y uso de equipos radioeléctricos, Real Decreto 188/2016, de 6 de mayo.

Compatibilidad electromagnética de los equipos eléctricos y electrónicos, Real Decreto 186/2016, de 6 de mayo.