

UIT-R

Sector de Radiocomunicaciones de la UIT

Recomendación UIT-R M.1652
(06/2003)

**Selección dinámica de frecuencias (DFS)
en sistemas de acceso inalámbrico,
incluidas las redes radioeléctricas
de área local, para proteger
el servicio de radiodeterminación
en la banda de 5 GHz**

Serie M

**Servicios móviles, de radiodeterminación,
de aficionados y otros servicios
por satélite conexos**



Prólogo

El Sector de Radiocomunicaciones tiene como cometido garantizar la utilización racional, equitativa, eficaz y económica del espectro de frecuencias radioeléctricas por todos los servicios de radiocomunicaciones, incluidos los servicios por satélite, y realizar, sin limitación de gamas de frecuencias, estudios que sirvan de base para la adopción de las Recomendaciones UIT-R.

Las Conferencias Mundiales y Regionales de Radiocomunicaciones y las Asambleas de Radiocomunicaciones, con la colaboración de las Comisiones de Estudio, cumplen las funciones reglamentarias y políticas del Sector de Radiocomunicaciones.

Política sobre Derechos de Propiedad Intelectual (IPR)

La política del UIT-R sobre Derechos de Propiedad Intelectual se describe en la Política Común de Patentes UIT-T/UIT-R/ISO/CEI a la que se hace referencia en el Anexo 1 a la Resolución UIT-R 1. Los formularios que deben utilizarse en la declaración sobre patentes y utilización de patentes por los titulares de las mismas figuran en la dirección web <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/es>, donde también aparecen las Directrices para la implementación de la Política Común de Patentes UIT-T/UIT-R/ISO/CEI y la base de datos sobre información de patentes del UIT-R sobre este asunto.

Series de las Recomendaciones UIT-R

(También disponible en línea en <http://www.itu.int/publ/R-REC/es>)

Series	Título
BO	Distribución por satélite
BR	Registro para producción, archivo y reproducción; películas en televisión
BS	Servicio de radiodifusión sonora
BT	Servicio de radiodifusión (televisión)
F	Servicio fijo
M	Servicios móviles, de radiodeterminación, de aficionados y otros servicios por satélite conexos
P	Propagación de las ondas radioeléctricas
RA	Radio astronomía
RS	Sistemas de detección a distancia
S	Servicio fijo por satélite
SA	Aplicaciones espaciales y meteorología
SF	Compartición de frecuencias y coordinación entre los sistemas del servicio fijo por satélite y del servicio fijo
SM	Gestión del espectro
SNG	Periodismo electrónico por satélite
TF	Emisiones de frecuencias patrón y señales horarias
V	Vocabulario y cuestiones afines

Nota: Esta Recomendación UIT-R fue aprobada en inglés conforme al procedimiento detallado en la Resolución UIT-R 1.

Publicación electrónica
Ginebra, 2010

© UIT 2010

Reservados todos los derechos. Ninguna parte de esta publicación puede reproducirse por ningún procedimiento sin previa autorización escrita por parte de la UIT.

RECOMENDACIÓN UIT-R M.1652*

Selección dinámica de frecuencias (DFS)¹ en sistemas de acceso inalámbrico, incluidas las redes radioeléctricas de área local, para proteger el servicio de radiodeterminación en la banda de 5 GHz

(Cuestiones UIT-R 212/8 y UIT-R 142/9)

(2003)

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que una armonización de las frecuencias en las bandas 5 150-5 350 MHz y 5 470-5 725 MHz para el servicio móvil facilitaría la introducción de los sistemas de acceso inalámbrico (WAS, *wireless access systems*) incluidas las redes radioeléctricas de área local (RLAN);
- b) que es necesario proteger los radares del servicio de radiodeterminación que funcionan en las bandas 5 250-5 350 MHz y 5 470-5 725 MHz;
- c) que en muchas administraciones se han instalado una gran cantidad de radares meteorológicos instalados en tierra que soportan servicios de meteorología críticos;
- d) que en la Recomendación UIT-R M.1461 aparecen los procedimientos y metodologías para analizar la compatibilidad entre radares del servicio de radiodeterminación y sistemas de otros servicios;
- e) que en la Recomendación UIT-R M.1638 figuran las características técnicas y de explotación más representativas de los radares de radiolocalización, de radionavegación aeronáutica y meteorológicos;
- f) que la Recomendación UIT-R M.1313 proporciona las características técnicas típicas de los radares de radionavegación marítima en la banda 5 470-5 650 MHz, entre otras;
- g) que en la Recomendación UIT-R M.1450 se describen los WAS, incluidas las RLAN, capaces de funcionar en interiores y exteriores;
- h) el Informe UIT-R M.2034 que estudia la repercusión que tienen ciertos requisitos de detección de la selección dinámica de frecuencias sobre el comportamiento de los WAS,

reconociendo

- a) que la banda 5 250-5 350 MHz está atribuida al servicio de radiolocalización a título primario y que la banda 5 250-5 350 MHz está también atribuida a título primario al servicio de exploración de la Tierra por satélite (SETS) (activo);
- b) que la banda 5 470-5 650 MHz está atribuida al servicio de radionavegación marítima a título primario;

* Esta Recomendación fue elaborada conjuntamente por las Comisiones de Estudio 8 y 9 de Radiocomunicaciones y las futuras revisiones también deberán realizarse conjuntamente.

¹ DFS (*dynamic frequency selection*) es un término general utilizado en esta Recomendación para describir técnicas de reducción de la interferencia que permiten, entre otras cosas, la detección y prevención de la interferencia cocanal con respecto a los sistemas de radar.

- c) que la banda 5 350-5 650 MHz está atribuida al servicio de radiolocalización a título secundario;
- d) que los radares instalados en tierra que se emplean en meteorología están autorizados a funcionar en la banda 5 600-5 650 MHz en pie de igualdad con las estaciones del servicio de radionavegación marítima (véase el número 5.452 del Reglamento de Radiocomunicaciones (RR));
- e) que la banda 5 650-5 725 MHz está atribuida al servicio de radiolocalización a título primario;
- f) que las administraciones pueden tener en cuenta la información detallada sobre la instalación de radares reales al elaborar las directrices para la utilización de la DFS en los WAS en consulta con las administraciones potencialmente afectadas,

observando

- a) que el alto nivel de potencia de RF y la sensibilidad del receptor de los radares del servicio de radiodeterminación junto con la elevada densidad que cabe esperar de los WAS, incluidas las RLAN, no permitiría en general el funcionamiento compatible de dichos WAS, incluidas las RLAN, con los radares en modo cocanal si no se utilizan técnicas de reducción de la interferencia;
- b) que los WAS, incluidas las RLAN, podrían funcionar en estas bandas como dispositivos exentos de licencia, lo que haría aún más difícil controlar su densidad de instalación;
- c) que existen varias normas para las especificaciones RLAN;
- d) que las administraciones pueden considerar procedimientos para confirmar la posibilidad de introducir mecanismos de prevención de la interferencia a fin de lograr un correcto funcionamiento en presencia de sistemas de radar instalados en esta banda,

recomienda

- 1 que para facilitar la compartición con los radares, los WAS, incluidas las RLAN, empleen las técnicas de reducción de la interferencia descritas en el Anexo 1 en las bandas utilizadas por los radares a 5 GHz;
- 2 que las técnicas de reducción de la interferencia satisfagan los requisitos de detección, explotación y respuesta indicados en el § 2 del Anexo 1;
- 3 que cuando realicen estudios de compartición entre radares y WAS, incluidas las RLAN, las administraciones utilicen las metodologías descritas en los Anexos 4, 5, 6 y 7.

NOTA 1 – Los requisitos indicados en el *recomienda* 2 deben ser objeto de más estudios con carácter urgente y basados en la experiencia práctica.

Anexo 1

Utilización de la DFS en los WAS, incluidas las RLAN, para la protección del servicio de radiodeterminación en la banda de 5 GHz

1 Introducción

1.1 DFS

La Resolución 736 (CMR-2000) solicita, entre otras cosas, la realización de estudios sobre la viabilidad de la compartición entre el servicio móvil para los WAS² y el servicio de radiodeterminación en las bandas de frecuencias 5 250-5 350 MHz y 5 470-5 725 MHz. Los cálculos de balance del enlace han demostrado que se necesita la utilización de técnicas de reducción de la interferencia para permitir la compartición de los WAS con otros servicios tales como los sistemas de radar. Esta Recomendación describe las técnicas de reducción de la interferencia DFS³ como se especifica en las normas RLAN a 5 GHz, basándose los cálculos del comportamiento en realizaciones típicas.

Los WAS y los radares explotados en la banda de 5 GHz se interferirán cuando funcionan con las mismas frecuencias y en emplazamientos cercanos.

Se ha previsto que la DFS:

- asegure una dispersión de la carga a través del espectro disponible del WAS bajo el campo de visión del satélite para reducir los niveles de emisión combinada en los satélites del SFS (enlaces de conexión) y del SETS (activo) procedentes de los WAS;
- evite el funcionamiento cocanal con otros sistemas, principalmente los sistemas de radar.

La ampliación de la utilización de la DFS como se describe aquí permite a los WAS evitar la interferencia con el servicio de radiodeterminación. El principio general aplicado consiste en que los WAS detecten la interferencia e identifiquen las fuentes de interferencia del radar y no utilicen las frecuencias empleadas por el radar.

1.2 Objetivo de la utilización de la DFS con respecto a los radares

El objetivo de utilizar DFS en los WAS es proporcionar la protección adecuada a los radares en la banda de 5 GHz. Ello se logra evitando la utilización de un canal que va a ser ocupado por los equipos de radar basándose en la detección de las señales de radar, o liberando dicho canal.

En el Anexo 3 aparece una discusión sobre los sistemas de radiodeterminación en la gama de 5 GHz utilizados para determinar las características de la DFS.

² En esta Recomendación el término «WAS» se refiere a los sistemas de acceso inalámbrico incluidas las RLAN.

³ La característica DFS fue especificada inicialmente en las normas RLAN a 5 GHz para reducir la interferencia entre las agrupaciones de RLAN sin coordinar y proporcionar una eficacia espectral optimizada en los sistemas de transmisión de datos de alta capacidad y a alta velocidad binaria.

La implantación de los mecanismos y procedimientos de detección del radar utilizados por los WAS cae fuera del ámbito de este Anexo. Las razones principales de ello son:

- el diseño de los WAS afecta a la implantación;
- la experiencia práctica puede desembocar en la utilización de unos medios innovadores y más eficaces de los que puedan formularse hoy en día;
- distintos fabricantes pueden realizar elecciones de implantación diferentes para lograr un determinado nivel de rendimiento al mínimo coste; por lo tanto, en los documentos reglamentarios sólo deben aparecer los criterios de comportamiento en vez de las especificaciones para un mecanismo en particular.

2 Requisitos de comportamiento de la DFS

Los requisitos de comportamiento de la DFS se establecen en términos de respuesta a la detección de una señal de interferencia.

Los WAS a 5 GHz deben satisfacer los siguientes requisitos de detección y respuesta.

Los procedimientos de cumplimiento de los requisitos deben incorporarse en las normas pertinentes establecidas por la industria para las RLAN.

2.1 Requisitos de detección

El mecanismo de la DFS debe poder detectar señales interferentes por encima de un mínimo umbral de detección DFS de -62 dBm para dispositivos con una máxima p.i.r.e. de < 200 mW y -64 dBm para dispositivos con una máxima p.i.r.e. de 200 mW a 1W^4 promediada en $1\ \mu\text{s}$.

Se define como la intensidad de señal recibida (dBm) normalizada a la salida de una antena de recepción de 0 dBi, que debe detectarse en la anchura de banda de canal de los WAS.

2.2 Requisitos de funcionamiento

Los WAS deben poder realizar una verificación de disponibilidad de canal. En dicha verificación los WAS permanecen a la escucha de un canal radioeléctrico en particular durante 60 s para detectar si hay un radar funcionando en ese canal radioeléctrico.

Los WAS deben poder realizar una comprobación técnica en servicio que trata de comprobar el canal de funcionamiento para verificar que ningún radar cocanal se ha desplazado o iniciado su funcionamiento dentro del alcance del WAS. Durante la comprobación técnica en servicio, la función de detección del radar realiza una búsqueda continua de señales de radar entre las transmisiones normales de los WAS. Ello exige la utilización de espacios silenciosos entre transmisiones WAS sucesivas (véase el Anexo 4).

Si el WAS no ha estado previamente en funcionamiento o no ha realizado en el canal una comprobación técnica en servicio continua, no debe iniciar la transmisión en ningún canal antes de completar la verificación de disponibilidad de canal.

⁴ En la práctica, puede que no sea necesario que cada dispositivo incorpore la plena funcionalidad DFS, siempre que tales dispositivos sólo puedan transmitir bajo el control de un dispositivo que asegure el cumplimiento de todos los requisitos de DFS.

2.3 Requisitos de respuesta

Un canal en el que se ha determinado que contiene una señal de radar, ya sea por verificación de disponibilidad de canal o por comprobación técnica en servicio, está sujeto a un periodo de 30 min (periodo de no ocupación) durante el cual no puede ser utilizado por el dispositivo del WAS a fin de proteger los radares de exploración. El periodo de no ocupación debe iniciarse en el instante en que se detecta la señal de radar.

Adicionalmente, en la banda 5 600-5 650 MHz, si se ha determinado que un canal contiene una señal de radar, es necesario realizar una comprobación técnica continua de 10 min en dicho canal antes de utilizarlo. De no ser así, sería preciso emplear otros métodos adecuados tales como el de exclusión de canal.

El tiempo de desplazamiento de canal se define como el periodo de 10 s que necesita un WAS para interrumpir todas las transmisiones sobre el canal de funcionamiento tras detectar una señal interferente de un valor superior al umbral de detección DFS. Las transmisiones durante este periodo consistirán en tráfico habitual durante un tiempo normalmente inferior a 100 ms y nunca superior a 200 ms tras la detección de la señal de radar. Además, durante el tiempo restante pueden enviarse señales de control y gestión intermitentes para facilitar la liberación del canal de funcionamiento. El tiempo combinado de las señales de control y gestión intermitentes es generalmente inferior a 20 ms.

2.4 Resumen de los requisitos

En el Cuadro 1 aparece un resumen de los requisitos descritos anteriormente. En el Anexo 2 figura un ejemplo de los procedimientos de funcionamiento.

CUADRO 1

Parámetro	Valor
Umbral de detección DFS	-62 dBm para dispositivos con una máxima p.i.r.e. inferior de 200 mW y -64 dBm para dispositivos con una máxima p.i.r.e. de 200 mW a 1W promediada a lo largo de 1 μ s
Tiempo de verificación de disponibilidad de canal	60 s
Periodo de no ocupación	30 min
Tiempo de desplazamiento del canal	≤ 10 s

Anexo 2

Detección de radar y ejemplo de procedimientos DFS asociados

En este Anexo aparece un ejemplo de descripción de un mecanismo DFS.

1 Definiciones

En este Anexo se utilizan las siguientes definiciones:

Canal disponible: Canal radioeléctrico en el cual una verificación de disponibilidad de canal no ha identificado la presencia de un radar.

Señal de radar recibida: Señal caracterizada como se indica a continuación:

- una intensidad de señal recibida es igual o superior al nivel umbral de detección DFS de T_{DFS} (dBm) dentro de la anchura de banda del canal WAS;
- una frecuencia de repetición de pulsos en la gama de 200-4 000 pulsos/s;
- unas anchuras de pulso nominales en la gama de 1-20 μ s.

Canal de funcionamiento: Una vez que un WAS empieza a funcionar en un canal disponible, dicho canal pasa a ser un canal de funcionamiento

2 Procedimientos

2.1 Determinación de un canal disponible inicial

Antes de que un WAS transmita, y si no se ha identificado aún un canal disponible, deberá realizar una verificación de disponibilidad de canal en un canal radioeléctrico antes de utilizarlo para la transmisión. En consecuencia, cuando se instala una red y se activa por primera vez, debe realizarse dicha verificación de disponibilidad de canal de manera que se identifique al menos un canal disponible. Una vez identificado dicho canal disponible, el WAS puede iniciar su funcionamiento en dicho canal; la verificación de otros canales radioeléctricos para identificar otros canales disponibles es opcional.

2.2 Inicio de funcionamiento

Una vez que un WAS inicia su funcionamiento en un canal disponible dicho canal pasa a ser el canal de funcionamiento.

2.3 Comprobación técnica del canal de funcionamiento

El WAS realiza la comprobación técnica en servicio para volver a verificar el canal de funcionamiento buscando señales de radar cocanal que puedan haber entrado en el alcance del WAS o hayan iniciado el funcionamiento dentro del canal de funcionamiento.

3 Aspectos de realización

3.1 Detección de la señal de radar

Las señales de radar pueden aparecer en cualquier instante y en presencia de señales WAS cocanal.

Mientras busca un canal disponible inicial, el WAS no estará operativo y ello asegurará una detección rápida y fiable de cualquier señal de radar con la posible excepción de radares giratorios muy lentos. Sin embargo, las señales de estos radares serán detectadas al realizar la comprobación técnica en servicio.

Durante la comprobación técnica en servicio, la función de detección del radar realiza una búsqueda continua de señales de radar, durante las transmisiones WAS normales o en los intervalos entre dichas transmisiones. En el caso de recepción de señales de radar muy débiles, ello puede aumentar el tiempo necesario para detectar la señal de radar. Esto queda reflejado en los requisitos indicados en el Anexo 1.

3.1.1 Protección de radares con salto de frecuencia

Los radares con salto de frecuencia funcionan en una gama de frecuencias muy amplia y con un cambio rápido de la frecuencia de funcionamiento.

El tiempo que necesita un WAS para realizar una detección fiable varía según las características del pulso del radar. En el caso de radares con salto de frecuencia, el tiempo durante el cual el radar ocupa el canal WAS (tiempo de permanencia) también repercute en la probabilidad de detección.

El resultado será uno de los siguientes:

- si el tiempo de permanencia es suficientemente largo, la DFS detecta la señal de radar (véase el Anexo 4) y cesarán las transmisiones del WAS en el canal actual;
- si el tiempo de permanencia es muy corto, puede verse afectada la probabilidad de detección del radar por un WAS en el canal de funcionamiento, dependiendo del número de pulsos que aparecen durante dicho tiempo de permanencia.

3.1.2 Umbral y ganancia de antena

El umbral de detección se define en términos de dBm normalizado a la salida de una antena receptora a 0 dBi. Si el WAS utiliza ganancias de antena más elevadas, debe aumentarse el nivel T_{DFS} añadiendo la ganancia de antena.

3.1.3 Emisiones no esenciales

Se necesitan más estudios para determinar la repercusión sobre la interacción entre los WAS y las emisiones no esenciales de los radares.

3.2 Tiempo de desplazamiento de canal

Tras detectar una señal por encima del umbral de detección, los procedimientos DFS exigen la difusión de instrucciones para cesar todas las transmisiones operativas y realizar un desplazamiento a uno de los canales disponibles identificados mediante la comprobación de disponibilidad de canal. Esta difusión se repetirá el número de veces necesario para asegurar su recepción por todos los dispositivos de los miembros. Parte de la población WAS puede encontrarse en el denominado «modo adormecido» en el cual los dispositivos se despiertan durante intervalos de una duración típica de cientos de milisegundos y máxima de hasta 60 s. Sin tener en cuenta este último caso, la difusión debe repetirse un cierto número de veces durante el tiempo de desplazamiento de canal para asegurar que a todos los efectos prácticos, la totalidad de los dispositivos WAS habrán abandonado el canal.

Anexo 3

Utilización de las características de los radares de radiolocalización, de radionavegación marítima y meteorológicos

En la Recomendación UIT-R M.1638 aparecen las características técnicas de algunos radares meteorológicos, de radiolocalización y de radionavegación marítima que funcionan en las bandas 5 250-5 350 MHz y 5 470-5 725 MHz. Esta información se utiliza para determinar las características técnicas del mecanismo de DFS que va a implantarse en los WAS, considerado necesario para permitir la introducción de dichos WAS en el servicio móvil, (de conformidad con la Resolución 736 (CMR-2000)) en estas bandas de frecuencias utilizadas por los radares. Específicamente, se consideran los radares A-S en el desarrollo de las características DFS.

En el Cuadro 2 aparecen las atribuciones de subbandas de la gama de 5 GHz al servicio de radiodeterminación:

CUADRO 2

Banda (MHz)	Atribución
5 250-5 255	RADIOLOCALIZACIÓN
5 255-5 350	RADIOLOCALIZACIÓN
5 350-5 460	RADIONAVEGACIÓN AERONÁUTICA (Nota 2) Radiolocalización (Nota 3)
5 460-5 470	RADIONAVEGACIÓN Radiolocalización (Nota 3)
5 470-5 650	RADIONAVEGACIÓN MARÍTIMA (Nota 1) Radiolocalización (Nota 3)
5 650-5 725	RADIOLOCALIZACIÓN
5 725-5 850	RADIOLOCALIZACIÓN

NOTA 1 – De conformidad con el número 5.452 del RR, entre 5 600 y 5 650 MHz, los radares de meteorología situados en tierra están autorizados a funcionar en condiciones de igualdad con las estaciones del servicio de radionavegación marítima.

NOTA 2 – Esta Recomendación no considera el radar de radionavegación aeronáutica ya que en la gama de 5 GHz la banda de frecuencias atribuida al servicio de radionavegación aeronáutico (SRNA) es la de 5 350-5 460 MHz que no está prevista para la introducción del WAS en el servicio móvil.

NOTA 3 – El punto 1.5 del Orden del día de la CMR-03 considera un posible aumento de la categoría del servicio de radiolocalización en la gama de frecuencias 5 350-5 650 MHz de conformidad con la Resolución 736 (CMR-2000).

Anexo 4

Parámetros y metodología para calcular la probabilidad de detección de sistemas de radiodeterminación por los WAS, incluidos los dispositivos de las RLAN, utilizando DFS en la banda de 5 GHz durante la comprobación técnica en servicio

La siguiente metodología considera la probabilidad de que un dispositivo WAS que funciona en la banda de 5 GHz utilizando DFS detecte con éxito durante la comprobación técnica en servicio un radar a 5 GHz que funciona en el servicio de radiodeterminación.

Paso 1: Se determina el periodo de tiempo durante el cual un dispositivo se encontrará dentro del haz principal de la antena del radar (es decir, anchura de haz a 3 dB/velocidad de exploración de la antena). El Cuadro 3 muestra los parámetros del radar que deben utilizarse como base del estudio.

El tiempo de análisis es el periodo durante el cual el WAS está expuesto al haz principal del radar en un barrido basándose en el diagrama de antena del radar y en la velocidad de exploración.

CUADRO 3

Radar	C	K	P	S
Anchura de haz a 3 dB (grados)	0,95	2,5	2,6	2
Velocidad de exploración (grados/s)	36	No aplicable	72	20
Tiempo de análisis (ms)	26	100	36	100

Paso 2: Los radares C, K, P, y S representan los casos más estrictos y pueden utilizarse para definir la compartición con todos los radares que aparecen en el documento sobre características del radar. El radar K no utiliza un tipo de función de exploración de 360°.

Paso 3: Basándose en una distribución de dispositivos WAS que utilizan velocidades de transmisión de datos y longitud de paquetes como las indicadas en el Cuadro 4, se crea una onda que representa el tiempo de transmisión WAS y periodos de escucha de duración $(x) \cdot 9 + 50$ ms, siendo x un número entero aleatorio comprendido entre 2 y 32 (es decir, 31 posibles duraciones discretas uniformemente distribuidas).

CUADRO 4

Ponderación del tiempo de transmisión RLAN

Tamaño del paquete (bytes)	Ponderación	Velocidad de transmisión de datos (Mbit/s)	Ponderación
64	0,6	6	0,1
538	0,2	12	0,1
1 500	0,2	18	0,1
		24	0,3
		36	0,3
		54	0,1

La onda de transmisión WAS para cada tipo de transmisión de paquetes WAS se crea eligiendo aleatoriamente una transmisión por paquetes, utilizando los valores de ponderación indicados en el Cuadro 4 para el tamaño del paquete y la velocidad de transmisión de datos y calculando a continuación el tiempo de transmisión como «tamaño del paquete»/(Velocidad de transmisión de datos \cdot 8). Cada paquete va seguido de un periodo de silencio necesario para que la red WAS facilite la compartición del medio de acceso (es decir, el canal WAS) por los múltiples dispositivos que utilizan la red. Este periodo de silencio está disponible para la comprobación técnica en servicio y se elige de la forma definida anteriormente. A continuación, se crea otro paquete elegido aleatoriamente de la misma forma que el primero que va seguido de otro periodo de silencio. Este proceso se repite hasta que la onda tiene la misma duración que la del periodo durante el cual el dispositivo WAS se encuentra dentro del haz principal de la antena, como se ha calculado en el Paso 1.

Paso 4: Se crea una onda basada en la frecuencia de repetición de pulsos y en la anchura de pulso del radar que va a analizarse. En el Cuadro 5 aparecen los valores de base que deben utilizarse. La onda debe tener la misma duración que la calculada en el Paso 1.

CUADRO 5

**Valores del radar de base para determinar
la probabilidad de detección**

Radar	C	K	P	S
Anchura del pulso (μs)	0,95	1	20	1
frecuencia de repetición de pulsos (pps)	200	3 000	500	200

Paso 5: Se determina si se produce un suceso de detección comprobando si los pulsos del radar en la onda del radar simulada están alineados con los periodos de escucha en la onda de la red WAS simulada.

Paso 6: Se repite la simulación varias veces registrando la aparición, o falta de aparición, de sucesos de detección y utilizando estos datos para calcular la probabilidad de detección (es decir, el porcentaje de simulaciones durante el cual se considera que se ha detectado el pulso del radar).

Paso 7: Probabilidad de detección en n rotaciones:

p : probabilidad de detección en una rotación

p_n : probabilidad de detección en n rotaciones

$$p_n = 1 - (1 - p)^n.$$

Anexo 5

Evaluación de la interferencia utilizando los cálculos de balance del enlace entre un solo dispositivo WAS y sistemas de radiodeterminación en la banda de 5 GHz

1 Antecedentes

Este Anexo trata el caso de la interferencia producida por un solo WAS. Los valores obtenidos de los cálculos en el Anexo se utilizaron como valores de partida en el modelo combinado (véase el Anexo 6) para determinar un umbral de detección.

2 Metodología

Los cálculos presentados en este Anexo se basan en un análisis del balance del enlace. El umbral se determina a partir de dicho análisis suponiendo que debe alcanzarse este umbral cuando el radar puede sufrir interferencia causada por emisiones procedentes de un solo dispositivo WAS (es decir, cuando la señal WAS en el receptor del radar rebasa el nivel de interferencia tolerable por el radar). Ello se basa en la hipótesis de un trayecto de propagación simétrico entre el dispositivo y el radar.

Este método basado en el balance del enlace se considera adecuado para estudiar casos estáticos en los que intervienen un WAS y un radar. Se basa en las Recomendaciones UIT-R SM.337 y UIT-R M.1461 y se aplica al caso específico de la DFS.

3 Cálculo basado en el balance del enlace con radares a partir de la Recomendación UIT-R M.1638

La determinación del máximo nivel de interferencia tolerable procedente de emisiones de un sólo dispositivo WAS en el receptor del radar se basa en la Recomendación UIT-R M.1461, donde se indica que este nivel debe ser inferior a $N + (I/N)$, siendo N el nivel de ruido inherente del receptor del radar e I/N la relación interferencia/ruido (con un valor de -6 dB como se señala en la Recomendación UIT-R M.1461 y en la Recomendación UIT-R M.1638).

El cuadro de cálculo figura en el Apéndice 1 a este Anexo. En dicho cuadro, si se ignora el radar J, bajo esas condiciones el umbral de detección necesario es igual a -52 dBm para proteger radares contra un solo dispositivo WAS.

4 Cálculo basado en el balance del enlace para algunos nuevos radares

Además de los radares descritos en la Recomendación UIT-R M.1638, algunas administraciones de la Región 1 han instalado recientemente dos nuevos radares situados en tierra. Se ha dispuesto de algunos parámetros para llevar a cabo los cálculos de balance del enlace. Dichos parámetros aparecen en el Apéndice 2 a este Anexo.

Basándose en los cálculos, se ha determinado que el umbral de detección necesario es de -62 dBm para asegurar que un solo dispositivo WAS de 1 W no produce interferencia a los radares considerados.

5 Posibilidad de un umbral de detección variable

En este Anexo, los cálculos han supuesto un solo WAS en exteriores con una p.i.r.e. de 1 W lo que constituye el análisis del caso más desfavorable de interferencia procedente de una sola fuente. Se ha indicado que un WAS con una p.i.r.e. de 1 W no representa la mayoría de los WAS instalados.

En consecuencia puede introducirse, la idea de un valor umbral de detección variable que cambiará con el nivel de p.i.r.e. del WAS. De acuerdo con la metodología utilizada en este Anexo, el umbral de detección es proporcional a la p.i.r.e. del WAS.

De conformidad con la metodología empleada en este Anexo para hipótesis relativas a un solo dispositivo WAS, el umbral de detección es proporcional a la p.i.r.e. del WAS.

En esas condiciones, por ejemplo, si un WAS de 1 W debe detectar un radar por encima de $-N$ dBm, para un WAS de 200 mW el umbral correspondiente puede fijarse a $-(N - 7)$ dBm.

6 Influencia de la arquitectura del WAS sobre el umbral de detección

En el caso de una arquitectura WAS centralizada, cabe esperar que la DFS será controlada por un dispositivo específico situado en una red o una célula. Puede haber casos en que se producen diferencias significativas en las pérdidas del trayecto de propagación entre un radar y los dispositivos en una red o una célula y en esas circunstancias deja de ser válida la hipótesis del trayecto de propagación simétrico entre el radar y el dispositivo de detección.

Las administraciones deben considerar las medidas necesarias para asegurar que cada uno de los dispositivos WAS de una sola red no causarán interferencia a los radares.

Apéndice 1 al Anexo 5

Cálculo del umbral de detección basado en el balance del enlace para los radares de la Recomendación UIT-R M.1638

	Características	A	C	E	F	G	H1	H2	H	H	J	K	L	M	N	O	P	Q
RADAR	Función	Meteo- rología	Meteo- rología	Meteo- rología	Meteo- rología	Meteo- rología	Meteo- rología	Meteo- rología	Meteo- rología	Meteo- rología	Meteo- rología	Instrumen- tación	Instrumen- tación	Instrumen- tación	Instrumen- tación	Instrumen- tación	Búsqueda de superficie y aérea	Búsqueda de superficie y aérea
	Tipo de plataforma	En tierra/ en barco	En tierra	En tierra	En tierra	En tierra	En tierra	En barco	En barco									
	Potencia de cresta del transmisor entregada a la antena (kW)	250	250	250	250	250	250	250	250	250	2,25	250	2 800	1 200	1 000	165	360	285
	Anchura de banda de la F_{13} dB del receptor (MHz)	0,5	20	0,91	0,6	0,5	0,7	4	0,1	3	10	1	4,8	4	8	8	1,5	10
	Polarización de la antena	V	H	H	H	H	H	H	H	H	H	V/Circular levógira	V/Circular levógira	V/Circular levógira	V/Circular levógira	V/Circular levógira	H	H
	Ganancia del haz principal de la antena (dBi)	39	44	50	40	40	50	50	50	50	35	38,3	54	47	45,9	42	28	30
	Altura de la antena (m)	30	10	30	30	30	30	30	30	30	10							
	p.i.r.e. del radar (dBm)	123,0	128,0	134,0	124,0	124,0	134,0	134,0	134,0	134,0	98,5	122,3	148,5	137,8	135,9	124,2	113,6	114,5
	Factor de ruido del receptor (dB)	7	4	2,3	3	3	3,5	3,5	1,5	1,5	3	6	5	5	11	5	5	10
	$N = k T B F$ (dBm)	-110,0	-97,0	-112,1	-113,2	-114,0	-112,0	-104,5	-122,5	-107,7	-101,0	-108,0	-102,2	-103,0	-93,9	-99,9	-107,2	-94,0
$N - 6$ dB	-116,0	-103,0	-118,1	-119,2	-120,0	-118,0	-110,5	-128,5	-113,7	-107,0	-114,0	-108,2	-109,0	-99,9	-105,9	-113,2	-100,0	
WAS	p.i.r.e. (dBm) exteriores	30																
	Control de la potencia de transmisión (TPC) (dB)	0																
	Anchura de banda (MHz)	18																
	Ganancia de antena (omnidireccional) (dBi)	0																

10 log (Brad/BWAS)	-15,6	0,5	-13,0	-14,8	-15,6	-14,1	-6,5	-22,6	-7,8	-2,6	-12,6	-5,7	-6,5	-3,5	-3,5	-10,8	-2,6
	185,0	177,0	198,1	189,2	190,0	198,0	190,5	208,5	193,7	172,0	182,3	192,2	186,0	175,8	177,9	171,2	160,0
Balace del enlace para una señal WAS recibida en el receptor del radar $N - 6$ dB	169,4	177,0	185,1	174,4	174,4	183,9	183,9	185,9	185,9	169,4	169,7	186,4	179,4	172,3	174,4	160,4	157,4
Umbral de detección necesario	-46,4	-49,0	-51,1	-50,4	-50,4	-49,9	-49,9	-51,9	-51,9	-70,9	-47,4	-38,0	-41,6	-36,4	-50,2	-46,9	-42,9

**Apéndice 2
al Anexo 5**

Cálculo del umbral de detección basado en el balance del enlace para un nuevo radar instalado por algunas administraciones de la Región 1

RADAR	Función	Exploración aérea
	Tipo de plataforma	En tierra/en vehículo
	Potencia de cresta del transmisor entregada a la antena (kW)	15
	Anchura de banda de la $F I_3$ dB del receptor (MHz)	4
	Polarización de la antena	V
	Ganancia del haz principal de la antena (dBi)	35
	Altura de la antena (m)	10
	p.i.r.e. (dBm)	106,8
	Factor del ruido del receptor (dB)	5
	$N = k T B F$ (dBm)	-103
	$N - 6$ dB	-109
WAS	p.i.r.e. (dBm) en exteriores	30
	TPC (dB)	0
	Anchura de banda (MHz)	18
	Ganancia de antena (omnidireccional) (dBi)	0

$10 \log (\text{Brad}/\text{BWAS})$	-6,5
Pérdidas de propagación para la señal WAS recibida en el receptor del radar $N - 6$ dB (dB)	175,0
	168,4
Umbral de detección necesario (dBm)	-61,7

Cabe señalar que este Cuadro supone un solo WAS con una p.i.r.e. de 1 W que puede ser el valor de potencia más elevado en una distribución estadística de la p.i.r.e. para una instalación de WAS (por ejemplo, como la descrita en el Cuadro 7 del Anexo 6). Por ejemplo, si se considera una p.i.r.e. más baja (< 100 mW) se obtendrá el correspondiente aumento de 10 dB en el valor de T_{DFS} .

Anexo 6

Parámetros y metodología para realizar los estudios de interferencia combinada en que intervienen WAS, incluidas las RLAN, y sistemas de radiodeterminación en la banda de 5 GHz

Deben utilizarse las siguientes consideraciones a fin de definir la hipótesis de base para realizar los estudios necesarios que determinen los parámetros DFS:

- En los cálculos de interferencia se utilizó la Recomendación UIT-R M.1461.
- Se utilizó el diagrama de antena de radar contenido en el Apéndice 1 a este Anexo.
- Se utilizó el diagrama de antena WAS contenido en el Apéndice 2 a este Anexo.
- En los estudios de compartición, para determinar la interferencia combinada causada a los radares se utilizó la probabilidad de detección (véase el Anexo 4). Esta probabilidad fue fijada para cada intervalo.
- Se utilizó un intervalo de 1°.
- Se utilizaron tres anillos concéntricos para definir la instalación de los WAS como se indica en el Cuadro 6. En cada una de las zonas volumétricas debe utilizarse una distribución uniforme de los dispositivos, incluida la altura.

CUADRO 6

Distribución de usuarios WAS

	Zona urbana	Zona suburbana	Zona rural
Radio desde el centro (km)	0-4	4-12	12-25
Usuarios WAS (%)	60	30	10
Altura del edificio (m)	30	6	6

- Se utilizó un total de 2 753 dispositivos WAS funcionando de modo cocanal con un sistema de radioterminación en un momento determinado.
- Se utilizó la distribución de potencia WAS indicada en el Cuadro 7.

CUADRO 7

Distribución de potencia WAS

Nivel de potencia	1 W	200 mW	100 mW	50 mW
Usuarios WAS (%)	5	25	40	30

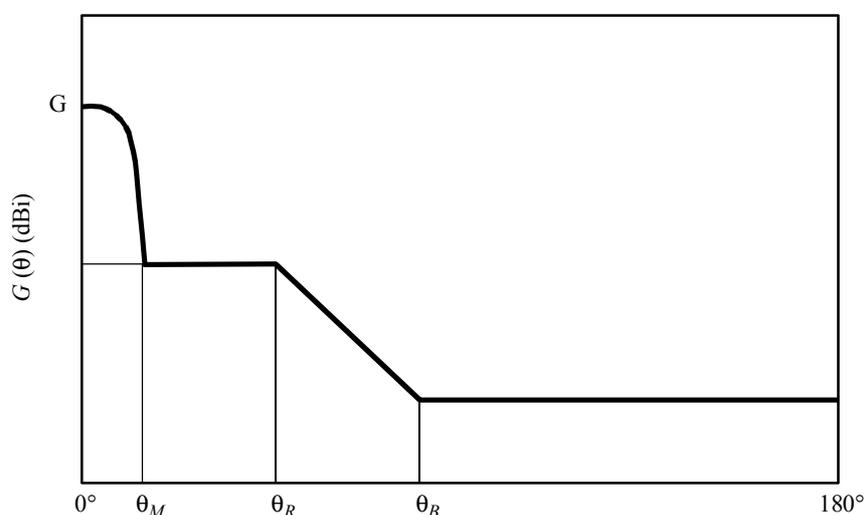
- Se establecieron modelos de radares de seguimiento comenzando por una ubicación y un ángulo de inicio aleatorios y a continuación se les desplazó directamente hacia el horizonte opuesto.
- Se establecieron modelos de radares marítimos empezando en el horizonte de la zona rural realizando un seguimiento hacia el centro de la zona urbana.

- Se establecieron modelos de radares a bordo de aeronaves empezando por el horizonte de la zona rural y realizando un seguimiento hacia el centro de la zona urbana.
- Los estudios se centraron en los siguientes radares.
C, I, K, P y S como se definen en la Recomendación UIT-R M.1638.
- Para los radares situados en tierra se utilizó un factor de propagación aleatorio a fin de determinar las pérdidas de trayecto de propagación en cada dispositivo WAS. Se emplearon valores entre 20 y 35 $\log D$. Además, se utilizó una atenuación de propagación por edificio/terreno aleatoria. Se empleó un valor entre 0 y 20 dB. Se aplicó una distribución uniforme para determinar estos valores.
- Para los radares a bordo de aeronaves se emplearon unas pérdidas en el espacio libre de más +17 dB.
- Para los radares marítimos se supusieron unas pérdidas en el espacio libre entre +0 y 20 dB.
- Se realizó el cálculo suponiendo visibilidad directa en tierra lisa. No se tuvo en cuenta ningún dispositivo WAS situado más allá de la línea de visibilidad directa.

Apéndice 1 al Anexo 6

No existen actualmente en la UIT diagramas de referencia de antena de radar, por lo tanto se proporciona el siguiente como base. Se utiliza un modelo estadístico de antena de ganancia para determinar la ganancia de la antena de radar en las orientaciones de acimut y elevación. El modelo proporciona la ganancia de antena en función del ángulo con respecto al eje (θ) para una determinada ganancia de antena en el haz principal (G). El modelo incluye algoritmos distintos para antenas de muy alta ganancia, de alta ganancia y de ganancia media, correspondientes a antenas con ganancias superiores a 48 dBi, ganancias comprendidas entre 22 y 48 dBi, y ganancias entre 10 y 22 dBi, respectivamente. La Fig. 1 ilustra la forma general de la distribución de ganancia de antena. Las ecuaciones para los ángulos θ_M (primer lóbulo lateral), θ_R (lateral cercano), y θ_B (lóbulo lateral lejano) aparecen en el Cuadro 8. Las ganancias de antena en función del ángulo con respecto al eje figuran en el Cuadro 9 para antenas de muy alta ganancia, en el Cuadro 10 para antenas de alta ganancia y en el Cuadro 11 para antenas de ganancia media. El ángulo θ viene expresado en grados y todos los valores de las ganancias se expresan en decibelios con respecto a una antena isotrópica (dBi).

FIGURA 1



CUADRO 8
Definiciones de ángulos

Muy alta ganancia ($G > 48$ dBi)	Alta ganancia ($22 < G < 48$ dBi)	Ganancia media ($10 < G < 22$ dBi)
$\theta_M = 50 (0,25 G + 7)^{0,5} / 10^{G/20}$ $\theta_R = 27,466 10^{-0,3G/10}$ $\theta_B = 48$	$\theta_M = 50 (0,25 G + 7)^{0,5} / 10^{G/20}$ $\theta_R = 250 / 10^{G/20}$ $\theta_B = 48$	$\theta_M = 50 (0,25 G + 7)^{0,5} / 10^{G/20}$ $\theta_R = 250 / 10^{G/20}$ $\theta_B = 131,8257 10^{-G/50}$

CUADRO 9
Ecuaciones para antenas de muy alta ganancia ($G > 48$ dBi)

Intervalo angular (grados)	Ganancia (dBi)
0 a θ_M	$G - 4 \times 10^{-4} (10^{G/10}) \theta^2$
θ_M a θ_R	$0,75 G - 7$
θ_R a θ_B	$29 - 25 \log (\theta)$
θ_B a 180	-13

CUADRO 10
Ecuaciones para antenas de alta ganancia ($22 < G < 48$ dBi)

Intervalo angular (grados)	Ganancia (dBi)
0 a θ_M	$G - 4 \times 10^{-4} (10^{G/10}) \theta^2$
θ_M a θ_R	$0,75 G - 7$
θ_R a θ_B	$53 - (G/2) - 25 \log (\theta)$
θ_B a 180	$11 - G/2$

CUADRO 11
Ecuaciones para antenas de ganancia media ($10 < G < 22$ dBi)

Intervalo angular (grados)	Ganancia (dBi)
0 a θ_M	$G - 4 \times 10^{-4} (10^{G/10}) \theta^2$
θ_M a θ_R	$0,75 G - 7$
θ_R a θ_B	$53 - (G/2) - 25 \log (\theta)$
θ_B a 180	0

**Apéndice 2
al Anexo 6**

Diagramas de antena WAS

El diagrama de antena WAS en orientación acimutal es omnidireccional. Dicho diagrama en orientación de elevación fue determinado mediante examen de los diagramas de antena WAS. El diagrama utilizado se describe a continuación en el Cuadro 12. Obsérvese que la utilización de antenas WAS directivas, dando la misma p.i.r.e., puede traducirse en una menor interferencia causada al receptor del radiodeterminación pero podrían aparecer niveles de interferencia notablemente superiores en el receptor WAS si se produjese un acoplamiento de haz principal a haz principal.

CUADRO 12

Diagrama de antena WAS en elevación

Ángulo de elevación, φ (grados)	Ganancia (dBi)
$45 < \varphi \leq 90$	-4
$35 < \varphi \leq 45$	-3
$0 < \varphi \leq 35$	0
$-15 < \varphi \leq 0$	-1
$-30 < \varphi \leq -15$	-4
$-60 < \varphi \leq -30$	-6
$-90 < \varphi \leq -60$	-5

Para que la mayoría de los dispositivos radien con una p.i.r.e. de 1 W se necesita normalmente una ganancia de antena de 6 dBi. Para este diagrama se proporciona la siguiente descripción de acuerdo con la Recomendación UIT-R F.1336:

$$G(\theta) = \text{máx}[G_1(\theta), G_2(\theta)]$$

$$G_1(\theta) = G_0 - 12 \left(\frac{\theta}{\theta_3} \right)^2$$

$$G_2(\theta) = G_0 - 12 + 10 \log \left[\left(\text{máx} \left\{ \frac{|\theta|}{\theta_3}, 1 \right\} \right)^{-1,5} + k \right]$$

$$\theta_3 = 107,6 \times 10^{-0,1G_0}$$

siendo:

$G(\theta)$: ganancia de antena (dBi)

θ : ángulo de elevación (grados)

$k = 0,5$

$G_0 = 6$ dBi.

Anexo 7

Análisis de los resultados de evaluación de la interferencia y recomendación sobre valores umbral de la DFS

Se presenta un resumen de los resultados de simulaciones efectuadas utilizando las metodologías detalladas en los Anexos 5 y 6 para simular, respectivamente, la interferencia estática producida por un dispositivo WAS y la interferencia combinada producida por la instalación de WAS a un receptor de radar afectado, para los radares de 5 GHz pertinentes.

El Cuadro 13 muestra los valores obtenidos de los cálculos del Anexo 5 para el caso de la interferencia producida por un solo WAS.

CUADRO 13

Valores obtenidos de los cálculos del Anexo 5

Radar del Anexo 5	Análisis del balance del enlace del Anexo 5	-62 dBm para dispositivos de 1 W
		-55 dBm para dispositivos de 0,2 W
		-52 dBm para dispositivos de 0,1 W

El Cuadro 14 muestra un resumen de los niveles umbral de protección necesarios resultantes de los cálculos para establecer modelos de la interferencia combinada.

CUADRO 14

Niveles umbral de protección necesarios

Tipo de radar	Hipótesis de simulación	Umbral de DFS para protección (T_{DFS}) (Nota 1)
Radares giratorios A, C, E, F, G, H, I, J. Radares P y Q	Norma del Anexo 6	-52 dBm y consideraciones operativas utilizadas por los sistemas de radar
Radar I	Anexo 6 pero la altura de la antena del radar se encuentra entre 500 m y 1 000 m	-62 dBm
Radar S	Norma del Anexo 6	Véase la Nota 2
Radar K	Norma del Anexo 6	-67 dBm
	Anexo 6 pero con la mitad de densidad de población	-64 dBm
	Anexo 6 pero todos los dispositivos de 50 mW	-62 dBm

NOTA 1 – Suponiendo una ganancia de antena del receptor normalizada a 0 dBi para el WAS.

NOTA 2 – La situación de compartición entre este radar y el WAS es extremadamente difícil. Los cálculos iniciales basados en los resultados de base muestran que se necesitarían unos valores umbrales de detección de DFS por debajo del ruido de fondo de funcionamiento de los dispositivos de WAS. Tras un debate se determinó que estos sistemas están limitados únicamente a las aeronaves militares. Se acordó no considerar este caso al establecer un requisito del umbral de detección.

Notas sobre parámetros y metodologías utilizados

La repercusión de las variaciones de los parámetros y la metodología puede resumirse de la forma siguiente:

- a) Una reducción a la mitad de la densidad de dispositivos activos da lugar a un incremento de 3 dB en T_{DFS} . De forma similar, duplicando la densidad de dispositivos activos se produce una disminución de 3 dB en T_{DFS} .
 - b) La potencia de transmisión de una sola fuente de interferencia en el cálculo del balance del enlace tiene una repercusión directa dB a dB sobre el umbral de protección requerido. En el análisis combinado, la repercusión depende de la distribución de los niveles de potencia utilizados en la simulación.
 - c) En la mayoría de los casos, la interacción de variables en el modelo combinado no es intuitiva y, por lo tanto, no pueden extraerse conclusiones sencillas de los cambios de una sola variable.
-